



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Wendell Teixeira da Silva

**AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E OS CICLONES TROPICAIS COMO
UMA PROPOSTA DE ENSINO DE TERMODINÂMICA E DINÂMICA DOS
FLUIDOS**

Florianópolis

2020

Wendell Teixeira da Silva

**AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E OS CICLONES TROPICAIS COMO
UMA PROPOSTA DE ENSINO DE TERMODINÂMICA E DINÂMICA DOS
FLUIDOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da UFSC, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. Wagner Figueiredo

Florianópolis
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Wendell Teixeira da

As mudanças climáticas globais e os ciclones tropicais como uma proposta de ensino de termodinâmica e dinâmica dos fluidos / Wendell Teixeira da Silva ; orientador, Wagner Figueiredo, 2020.

156 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Ensino de Física. 3. Mudanças Climáticas Globais e Ciclones Tropicais. 4. Termodinâmica. 5. Dinâmica dos Fluidos. I. Figueiredo, Wagner. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Ensino de Física. III. Título.

Wendell Teixeira da Silva

**AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E OS CICLONES TROPICAIS COMO
UMA PROPOSTA DE ENSINO DE TERMODINÂMICA E DINÂMICA DOS
FLUIDOS**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Márcio Santos, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC/FSC

Prof. Maurício Girardi, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC/ARA

Prof. Oswaldo de Medeiros Ritter, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC/FSC

Prof. Wagner Figueiredo, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/FSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que
foi julgado adequado para obtenção do título de MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA.

Prof. Dr. Oswaldo de Medeiros Ritter
Coordenador do Programa de Pós-Graduação

Prof. Dr. Wagner Figueiredo
Orientador

Florianópolis, 04 de dezembro de 2020.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, por toda a dedicação e apoio para que eu pudesse chegar ao final da minha caminhada.

À minha esposa, Alexandra, ao meu enteado, Eduardo, por todo apoio, incentivo e paciência em todos os momentos.

À toda a minha família pelo apoio mesmo à distância.

Ao meu orientador, professor Dr. Wagner Figueiredo, pela paciência, disposição e conselhos ao longo da realização desse trabalho.

Aos professores da Universidade Federal de Santa Catarina responsáveis pelo Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, pela grande contribuição em minha formação acadêmica na Pós Graduação e minha evolução profissional.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro que foi primordial para a realização da desta pesquisa.

Aos meus colegas de turma por todos os momentos vividos ao longo do curso, pelo apoio e parceria.

À direção da escola, pelo apoio durante a implementação desse trabalho.

Aos alunos do segundo ano do ensino médio que se aventuraram na busca do conhecimento.

“O ensino deve ser de tal modo que possa ser recebido como o melhor presente e não como uma amarga obrigação”. (EINSTEIN,1949)

RESUMO

AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E OS CICLONES TROPICAIS COMO UMA PROPOSTA DE ENSINO DE TERMODINÂMICA E DINÂMICA DOS FLUIDOS

Wendell Teixeira da Silva

Esta dissertação tem como objetivo propor um material instrucional para o ensino dos conceitos de Termodinâmica e Dinâmica dos Fluidos de forma contextualizada para diminuir as dificuldades de aprendizagem. O material é composto por quatro textos e uma atividade experimental. Texto 1: Mudanças Climáticas Globais e suas Consequências. Texto 2: Fenômenos Atmosféricos. Texto 3: Termodinâmica e Mecânica dos Fluidos. Texto 4: A Física em um Ciclone Tropical. A atividade experimental realizada foi sobre Processos Adiabáticos. O material tem como ponto de partida temas atuais e indispensáveis para o momento em que vivemos e foi elaborado para professores do ensino médio que pretendam trazer esses temas para a sala de aula, enriquecendo-as. Ele foi aplicado a um grupo de estudantes do segundo ano do Ensino Médio, da EEB Prof^a. Maria José Barbosa Vieira, escola pública da rede estadual, localizada na cidade de São José, Santa Catarina, Brasil. A análise dos resultados obtidos nesta dissertação permite concluir que a utilização de temas relevantes e atuais, como mudanças climáticas globais e ciclones tropicais, são relevantes no ensino de conceitos de Termodinâmica e Dinâmica dos Fluidos, nessa etapa de aprendizagem. Os estudantes estiveram interessados e receptivos durante as aulas. Este trabalho tem como objetivo principal contribuir como material de apoio aos professores de Física do segundo grau no ensino de conceitos de Termodinâmica e Mecânica dos Fluidos.

Palavras-chave: Ensino de Física; Termodinâmica; Dinâmica de Fluidos; Mudanças Climáticas Globais; Ciclones Tropicais.

ABSTRACT

GLOBAL CLIMATE CHANGES AND TROPICAL CYCLONES AS A PROPOSAL TO TEACH THERMODYNAMICS AND DYNAMICS OF FLUIDS

Wendell Teixeira da Silva

This dissertation aims to propose an instructional material for teaching the concepts of Thermodynamics and Fluid Dynamics in a contextualized way to reduce learning difficulties. The material consists of four texts and an experimental activity. Text 1: Global Climate Changes and their Consequences. Text 2: Atmospheric Phenomena. Text 3: Thermodynamics and Fluid Mechanics. Text 4: Physics in a Tropical Cyclone. The experimental activity was carried out on Adiabatic Processes. The material has as its starting point current and indispensable themes for the time we are living and was designed for high school teachers who intend to bring these themes to the classroom, thereby enriching their classes. It was applied to a group of junior students in EEB Prof. Maria José Barbosa Vieira High School, a state's network public school, which is a public school of the state network, located in the city of São José, Santa Catarina, Brazil. The analysis of the results obtained in this dissertation allows to conclude that the use of relevant and current themes, such as global climate changes and tropical cyclones, are relevant in teaching concepts of Thermodynamics and Fluid Dynamics at this learning stage. Students were interested and receptive during the classes. The main goal of this work is to contribute as a support material to physics teachers working in High School on the process of teaching the concepts of Thermodynamics and Fluid Mechanics.

Keywords: Physics Teaching, Thermodynamics, Fluid Dynamics, Global Climate Changes, Tropical Cyclones

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- O contínuo da aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica.....	19
Figura 2 - Experimento de Joule.....	24
Figura 3- Diagrama PxV.....	25
Figura 4 - Diagrama P x V de um fluido.....	28
Figura 5 - Diagrama P versus V de um processo isobárico.....	29
Figura 6 - Uma pequena área imaginária dA, submetida a ação de forças normais dF.....	32
Figura 7 - Equilíbrio de um cilindro.....	33
Figura 8 - Lei de Halley.....	36
Figura 9 - Filete de corrente.....	37
Figura 10 - A pressão do ar acima do telhado é menor do que a pressão do ar abaixo dele....	39
Figura 11 - Gráfico das respostas da questão 1.....	51
Figura 12 - Gráfico das respostas da questão 2.....	52
Figura 13 - Gráfico das respostas da questão 3.....	52
Figura 14 - Gráfico das respostas da questão 4.....	53
Figura 15 - Gráfico das respostas da questão 5.....	53
Figura 16 - Gráfico das respostas da questão 6.....	54
Figura 17 - Gráfico das respostas da questão 7.....	54
Figura 18 - Gráfico das respostas da questão 8.....	54
Figura 19 - Gráfico das respostas da questão 9.....	55
Figura 20 - Gráfico das respostas da questão 10.....	55
Figura 21 - Gráfico das respostas da questão 1.....	56
Figura 22 - Gráfico das respostas da questão 2.....	56
Figura 23 - Gráfico das respostas da questão 3.....	57
Figura 24 - Gráfico das respostas da questão 4.....	57
Figura 25 - Gráfico das respostas da questão 5.....	58
Figura 26 - Gráfico das respostas da questão 8.....	59
Figura 27 - Gráfico das respostas da questão 1.....	60
Figura 28 - Gráfico das respostas da questão 2.....	61
Figura 29 - Gráfico das respostas da questão 3.....	62
Figura 30 - Gráfico das respostas da questão 4.....	62
Figura 31 - Gráfico das respostas da questão 5.....	63

Figura 32 - Gráfico das respostas da questão 6.....	63
Figura 33 - Gráfico das respostas da questão 7.....	63
Figura 34 - Gráfico das respostas da questão 8.....	64

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	11
INTRODUÇÃO.....	11
CAPÍTULO 2.....	16
REFERENCIAL TEÓRICO	16
CAPÍTULO 3.....	23
ELEMENTOS DE TERMODINÂMICA E MECÂNICA DOS FLUIDOS	23
3.1 TERMODINÂMICA	23
3.2 PROCESSOS REVERSÍVEIS.....	27
CAPÍTULO 4.....	40
DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL DESENVOLVIDO	40
CAPÍTULO 5.....	42
IMPLEMENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL DESENVOLVIDO	42
5.1 AMBIENTE ESCOLAR	42
5.2 RECEPÇÃO DO MATERIAL PELOS ALUNOS	42
5.3 METODOLOGIA E AVALIAÇÃO.....	43
5.4 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTAÇÃO, OBJETIVOS E ATIVIDADES	44
CAPÍTULO 6.....	47
RELATO DAS AULAS	47
CAPÍTULO 7.....	51
APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	51
CAPÍTULO 8.....	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
REFERÊNCIAS.....	69
APÊNDICE A - Produto educacional.....	71
APÊNDICE B - Questionário de investigação inicial	120
APÊNDICE C - Questionário sobre o texto mudanças climáticas globais e suas consequências	
124	
APÊNDICE D - Questionário de investigação final.....	128
APÊNDICE E - Slides utilizados durante a aplicação do produto educacional	132

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O ensino de Física no Ensino Médio passa por uma crise há bastante tempo segundo Moreira [2017]. Em geral os estudantes iniciam seu contato com a disciplina e ficam presos a um ensino repleto de fórmulas, gráficos, números, tabelas e outros, porém com pouca ou nenhuma conexão com a sua realidade. Dessa maneira os estudantes têm imensa dificuldade em dar um significado aos conhecimentos que são adquiridos. De acordo com Delizoicov [2009, p.32] o processo de ensino em que ocorre uma transmissão mecânica é denominado de senso comum pedagógico. Essa prática de ensino traz como consequência o afastamento do aluno em relação à disciplina que é estudada.

Tornar o aprendizado de Física significativo para o estudante, onde ele consiga observar a Ciência como algo em constante transformação e com isso utilizar os conceitos aprendidos na solução de seus problemas e compreensão do espaço onde vive, estimulando-o a ser investigativo, crítico, é um desafio a ser enfrentado pelos educadores e isso passa por uma mudança na forma de ensinar a Física.

No mundo atual, compreender a ciência é essencial para a formação de um cidadão mais crítico, que possa contribuir de maneira positiva para a formação de uma sociedade mais justa e igualitária. Dessa forma, compreender as mudanças climáticas globais se tornou de extrema relevância para o momento em que vivemos. O estado de Santa Catarina é bastante afetado por essas alterações do clima, em que eventos atmosféricos extremos estão se tornando cada vez mais comuns. No dia 11 de junho de 2020 às 10:27h um tornado com rajadas de vento de até 130 km/h atingiu a cidade de Xanxerê, Oeste de Santa Catarina, e sua região, e causou muitos prejuízos materiais, muitas pessoas ficaram feridas e pelo menos duas morreram. Em 30 de junho de 2020 um ciclone bomba, com rajadas de ventos de até 168,8 km/h, registrados na cidade de Siderópolis, sul de Santa Catarina, provocou destruição em várias cidades sendo as regiões de Balneário Camboriú e Florianópolis as mais atingidas. Três pessoas morreram e 1,4 milhão de pessoas ficaram sem energia elétrica no estado. Em 26 de março de 2004 o furacão Catarina, categoria 2, com velocidades máximas sustentadas de até 180 km/h, as cidades de Araranguá, Balneário Arroio do Silva, Balneário Gaivota, Passos de Torres e Sombrio foram as mais atingidas. Além do prejuízo material, causou a morte de quatro pessoas e 33 mil ficaram

desabrigadas. Esse foi o primeiro furacão registrado no Atlântico Sul. De acordo com os cientistas a intensificação de fenômenos atmosféricos extremos é uma das projeções feitas a partir do aquecimento do planeta [NOBRE, SAMPAIO e SALAZAR; 2008].

Ao longo dos anos de estudo e trabalho em educação os temas sobre o tempo e os fenômenos atmosféricos sempre encantou ao autor e também aos estudantes. Para estabelecer um diálogo de alto nível com os educandos, baseado em pesquisas científicas sobre um tema tão importante no momento em que vivemos e com o objetivo de produzir um material com uma linguagem acessível, porém mantendo o rigor científico, o autor desenvolveu uma ferramenta que aprimora o processo de ensino e aprendizagem e contribua para a formação dos educandos. Outros motivos para a escolha do tema podem ser destacados:

- A escassez de materiais que tratem de temas sobre Fenômenos Atmosféricos e expliquem os conceitos físicos.
- A quase inexistência de abordagens sobre as Mudanças Climáticas Globais nos livros didáticos.
- A importância da Termodinâmica para a compreensão dos Fenômenos Atmosféricos e de nosso dia a dia.
- A relevância do conhecimento sobre Mudanças Climáticas Globais e as suas consequências.

A CAPES possui um repositório de teses e dissertações onde podem ser encontrados trabalhos que abordam ciclones, meteorologia e termodinâmica. Dentre os trabalhos destacam-se dois relativos a ciclones e meteorologia e dois relativos à termodinâmica.

Em sua Tese intitulada *Ciclones Subtropicais sobre o Sudeste do Atlântico Sul: Climatologia e Fontes de Umidade*, Luiz Felipe Gozzo (2014) apresenta um estudo sobre os ciclones subtropicais em que o objetivo é apresentar uma climatologia destes ciclones com duas reanálises, para o Atlântico Sul como ênfase no sudoeste do Atlântico, e propõe um novo critério de identificação menos restritivo que o adotado na literatura atualmente. Nesse trabalho é importante destacar que durante os eventos de ciclones subtropicais, os fluxos de calor e umidade na interface oceano-atmosfera apresentam valores próximos à medida climatológica. A

partir dos resultados de experimentos com modelos numéricos de previsão, pode-se compreender a ocorrência dos ciclones subtropicais em uma região onde a superfície do mar possui temperatura relativamente baixa.

Na Dissertação intitulada *Ciclones Subtropicais Sobre o Atlântico Sul: análise da estrutura dinâmica de eventos*, de Livia Márcia Mosso Dutra (2012), se propõe a investigar os processos sinóticos, dinâmicos e termodinâmicos de dois ciclones subtropicais ocorridos no Atlântico Sul. A partir do uso de dois algoritmos pode-se classificar o ciclo de vida dos ciclones. Nesse trabalho desenvolveu-se um processo de automatização de algoritmos para que se analisasse os diagramas de fase de todos os ciclones tropicais ocorridos no Atlântico Subtropical durante 2008, 2009 e março de 2010. Percebe-se que, mesmo com fraca intensidade de pressão central, os ciclones tiveram importante influência nas condições do tempo sobre as regiões em que atuavam. Os ventos superaram 15m/s em pressões de 925hPa por várias horas e foi responsável por chuvas intensas no Oceano Atlântico e afetou diretamente a região costeira de vários estados brasileiros. Pode-se concluir que esses sistemas afetam sensivelmente as condições do tempo na região centro-leste do Brasil e o Atlântico Sul Oeste. Outra análise feita foi o balanço de calor existente na região de atuação dos ciclones extratropicais estudados.

No artigo *Estudos de Ciclones e Padrões de Circulação Atmosférica no Oceano Atlântico Sul Próximo à Costa das Regiões Sul e Sudeste do Brasil Usando Dados da Análise ERA-Interim*, Rocha, Araváquia e Ribeiro (2016), estudam os ciclones e os padrões de circulação atmosférica que estão a eles associados no Oceano Atlântico Sul. Esse trabalho analisou os dados da Reanálise ERA-Interim nos meses de outubro a abril de 2003 a 2013. A partir do desenvolvimento de um método direto para a obtenção de datas, localização e a intensidade dos ciclones, gerou-se diversos conjuntos de algumas variáveis meteorológicas. A partir desses conjuntos de variáveis conseguiram determinar uma periodicidade de ocorrência dos ciclones na região estudada. Também mostrou que a região do Atlântico Sul, próxima à costa das Regiões Sul e Sudeste do País, apresenta condições propícias para a formação de ciclones.

No artigo *Furacões e tornados: um espetáculo de rotação na atmosfera terrestre*, Maria Assunção Faus da Silva Dias (2006) faz um estudo sobre dois fenômenos atmosféricos que despertam grande interesse, os furacões e os tornados. Nesse trabalho a autora mostra as diferenças existentes entre os dois fenômenos, porém também que eles representam um equilíbrio de forças físicas que mantém os movimentos circulares do ar em situação quase estável. Nesse trabalho também destaca várias características conhecidas desses dois fenômenos, como a

intensidade dos ventos, distribuição geográfica, época do ano de ocorrência, porém umas das questões que está colocada é se a frequência de ocorrência de tornados e furacões está aumentando em função do aquecimento global; se as mudanças climáticas estão provocando tornados e furacões em lugares nunca antes atingidos e com maior violência. Um dos casos raros citados nesse artigo foi o furacão Catarina, em março de 2004, porém discute-se se esse não teria sido o primeiro de uma futura série de furacões na região causados pelo aquecimento global.

Na dissertação intitulada Física da Atmosfera: uma situação de estudo para o ensino de Física do 2º ano do ensino médio, Fábio Machado de Menezes (2019), desenvolveu uma sequência didática em que estudava a Física da Atmosfera através da contextualização. Nela buscou-se construir a aprendizagem através da interação entre sujeitos (alunos e professor) e com o ambiente social em que se encontram. Também procurou-se conectar os conceitos de Física com a realidade do aluno baseando-se na teoria da aprendizagem de Vygotsky. Utilizou-se também a tecnologia e a contextualização para ajudar no aprendizado dos estudantes. Como forma de avaliação foi utilizada a construção de mapas conceituais. Os resultados obtidos pelo autor retratam que o produto educacional se mostrou um método eficaz, pois os estudantes compreenderam e tiveram uma visão dos conceitos ensinados no 2º ano do ensino médio, em um pequeno intervalo de tempo.

Na dissertação Ensino de Termodinâmica Através da Construção de Instrumentos de Medição de Variáveis Meteorológicas e da Confecção de Miniestação Meteorológica Portátil com Arduíno, Rafaella Sayonara Marques Ferreira Vidal (2018) propôs um material didático para a construção de uma miniestação meteorológica portátil, como forma de diminuir as dificuldades no ensino de Termodinâmica, que foi aplicado a alunos do 2º ano do ensino médio do Centro Educacional Agnus Dei, em Parnamirim-RN. No trabalho desenvolvido foram elaborados dois manuais (professor e alunos) para a construção da miniestação meteorológica. Inicialmente aplicou-se uma atividade de sondagem sobre as concepções básicas sobre Termodinâmica e Meteorologia e em seguida foram construídos três experimentos simples para a medição e caracterização de variáveis de estado termodinâmico. Após esses experimentos, os estudantes construíram a miniestação meteorológica com o uso do Arduíno Uno. Observa-se que a partir dos resultados obtidos, os estudantes conseguiram compreender os diversos fatores que influenciam na dinâmica da atmosfera.

Na busca para trazer uma discussão atual e de relevância importante para o ensino de Física, desenvolvemos um material instrucional que contextualiza o ensino de Termodinâmica

e Dinâmica dos Fluidos a temas importantes, as Mudanças Climáticas Globais e os Ciclones Tropicais.

O Produto Educacional gerado nessa pesquisa não se propõe a substituir o livro didático, mas sim funcionar como um material auxiliar ou de aprofundamento do estudo, assim como estimular que outros projetos de contextualização do ensino de Física sejam desenvolvidos.

No segundo Capítulo desse trabalho é apresentada a discussão dos referenciais teóricos que embasaram o desenvolvimento e a execução dessa sequência didática. No terceiro Capítulo faz-se a descrição do material instrucional desenvolvido e aplicado aos educandos. No quarto Capítulo é feita a descrição da implementação do material educacional desenvolvido em uma turma do 2º ano do ensino médio. No quinto Capítulo há um relato sobre as aulas nas quais foi aplicado o material didático. Finalmente, no último Capítulo, são apresentados os resultados obtidos com a aplicação do material e as considerações finais.

CAPÍTULO 2

REFERENCIAL TEÓRICO

Esta proposta de sequência didática e todo o processo de aplicação seguem as Orientações Educacionais aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+). De acordo com os conceitos apresentados cada disciplina ou área de saber abrange um conjunto de conhecimentos que não se restringem a tópicos disciplinares a competências gerais ou habilidades, mas constituem-se em sínteses de ambas as intenções formativas (Brasil, 2002).

Dentre os temas estruturadores propostos nos PCN+ para a Física destacamos: *O calor na vida e no ambiente* no qual podemos trabalhar conceitos relativos aos fenômenos atmosféricos e analisar as suas relações com as mudanças climáticas. De acordo com o proposto nos PCN+, temos:

Em todos os processos que ocorrem na natureza e nas técnicas, o calor está direto ou indiretamente presente. O estudo do calor pode desenvolver competências para identificar e avaliar os elementos que propiciam conforto térmico em residências ou outros locais, através da escolha adequada de materiais, tipo de iluminação e ventilação. Pode, também, promover competências para compreender e lidar com as **variações climáticas e ambientais** como efeito estufa, alterações na camada de ozônio e inversão térmica, fornecendo elementos para avaliar a intervenção da atividade humana sobre essas variações. [BRASIL, 2002, p. 70, grifo nosso].

Ainda relacionado ao tema estruturante *O calor na vida e no ambiente* nos PCN+ temos que:

- Compreender o seu papel na origem e manutenção da vida;
- Reconhecer os diferentes processos envolvendo calor e suas dinâmicas nos fenômenos climáticos para avaliar a intervenção humana sobre o clima;
- Identificar e avaliar os elementos que propiciam conforto térmico em ambientes fechados como sala de aula, cozinha, quarto, etc., para utilizar e instalar adequadamente os aparelhos e equipamentos de uso corrente.

A partir dos referenciais propostos pelos PCN+, o trabalho desenvolvido tem como objetivo abordar o ensino de Calorimetria, Termodinâmica e Dinâmica dos Fluidos de um modo contextualizado aos fenômenos atmosféricos, em especial os ciclones tropicais (furacões). Esse trabalho se propõe a apresentar ao professor um meio para que este mostre os conceitos físicos com sentido e significados para que compreendamos os fenômenos aos quais podemos estar submetidos. Ao aluno, este trabalho busca dar subsídios para que compreenda melhor as transformações pelas quais passa o clima de nosso planeta. Os PCN+ nos colocam a necessidade de que o ensino de ciências, em especial a Física, esteja mais próximo do cotidiano dos educandos de modo que eles sejam capazes de interpretar o mundo à sua volta de forma crítica e que consigam lidar com os desafios que se apresentam neste mundo cada vez mais tecnológico.

O ensino de Física é pautado por um formalismo matemático, sendo muito abstrato para a maioria dos estudantes. Em geral, os conteúdos são abordados de uma maneira pouco atraente para o estudante, sem que este consiga associar tais conhecimentos ao que vivencia em seu dia a dia. No entanto, o do Ensino Médio proposto pelos PCN+ não deve ser apenas uma etapa preparatória para o ensino superior mas deve ser responsável por concluir a educação básica, ou seja, deve preparar o educando para a vida, qualificar para a cidadania e capacitar para o aprendizado permanente (BRASIL, 2002). De acordo com os PCN+:

É indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física, privilegiando-se o fazer, o manusear, operar, agir em diferentes formas e níveis. É dessa forma que se pode garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, desenvolvendo sua curiosidade e o hábito de sempre indagar, evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável. (BRASIL, 2002, p. 81)

De acordo com o proposto pelos PCN+ (2002) é função do professor estimular os alunos a acompanharem as informações divulgadas pelos meios de comunicação, assim eles poderão desenvolver os conceitos físicos e o senso crítico. Assim, segundo os PCN+, “Poderão ser promovidas também competências para compreender e lidar com as variações climáticas e ambientais ou, da mesma forma, com os aparatos tecnológicos que envolvem o controle de calor em ambientes (BRASIL, 2002, p.70). Ainda segundo os PCN+:

[...] promover competências para compreender e lidar com as variações climáticas e ambientais como efeito estufa, alterações na camada de ozônio e inversão térmica,

fornecendo elementos para avaliar a intervenção da atividade humana sobre essas variações. Para isso, será indispensável identificar fontes de energia térmica e percursos do calor, investigando propriedades de substâncias e processos de transformação de energia. A irreversibilidade dos processos térmicos será indispensável para que se compreendam tanto o sentido do fluxo de calor como a “crise de energia”, assim como limites em sua utilização. (BRASIL, 2002, p. 73).

No processo de ensino existem várias vertentes pedagógicas que são utilizadas como metodologia de ensino, porém é comum que se utilize mais de uma teoria para que os objetivos sejam atingidos. Esse trabalho foi concebido a partir das teorias pedagógicas de David P. Ausubel e Delizoicov & Angotti para que se possa atingir os objetivos propostos.

David P. Ausubel publicou, no ano de 1963, um artigo sobre a teoria da Aprendizagem Significativa, no qual ele explicita um processo de aquisição do conhecimento baseada no cognitivismo, que se propõe em explicar os mecanismos internos que levam a mente humana a compreender o mundo através de conceitos (MOREIRA, 1982).

Segundo a teoria de David P Ausubel, o indivíduo possui conhecimentos prévios relevantes que são chamados de subsunçores ou ideia âncora. De acordo com Moreira (2013, p. 6), “(...) *subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto*”.

Esse novo conhecimento passará a ter significado para o estudante, assim o conhecimento prévio se tornará mais estável, elaborado, enriquecido e modificado (VALADARES E MOREIRA, 2009).

Os subsunçores são adquiridos a partir da relação do indivíduo com o meio em que está inserido. Utilizando os conceitos de subsunçores para o ensino de Física, de acordo com Moreira (2013), um estudante que já possui conhecimento sobre a Lei da Conservação da Energia aplicada à Energia Mecânica compreende situações que envolvam energia cinética e potencial, com isso formará um conhecimento prévio acerca da conservação de energia. Porém, caso a Primeira Lei da Termodinâmica seja tratada baseando-se na Lei da Conservação da Energia, o estudante irá “relacionar” o subsunçor previamente formulado acerca dos conceitos de Conservação da Energia. A partir do que lhe foi apresentado, o estudante compreenderá que esse conceito é aplicado tanto na Mecânica quanto na Termodinâmica.

A cada nova aprendizagem significativa adicionada ao conceito de conservação da energia, este servirá como pressuposto para outros conhecimentos como, por exemplo,

conservação da quantidade de movimento, conservação do momento angular, corrente elétrica e carga elétrica, entre outros.

À medida que o estudante é apresentado a novos conhecimentos, o subsunçor ficará mais estável, elaborado, e possibilitará que novas aprendizagens sejam adquiridas mais facilmente. Entretanto, como essa é uma estrutura cognitiva, caso ela não seja utilizada frequentemente, poderá ser esquecida, porém se a aprendizagem foi significativa ela poderá ser resgatada mais facilmente.

A aprendizagem significativa necessita dos subsunçores, que quando acionados ao adquirirem novos conhecimentos torna-os significativos. Entretanto, se durante o “acionamento” desses subsunçores ocorrerem falhas, significa que ocorreu uma aprendizagem mecânica. Esse tipo de aprendizagem baseia-se na memorização literal, sem significado, que rapidamente pode ser esquecida pois não ocorreu a formação consolidada de subsunçores.

Ao contrário do que possa parecer, aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa fazem parte de um mesmo processo contínuo, separados por uma zona cinzenta, onde ocorre a formação e consolidação dos subsunçores, que estabilizam a aprendizagem significativa. Caso não haja as condições adequadas que originem novos subsunçores, a aprendizagem continuará mecânica. A figura a seguir ilustra o esquema do contínuo de aprendizagem significativa – aprendizagem mecânica, no qual percebe-se que a maior parte da aprendizagem ocorre na zona cinza. Um ensino potencialmente significativo facilitará a transição entre a aprendizagem mecânica e a aprendizagem significativa.

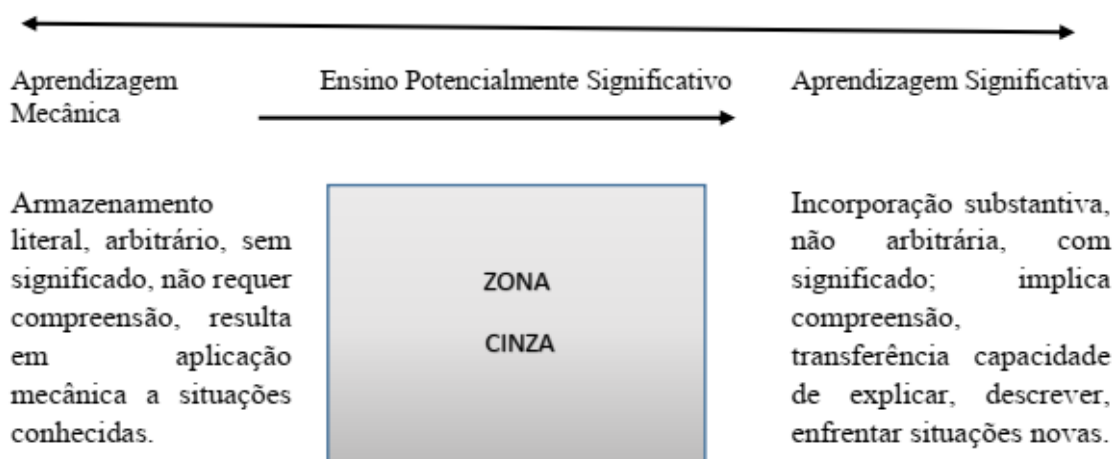


Figura 1- O contínuo da aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica. Fonte: Moreira (2011, p.32)

Segundo Moreira (2013) a passagem da aprendizagem mecânica para a aprendizagem significativa não é natural, ou automática, ela dependerá de alguns fatores para que ocorra, tais como a existência de subsunçores adequados, da predisposição do estudante em aprender, a existência de materiais potencialmente significativos e da mediação do professor. A aprendizagem significativa pode ocorrer de duas maneiras, por recepção ou por descoberta. Na primeira maneira, o estudante “recebe” o conhecimento que deve ser aprendido, em sua forma final, ou seja, o estudante não precisa descobrir para aprender. Porém, não significa que o estudante ficará passivo, pois necessita de muita atividade cognitiva para relacionar os novos conceitos à sua estrutura cognitiva. Na aprendizagem por descoberta, o estudante necessita inicialmente descobrir o que irá aprender, após ocorrer a descoberta as condições para aprendizagem significativa são as mesmas sendo o conhecimento prévio adequado e a predisposição para aprender.

Para que ocorra a aprendizagem significativa são necessárias duas condições segundo Moreira (2013). A primeira trata do material de aprendizagem, pois este deve ser potencialmente significativo ao estudante, ou em outros termos, é o próprio estudante quem irá atribuir significado ao material que lhe é apresentado. Esse material apresentado precisa possuir significado lógico e bem organizado, pode ser um enunciado, uma pergunta, um filme, uma demonstração etc., o importante é que ele mostre uma relação aos conhecimentos já presente na estrutura cognitiva do estudante, e essa relação deve ocorrer de modo não-aleatório e com concordância entre os conhecimentos. Moreira (2013) ressalta que o material só pode ser potencialmente significativo, pois o significado está nas pessoas e não nos materiais.

A segunda condição trata da predisposição em aprender. Para Moreira (2013) essa condição mostra-se mais difícil de ser satisfeita, pois o estudante deve relacionar os novos conhecimentos, de maneira não arbitrária e não literal, aos conhecimentos que já possui. Não significa apenas motivação, ou gostar da matéria, observa-se que é necessário que o estudante se mostre disposto a interagir com os novos conhecimentos, de modo que ele construa uma estrutura cognitiva que o leve a aprender significativamente. Entretanto, caso não haja uma interação satisfatória entre os conhecimentos prévios e os novos conhecimentos do estudante, não ocorrerá uma ancoragem e as informações serão armazenadas arbitrariamente e de forma literal, ocasionando uma aprendizagem mecânica.

Portanto, para que ocorra a aprendizagem significativa é essencial que os estudantes possuam subsunçores que os levem a relacionar os conhecimentos adquiridos com a sua

estrutura cognitiva. Entretanto, para o caso em que o estudante não possua os subsunções adequados a esses novos conhecimentos, Ausubel indica o uso de organizadores prévios. Eles são recursos instrucionais propostos por Ausubel, que tem o objetivo de proporcionar a aprendizagem significativa fazendo a conexão entre os conhecimentos que o estudante possui, e o que ele deveria possuir para obter a aprendizagem significativa.

Para que possamos atingir os objetivos de aprendizagem utilizaremos a metodologia desenvolvida por Demetrio Delizoicov e José Peres Angotti baseada na vertente pedagógica de Paulo Freire. Segundo Delizoicov & Angotti (2009), a prática docente é definida a partir de três instantes pedagógicos: Estudo da Realidade (ER), Organização do Conhecimento (OC) e Aplicação do Conhecimento (AC). O ER parte do mundo cotidiano dos educandos, em que são discutidos uma problematização inicial acerca do assunto proposto. Nesse instante, de acordo como são apresentados aos estudantes situações, questões ou problemas reais que os estudantes conheçam, mas que necessitam o conhecimento das teorias científicas para interpretá-las. O objetivo primordial dessa problematização é fazer com que o estudante sinta a necessidade de novos conhecimentos que não possui.

Segundo Delizoicov & Angotti (2009), a Organização de Conhecimento (OC) é o instante em que após os conhecimentos necessários para o entendimento dos temas e da problematização inicial serem selecionados, devem ser sistematicamente estudados com a orientação do professor. Diversas atividades devem ser empregadas pelo professor nesse momento, de modo que se desenvolva a conceituação científica identificada como necessárias para a compreensão científica das situações problematizadas. É nesse momento que se faz uso da resolução de problemas e exercícios para ajudar na apropriação de conhecimentos específicos. Porém, Delizoicov & Angotti (2009) destacam que esse é apenas um dos aspectos da problematização necessária para a formação do estudante, e não se deve supervalorizar essa prática docente em detrimento da investigação e elaboração de problemas de outra natureza.

O terceiro momento é o da Aplicação do Conhecimento (AC), sendo esse momento usado para abordar sistematicamente o conhecimento que foi apresentado ao aluno que o utiliza para analisar e interpretar tanto situações iniciais, quanto outras situações diferentes, que podem ser compreendidas através do mesmo conhecimento.

De acordo com Delizoicov & Angotti (2015) o objetivo deste momento é o de habilitar os estudantes a utilizarem conhecimentos de forma a articular constante e rotineiramente o

conhecimento científico com situações reais, ao invés de apenas encontrarem a solução após empregar algoritmos matemáticos.

Os três momentos pedagógicos ajudam no processo de aquisição do conhecimento, para que a aprendizagem seja significativa. Embora o objetivo seja tornar a aprendizagem significativa para o estudante, o sistema de ensino ainda cobra uma avaliação que medirá a aquisição do conhecimento de um modo mecânico, como a aplicação de provas. De acordo com Moreira (2015), a avaliação na perspectiva de Ausubel é drástica, pois se propõe ao estudante uma nova situação, desconhecida, em que ele deve utilizar os novos conhecimentos adquiridos.

CAPÍTULO 3

ELEMENTOS DE TERMODINÂMICA E MECÂNICA DOS FLUIDOS

3.1 TERMODINÂMICA

A Termodinâmica estuda fenômenos térmicos que são descritos a partir de variáveis macroscópicas. Obter as leis da Termodinâmica a partir de propriedades microscópicas é o objeto de estudo da Mecânica Estatística. O estudo de sistemas envolvendo muitas partículas é demasiadamente complexo, mesmo para um sistema na fase gasosa, pois as moléculas de um gás não são tratadas isoladamente, interagem entre si através de forças intermoleculares. Elas possuem um movimento desordenado e para estudá-las devemos utilizar as leis da mecânica em conjunto com métodos estatísticos, usualmente desenvolvidos dentro da Matemática. Através de médias apropriadas das grandezas físicas envolvendo um grande número de partículas podemos ter uma descrição macroscópica do sistema em análise. Em geral, para sistemas simples que atingiram o estado de equilíbrio, usualmente utilizamos três variáveis para caracterizar o seu estado: temperatura (T), pressão (P) e o volume (V). Neste Capítulo apresentamos uma abordagem simplificada das ideias e conceitos de Termodinâmica utilizados nesta dissertação baseada no livro de Herch Moysés Nussenzveig [NUSSENZVEIG, 2015].

Quando colocamos um fluido dentro de um calorímetro com paredes adiabáticas, pode-se alterar sua temperatura inicial T_i até uma temperatura final T_f através da realização de trabalho mecânico. Esse trabalho sobre o sistema termicamente isolado denomina-se trabalho adiabático. Se um fluido homogêneo se encontra em equilíbrio térmico, pode-se determinar o seu estado a partir de somente duas de suas variáveis de estado que são a pressão (P), volume (V) e temperatura (T).

Durante 30 anos, James Prescott Joule realizou experimentos na tentativa de obter o equivalente mecânico para a caloria. Joule apresentou seus primeiros resultados em 1847, em Oxford, porém apenas um outro cientista interessou-se pelos resultados, William Thomson, que posteriormente viria a ser conhecido como Lord Kelvin.

Na realização dos experimentos, Joule utilizou um aparelho chamado calorímetro, conforme esquematizado na figura a seguir.

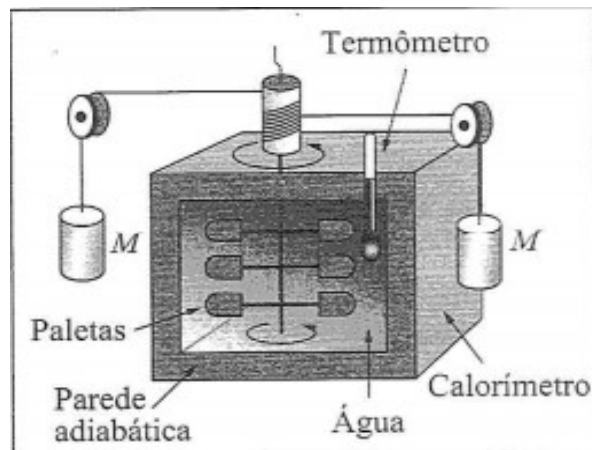


Figura 2 - Experimento de Joule. Fonte: Nussenzveig (2015)

Segundo Nussenzveig, o experimento de Joule pode ser descrito como:

Num calorímetro (recipiente de paredes adiabáticas, ou seja, termicamente isolados) cheio de água, é inserido um conjunto de paletas presas a um eixo. Este é colocado em rotação pela queda de um par de pesos (massas M), através de um sistema de polias. O atrito das paletas aquece a água, cuja variação de temperatura, determinada por um termômetro, corresponde a um certo número de calorias. O trabalho mecânico equivalente é medido pela altura de queda dos pesos. [NUSSENZVEIG, 2015, pp. 174]

Joule fez os experimentos fazendo diversas modificações, como a natureza do fluido aquecido e do material das paletas, e até mesmo do processo de aquecimento. Uma das alterações feitas por Joule foi a substituição das paletas por um fio elétrico, que sofria aquecimento pela passagem de uma corrente elétrica. Assim a energia mecânica equivalente corresponde ao trabalho para alimentar o gerador.

Ao realizar seus experimentos, Joule manteve o volume V do fluido constante, de tal forma que o seu estado ficava determinado por sua temperatura. Joule realizou trabalho adiabático de diversas maneiras, porém percebeu que ao mudar do estado inicial i para o estado final f o trabalho adiabático necessário era sempre constante.

Na figura abaixo representamos o diagrama P versus V de um fluido ideal termicamente isolado, cujo volume pode variar através de trabalho realizado por um pistão móvel, exibindo os seus estados inicial (P_i, V_i) e final (P_f, V_f) .

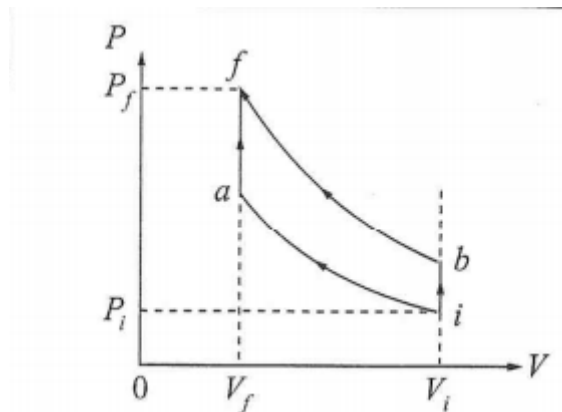


Figura 3- Diagrama PxV. Fonte: Nussenzveig (2015)

Se partirmos do ponto inicial i com as coordenadas (P_i, V_i) , pode-se comprimir adiabaticamente o gás até o volume final V_f , em seguida aumentamos a pressão até atingir o ponto final f de coordenadas (P_f, V_f) em que se fornece trabalho adiabático a volume constante V_f , conforme feito por Joule nos experimentos com a utilização de uma resistência e um gerador de corrente elétrica.

Outro modo de começar a passagem do estado inicial (V_i, P_i) para o estado final (V_f, P_f) é começar com volume V_i constante, para que o sistema atinja o ponto b do gráfico acima, em seguida com uma compressão adiabática, o gás atingirá o volume final V_f . Esse sistema mantém-se isolado de i até f . [NUSSENZVEIG, 2015]

Ao analisarmos os dois processos possíveis para ir do estado inicial i até o estado final f , percebe-se que o trabalho adiabático total é sempre o mesmo. Baseado nesse fato, pode-se enunciar a primeira lei da Termodinâmica como sendo:

“O trabalho realizado para levar um sistema termicamente isolado de um dado estado inicial a um estado final é independente do caminho”

A partir do enunciado da primeira lei da Termodinâmica, podemos deduzir que esse trabalho adiabático depende apenas dos estados inicial e final. Assim, podemos pensar na existência de uma função de estado do sistema termodinâmico denominada energia interna U e que sua variação entre os estados inicial e final é igual ao trabalho adiabático necessário para o sistema ir de i até f :

$$\Delta U = U_f - U_i = -W_{i \rightarrow f} \text{ (adiabático)} \quad (1)$$

Note-se que a energia interna de um sistema só aumentará ($\Delta U > 0$) se o trabalho for realizado sobre o sistema ($W_{i \rightarrow f} < 0$). Para o processo adiabático inverso, ou seja, ir de f para i, podemos reescrever a equação da variação da energia interna como sendo:

$$\Delta U = U_f - U_i = + W_{f \rightarrow i} \text{ (adiabático)} \quad (2)$$

Importante destacar que os processos naturais normalmente não são reversíveis. A energia interna pode ser determinada por uma ou outra equação. Como a energia interna de um sistema termodinâmico é uma função de estado, se o fluido é homogêneo, podemos definir U a partir de duas variáveis de estado, escolhidas entre (P, V, T). Assim podemos reescrever U como sendo:

$$U = U(P, V) ; U = U(P, T) ; U = U(V, T) \quad . \quad (3)$$

No experimento de Joule, o estado inicial i do fluido é modificado para o estado final f através de um processo adiabático. Porém, pode-se ir do estado inicial i ao estado final f não somente através da realização de trabalho mecânico. Por exemplo, podemos conseguir o mesmo objetivo através da troca de calor pelas paredes do recipiente, que nesse caso são diatérmicas.

Como o sistema não é mais adiabático, a variação da energia interna não é mais dada apenas por $W_{i \rightarrow f}$. Assim, através da 1ª lei da Termodinâmica podemos definir o calor Q transferido ao sistema como contribuição à ΔU . Desta forma, podemos generalizar a 1ª lei da Termodinâmica, escrevendo que

$$\Delta U = U_f - U_i = Q - W_{i \rightarrow f} \quad . \quad (4)$$

Logo, $\Delta U > 0$ quando $Q > 0$ ou se $W_{i \rightarrow f} < 0$. Essa é a definição termodinâmica de Q, medido em unidades de energia. Assim, a partir dessa equação podemos enunciar a 1ª lei da Termodinâmica da seguinte maneira:

A energia se conserva quando levamos em conta o calor.

“Em qualquer processo termodinâmico entre os estados de equilíbrio i e f de um sistema, a grandeza $Q+W$ possui o mesmo valor para qualquer caminho entre esses estados. Esta grandeza é igual à variação no valor da função de estado chamada energia interna”.

Considere um calorímetro com paredes perfeitamente adiabáticas e no qual são colocados dois corpos A e B em contato térmico. Como não há trabalho sendo realizado, teremos

$$\Delta U_A = Q_A, \Delta U_B = Q_B. \quad (5)$$

Logo, sendo o calorímetro formado por paredes adiabáticas ($Q = 0$) e como $W_{i \rightarrow f} = 0$, temos então que

$$\Delta U = \Delta U_A + \Delta U_B = 0; Q_B = -Q_A, \quad (6)$$

e todo o calor cedido por A é transferido para B, o que nesse caso leva a uma variação nas temperaturas iniciais desses dois corpos.

3.2 PROCESSOS REVERSÍVEIS

Imaginemos um recipiente com paredes adiabáticas, no qual está contido um gás em equilíbrio térmico. Suponha que o recipiente seja cilíndrico, contendo um pistão móvel, possuindo área da base A e uma altura x , sendo que o gás ocupa o volume $V = Ax$. O gás exerce uma força sobre o pistão, onde $F = PA$. Suponha que o pistão tenha um movimento infinitesimal dx e provoque um aumento no volume do gás. Dessa forma o fluido ao se expandir realiza um trabalho que é dado por

$$d'W = Fdx = PA dx = PdV, \quad (7)$$

sendo que $dV = Adx$ é a variação de volume do fluido. Assim, se repetirmos esse procedimento, produzindo um aumento de volume, gradual e finito, podemos considerar que o processo é reversível. As condições necessárias para isso ocorrer são as seguintes:

O processo se realiza muito lentamente.

O atrito é desprezível.

Se considerarmos dois recipientes interligados, separados por uma válvula e que em um deles está contido um gás e o outro vazio, após a abertura da válvula, o gás se expandirá e ocupará todo o volume disponível de ambos os recipientes. Nesse processo tanto o volume quanto a pressão sofrem variações bruscas, porém o gás não realiza trabalho externo durante essa expansão livre. Esse processo é irreversível. Para se ter um processo reversível, ele deve ser realizado de forma extremamente lenta, o que é denominado de processo quase-estático.

A segunda condição necessária é que não haja atrito entre o pistão e as paredes do recipiente. Porém, caso exista algum atrito, a força que deverá ser aplicada para o pistão vencer o atrito é obtida pela diferença entre a pressão externa P' e a pressão P do gás, em que $P' < P$. Portanto, a diferença entre os trabalhos interno (PdV) e externo ($P'dV$) representa o calor gerado pela força de atrito. Assim, um processo de expansão quase-estático e sem atrito é reversível. Portanto, podemos definir o trabalho realizado por um fluido em um processo reversível onde o volume passa de V_i para V_f como sendo

$$W_{i \rightarrow f} = \int_{V_i}^{V_f} d'W = \int_{V_i}^{V_f} PdV \quad . \quad (8)$$

Esse trabalho realizado em um processo reversível pode ser representado num diagrama P versus V , sendo $W_{i \rightarrow f}$ a área entre a curva $P = P(V)$ e o eixo dos V , entre V_i e V_f .

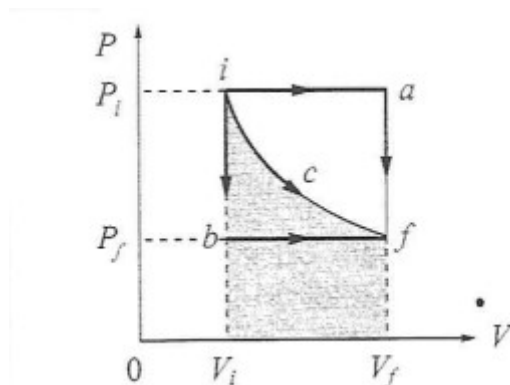


Figura 4 - Diagrama $P \times V$ de um fluido. Fonte: Nussenzveig [2015]

Num processo reversível, da mesma forma que o trabalho, o calor Q depende do caminho, ou seja, não existe uma função de estado para o trabalho e nem para o calor. Não podemos dizer que Q represente o “calor contido no sistema”.

Utilizando-se a equação que define o calor Q , podemos escrever a equação infinitesimal referente à primeira lei da Termodinâmica na forma

$$dU = d'Q - d'W, \quad (9)$$

onde dU é uma diferencial exata, e que $d'Q$ e $d'W$ são diferenciais inexatas, que dependem do caminho.

3.3 TIPOS DE PROCESSOS

Dentre os processos termodinâmicos vamos caracterizar três deles: processo cíclico, processo isobárico e processo adiabático.

a) Processo Cíclico

O cíclico é um processo em que o sistema termodinâmico sempre retorna ao seu estado inicial, ou seja, não há variação em sua energia interna, $\Delta U = 0$. Logo, todo o calor fornecido ao sistema é convertido em trabalho,

$$W = Q$$

b) Processo Isobárico

Nesse tipo de processo a pressão permanece inalterada, conforme ilustrado a seguir no diagrama $P \times V$.

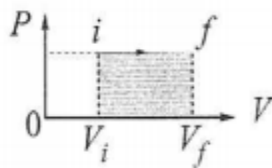


Figura 5 - Diagrama P versus V de um processo isobárico. Fonte: Nussenzveig [2015]

A partir dessa definição, o trabalho pode ser escrito como sendo

$$W_{i \rightarrow f} = P \int_{V_i}^{V_f} dV = P (V_f - V_i), \quad (10)$$

portanto, a primeira lei da Termodinâmica, é escrita na forma

$$\Delta U = U_f - U_i = Q - P(V_f - V_i) \quad . \quad (11)$$

c) Processo Adiabático

Num processo adiabático não há trocas de calor entre o sistema e o meio externo, $Q = 0$. Assim, a primeira lei da Termodinâmica toma a seguinte forma:

$$\Delta U = U_f - U_i = -W_{i \rightarrow f} \quad . \quad (12)$$

Embora utilizemos a primeira lei da Termodinâmica nos processos reversíveis, para os quais podemos calcular as trocas de calor e trabalho quando a trajetória seguida pelo sistema está bem definida, essa lei vale também para os processos irreversíveis. De fato, a primeira lei da Termodinâmica representa o princípio da conservação da energia.

Na atmosfera existem alguns processos em que a quantidade de calor adicionado ou retirado é muito pequena, suficiente para que o processo seja considerado aproximadamente adiabático. Em consequência desse fato, para o ar na atmosfera, vale o que podemos chamar de forma adiabática da primeira lei da Termodinâmica:

“A temperatura do ar se eleva (ou cai) quando a pressão cresce (ou diminui)”.

O processo adiabático que é responsável pela formação de nuvens é o resfriamento por expansão. A pressão de uma camada de ar cai à medida que este sobe na atmosfera. Ao subir e se expandir ele realiza trabalho sobre o ar próximo. Essa energia utilizada durante a expansão vem da energia interna da camada de ar e, por consequência, a temperatura cai e o volume aumenta. Ao descer na atmosfera o ar se aquece por compressão [HEWITT, 2015].

3.4 MECÂNICA DOS FLUIDOS

Inicialmente, é necessário definirmos o que é um fluido e quais são suas características. Podemos definir um fluido como sendo uma substância que não possui forma própria e que ao ser submetida a qualquer força tangencial sofrerá escoamento, ou seja, fluirá. Os líquidos, que são um dos tipos de fluidos, são praticamente incompressíveis, mantêm o seu volume, porém não possuem forma definida. Os gases não possuem forma e nem volume definidos, e ocupam o volume total do recipiente que os contém.

Uma diferença entre sólidos e líquidos, está no comportamento das substâncias ao serem submetidas à ação de forças tangenciais. Um sólido quando submetido à ação de forças tangenciais externas, deforma-se, até que forças tangenciais internas se equilibrem e, após isso, permanece em repouso. Após cessar a ação da força externa, caso sua intensidade não tenha sido muito grande, retorna à situação inicial. A deformação causada pela força externa nesse caso é chamada de deformação elástica.

Entretanto, os fluidos não conseguem manter o seu estado de equilíbrio ao serem submetidos à ação de uma força tangencial externa; dessa maneira, ele escoar enquanto a força estiver sendo aplicada. Um outro fator que influencia na deformação de um fluido é a sua viscosidade. Se a resistência ao deslocamento de camadas for grande, implica que sua velocidade de deformação será pequena, ou seja, maior será a sua viscosidade. Num fluido, a resistência a forças tangenciais depende da velocidade de deformação. Assim, forças pequenas podem produzir grandes deformações, desde que atuem por longos períodos.

3.5 PRESSÃO NUM FLUIDO

Um fluido quando colocado em repouso exerce uma força perpendicular sobre qualquer região com a qual ele esteja em contato. Mesmo que o fluido esteja em repouso, as partículas que o compõem estão em movimento. O resultado das colisões ocorridas entre as partículas em movimento é a força aplicada pelo fluido. [FREEDMAN 2004].

Podemos definir a densidade ρ em um ponto P de um fluido como sendo:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta m}{\Delta V} \right) = \frac{dm}{dV},$$

em que Δm é a massa de um volume ΔV do fluido, localizado próximo ao ponto P. Como ΔV é um infinitésimo físico, o limite $\Delta V \rightarrow 0$, então temos que a densidade terá uma variação contínua na escala macroscópica. No Sistema Internacional (SI) a densidade é expressa em kg/m^3 .

Podemos classificar as forças que atuam sobre um fluido contínuo como sendo forças volumétricas e forças superficiais (Nussenzveig 2015). A gravidade é uma dessas forças volumétricas e são consideradas de longo alcance, pois atuam em qualquer ponto do meio onde a resultante de forças sobre o elemento de volume depende do seu volume. Nesse caso particular, podemos determinar ΔF , que é a força sobre o elemento de volume como sendo:

$$\Delta F = \Delta mg = \rho g \Delta V,$$

onde ρ é a densidade do meio e g é a aceleração da gravidade.

De acordo com Freedman [2004], podemos definir a pressão P em um ponto de uma superfície no interior de um fluido como sendo a razão entre dF_{\perp} e dA .

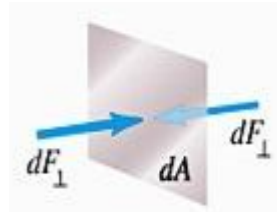


Figura 6 - Uma pequena área imaginária dA , submetida a ação de forças normais dF . Fonte: Nussenzveig [2015]

$$P = \frac{dF_{\perp}}{dA},$$

onde dF_{\perp} é a força normal exercida pelo fluido em cada um dos lados e dA é uma pequena área de superfície. Caso não haja diferença de pressão em qualquer ponto da superfície plana de área

A , podemos definir P então como sendo $P = \frac{F_{\perp}}{A}$.

A unidade de pressão no SI é o Pascal, onde $1 \text{ Pascal} = 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$. Também são utilizados o bar = $10^5 \text{ N/m}^2 = 10 \text{ N/cm}^2 = 10^3$ milibars, a atmosfera = $1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, e o milímetro de mercúrio $1 \text{ mmHg} = 1,316 \times 10^{-3} \text{ atm}$.

3.6 EQUILÍBRIO NUM CAMPO DE FORÇAS

Considere um fluido em equilíbrio em um campo de forças, e que sobre uma fração de volume ΔV desse fluido atue uma força volumétrica definida por:

$$\Delta F = f \Delta V, \quad (1)$$

sendo f a densidade de força em um campo gravitacional dada por

$$f = \rho g. \quad (2)$$

Considere um elemento de volume cilíndrico localizado nesse fluido em equilíbrio. A força volumétrica na direção z que atua no cilindro é dada por

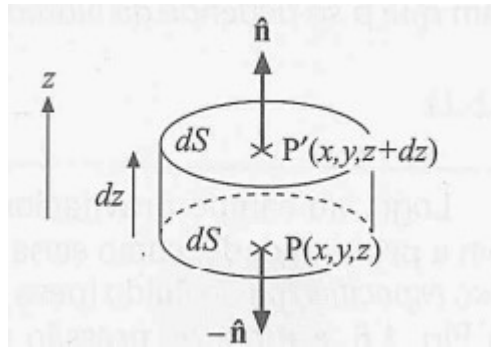


Figura 7 - Equilíbrio de um cilindro. Fonte: Nussenzveig [2015]

$$f_z dS dz . \quad (3)$$

Os pontos P e P' do elemento de volume, possuem coordenadas respectivamente iguais a (x, y, z) e (x, y, z + dz).

A contribuição das forças superficiais é dada por

$$[-p(x, y, z + dz) + p(x, y, z)] dS . \quad (4)$$

Após somarmos as equações (3) e (4) obtemos a taxa de variação da pressão na componente z que torna-se

$$(f_x - \frac{\partial p}{\partial z}) dS dz = 0 , \text{ ou seja,}$$

$$f_z = \frac{\partial p}{\partial z} . \quad (5)$$

Procedendo da mesma forma para as duas outras direções x e y, obtemos

$$f_x = \frac{\partial p}{\partial x} ; f_y = \frac{\partial p}{\partial y} ; f_z = \frac{\partial p}{\partial z} , \quad (6)$$

que são as equações básicas da estática dos fluidos. Podemos reescrever a última equação em função do gradiente e obtemos

$$\vec{f} = \text{grad } p , \quad (7)$$

logo, a densidade volumétrica é igual ao gradiente de pressão.

O gradiente de pressão (grad p) é sempre perpendicular às superfícies isobáricas e indica em qual sentido p cresce mais rápido. Esse sentido de crescimento de p, coincide com a direção e sentido da força volumétrica aplicada no fluido. Como vimos, um exemplo de força volumétrica sobre o fluido é a força gravitacional, cuja densidade é dada por

$$\vec{f} = \rho \vec{g} = -\rho g \mathbf{k} , \quad (8)$$

onde tomamos o eixo z orientado verticalmente para cima. Logo $f_x = f_y = 0$, e as equações (6) permitem deduzir que p só depende da altitude z, $p = p(z)$, sendo que

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g \quad . \quad (9)$$

Assim, em um campo gravitacional, a pressão em um fluido diminui quanto maior a altitude e aumenta com a profundidade. A sua taxa de variação com a altitude é dada pelo peso específico do fluido ρg .

3.7 PRESSÃO ATMOSFÉRICA

O experimento de Torricelli surge como solução para um problema prático durante a construção de um jardim para o duque da Toscana. Torricelli afirmou que “vivemos no fundo de um oceano de ar, que conforme mostra a experiência, sem dúvida tem peso”, com isso o corpo sofreria a ação de uma pressão atmosférica.

Esta pressão conseguia elevar uma coluna de água a aproximadamente 10m de altura. A partir desse dado Torricelli supôs que uma coluna de mercúrio seria elevada até uma altura de 76cm, pois ele é 13,76 vezes mais denso que a água.

Essa experiência só foi realizada em 1643, pelo amigo de Torricelli, chamado Vincenzo Viviani, o qual utilizou um tubo com 1m de comprimento, cheio de mercúrio e fechado em uma das extremidades. O tubo foi colocado invertido, dentro de uma tigela com mercúrio, porém a extremidade aberta estava fechada com o dedo. Viviani observou que a coluna de mercúrio desceu até a altura de aproximadamente 76cm. Sabendo que acima da coluna de mercúrio forma-se um vácuo, a pressão atmosférica p_0 é dada por $p_0 = \rho g h$, em que ρ é a densidade do mercúrio, g a aceleração local da gravidade e h a altura da coluna de mercúrio. Esse foi o primeiro barômetro inventado.

Pascal previu que se repetisse a experiência de Torricelli no topo de uma montanha, obteriam como resultado uma pressão atmosférica menor. Em 1648, na montanha Puy de Dome, a 1000m de altura, o cunhado de Pascal, Périer, repetiu o experimento e observou que a coluna de mercúrio baixava aproximadamente 8cm.

3.8 VARIAÇÃO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA COM A ALTITUDE

A equação $\frac{dp}{dz} = -\rho g$ nos mostra que a pressão em um fluido depende da altitude.

Ao aplicarmos essa equação para um gás, é necessário considerar que ρ varia com a pressão.

Em laboratório, o gás contido em um recipiente pode ser considerado sem variação de pressão, pois ρ varia muito pouco dada a pequena distância entre o topo e a base do recipiente. Entretanto, essa relação não pode ser usada para a atmosfera onde as distâncias são de quilômetros.

Para a atmosfera, em altitudes $\geq 1\text{km}$, podemos considerá-la isotérmica, e assim utilizarmos a lei dos gases perfeitos. Nesse caso a densidade é proporcional à pressão, logo:

$$\frac{\rho(z)}{p(z)} = \frac{\rho(0)}{p(0)} = \frac{\rho_0}{p_0} \quad , \quad (10)$$

onde $z = 0$, é o nível do mar.

Ao substituírmos essa última igualdade na equação (9), obtemos:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{\rho_0 g}{p_0} dz = -\lambda dz \quad , \quad (11)$$

onde definimos a constante $\lambda = \rho_0 \frac{g}{p_0}$.

Ao integrarmos a equação (11), obteremos a lei de Halley, ou seja,

$$\begin{aligned} \int_{p_0}^p \frac{dp'}{p'} &= \ln p' \Big|_{p_0} = \ln p - \ln p_0 = \ln (p/p_0) \\ &= -\lambda \int_0^z dz' = -\lambda z \quad . \end{aligned} \quad (12)$$

Temos assim a Lei de Halley, dada por $p(z) = p_0 e^{-\lambda z}$, com $\lambda = \frac{\rho_0 g}{p_0}$.

A lei de Halley nos mostra que em uma atmosfera isotérmica, a pressão decresce exponencialmente com altitude. Ao considerarmos a temperatura do ar em 15°C , a densidade ao nível do mar à pressão de $1\text{atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ é $\rho_0 \approx 1,226 \text{ kg/m}^3$, temos que $1/\lambda \cong 8,4\text{km}$.

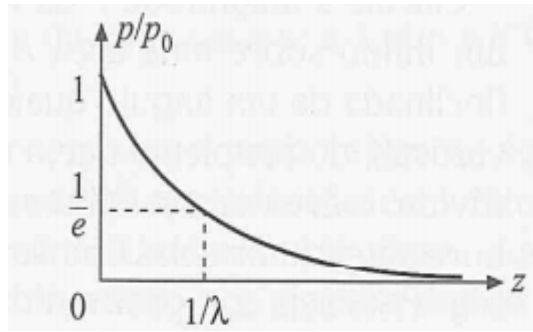


Figura 8 - Lei de Halley. Fonte: Nussenzveig [2015]

Na troposfera, a temperatura não permanece constante, ela tende a diminuir quanto maior for a altitude. Entretanto, para a estratosfera, localizada acima da troposfera, a aproximação isotérmica pode ser usada.

3.9 FORÇAS EM UM FLUIDO EM MOVIMENTO

A equação de movimento de uma partícula de um fluido de volume ΔV é obtida através da 2ª lei de Newton:

$$\Delta m \vec{a} = \rho \vec{a} \Delta V = \Delta \vec{F}_v + \Delta \vec{F}_s \quad , \quad (14)$$

onde \vec{a} é a aceleração da partícula, $\Delta \vec{F}_v$ é a resultante das forças volumétricas e $\Delta \vec{F}_s$ é a resultante de forças superficiais.

Quando as camadas de um fluido estão em movimento, surgem forças tangenciais devido à viscosidade. Num fluido perfeito, a viscosidade é desprezível, dessa maneira, não há tensões tangenciais mesmo quando há movimento desse fluido. Assim, a pressão num ponto do fluido independe da orientação do elemento de superfície, sobre o qual atua. Se o fluido perfeito estiver em movimento, sua pressão só dependerá da posição. Então, a resultante das forças volumétricas e das forças superficiais de pressão sobre um elemento de volume ΔV , é dada por

$$\Delta \vec{F}_v + \Delta \vec{F}_s = (\vec{f} - \text{grad } p) \Delta V \quad , \quad (15)$$

sendo que \vec{f} é a densidade de força volumétrica externa. Assim podemos determinar a equação de movimento de um fluido perfeito como sendo:

$$\rho \vec{a} = \vec{f} - \text{grad } p \quad . \quad (16)$$

Quando a densidade de força volumétrica externa se reduz à densidade de força gravitacional temos que:

$$\vec{f} = - \text{grad } (\rho g z) \quad . \quad (17)$$

Desta forma podemos escrever então que

$$\rho \vec{a} = - \text{grad } (p + \rho g z) . \quad (18)$$

Essa equação nos mostra que a pressão p se comporta como uma densidade de energia potencial.

3.10 EQUAÇÃO DE BERNOULLI

No século XVIII, o suíço Daniel Bernoulli, após fazer um estudo sobre o movimento de fluidos em tubos, descobriu o que mais tarde veio a ser chamado de Princípio de Bernoulli, que pode ser enunciado na seguinte forma:

“onde a rapidez do fluido cresce, a pressão interna do mesmo decresce”.

Esse princípio pode ser aplicado para situações em que a pressão não é afetada pelo atrito, turbulência ou variações de altura [HEWITT, 2015].

Suponha que tenhamos um tubo estreito, denominado de filete de corrente, por onde escoará um fluido perfeito incompressível, conforme ilustra a figura a seguir.

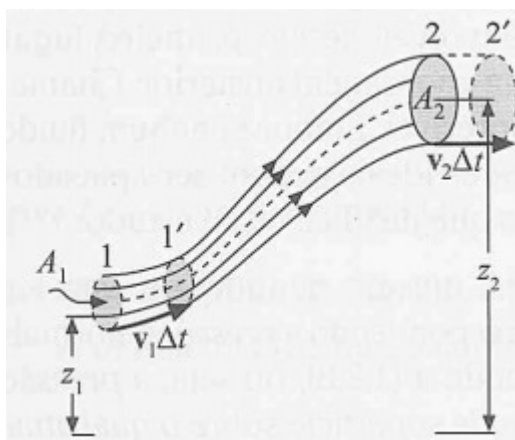


Figura 9 - Filete de corrente. Fonte: Nussenzveig [2015].

Em um intervalo de tempo muito pequeno Δt , ocorreu um escoamento estacionário e uma porção do filete entre as posições 1 e 1' foi deslocada para a região entre 2 e 2'. Como as massas dessas porções são iguais, temos então que:

$$\Delta m_1 = \rho A_1 v_1 \Delta t = \rho A_2 v_2 \Delta t = \Delta m_2 \quad . \quad (19)$$

Nesse caso a variação da energia cinética corresponde ao transporte dessas porções de fluido é dada por

$$\Delta T = \frac{1}{2} \Delta m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m_1 v_1^2 \quad . \quad (20)$$

Esse resultado corresponde ao trabalho realizado pelas forças de pressão e da gravidade sobre o sistema. O trabalho das forças de pressão é dado por

$$(p_1 A_1) (v_1 \Delta t) - (p_2 A_2) (v_2 \Delta t) \quad , \quad (21)$$

Enquanto que o trabalho das forças gravitacionais é dado por

$$-g (\Delta m_2 z_2 - \Delta m_1 z_1) \quad . \quad (22)$$

Somando-se as equações dos trabalhos e sabendo que essa variação é igual a variação da energia cinética teremos que

$$\frac{1}{2} \Delta m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m_1 v_1^2 = p_1 (A_1 v_1 \Delta t) - p_2 (A_2 v_2 \Delta t) - g (\Delta m_2 z_2 - \Delta m_1 z_1),$$

Como $A_1 v_1 \Delta t = \frac{\Delta m_1}{\rho}$ e $A_2 v_2 \Delta t = \frac{\Delta m_2}{\rho}$, e sendo $\Delta m_1 = \Delta m_2$, chegamos finalmente à seguinte equação

$$\frac{1}{2} v_2^2 + g z_2 + \frac{p_2}{\rho} = \frac{1}{2} v_1^2 + g z_1 + \frac{p_1}{\rho} \quad . \quad (23)$$

Esse resultado corresponde à conservação da energia por unidade de massa ao longo do filete. Então, para o fluido incompressível, multiplicando-se por ρ o resultado acima, obtemos a equação

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + p + \rho g z = C \quad . \quad (24)$$

Esse resultado, em que C é constante ao longo do filete, corresponde à equação de Bernoulli, que foi publicado por Daniel Bernoulli em seu tratado "Hidrodinâmica" em 1738.

Se dividirmos por ρg todos os termos da última equação, chegaremos a uma outra forma da equação de Bernoulli:

$$z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} = C' \quad , \quad (25)$$

onde $C' = \frac{C}{\rho g}$ também é uma constante, z é a altura do filete em relação ao plano horizontal, $\frac{v^2}{2g}$ determina a altura da qual um corpo deve cair em queda livre desde o repouso até atingir a velocidade v , é denominada altura cinética e $h = \frac{p}{\rho g}$ é a altura da coluna do fluido considerado correspondente à pressão p num barômetro, também chamada de altura piezométrica. Então, a equação de Bernoulli pode ser descrita como:

“A soma das alturas geométrica, cinética e piezométrica permanece constante ao longo de cada linha de corrente, no escoamento estacionário de um fluido incompressível no campo gravitacional”.

O princípio de Bernoulli pode ser usado para explicar diversas situações observada no dia a dia das pessoas. Por exemplo, a asa de um avião é construída em diversos formatos, porém a velocidade do ar que passa sobre a superfície da asa é maior do que aquela que passa em sua parte de baixo. A equação de Bernoulli indica que a pressão do lado de cima da asa é menor que a pressão na parte de baixo da asa, logo, há uma força F para cima, que sustenta o avião no ar.

Hewitt [2015] demonstra uma outra situação em que o princípio de Bernoulli pode ser aplicado, que é aquela ao considerarmos o vento soprando acima de um telhado inclinado conforme indicada na figura 6. O vento é acelerado quando passa por cima da cumeeira do telhado. A pressão ao longo das linhas de corrente é reduzida onde elas se aproximam umas das outras. A pressão mais elevada na parte interior do telhado pode erguê-lo e despregá-lo da casa. Durante uma tempestade, uma pequena diferença de pressão entre o interior e o exterior de uma casa, pode resultar numa enorme força sobre o telhado.

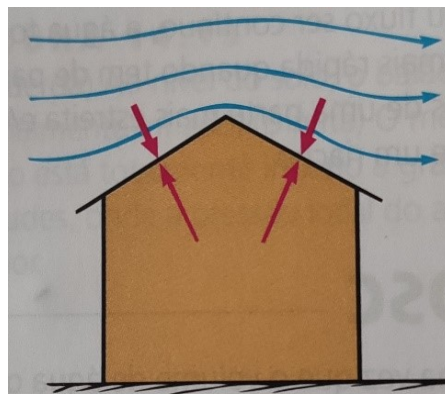


Figura 10 - A pressão do ar acima do telhado é menor do que a pressão do ar abaixo dele. Fonte: HEWITT [2015]

CAPÍTULO 4

DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL DESENVOLVIDO

O produto educacional desenvolvido é composto por:

- Um texto intitulado: *Mudanças Climáticas Globais e suas Consequências*
- Um texto intitulado: *Fenômenos Atmosféricos*
- Um texto intitulado: *Termodinâmica*
- Um texto intitulado: *A Física em um Ciclone Tropical*
- Uma atividade experimental: *Experimento sobre Processos Adiabáticos*
-

O material foi desenvolvido como uma sugestão de abordagem para professores de Física, sobre os conceitos de Termodinâmica e Dinâmica de Fluidos contextualizados com o tema Fenômenos Atmosféricos. O trabalho foi elaborado após uma pesquisa em artigos, livros e textos correspondentes ao tema escolhido e surge a partir da necessidade em trabalharmos questões relativas às mudanças climáticas e fenômenos atmosféricos, em particular o estudo de ciclones tropicais (furacões). O material proposto está em acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+).

O texto “*Mudanças Climáticas Globais e suas Consequências*” busca apresentar de forma didática, para o aluno do ensino médio, um panorama simples sobre o que está acontecendo com o clima do planeta de acordo com estudos realizados por cientistas e também busca apresentar as consequências a que estaremos submetidos com essas mudanças. Esse texto busca situar o estudante acerca da realidade do problema ambiental tão debatido atualmente, porém pouco explorado no ensino de Física.

O segundo capítulo apresenta aos educandos os fenômenos que ocorrem em nossa atmosfera e os apresentamos de maneira mais detalhada, buscando uma linguagem mais acessível ao público do ensino médio. Particularmente, falamos sobre os ciclones tropicais (furacões) bem como das classificações de um ciclone tropical. Ainda nesse capítulo descrevemos os maiores e mais destrutivos eventos ocorridos, além do único ciclone tropical ocorrido no Atlântico Sul, o furacão Catarina. Esse texto também aborda a catástrofe social que

um evento desses causa nas regiões atingidas. Tratamos também sobre o período do ano e as regiões do planeta onde ocorrem os furacões.

O terceiro capítulo trata das condições necessárias para a possível ocorrência de formação de um ciclone tropical, como também discutimos os processos de transferência de energia para a atmosfera que influenciam na formação dos ciclones tropicais. Em seguida discutimos a estrutura de um ciclone tropical.

No capítulo quatro apresentamos conceitos gerais sobre termodinâmica, entre eles a primeira lei da Termodinâmica e algumas transformações termodinâmicas particulares. Estudamos de maneira mais detalhada a transformação adiabática pois ela é essencial na formação das nuvens.

No capítulo cinco discutimos detalhadamente os fenômenos físicos envolvidos na formação de um ciclone tropical, particularmente a quantidade de energia envolvida nesse processo. Apresentamos ainda o conceito da pressão atmosférica e de que modo ela influencia na circulação dos ventos. Ainda nesse capítulo apresentamos a força de Coriolis e de que maneira ela age na atmosfera e sua relevância para a circulação do ar.

O procedimento experimental tem como objetivo contribuir para o aprendizado sobre os conceitos referentes aos processos adiabáticos e a formação das nuvens. O experimento é de fácil execução, realizado com materiais de baixo custo com exceção do termômetro digital que pode ser adquirido a um custo de aproximadamente R\$90,00. O professor deve destacar aos alunos a relação existente entre a variação da pressão e a variação da temperatura e instigá-los a compreender de que maneira ocorre o surgimento das nuvens.

Ao final da atividade há um questionário de avaliação sobre os conceitos físicos trabalhados nesse material.

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL DESENVOLVIDO

Após todo o processo de elaboração do material educacional, foi feita a aplicação do mesmo com o objetivo de verificar sua eficácia no processo de ensino e aprendizagem e a sua aceitação pelos estudantes.

5.1 – AMBIENTE ESCOLAR

O Produto Educacional foi aplicado em uma turma do 2º ano do Ensino Médio do período matutino, com 33 alunos com idades entre 15 e 18 anos, da Escola de Educação Básica Maria José Barbosa Vieira, situada no município de São José, estado de Santa Catarina. A proposta foi aplicada no 3º trimestre do ano letivo de 2019 e contou com 10 aulas de 45 minutos num total de 5 semanas.

A Escola de Educação Básica José Maria Barbosa Vieira é uma escola pública estadual, localizada no bairro da Praia Comprida e oferece apenas o Ensino Médio. Atualmente a escola possui em torno de 950 alunos distribuídos nos três turnos.

5.2 – RECEPÇÃO DO MATERIAL PELOS ALUNOS

A proposta de ensino em um primeiro momento foi recebida com uma certa curiosidade por alguns estudantes, e com um certo entusiasmo por poderem ter contato com algo diferente do habitual. No primeiro contato foi anunciada a implementação do produto educacional e o tema proposto, em seguida foi aplicado um questionário de investigação (Apêndice A) que tinha o objetivo de verificar os conhecimentos já adquiridos pelos alunos acerca do tema proposto. Para que os estudantes ficassem mais à vontade para responderem o questionário foi pedido que não se identificassem durante o preenchimento. Nesse primeiro dia foi aplicado o questionário a 30 educandos. Após a análise das respostas preenchidas verificou-se que 18 estudantes consideram ter um conhecimento mediano (4 a 6) sobre as mudanças

climáticas globais; 10 possuem pouco conhecimento (1 a 3); 1 declarou possuir um bom conhecimento (7 a 8) e 1 respondeu não possuir nenhum conhecimento sobre o tema. Em relação à percepção da vida do estudante já ter sido afetada pelas mudanças climáticas, 16 estudantes responderam SIM, 13 responderam NÃO e 1 não sabia. Depois dessa análise pudemos constatar que os estudantes possuem algum grau de conhecimento sobre as mudanças climáticas globais. Com relação à pergunta se os estudantes tinham conhecimento de algum furacão ter ocorrido em Santa Catarina, 21 deles afirmaram que SIM, porém entre essas respostas 5 afirmaram que o fenômeno ocorreu na região Oeste do Estado, em Chapecó e Xanxerê, e 3 outros confundiram o furacão Catarina com o Katrina. A última pergunta feita era se acreditavam que poderia ocorrer um furacão na região de Florianópolis e 12 alunos responderam SIM, 11 que NÃO enquanto 5 NÃO SEI. Um dos estudantes respondeu NÃO, mas que poderia ocorrer um tsunami caso a ponte Hercílio Luz caísse.

5.3 – METODOLOGIA E AVALIAÇÃO

O produto educacional proposto foi aplicado em 10 aulas de 45 minutos cada. As aulas foram expositivas e com debates, utilizando-se a proposta dialógico - problematizadora. Segundo Delizoicov & Angotti (1994), a prática docente é pautada em três momentos pedagógicos: o estudo da realidade, a organização e a aplicação dos conhecimentos.

O objetivo do produto foi o estudo dos conceitos sobre Termodinâmica e Dinâmica de Fluidos relacionados aos fenômenos atmosféricos, em especial aos ciclones tropicais. Também era objetivo despertar nos alunos o interesse relativo aos problemas relacionados às mudanças climáticas globais. Os estudantes foram estimulados a descobrir de que maneira isso poderia afetá-los direta ou indiretamente. Ao longo do processo de aplicação, os educandos foram estimulados a expressarem suas opiniões sobre os temas propostos. A variação das atividades foi pensada para torná-las mais instigantes para os educandos. Ao final das aulas os alunos informavam de forma verbal suas opiniões sobre o tema e a satisfação em estudá-lo.

Durante a aplicação foram utilizados quadro branco, pincel, computador e televisão. Todos os alunos receberam uma cópia dos textos trabalhados e também todos os arquivos digitais utilizados foram disponibilizados no Google Sala de Aula da turma. A avaliação dos educandos foi através da:

- Participação nas discussões e envolvimento nas atividades propostas.

- Respostas a um questionário sobre o texto *Mudanças Climáticas e suas Consequências*.
- Respostas a um questionário sobre a Termodinâmica e a Física presentes nos ciclones tropicais.

A avaliação é um instrumento que é parte do processo de ensino e aprendizagem que serve para obter um diagnóstico sobre o processo. Ela possibilita corrigir supostas dificuldades na estratégia para que o estudante alcance os objetivos projetados. A avaliação individual do educando serve para acompanharmos e compreendermos o desenvolvimento do estudante e analisarmos a qualidade de seu aprendizado.

5.4 – CRONOGRAMA DE IMPLEMENTAÇÃO, OBJETIVOS E ATIVIDADES

A seguir apresentamos o cronograma de aplicação do produto educacional com a descrição dos conteúdos trabalhados, os seus objetivos e atividades desenvolvidas.

CRONOGRAMA DE APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL				
AULA	DATA	CONTEÚDOS	OBJETIVOS	ATIVIDADES
1ª	09/09	Introdução às Mudanças Climáticas Globais	- Apresentar a proposta e compartilhar o material; - Verificar interesses e expectativas; - Problematizar e introduzir os conteúdos.	- Aplicação de questionário investigativo de concepções prévias, interesse e expectativas dos alunos; - Apresentação geral do projeto e discussão dos objetivos, métodos e avaliação; - Apresentação do material instrucional e cronograma; - Exposição do conteúdo em slides;
2ª	10/09	Mudanças Climáticas Globais;	- Discutir o questionário inicial; - Compreender o processo de mudanças climáticas; - Conhecer os efeitos das mudanças climáticas no planeta.	- Exibição do vídeo 1, sobre Mudanças Climáticas produzido pelo INPE (https://youtu.be/ssvFqYSIMho) - Exposição dos conteúdos em slides; - Aplicação do texto <i>Mudanças Climáticas Globais e suas Consequências</i> .
3ª	16/09	Mudanças Climáticas Globais	- Compreender o processo de	- Exibição do vídeo 2 sobre Mudanças Climáticas produzido pelo INPE;

			mudanças climáticas globais;	- Aplicação do questionário do texto <i>Mudanças Climáticas Globais e suas Consequências</i> ; - Exposição do conteúdo em slides;
4ª	17/09	Fenômenos Atmosféricos	- Definir o que são os fenômenos atmosféricos; - Conhecer os diferentes tipos de fenômenos atmosféricos; - Identificar a classificação dos ciclones tropicais	- Texto de apoio <i>Fenômenos Atmosféricos</i> ; - Exposição do conteúdo em slides; -
5ª	23/09	Ciclones Tropicais	- Conhecer quais as condições necessárias para a formação de um ciclone tropical; - Conhecer quais foram os principais ciclones tropicais no mundo, o evento em SC e o período de ocorrência.	- Aplicação do texto sobre <i>Fenômenos Atmosféricos</i> ; - Exposição do conteúdo em slides
6ª	24/09	A Física em um ciclone tropical	- Compreender a física envolvida em um ciclone tropical; - Conhecer os conceitos de pressão e pressão atmosférica	- Aplicação do texto <i>A Física em um ciclone tropical</i> ; - Exposição de conteúdos em slides;
7ª	01/10	Força de Coriolis e a Força de Coriolis na Atmosfera	- Conhecer os conceitos sobre a força de Coriolis - Compreender a força de Coriolis na atmosfera	- Aplicação do texto <i>A Física em um ciclone tropical</i> - Exposição de conteúdos em slides;
8ª	04/10	Termodinâmica	- Compreender os conceitos relativos à 1ª Lei da Termodinâmica;	- Apresentação do conteúdo sobre Termodinâmica; - Exposição dos conteúdos em slides.

			- Conhecer os processos de transformações particulares e a 1ª lei da termodinâmica.	
9ª	07/10	Processos Termodinâmicos de Transformação	- Compreender o processo adiabático ; - Conhecer como as nuvens são formadas	- Apresentação do conteúdo sobre Processos termodinâmicos de transformação; - Experimento sobre o Processo Adiabático
10ª	08/10	Processos Adiabáticos	- Avaliação sobre fenômenos atmosféricos	- Questionário de avaliação sobre Fenômenos Atmosféricos e a Física em um Ciclone Tropical

CAPÍTULO 6

RELATO DAS AULAS:

1º aula:

Nesse primeiro encontro foi exposto aos alunos que seria implementada uma sequência didática de uma maneira diferente daquela que estavam acostumados. No início foi divulgado o assunto principal que seria trabalhado com eles nas próximas semanas de aulas, a seguir foi entregue um questionário de sondagem (Apêndice A) sobre os conhecimentos prévios acerca do tema proposto. Após todos os alunos responderem ao questionário, sem a necessidade de identificação, foi utilizada uma apresentação do Power Point sobre o tema que seria trabalhado, os objetivos, a metodologia, avaliação, o material instrucional que seria utilizado e o cronograma de aplicação. Os alunos demonstraram bastante curiosidade sobre o tema e tiraram algumas outras dúvidas sobre o processo de avaliação. Ao final da aula foi entregue aos alunos um termo de consentimento livre e esclarecido para que fosse preenchido pelos pais dos alunos que participariam da pesquisa.

2ª aula:

Os alunos foram orientados a se dirigirem à sala de multimídia, na qual estão disponibilizados computador, projetor e televisão, além de quadro branco, onde a partir daquele dia as aulas seriam ministradas.

Inicialmente foram feitos comentários sobre o questionário da aula anterior. Alguns alunos mais entusiasmados relataram sobre o seu interesse em conhecer o tema, pois ele é bastante atual, porém pouco trabalhado nas aulas de Física. Também relataram que o que conheciam eram geralmente vistos durante as aulas de Geografia. A seguir foi exibido para os estudantes o vídeo sobre Mudanças Climáticas Globais produzido pelo INPE e que está disponível no YouTube (<https://youtu.be/ssvFqYSIMho>).

Após a exibição do vídeo, todos os alunos receberam o texto de apoio *Mudanças Climáticas Globais e suas Consequências*, que serviria como base para as próximas aulas. Em

seguida foi utilizada uma apresentação em Power Point para que fossem ministrados os conteúdos.

3º aula:

Ao iniciarmos esse encontro foi feita uma breve retomada da aula anterior e em seguida iniciou-se a exibição do segundo vídeo sobre Mudanças Climáticas Globais produzido pelo INPE.

Do mesmo modo que nas aulas anteriores a maioria dos alunos se mostrou curiosa e interessada no tema que foi proposto pois faziam comentários e perguntas. Após a exibição do vídeo, passamos a debater o texto *Mudanças Climáticas Globais e suas Consequências*, que havia sido distribuído aos alunos na aula anterior.

Um dos comentários feitos pelos alunos foi sobre como os níveis de CO₂ aumentaram bastante desde a década de 1960, muito mais do que o período compreendido entre a Revolução Industrial e a década de 1960. Como moramos em uma cidade litorânea, os estudantes se mostraram incomodados quando confrontados com as previsões de aumento no nível dos oceanos e as mudanças que poderão ocorrer na região sul do Brasil.

Após debatermos o texto os estudantes responderam a um questionário sobre Mudanças Climáticas Globais.

4ª aula:

Nesse encontro foram feitos comentários sobre o questionário aplicado na aula anterior, onde pudemos abordar e sanar as dúvidas que surgiram quando estavam respondendo a atividade.

A seguir iniciamos a distribuição do texto de apoio *Fenômenos Atmosféricos*, utilizamos apresentação de slides para definirmos o que são os fenômenos atmosféricos; conhecermos os diferentes tipos de fenômenos atmosféricos; em seguida abordarmos o que seria o nosso principal objeto de estudo, que são os ciclones tropicais, identificarmos como ocorre a classificação dos ciclones tropicais ou furacões.

5ª aula:

Nessa aula continuamos a aplicação do texto *Fenômenos Atmosféricos* que havia sido entregue na aula anterior. Os alunos mostraram-se com dúvidas em relação aos termos nesse

conteúdo, aos quais eles estavam pouco familiarizados, mas à medida que o conteúdo foi trabalhado essas dúvidas foram dirimidas.

Compreenderam quais são as condições físicas necessárias e suficientes para que ocorra a formação de um ciclone tropical. Conheceram quais foram os principais ciclones tropicais no mundo, puderam perceber o quão destrutivos e energéticos eles foram; conheceram qual foi o único evento até hoje registrado no Atlântico Sul e causou espanto em alguns estudantes quando souberam que ocorreu no sul do estado de Santa Catarina e foi denominado de Furacão Catarina. Em seguida conheceram o período do ano em que ocorrem os furacões, quais as regiões do planeta que são mais afetadas. Nessa aula ocorreu a exibição de slides com conteúdo que foi trabalhado. Ao final da aula foi entregue texto *A Física Em Um Ciclone Tropical*, que seria trabalhado na aula seguinte.

6ª aula:

A aula inicia-se com uma breve retomada do conteúdo ministrado no dia anterior. Para essa aula iniciamos a aplicação do texto *A Física Em Um Ciclone Tropical* e trabalhamos em detalhes os conceitos físicos que ocorrem em um ciclone tropical. Nesse tópico eles compreenderam os processos de transformação de calor que ocorrem na atmosfera e a grande quantidade de energia envolvida no processo. Conheceram os conceitos de pressão e pressão atmosférica e de que maneira ela influencia no processo de formação de um furacão. Também vimos os conceitos de energia potencial e cinética em um furacão. Esses conteúdos foram trabalhados com a utilização de slides.

7ª aula:

Essa aula iniciou-se com uma breve retomada sobre os conceitos físicos trabalhados na aula anterior e em seguida demos continuidade em nossa programação. Começamos mostrando um breve relato sobre Gustave-Gaspard Coriolis, conhecemos sua descoberta que posteriormente foi denominada de “Efeito de Coriolis”. Vimos um pouco mais detalhadamente a descrição da força de Coriolis e a descrição matemática para esta força.

A seguir compreendemos de que modo a força de Coriolis atua na atmosfera do planeta, como ela influencia no deslocamento do ar e com isso de que maneira acontece a rotação de um furacão.

8ª aula:

Após uma breve recapitulação da aula anterior, iniciamos a introdução sobre a 1ª lei da Termodinâmica. Apresentamos os conceitos gerais da 1ª lei da Termodinâmica, para o caso de um gás ideal. Vimos os conceitos de energias externa e interna, em seguida conheceram os tipos de transformações particulares.

9ª aula:

Nessa aula os estudantes puderam conhecer mais detalhadamente sobre a transformação adiabática, pois ela é essencial para a formação das nuvens na atmosfera. Após verem, com a ajuda de slides, os conceitos sobre transformação adiabática, realizamos a atividade experimental sobre transformação adiabática descrita no Apêndice E. Essa atividade mostrou-se muito proveitosa pois com um experimento relativamente simples, eles puderam observar como a nuvem pode ser formada apenas com a variação da pressão.

10ª aula:

Essa foi a última aula para aplicação do projeto de pesquisa. Após um breve agradecimento pela participação na pesquisa, os estudantes foram orientados a responderem o último questionário sobre ciclones tropicais, força de Coriolis e Termodinâmica.

CAPÍTULO 7

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os principais resultados desta investigação. Assim, tendo como base os dados recolhidos, particularmente dos questionários, das atividades de sala, procurou-se analisar e refletir sobre as atitudes, reações, desempenho e aprendizagem dos alunos perante a estratégia alternativa de ensino, que propôs o uso de métodos ativos de aprendizagem.

QUESTIONÁRIO DE INVESTIGAÇÃO

Q1) Assinale a alternativa que melhor exemplifica o seu nível de conhecimento sobre as *Mudanças Climáticas Globais*.

- () 0 – não possuo conhecimento sobre o tema;
- () 1 a 3 – possuo pouco conhecimento sobre o tema;
- () 4 a 6 – possuo um conhecimento mediano sobre o tema;
- () 7 a 8 – possuo um bom conhecimento sobre o tema;
- () 9 a 10 – possuo ótimo conhecimento sobre o tema.

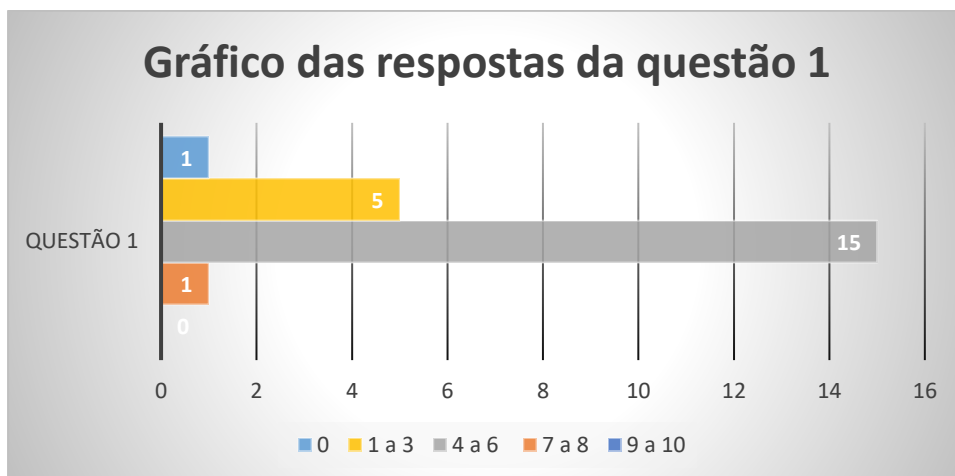


Figura 11 - Gráfico das respostas da questão 1.

Q2) Você considera que sua vida foi afetada de algum modo por causa das mudanças climáticas? Se sim exemplifique.

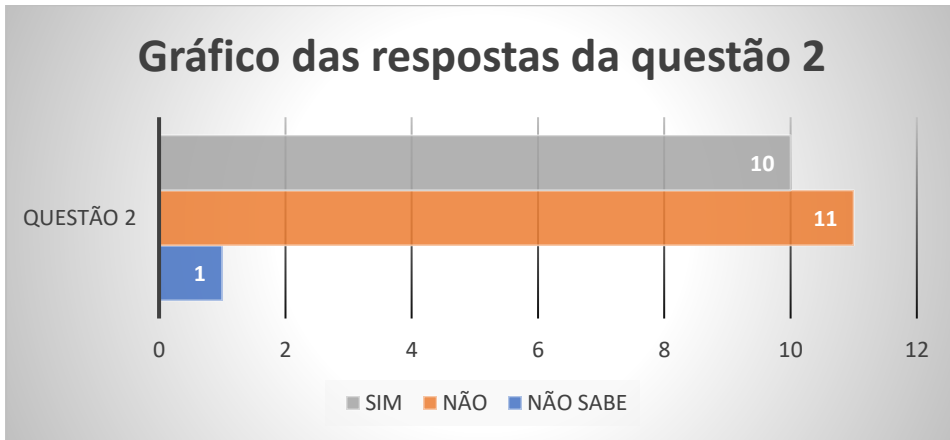


Figura 12 - Gráfico das respostas da questão 2.

Q3) Qual o seu nível de conhecimento em relação ao *aquecimento global*?

- () 0 – não possui conhecimento sobre o tema;
- () 1 a 3 – possui pouco conhecimento sobre o tema;
- () 4 a 6 – possui um conhecimento mediano sobre o tema;
- () 7 a 8 – possui um bom conhecimento sobre o tema;
- () 9 a 10 – possui ótimo conhecimento sobre o tema.

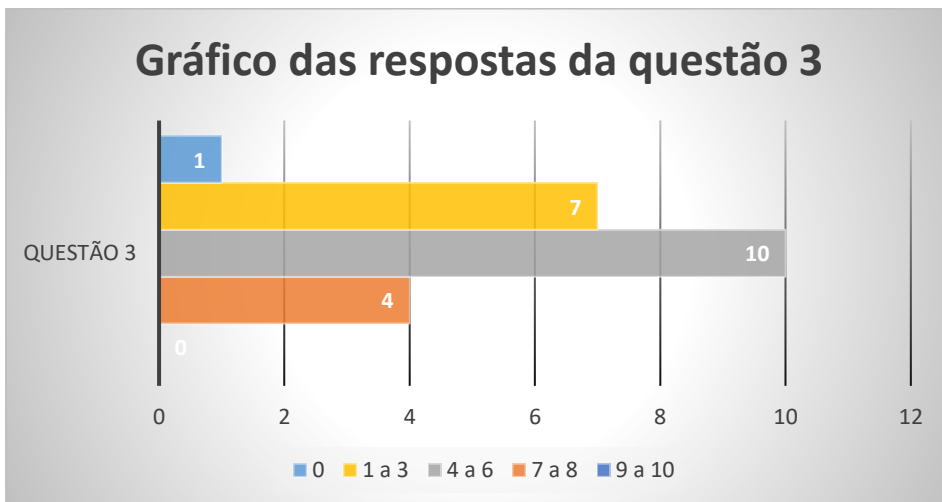


Figura 13 - Gráfico das respostas da questão 3.

Q4) Qual a diferença entre mudanças climáticas globais e aquecimento global?

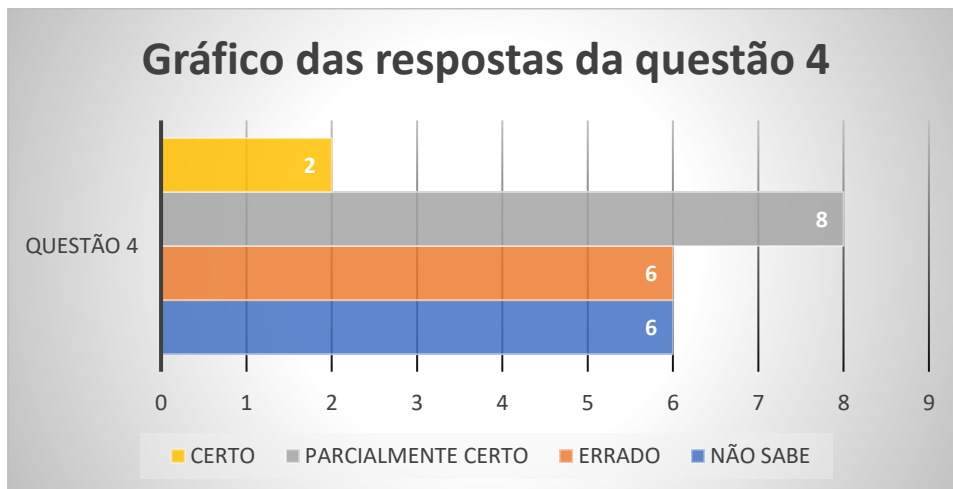


Figura 14 - Gráfico das respostas da questão 4.

Q5) O que é o protocolo de Quioto?

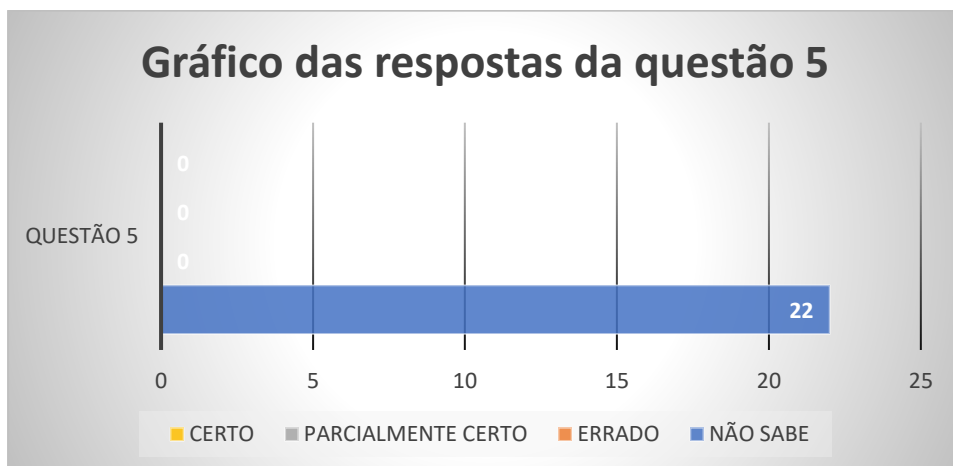


Figura 15 - Gráfico das respostas da questão 5.

Q6) O que é o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC)?

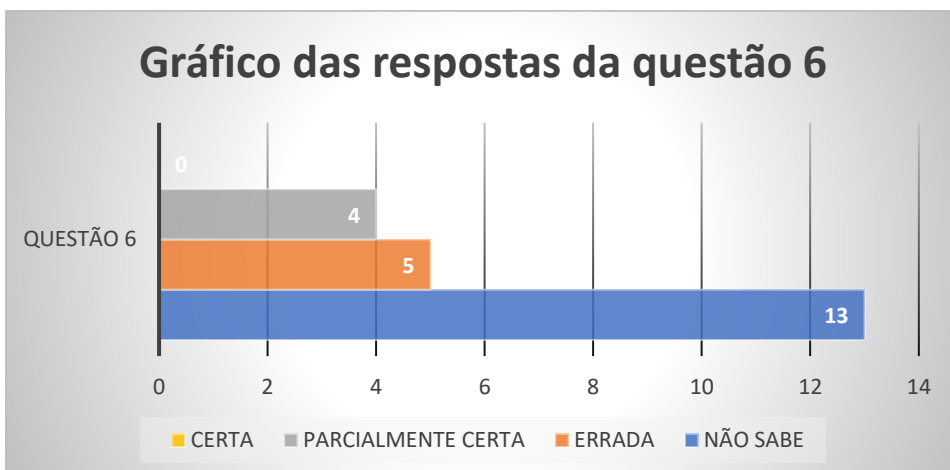


Figura 16 - Gráfico das respostas da questão 6.

Q7) O que é um furacão?

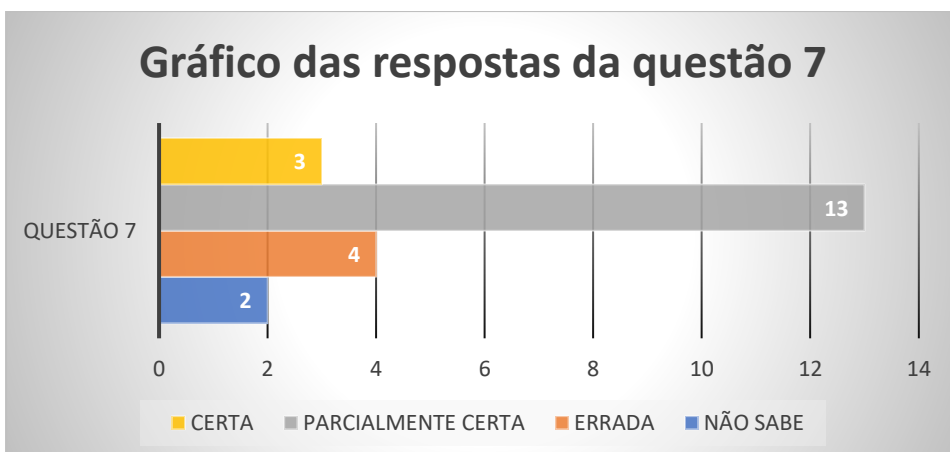


Figura 17 - Gráfico das respostas da questão 7.

Q8) Qual a diferença entre um furacão e um tornado?

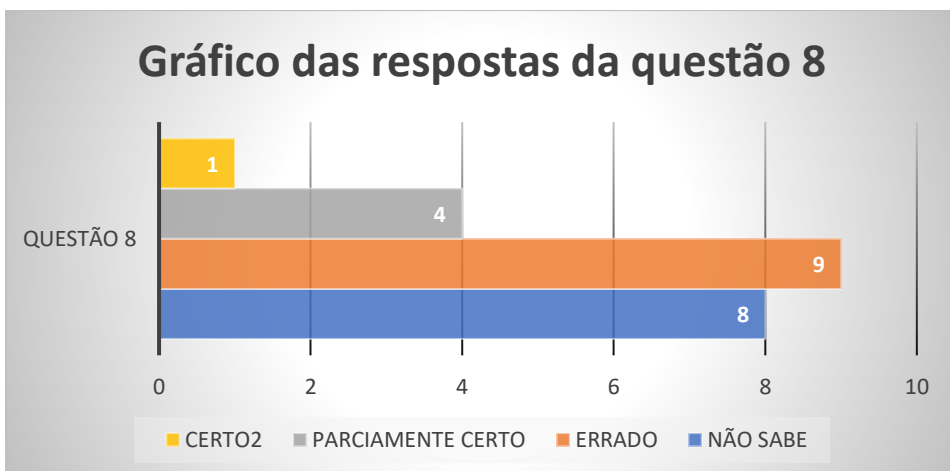


Figura 18 - Gráfico das respostas da questão 8.

Q9) Você conhece algum fenômeno climático, como um furacão, que tenha ocorrido no Brasil? Se sim exemplifique.

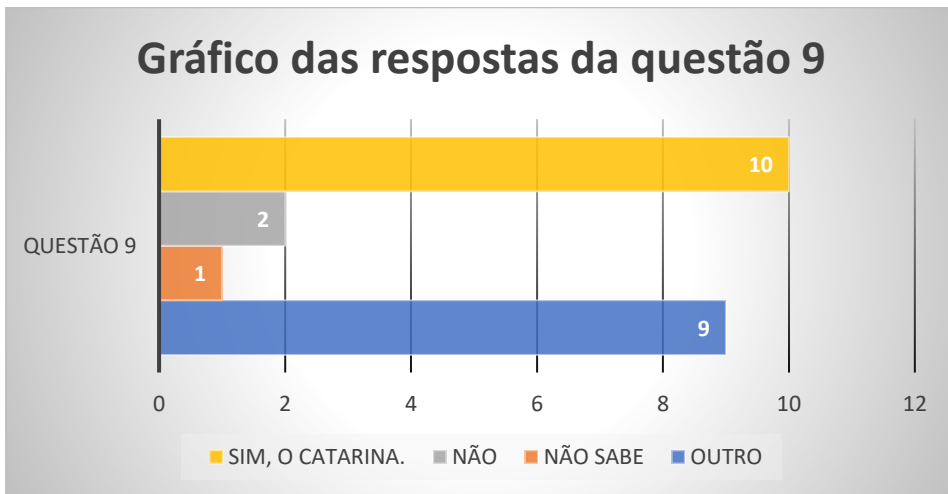


Figura 19 - Gráfico das respostas da questão 9.

Dentre as respostas “OUTRO” a mais citada foi “Sim, aconteceu em Chapecó”, o que demonstra uma clara confusão com outro fenômeno atmosférico, o tornado.

Q10) Nos dias atuais você considera possível que a região de Florianópolis seja afetada por um furacão? Explique.

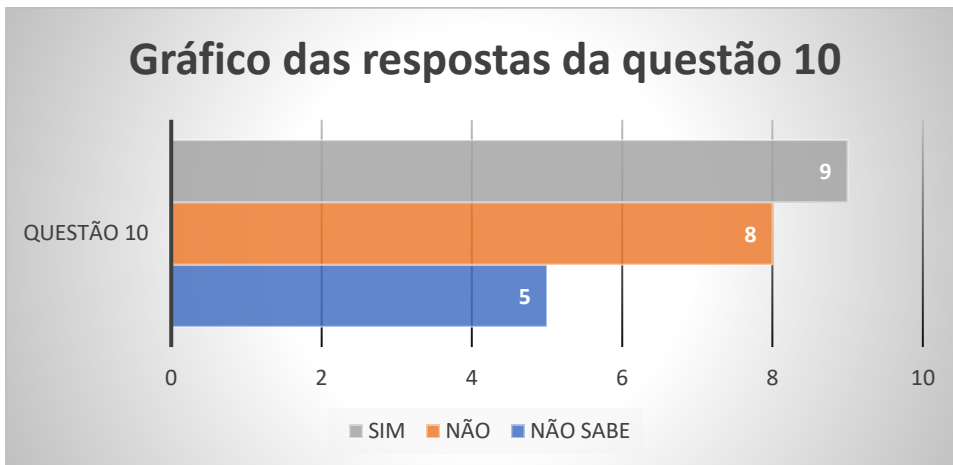


Figura 20 - Gráfico das respostas da questão 10.

Obs.: Uma das respostas citadas foi “Um furacão acho que não, mas talvez um tsunami por conta que se talvez a ponte Hercílio Luz cair como já foi simulado, poderia ocorrer.”

RESPOSTAS QUESTIONÁRIO 2

Q1) De que maneira as Mudanças Climáticas podem ser percebidas aqui em Santa Catarina?

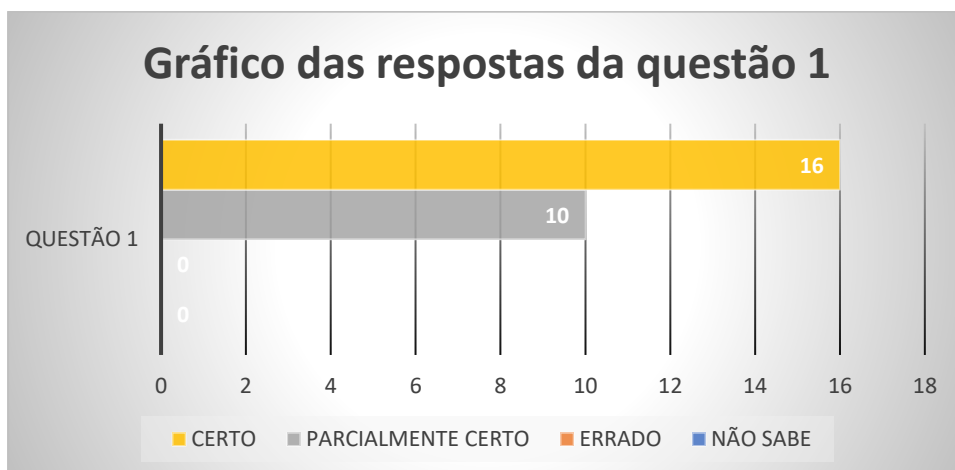


Figura 21 - Gráfico das respostas da questão 1.

Obs.: Em geral as respostas dadas pelos estudantes relacionam o aumento da temperatura ambiente ao longo do ano, como a principal característica percebida em SC.

Q2) O que é o efeito estufa? Cite exemplos sobre as consequências do efeito estufa para os seres humanos.

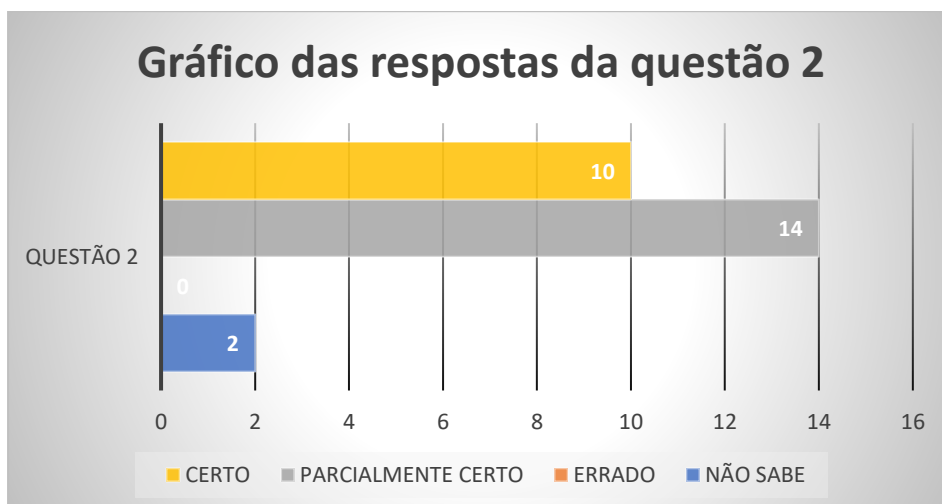


Figura 22 - Gráfico das respostas da questão 2.

Obs.: A maioria dos estudantes compreende que é um fenômeno natural que regula a temperatura do planeta.

Q3) Quais os fatores que contribuem para o aumento do efeito estufa?

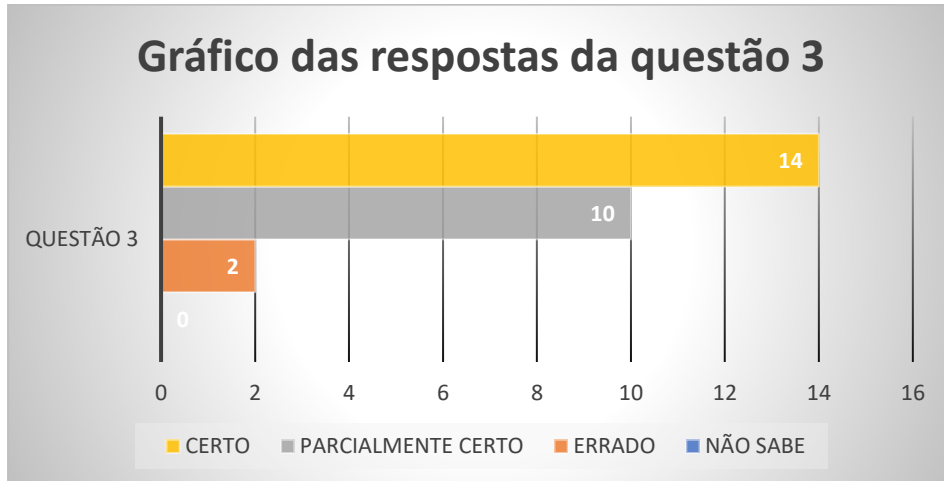


Figura 23 - Gráfico das respostas da questão 3.

Obs.: A maioria dos estudantes citou a emissão de gases tóxicos a partir da queima de combustíveis fósseis, desmatamento.

Q4) Os efeitos do aquecimento global serão enfrentados do mesmo modo pela população de Santa Catarina? Justifique.

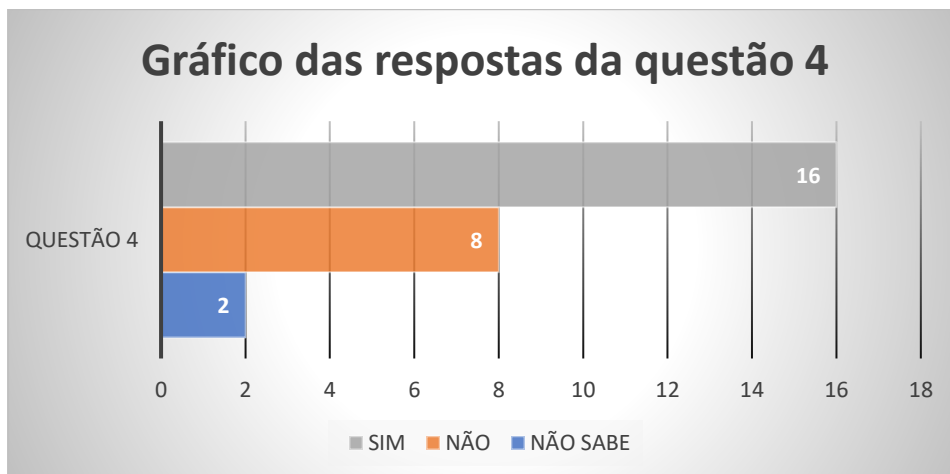


Figura 24 - Gráfico das respostas da questão 4.

Obs.: Os estudantes não compreenderam que os efeitos do aquecimento global não serão enfrentados do mesmo modo pelos habitantes de SC, pois os pobres serão mais afetados.

Q5) Quais as ações globais que poderiam ser feitas para amenizar as consequências das Mudanças Climáticas? E ações locais?

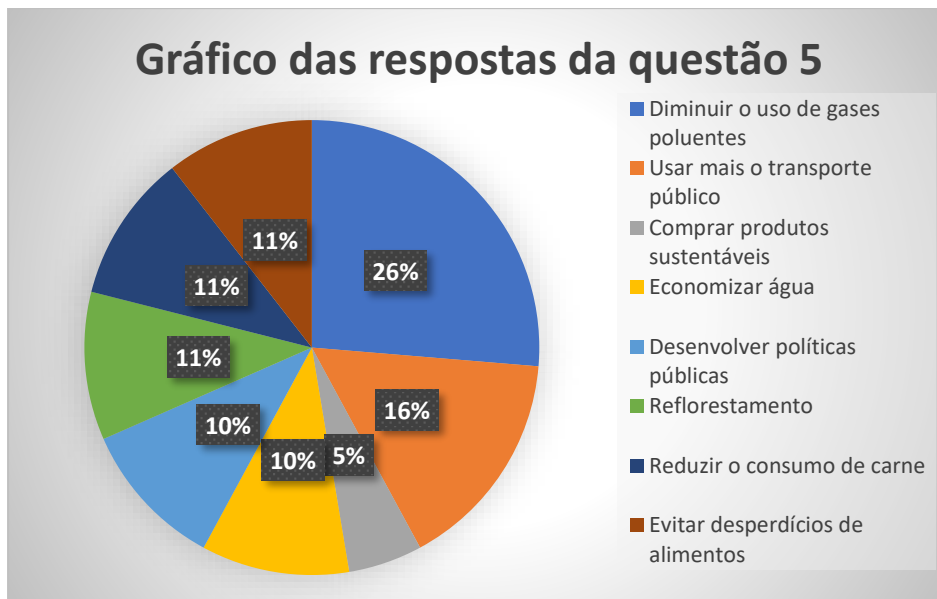


Figura 25 - Gráfico das respostas da questão 5.

Q6) Se a sociedade continuar com esse modo de vida e, portanto, de consumo, como vocês imaginam que estará o planeta em 50 anos?

A totalidade dos alunos pesquisados espera um planeta com piores condições de vida. Dentre os problemas mais citados estão o desmatamento, o aumento do nível do mar, o aumento das temperaturas, a escassez de recursos naturais e extinção de animais.

Q7) Como o governo de Santa Catarina e o poder público no estado poderiam agir para diminuir as consequências das Mudanças Climáticas para a população?

Entre as respostas dadas pelos estudantes estão: conscientização da população sobre o problema ambiental, maior reciclagem, menor emissão de CO₂ ; melhorar o transporte público; evitar desperdiçar alimentos; diminuir o uso de automóveis; reduzir a poluição do meio ambiente; legislação mais rígida; investir em educação ambiental.

Q8) As queimadas realizadas na Amazônia podem afetar a sua vida aqui em Santa Catarina?
Explique.

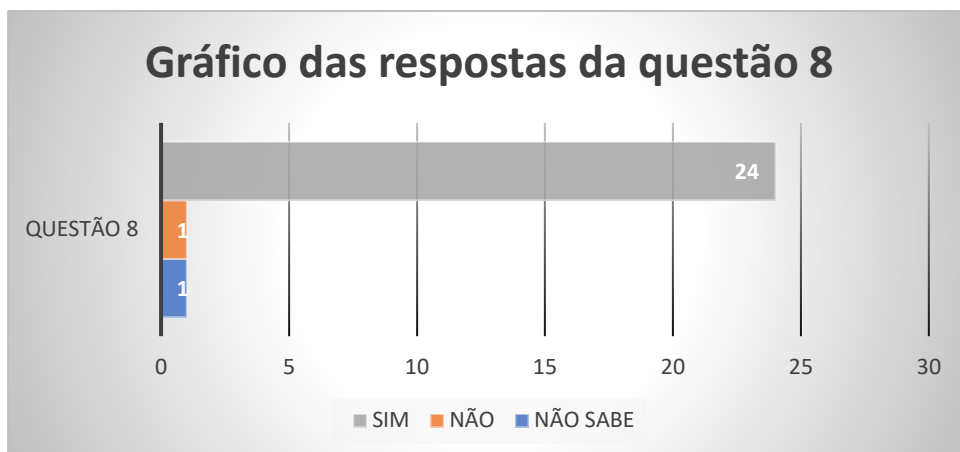


Figura 26 - Gráfico das respostas da questão 8.

RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO 3

Q1) - No final de agosto de 2005, o furacão Katrina inundou grandes áreas da Louisiana, Mississippi e Alabama, causando a morte de cerca de duas mil pessoas e deixando centenas de milhares de desabrigados, sobretudo em Nova Orleans.

Em 2011, o furacão Irene atingiu a costa leste americana e chegou a ameaçar o sistema de barragens da parte baixa de Manhattan, onde se localiza o distrito financeiro de Wall Street.

Entre as características comuns aos furacões, assinale a alternativa correta:

- formam-se geralmente nas regiões frias da terra e deslocam-se em direção ao Equador.
- são fenômenos provocados por duas ou mais tempestades tropicais em zonas de alta pressão.
- são anticiclones que se formam, geralmente, em áreas do oceano com águas quentes, onde predomina o clima tropical ou equatorial.
- são fenômenos atmosféricos em que os ventos giram seguindo um padrão circular, tendo no centro uma área de alta pressão.

e) forma-se no hemisfério sul a partir de ventos que giram em sentido horário e no hemisfério norte, no sentido anti-horário.

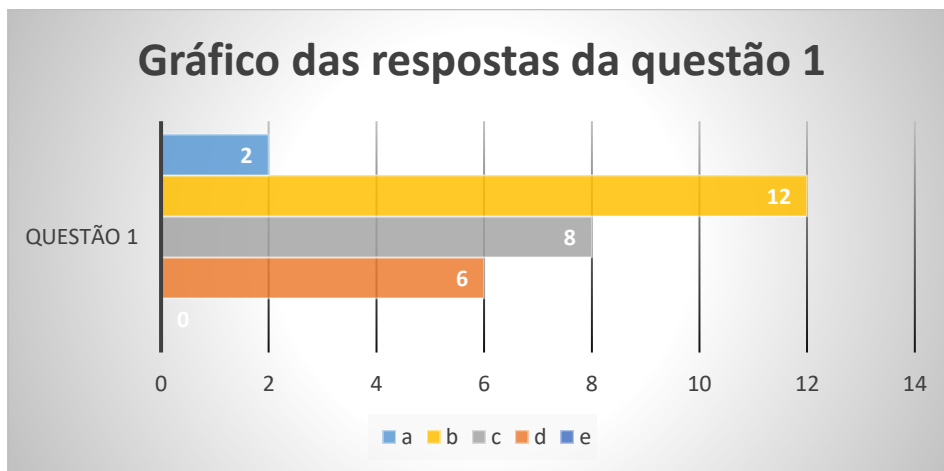


Figura 27 - Gráfico das respostas da questão 1.

Q2) (UPE) Leia a frase a seguir:

Mesmo um pequeno aumento na temperatura da superfície oceânica pode transformar mais perturbações tropicais em furacões, além de tornar uma tempestade já em andamento mais intensa e aumentar sua precipitação.

Sobre essa frase, analise as afirmativas a seguir.

I. Ela está incorretamente formulada, pois os furacões independem da temperatura da superfície marinha.

II. Ela está incorreta, pois uma perturbação tropical não pode evoluir para um furacão, exceto no hemisfério meridional.

III. Ela está correta, pois os ciclones ou furacões tropicais são fortemente influenciados pelas temperaturas da superfície oceânica.

IV. Ela está correta, porque o fato nela descrito aplica-se, plenamente, à faixa tropical atlântica do Hemisfério Norte.

V. Se realmente ocorrer o aquecimento global, poderá acontecer um agravamento da intensidade dos ciclones tropicais, logo a frase está correta.

Está **CORRETO** apenas o que se afirmar em:

- a) I e II.
- b) III e V.
- c) III, IV e V.
- d) II.
- e) III.

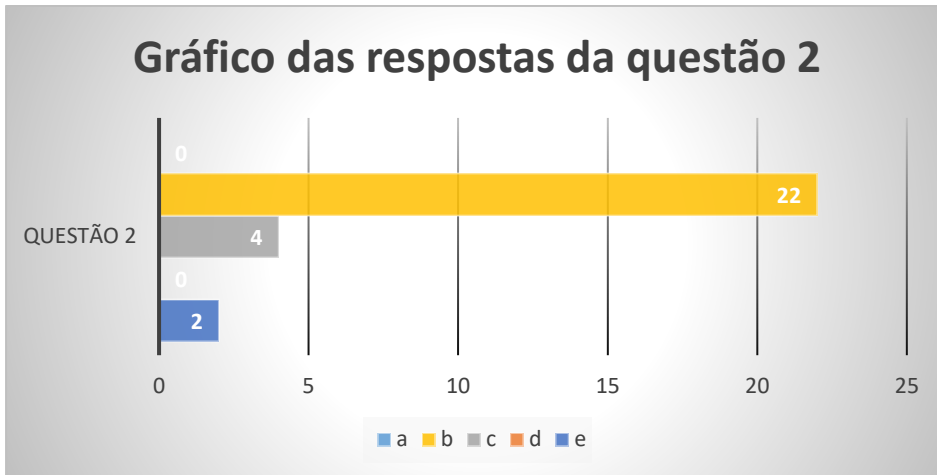


Figura 28 - Gráfico das respostas da questão 2.

Q3) Assinale a alternativa que **não** corresponde às condições necessárias à formação de um furacão:

- a) Calor concentrado;
- b) Baixa temperatura da superfície do mar;
- c) Temperatura elevada da superfície do mar;
- d) Ar quente e úmido;
- e) Cisalhamento do vento.

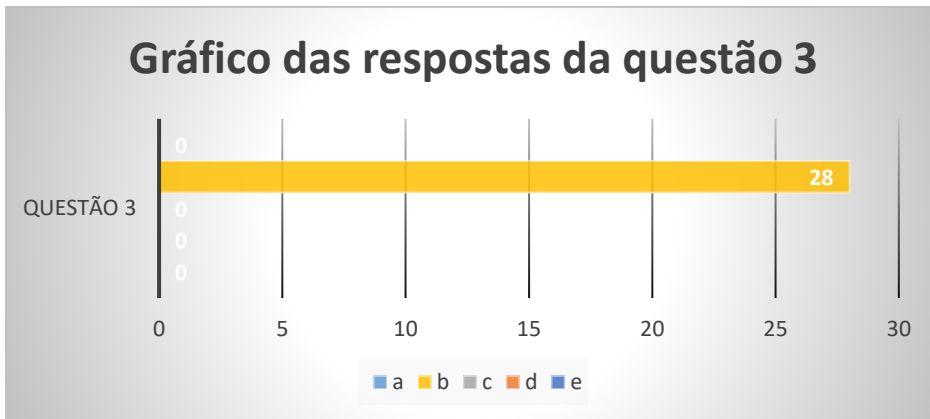


Figura 29 - Gráfico das respostas da questão 3.

Q4) Caso existam as condições necessárias para a formação de um ciclone tropical, o que é necessário para que ocorra o fenômeno?

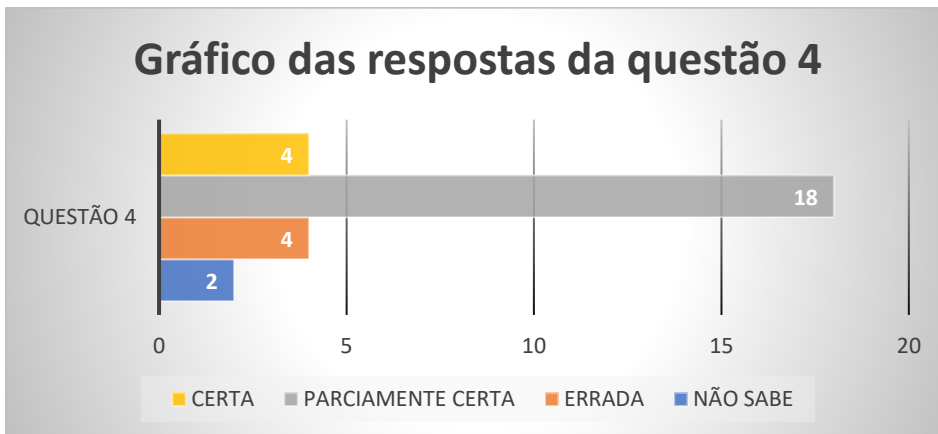


Figura 30 - Gráfico das respostas da questão 4.

Q5) Como a energia é transferida da superfície do mar para a atmosfera?

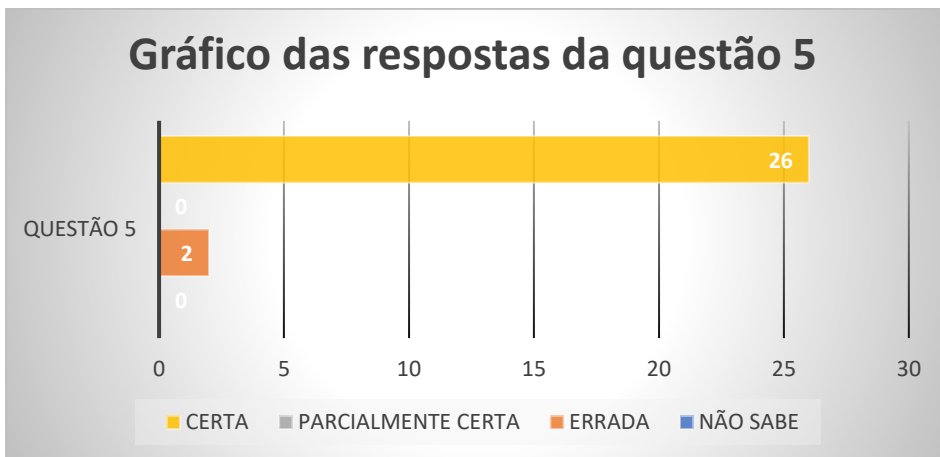


Figura 31 - Gráfico das respostas da questão 5.

Q6) Explique a influência exercida pela força de Coriolis sobre um ciclone tropical.

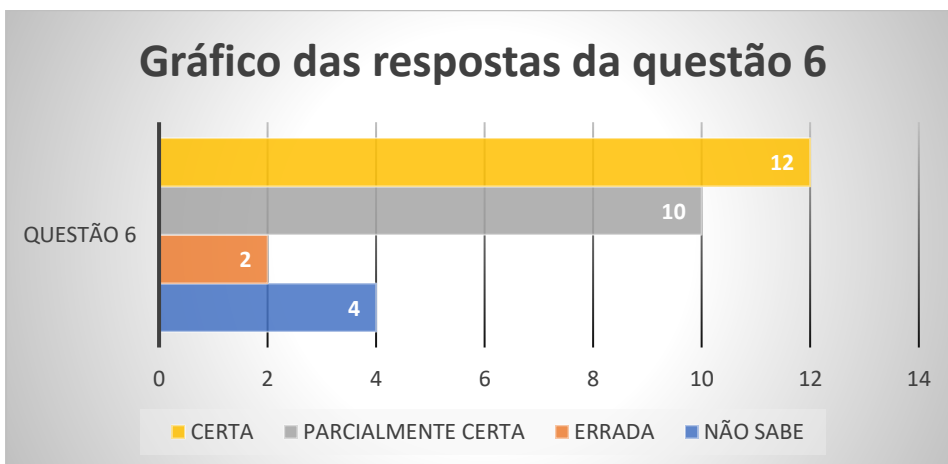


Figura 32 - Gráfico das respostas da questão 6.

Q7) O que é um processo adiabático?

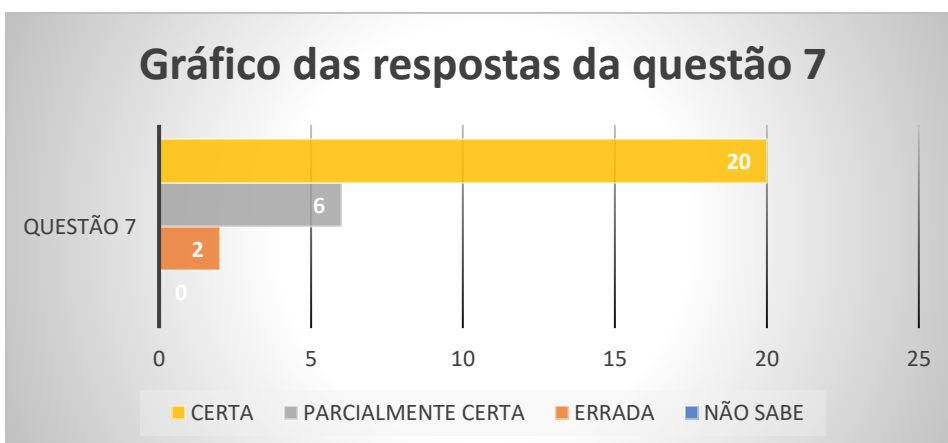


Figura 33 - Gráfico das respostas da questão 7.

Q8) De onde vem o vapor de água presente na atmosfera? Qual é sua importância?

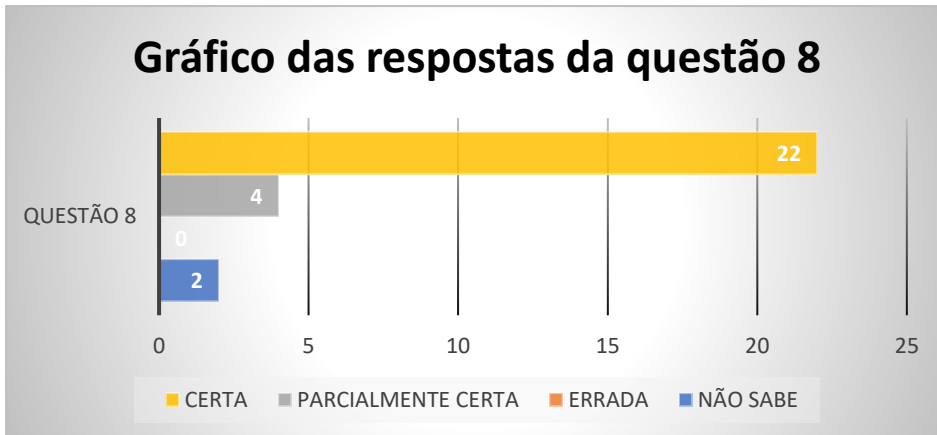


Figura 34 - Gráfico das respostas da questão 8.

CAPÍTULO 8

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo trataremos do resultado da aplicação do produto educacional. Os resultados foram obtidos a partir da análise dos questionários investigativos, da observação em sala de aula, da participação verbal dos alunos e da avaliação final do projeto.

No instante inicial quando os estudantes souberam o tema proposto para o projeto de ensino houve um certo entusiasmo. Eles não estavam acostumados a estudar os conceitos físicos a partir de uma contextualização. Após um ano e meio no ensino médio eles teriam contato com um tema muito atual, que são as Mudanças Climáticas Globais, conheceriam alguns conceitos físicos da atmosfera e estudariam em mais detalhes os ciclones tropicais ou furacões. Como são temas que despertam em alguns alunos uma inquietação, foi possível observar uma motivação para o início da aplicação do projeto. Em geral esse não é um comportamento comum demonstrado pela maioria dos estudantes durante as aulas de Física.

Os alunos tiveram dificuldade na compreensão do assunto trabalhado e apresentaram dúvidas e curiosidades à medida que o assunto era apresentado e eles familiarizavam-se com a linguagem utilizada nos textos, assim as aulas mostraram-se mais produtivas.

Ao iniciar a análise do questionário investigativo inicial, constatou-se que a maioria dos alunos informou possuir um conhecimento mediano sobre as Mudanças Climáticas Globais; apenas um estudante assinalou não ter conhecimento sobre o tema e apenas um outro aluno assinalou possuir um bom conhecimento acerca do tema. A estratégia de disponibilizar previamente o texto que seria trabalhado mostrou-se adequada, pois foi perceptível que os estudantes que os leram participavam e questionavam muito mais do que os que não leram.

Apesar de o tema Mudanças Climáticas Globais estar nos noticiários de televisão, em sites na internet, ficou evidente através das respostas colhidas do questionário de investigação e dos debates em sala de aula, que eles não estavam familiarizados com essa discussão, pois alguns estudantes acreditavam que as mudanças climáticas globais seriam apenas uma “mudança de temperatura” e que o aquecimento global seria “o aquecimento na camada de ozônio”. Esse trabalho mostrou-se mais uma vez relevante por oportunizar aos estudantes o acesso a um conhecimento com embasamento científico.

Dentre os vários fenômenos atmosféricos que poderiam ser escolhidos para serem trabalhados ao longo desse projeto, escolhemos os ciclones tropicais por serem os fenômenos mais energéticos e por ocorrerem nele diversos fenômenos físicos que poderiam ser tratados com uma turma de 2º ano do ensino médio.

No início deste tópico procuramos definir o que são os fenômenos atmosféricos, quais os diversos tipos que podemos encontrar na natureza e a partir desse instante passamos a nos concentrarmos nos ciclones tropicais (furacões). Ao definirmos um ciclone tropical os alunos tiveram dificuldades para compreender os conceitos utilizados, pois esses termos, normalmente, não estão presentes entre os conceitos estudados por alunos do ensino médio.

Superada essa dificuldade inicial e respondendo a um dos questionamentos feitos, conheceram a classificação dos furacões. Conhecer essa classificação possibilitou aos alunos entenderem os motivos de acontecer uma grande destruição nos locais afetados pela passagem de um furacão. Para ilustrar os grandes efeitos destrutivos causados por um furacão, eles conheceram detalhes de cinco furacões, quatro deles sendo os maiores já ocorridos no mundo e o único evento no Atlântico Sul, que foi o furacão Catarina, em 2004. O objetivo era mostrar que apesar desses eventos acontecerem normalmente longe daqui de Santa Catarina, não estamos imunes ao surgimento de fenômenos dessa natureza. Esses estudantes eram recém-nascidos quando ocorreu o furacão Catarina e ao verem os locais atingidos, fotos da destruição e a capa do jornal da época (Diário Catarinense), isso os aproximou desse fenômeno e dos acontecimentos à época.

Os conceitos de calor e temperatura são revisados e tratados no momento em que passamos a compreender quais são as condições necessárias para a formação de um furacão. Nesse tópico também foram tratados os processos de transferência de calor que ocorrem na atmosfera e contribui para que tenhamos a formação de um furacão. Essa discussão sobre as condições para a formação dos ciclones tropicais mostrou-se muito rica, pois eles puderam perceber a quantidade de energia que está envolvida no processo e de que maneira cada uma das variáveis contribuem para a formação de um furacão.

Na discussão sobre a 1ª lei da Termodinâmica trabalhamos os conceitos de forma geral, também vimos alguns tipos de transformações particulares, em especial, a transformação adiabática, que é essencial na formação de nuvens. Nessa discussão os alunos também puderam perceber como o processo adiabático ocorre na atmosfera.

Na discussão sobre a energia contida em um furacão, os alunos ficaram muito surpresos com a quantidade de energia envolvida no processo e de que maneira ocorrem as trocas de energia. Causou bastante surpresa ao perceberem que a energia contida em um furacão é muito maior que a capacidade de geração de energia elétrica do planeta. Dessa maneira eles constataram um dos motivos de um furacão ser tão destrutivo.

No que diz respeito ao conceito de pressão e pressão atmosférica eles compreenderam como ela influencia na circulação atmosférica e na formação de ventos. Ao estudarem a força de Coriolis na atmosfera, foi possível perceberem de que maneira ela exerce influência na circulação atmosférica. Ao fazermos o procedimento experimental sobre processos adiabáticos, os estudantes conseguiram compreender melhor os conceitos de pressão e a maneira como ela atua na atmosfera na formação das nuvens.

A avaliação dessa sequência didática consistiu na resposta a dois questionários, sendo o primeiro ao final do tópico sobre Mudanças Climáticas Globais e suas Consequências e o segundo após a atividade experimental sobre processos adiabáticos.

No primeiro questionário, os alunos foram instigados a perceberem os efeitos das mudanças no clima na região onde vivem, a seguir no país onde residem e em última escala, em relação ao planeta. Ao analisar as respostas dadas ao primeiro questionário, pode-se perceber que os educandos conseguiram, em sua maioria, relacionar as alterações no clima que afetam o seu cotidiano, além de conseguirem associar as queimadas na Amazônia a possíveis mudanças no clima aqui na região sul.

No segundo questionário, a partir das respostas colhidas, a maioria dos estudantes conseguiu compreender os aspectos físicos básicos relacionados aos fenômenos atmosféricos que foram estudados, soube distinguir ciclones tropicais (furacões) de tornados, compreendeu de que maneira a força de Coriolis atua no movimento da atmosfera. Com a atividade experimental entenderam como ocorre o processo adiabático e a influência da pressão na atmosfera. Essa atividade se mostrou essencial para a melhor apropriação dos conceitos e isso foi percebido após discussão durante a atividade e após a análise das respostas ao questionário.

Ao verificarmos as respostas dadas ao questionário de sondagem inicial, foi possível perceber uma confusão de conceitos relacionados aos fenômenos atmosféricos e às mudanças climáticas. Uma confusão comum foi terem dificuldade em diferenciar um furacão e um tornado, e outros estudantes o erro conceitual foi imaginar que o aquecimento global seria a mudança das estações do ano e, portanto, algo normal. Após os assuntos serem apresentados,

debatidos e tirados as diversas dúvidas que surgiam, foi possível perceber que o conteúdo abordado havia sido apropriado pela maioria dos estudantes.

Essa dissertação descreveu a aplicação de uma proposta didática que abordasse os principais conceitos de Termodinâmica, Pressão, Pressão Atmosférica, com o objetivo de aproximar da vivência dos estudantes um assunto tão importante e atual como as Mudanças Climáticas Globais. Também era um objetivo a ser atingido nesse trabalho, visto que apesar de este assunto poder ser encontrado nos meios de comunicação, em geral, ele não é apropriado pela maior parte dos estudantes.

As aulas transcorreram de forma bem proveitosa, com os estudantes atentos e mais questionadores que o normal para uma aula de Física. Notou-se que eles se mostraram mais dispostos e interessados pelos temas que estavam sendo estudados. Após analisarmos as aulas e as respostas dadas constatamos que o aprendizado dos educandos foi bastante adequado e, portanto, podemos concluir que nossos objetivos foram alcançados.

Ao desenvolvermos esse produto educacional buscávamos aproximar o Ensino de Física de temas tão relevantes e atuais, que impactam direta ou indiretamente na vida dos estudantes. Não é o objetivo deste trabalho substituir o livro didático ou qualquer outro material educacional, mas que seja usado como um complemento, associado a outros materiais. Consideramos que esse material possa ser aprimorado após outras pesquisas.

Reiteramos a necessidade em se produzir materiais de cunho construtivista que leve o educando a ser ativo na construção do conhecimento. Portanto, esperamos que outros profissionais utilizem esse produto educacional em suas aulas.

REFERÊNCIAS

ANGOTTI, José André Peres. **Livro Digital Metodologia e Prática de Ensino de Física**. Santa Catarina: Ufsc, 2015. 118 p. Disponível em: http://ppgect.ufsc.br/files/2012/11/AngottiLDgMPEF_Ed_Prel130715F.pdf. (Acesso em : 20/08/2019)

AUSUBEL, D. P.; NOVACK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs)**. Brasília: MEC/SEF, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)**. Brasília: MEC/SEMTEC, 2000.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs)**. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.

DIAS, M A F S, Furacões e tornados: um espetáculo da rotação na atmosfera terrestre, **Revista da USP**, São Paulo, n. 72, p. 44-53, dezembro/fevereiro 2006-2007.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de Ciências: Fundamentos e métodos**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2009.

_____; ANGOTTI, J.A. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 1994.

GOZZO, L. F., Ciclones Subtropicais Sobre o Sudoeste do Atlântico Sul: Climatologia e Fontes de Umidade. 129 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.

MENEZES, F M de. Física da atmosfera: uma situação de estudo para o ensino de física no 2º ano do ensino médio. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande. 2019.

MOREIRA, Marco Antonio. Material de apoio para o curso Aprendizagem Significativa no Ensino Superior: Teorias e Estratégias Facilitadoras. PUCPR, 2012, 2013.

_____, M. A. Teorias de Aprendizagem. São Paulo: EPU, 1999.

_____, M,A, **Aprendizagem Significativa: a teoria de aprendizagem de David Ausubel**. 2ª ed. São Paulo: Centauro Editora, 2006. _

_____, M. A.; MASINI E. F.; **Aprendizagem significativa: Teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes, 1982

_____, M. A. Grandes Desafios para o Ensino da Física na Educação Contemporânea. **Revista do Professor de Física**, v. 1, n. 1, p. 1-13, 7 ago. 2017.

NUSSENZVEIG, Herch Moyses. **Curso de Física Básica**, Volume II. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/programa-saude-da-escola/195-secretarias-112877938/sebeducacao-basica-2007048997/12598-publicacoes-sp-265002211>>. Acesso em: 05 ago 2019.

ROCHA, F. P; ARAVÁQUIA, J. A.; RIBEIRO, B. Z. Estudo de ciclones e de padrões de circulação atmosférica no Oceano Atlântico Sul próximo à costa das regiões Sul e Sudeste do Brasil usando dados da reanálise do Era-Interim. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, 141-156. 2016.

YOUNG, Hugh D; A FREEDMAN, Roger. Primeira Lei da Termodinâmica. In: YOUNG, Hugh D. **Física II: Termodinâmica e Ondas**. 10. ed. Sao Paulo: Addison Wesley, 2003. Cap. 17. p. 176-186. TRADUÇÃO: ADIR MOYSES LUIZ.

VIDAL, R. S. M. F.. Ensino de termodinâmica através da construção de instrumentos de medição de variáveis meteorológicas e da confecção de miniestação meteorológica portátil com Arduino. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2018.

APÊNDICE A - Produto Educacional



PRODUTO EDUCACIONAL

AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E OS CICLONES TROPICAIS COMO UMA PROPOSTA DE ENSINO DE TERMODINÂMICA E DINÂMICA DOS FLUIDOS

Wendell Teixeira da Silva

Florianópolis

2020

71

ÍNDICE

Introdução-----	67
Cronograma de Implementação do Produto Educacional-----	68
Mudanças Climáticas Globais e suas Consequências-----	70
Fenômenos Atmosféricos-----	73
Termodinâmica-----	94
A Física em um Ciclone Tropical-----	99
Experimento sobre Processos Adiabáticos-----	108

INTRODUÇÃO

Desde a década de 80 as mudanças climáticas têm sido observadas mais atentamente pela comunidade científica. Atualmente os organismos científicos internacionais e seus cientistas estão convencidos de que, apesar de as mudanças climáticas serem naturais no planeta, o homem e suas atividades modernas contribuíram de forma decisiva para o agravamento da situação.

O meio ambiente é hoje o grande tema de discussões nos fóruns de debates internacionais. No Fórum Econômico Mundial, evento que reúne anualmente lideranças mundiais em diversas áreas, em Davos, na Suíça, as mudanças climáticas são o tema central dos debates. Apesar da negação da contribuição humana nas alterações do clima por alguns governantes, podemos notar a ocorrência de eventos climáticos cada vez mais intensos; incêndios de grandes áreas agravados por ondas de calor; nevascas; secas severas; ciclones tropicais (furacões) mais destruidores e em regiões onde não havia registro anterior do fenômeno, provocando muitos prejuízos econômicos e diversas vítimas fatais.

A partir desse cenário e das implicações na vida das pessoas é necessário que busquemos compreender melhor as mudanças que estão em curso, quais as possíveis consequências que estaremos submetidos e a partir desse conhecimento exigir das autoridades medidas que possam mitigar esses problemas.

Nesse contexto a Física, que é uma ciência que estuda a natureza, exerce um papel importante na compreensão dessas mudanças no clima pois os conceitos físicos podem descrever esses fenômenos com muita precisão.

Esse material didático é destinado ao professor (a) para o estudo da Termodinâmica e de Mecânica dos Fluidos, em turmas do 2º ano do Ensino Médio. Para a realização do estudo é utilizado a contextualização com as Mudanças Climáticas Globais e os Ciclones Tropicais. Esse produto é resultado de um projeto do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física e foi desenvolvido com alunos do 2º ano do Ensino Médio. O material foi escrito com o objetivo de que os alunos consigam compreender as modificações que estão em curso no clima do planeta e conheçam um fenômeno que por enquanto ainda é raro aqui no Brasil que são os furacões.

CRONOGRAMA DE IMPLEMENTAÇÃO DE IMPLEMENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

A seguir apresentamos uma proposta de cronograma de aplicação do produto educacional com a descrição dos conteúdos trabalhados, os seus objetivos e atividades a serem desenvolvidas.

CRONOGRAMA DE APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL			
AULA	CONTEÚDOS	OBJETIVOS	ATIVIDADES
1ª	Introdução às Mudanças Climáticas Globais	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentar a proposta e compartilhar o material; - Verificar interesses e expectativas; - Problematizar e introduzir os conteúdos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação de questionário investigativo de concepções prévias, interesse e expectativas dos alunos; - Apresentação geral do projeto e discussão dos objetivos, métodos e avaliação; - Apresentação do material instrucional e cronograma; - Exposição do conteúdo em slides;
2ª	Mudanças Climáticas Globais;	<ul style="list-style-type: none"> - Discutir o questionário inicial; - Compreender o processo de mudanças climáticas; - Conhecer os efeitos das mudanças climáticas no planeta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Exibição do vídeo 1, sobre Mudanças Climáticas produzido pelo INPE (https://youtu.be/ssvFqYSIMho) - Exposição dos conteúdos em slides; - Aplicação do texto <i>Mudanças Climáticas Globais e suas Consequências</i>.
3ª	Mudanças Climáticas Globais	<ul style="list-style-type: none"> - Compreender o processo de mudanças climáticas globais; 	<ul style="list-style-type: none"> - Exibição do vídeo 2 sobre Mudanças Climáticas produzido pelo INPE; - Aplicação do questionário do texto <i>Mudanças Climáticas Globais e suas Consequências</i>; - Exposição do conteúdo em slides;
4ª	Fenômenos Atmosféricos	<ul style="list-style-type: none"> - Definir o que são os fenômenos atmosféricos; - Conhecer os diferentes tipos de fenômenos atmosféricos; - Identificar a classificação dos ciclones tropicais 	<ul style="list-style-type: none"> - Texto de apoio <i>Fenômenos Atmosféricos</i>; - Exposição do conteúdo em slides; -
5ª	Ciclones Tropicais	<ul style="list-style-type: none"> - Conhecer quais as condições necessárias 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação do texto sobre <i>Fenômenos Atmosféricos</i>;

		<p>para a formação de um ciclone tropical;</p> <p>- Conhecer quais foram os principais ciclones tropicais no mundo, o evento em SC e o período de ocorrência.</p>	- Exposição do conteúdo em slides
6 ^a	A Física em um ciclone tropical	<p>- Compreender a física envolvida em um ciclone tropical;</p> <p>- Conhecer os conceitos de pressão e pressão atmosférica</p>	<p>- Aplicação do texto <i>A Física em um ciclone tropical</i> ;</p> <p>- Exposição de conteúdos em slides;</p>
7 ^a	Força de Coriolis e a Força de Coriolis na Atmosfera	<p>- Conhecer os conceitos sobre a força de Coriolis</p> <p>- Compreender a força de Coriolis na atmosfera</p>	<p>- Aplicação do texto <i>A Física em um ciclone tropical</i></p> <p>- Exposição de conteúdos em slides;</p>
8 ^a	Termodinâmica	<p>- Compreender os conceitos relativos à 1^a Lei da Termodinâmica;</p> <p>- Conhecer os processos de transformações particulares e a 1^a lei da termodinâmica.</p>	<p>- Apresentação do conteúdo sobre Termodinâmica;</p> <p>- Exposição dos conteúdos em slides.</p>
9 ^a	Processos Termodinâmicos de Transformação	<p>- Compreender o processo adiabático ;</p> <p>- Conhecer como as nuvens são formadas</p>	<p>- Apresentação do conteúdo sobre Processos termodinâmicos de transformação;</p> <p>- Experimento sobre o Processo Adiabático</p>
10 ^a	Processos Adiabáticos	- Avaliação sobre fenômenos atmosféricos	- Questionário de avaliação sobre Fenômenos Atmosféricos e a Física em um Ciclone Tropical

MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E SUAS CONSEQUÊNCIAS

O clima no planeta sempre passou por períodos de mudanças de forma natural, os cientistas têm se debruçado em estudos para compreender a interferência no clima causada pela atividade humana. A ONU possui um organismo onde milhares de cientistas pesquisam as mudanças no clima, 600 desses cientistas de todo o mundo assinam os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, IPCC da sigla em inglês (Intergovernmental Panel on Climate Change), organismo criado em 1988.

Os resultados de pesquisas e simulações sofisticadas vêm evidenciando que as emissões excessivas de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) podem provocar mudanças permanentes e irreversíveis no clima [MARENGO, 2001].

No período da Revolução Industrial (1860) os níveis de CO_2 eram em volume de 277 partes por milhão (ppm) e até 1960 aumentaram para 317 ppm. De 1960 até 2001 o nível de CO_2 na atmosfera aumentou para 371 ppm, tendo um incremento de 54 ppm. Nesse período de quatro décadas houve um aumento no uso de combustíveis fósseis.

De acordo com os modelos climáticos, mantendo-se os níveis de crescimento das emissões, deverá acontecer um aquecimento superior a 6°C em certas áreas do planeta até o fim do século XXI. A melhor estimativa é de um aquecimento de cerca de 3°C e é muito difícil que seja inferior a $1,5^\circ\text{C}$.

Segundo os relatórios do IPCC, teremos essas modificações no planeta no século XXI:

- (1) O nível dos oceanos vai aumentar de 18 a 59 centímetros até 2.100;
- (2) As chuvas devem aumentar em cerca de 20%;
- (3) O gelo do Polo Norte poderá ser completamente derretido no verão, por volta de 2100;
- (4) O aquecimento da Terra não será homogêneo e será mais sentido nos continentes que nos oceanos;
- (5) O hemisfério norte será mais afetado do que o sul.

As regiões do planeta mais suscetíveis às mudanças climáticas são quase todos os países da África e do sul da Ásia, além das pequenas ilhas oceânicas. O Brasil, assim como os

demais países da América Latina, não estão livres dos efeitos das mudanças no clima do planeta [NOBRE, 2008].

A partir das análises das pesquisas já realizadas, podemos listar alguns efeitos que já são percebidos atualmente decorrentes das mudanças climáticas:

- (a) aumento do nível do mar;
- (b) alteração no suprimento de água doce;
- (c) tempestades de chuva e neve mais fortes e mais frequentes;
- (d) forte e rápido ressecamento do solo devido a períodos secos mais intensos.

[MARENGO, 2001].

Analisando os cenários das mudanças climáticas na América do Sul para as próximas décadas até o final deste século, ainda são incertos os seus efeitos. Em cenário mais otimista projetado pelo modelo matemático do sistema climático global (MCG), o aquecimento projetado para a América do Sul varia de 1° a 4°C, e em um cenário mais pessimista o aquecimento varia de 2° a 6°C . Como podemos notar, em qualquer cenário teremos um clima mais quente.

Uma das projeções é que haverá uma maior ocorrência de extremos climáticos e de eventos intensos tais como secas, veranicos, vendavais, tempestades severas, inundações etc., com o planeta mais quente [NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR; 2008].

Alguns experimentos realizados em modelos matemáticos de previsão tiveram como objetivo projetar as várias modificações na vegetação, decorrentes das mudanças climáticas. Oyama e Nobre (2004) desenvolveram um modelo de vegetação potencial (CPTEC-PVM) que pode projetar a distribuição global dos diversos biomas, em especial os biomas da América do Sul [NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR; 2008].

A partir dessas análises verifica-se uma projeção do aumento da área de savanas (cerrado chegando ao Pará) e a caatinga transformando-se em um semi-deserto na região central do Nordeste do Brasil (Nobre *et al*, 2004). Para o fim do século XXI a projeção é de que a floresta tropical na Colômbia e no Oeste da Amazônia seja mantida, e que a mata Atlântica se expanda para o extremo sul do Brasil.

Nas projeções relativas à precipitação, os estados da região Sul se converterão em mais úmidos, ao contrário da maior parte da Amazônia que ficará mais seca. Ao analisarmos as tendências pluviométricas para a região Sul observa-se um aumento da pluviosidade, porém no total de chuvas não há um aumento significativo. Esta mudança tende a acontecer em eventos

pluviais mais extremos (MENDONÇA, 2006). Com isso é necessário que o poder público desenvolva políticas para que a população consiga prevenir e também mitigar os efeitos que serão provocados pelas mudanças no clima da região.

REFERÊNCIAS

MARENGO, J; SOARES, W, 2003: Impacto das modificações da mudança climática: Síntese do Terceiro Relatório do IPCC. Condições climáticas e recursos hídricos no Norte do Brasil. Capítulo 6 em *Clima e Recursos Hídricos 9*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos/FBMC-ANA. Porto Alegre, Brasil, pp 209-233.

NOBRE, Carlos A; SAMPAIO, Gilvan; SALAZAR, Luis. Mudanças Climáticas e Amazônia. *Cienc. Cult.*, São Paulo, v. 59, n. 3, p. 22-27, Sept. 2007. Available from <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252007000300012&lng=en&nrm=iso>. access on 08 Sept. 2019.

NOBRE, Carlos Afonso; SAMPAIO, Gilvan; SALAZAR, Luiz. Cenários de Mudanças Climáticas para a América do Sul para o Fim do Século 21. *Parcerias Estratégicas*, Brasília, v. 13, n. 27, p.19-42, 2008.

MENDONÇA, Fernando. Aquecimento Global e suas Manifestações Regionais e Locais: Alguns indicadores da Região Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v. 2, p.71-86, 2006.

MARENGO, José Antonio. Mudanças Climáticas Globais Regionais: Avaliação do Clima Atual do Brasil e Projeções de Cenários Climáticos do Futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 16, n. 1, p.01-18, 2001.

NOBRE, Carlos Afonso. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. *Parcerias Estratégicas*, Brasília, n. 12, p.239-258, 2001.

Intergovernmental Panel on Climate Change [homepage on the Internet].
Washington DC: IPCC; 2007[cited 2007 Feb.]. Available from: <http://www.ipcc.ch>

FENÔMENOS ATMOSFÉRICOS

O presente trabalho pretende analisar a formação de ciclones e furacões, destacando a Física envolvida nos processos e propor uma sequência didática para ser aplicada aos alunos do 2º ano do ensino médio.

De acordo com os estudos já realizados sobre a atmosfera [NSDIC 2019], sabe-se que há uma quantidade muito grande de fenômenos em que destacam-se:

- Aerossóis;
- Hidrometeoros (chuvas, formação de nuvens, granizo, neve, gotas de água);
- Frentes frias e frentes quentes;
- Ciclone – tropical (furacão);
- Ciclone – extratropical;
- Ciclone – subtropical;
- Tornado;
- Eletrometeoros (raio, trovão).

Dos fenômenos atmosféricos listados, ciclones, furacões e tornados são os mais energéticos. Um ciclone tropical é um termo genérico usado para um sistema de baixa pressão de escala sinótica não frontal sobre as águas tropicais ou subtropicais com convecção organizada (ou seja, atividade de tempestades) e circulação ciclônica de vento de superfície definida [Holland, 1993].

Os ciclones tropicais com ventos superficiais de menos de 17 m/s são geralmente chamados de “*depressões tropicais*”. Se o ciclone tropical atinge ventos de pelo menos 17 m/s eles são tipicamente chamados de “*tempestades tropicais*” ou na Austrália um ciclone de categoria 1 e recebem um determinado nome. Se os ventos atingirem 33 m/s então são chamados de furacão (no Oceano Atlântico, NE do Pacífico) [Newmann, 1993].

A classificação dos furacões é feita com a escala Saffir-Simpson a partir da velocidade do vento, como pode ser conferida na tabela abaixo:

Categoria	Velocidade do vento (km/h)	Danos causados
01	119 - 153	Ventos muito perigosos que produzirão alguns estragos.
02	154 - 178	Extremamente perigosos, os ventos causarão danos extensos
03	179 - 208	Ocorrerão danos devastadores
04	209 - 252	Ocorrerão danos catastróficos
05	> 252	Danos catastróficos

Fonte: <http://www.nhc.noaa.gov/aboutgloss.shtml>

A partir da tabela de classificação dos furacões na escala Saffir-Simpson, podemos listar alguns dos maiores eventos ocorridos:

- **Ciclone Bhola em 1970:** ciclone tropical que atingiu Bangladesh e Bengala Ocidental na Índia em 12 de novembro de 1970. Este foi o sistema tropical com o maior número de vítimas já registrado, estimam-se entre 300.000 e 500.000 pessoas. A cidade Thana Tuzumuddin foi a área mais devastada em que 45% da população de 167.000 pessoas morreram como consequência da passagem do ciclone de categoria 3.

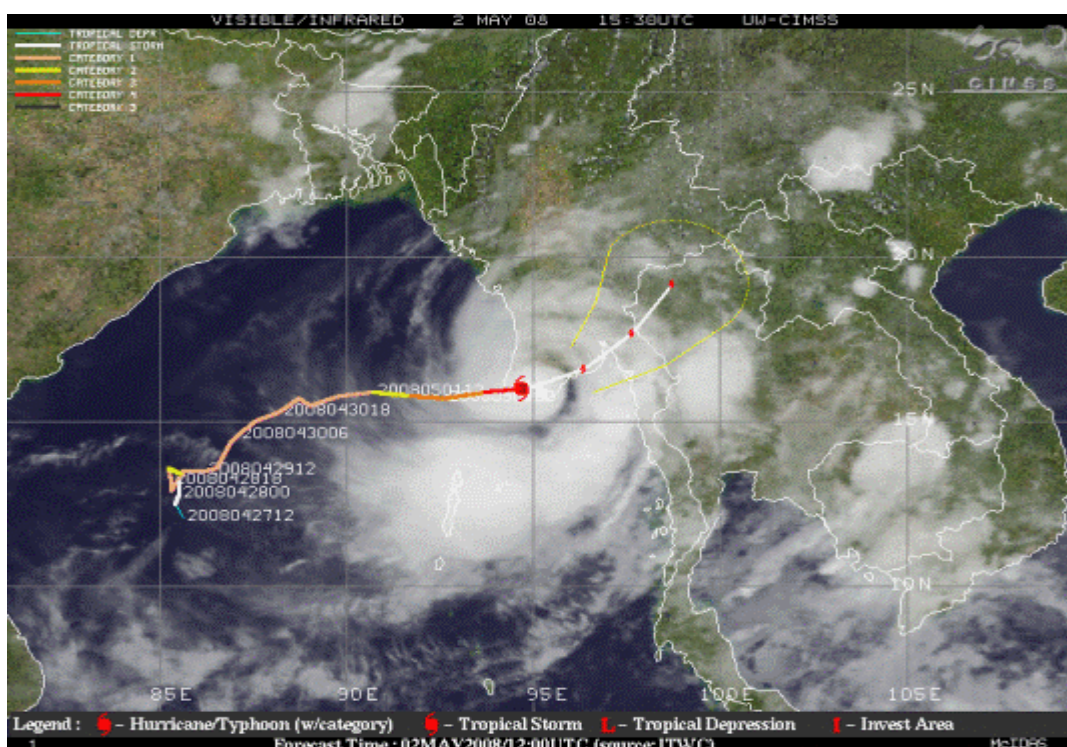


Figura 1: Imagem de satélite do ciclone Bhola (1979).

Tufão Nina em 1975: este supertufão que ocorreu na China, teve curta duração, chuvas de 1060mm na região central da China em um dia o que seria esperado em um ano. Milhares de pessoas morreram devido às inundações causadas principalmente pelo rompimento da Barragem de Banqiao. O prejuízo causado por este tufão de categoria 4, estimado em valores de 1975, foi de US\$ 1,2 bilhões.



Figura 2: Imagem de satélite do Tufão Nina, China (1975).



Figura 3: Trajetória do tufão Nina, China (1975)



Figura 4: Rompimento de barragem causado pelo Tufão Nina, China (1975).

- **Furacão Ike em 2008:** este é um dos três furacões mais destrutivos que atingiu os Estados Unidos da América e o Caribe. Ao passar pela região no início de setembro de 2008, causou prejuízos de US\$ 24 bilhões nos Estados Unidos, US\$ 7,3 bilhões em Cuba, US\$ 200 milhões nas Bahamas, e US\$ 500 milhões em Turks e Caicos, com um total de US\$ 32 bilhões em prejuízos. Entre o Haiti e os Estados Unidos ao menos 195 pessoas morreram. Esse foi um furacão de categoria 4 e as maiores rajadas sustentadas de vento atingiram 230 km/h.

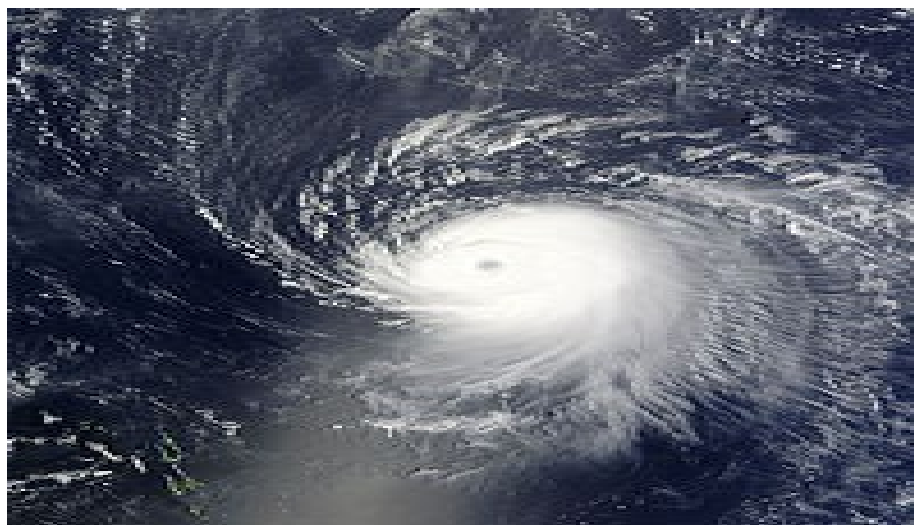


Figura 5: Imagem de satélite do furacão Ike sobre o mar do Caribe (2008) Fonte: NOAA.

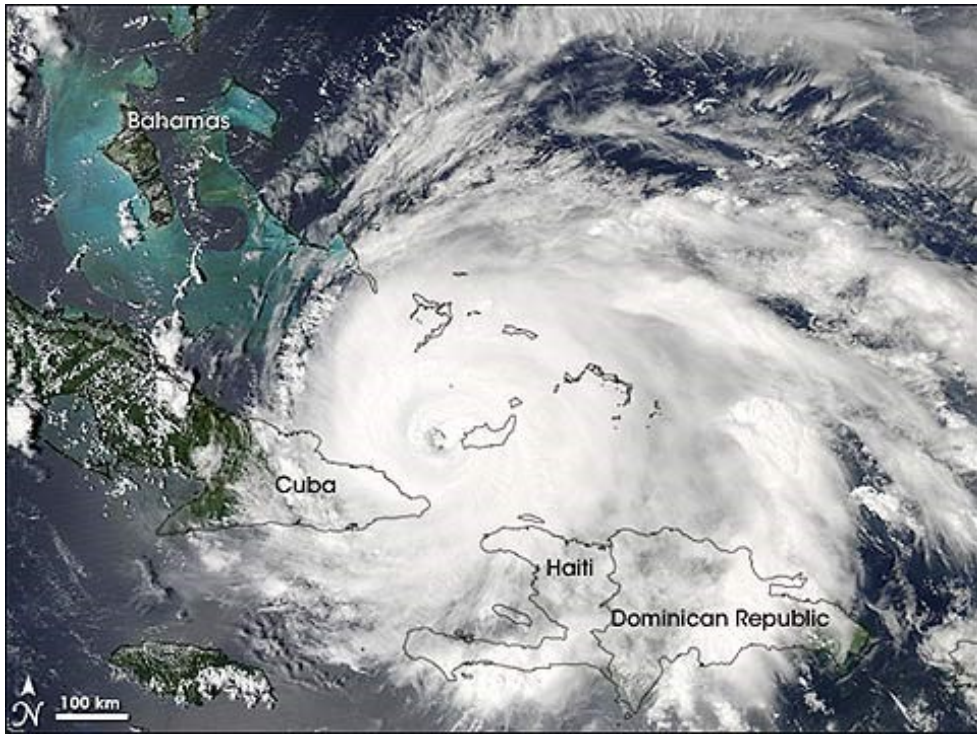


Figura 6: Imagem de satélite do furacão Ike sobre o Caribe (2008). Fonte: NOAA

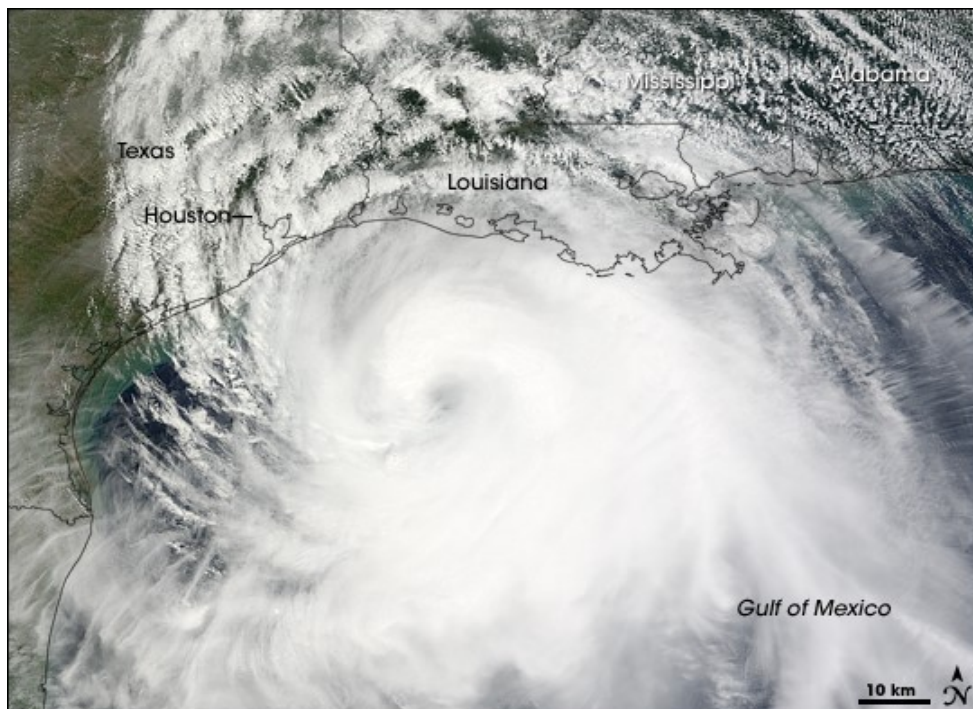


Figura 7: Olho do furacão Ike (2008) próximo da costa da Louisiana (EUA). Fonte: NOAA

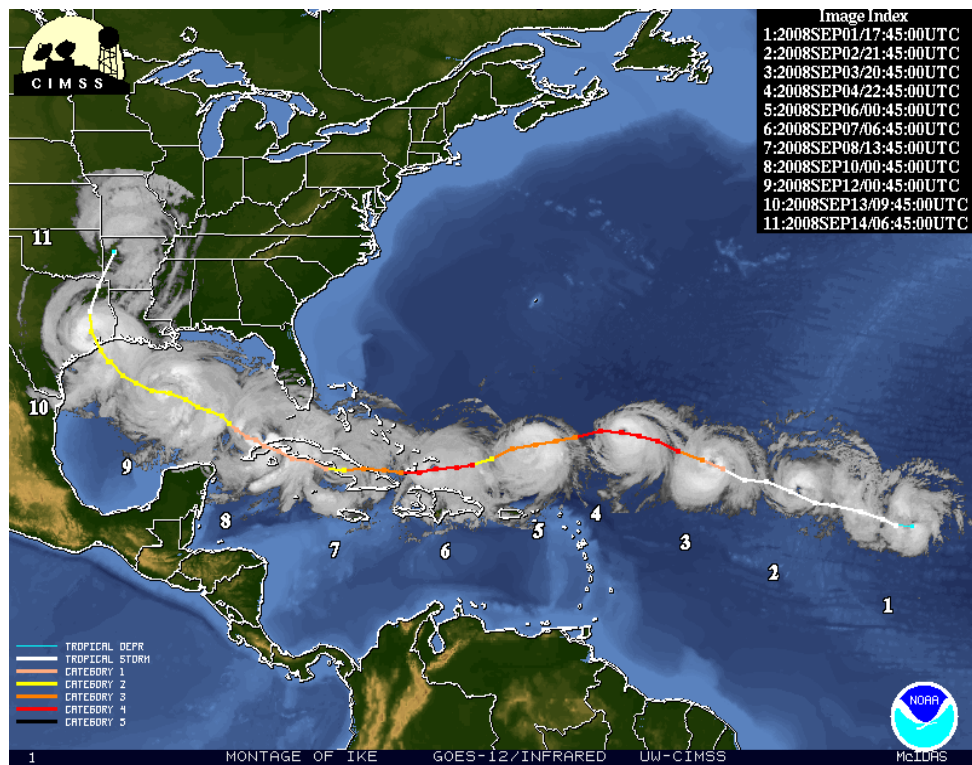


Figura 8: Trajetória do furacão Ike (2008). Fonte: NOAA



Figura 9: Destruição no Haiti causada pelo furacão Ike (2008). Fonte: GettyImages



Figura 10: Destruição em Gilchrist, Texas, provocada pelo furacão Ike (2008). Fonte: GettyImages

4 - Furacão Katrina em agosto de 2005: foi uma tempestade tropical que alcançou a categoria 5 na escala Saffir-Simpson, porém ao chegar à região sudeste do EUA, já havia regredido para a categoria 4. Seus ventos atingiram velocidades sustentadas de 280 km/h em que produziu prejuízos estimados em US\$ 81 bilhões e a morte de 1833 pessoas. A região metropolitana de New Orleans, no estado da Louisiana, EUA, foi o local mais devastado pelo furacão.



Figura 11: Furacão Katrina (2005) sobre o estado da Louisiana. Fonte: NOAA



Figura 12: Imagem de satélite do furacão Katrina (2005) sobre o Golfo do México. Fonte: NOAA.

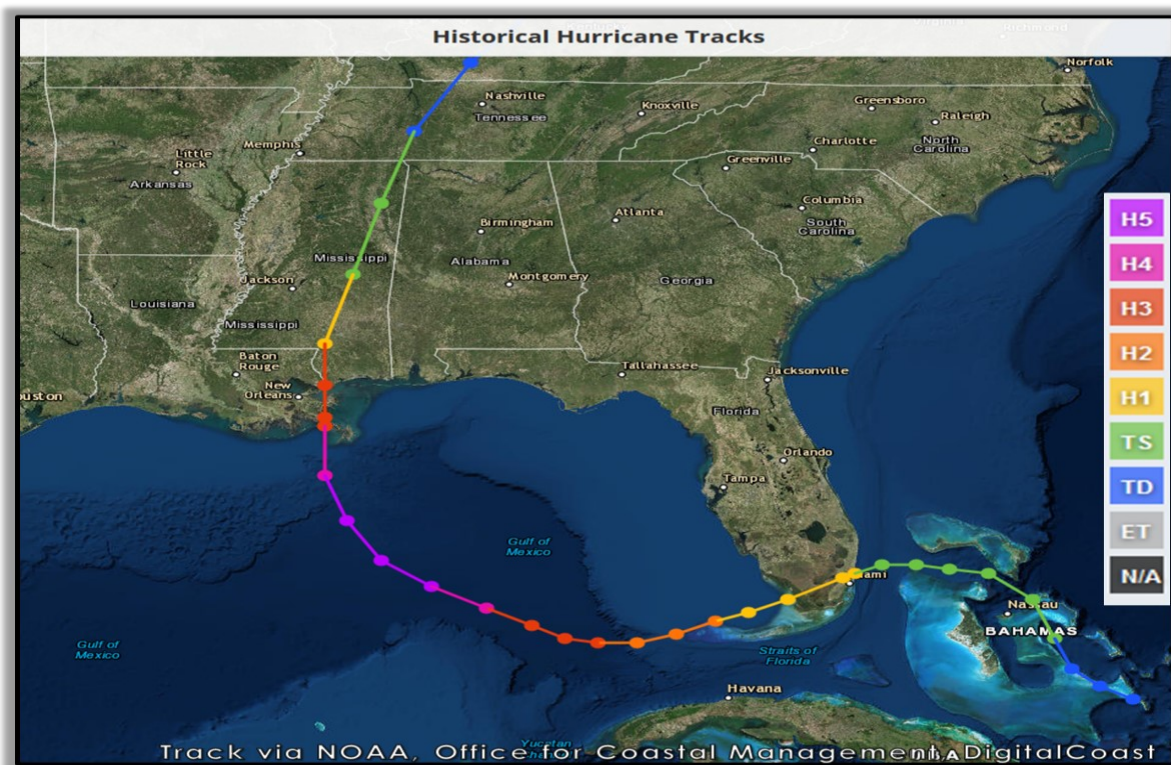


Figura 13: Trajetória do furacão Katrina (2005). Fonte: NOAA



Figura 14: New Orleans, Louisiana (EUA), inundada após a passagem do furacão Katrina (2005). Fonte: GettyImages



Figura 15: Plataforma de petróleo arrastada pelo furacão Katrina (2005). Fonte: Gettyimages

5 - Furacão Catarina em março de 2004: o furacão formou-se a partir de um ciclone extratropical estacionário desde o dia 12 de março. Suas rajadas de vento alcançaram velocidades máximas sustentadas de até 180 km/h, sendo classificado como de categoria 2 na escala Saffir-Simpson, no dia 26 de março. As cidades de Araranguá, Balneário Arroio do Silva, Balneário Gaivota, Passos de Torres, Sombrio, localizadas no sul do estado de Santa Catarina foram as mais afetadas pelo furacão de um total de 40 municípios atingidos. Os prejuízos causados foram estimados em US\$ 470 milhões, quatro pessoas morreram, 518 ficaram feridas e 33 mil pessoas ficaram desabrigadas.



Figura 16: Imagem de satélite do furacão Catarina próximo à costa brasileira. Fonte: UFSC - <https://noticias.ufsc.br/tags/furacao-catarina/>

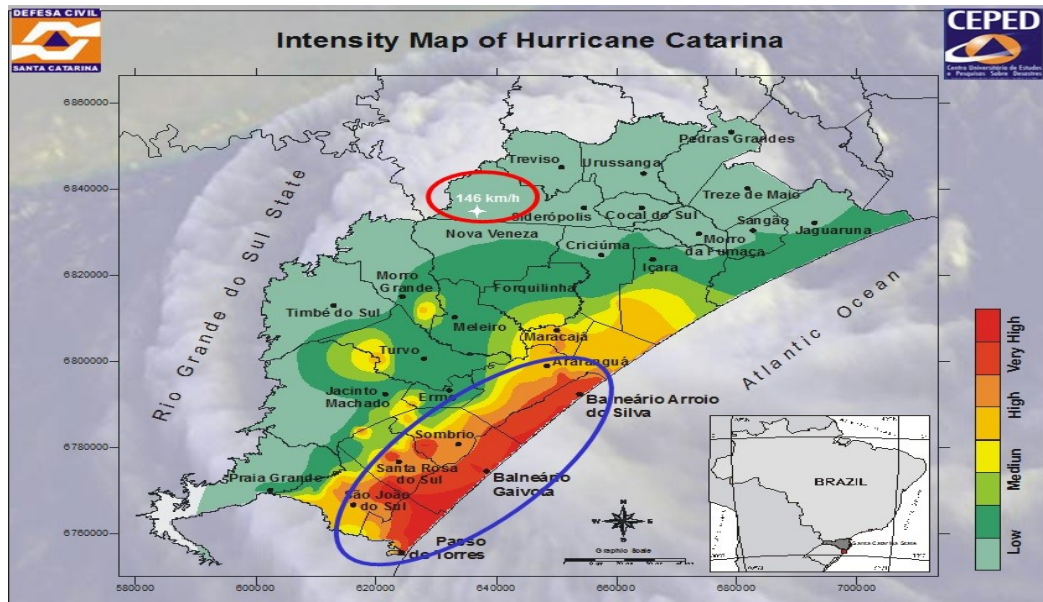


Figura 17: Áreas afetadas pelo Furacão Catarina (03/2004) Fonte: CEPED – UFSC

A fúria dos ventos

CICLONE ATINGE SUL DE SC E NORTE DO RS, DEIXA UM MORTO E 12 DESAPARECIDOS



PÂNICO: 20 mil casas foram atingidas pelo vento, que chegou a 150 quilômetros por hora, em 40 cidades catarinenses

Estado e prefeituras apuram os prejuízos

O governador Luiz Henrique acompanhou, durante o dia, os trabalhos de recuperação e levantamentos dos estragos. À noite, pediu aos prefeitos um detalhamento da situação para a busca de recursos. Juarez Bernardes (foto) perdeu o carro sob um muro em Araranguá.

Após o susto, surge a solidariedade

Milhares de famílias foram desabrigadas pelo ciclone na madrugada de domingo. Em Criciúma, uma das áreas mais atingidas foi o bairro Paraíso (foto). A Assembleia Legislativa e as prefeituras iniciaram campanhas para recolher doativos e auxiliar os flagelados.

COBERTURA COMPLETA NAS PÁGINAS QUATRO A 11

Figura 18: Capa do jornal Diário Catarinense no dia seguinte ao Furacão Catarina (29/03/2004).



Figura 19: Destruição no sul de SC após o furacão Catarina em 2004. Fonte: Defesa Civil de SC. 2008



Figura 20: Destruição no sul de SC após a passagem do furacão Catarina em 2004. Fonte: Defesa Civil de Santa Catarina 2008

Período de ocorrência dos furacões

O período de ocorrência dos furacões inicia-se em maio, ao norte do Oceano Atlântico e vai até o mês de novembro, porém o período de maior número de ocorrências se dá entre os meses de agosto e outubro. No leste do Oceano Pacífico a temporada de furacões inicia-se em maio, tem seu maior número de ocorrências no mês de agosto e termina em novembro. Já no noroeste do Oceano Pacífico a temporada inicia-se em março e os meses de maior incidência vão de junho a dezembro.

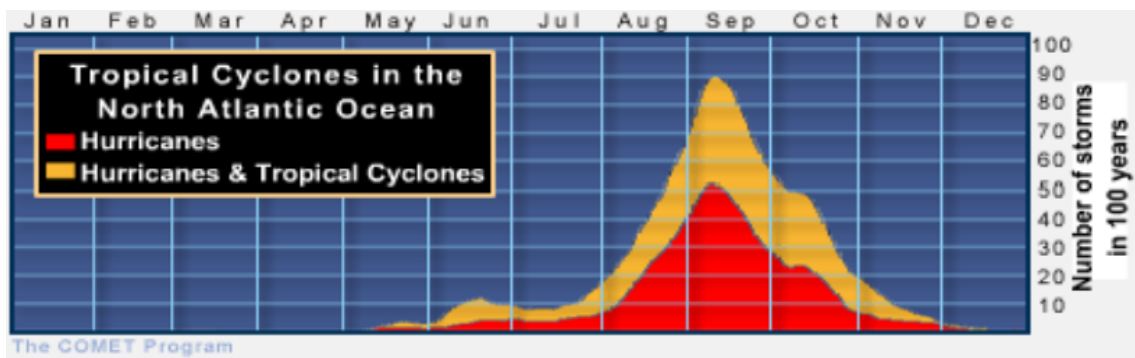


Figura 21: Período de ocorrência de furacões no norte do Oceano Atlântico. No gráfico, a área em vermelho refere-se a furacões enquanto a área laranja refere-se a furacões e ciclones tropicais. No eixo horizontal são os meses do ano e no eixo vertical temos o número de tempestades em 100 anos. Fonte: The Comet Program: http://stream1.cmatc.cn/pub/comet/Environment/Hurricane_Strike/strike/text/htc_t2.htm#seasons1_ret

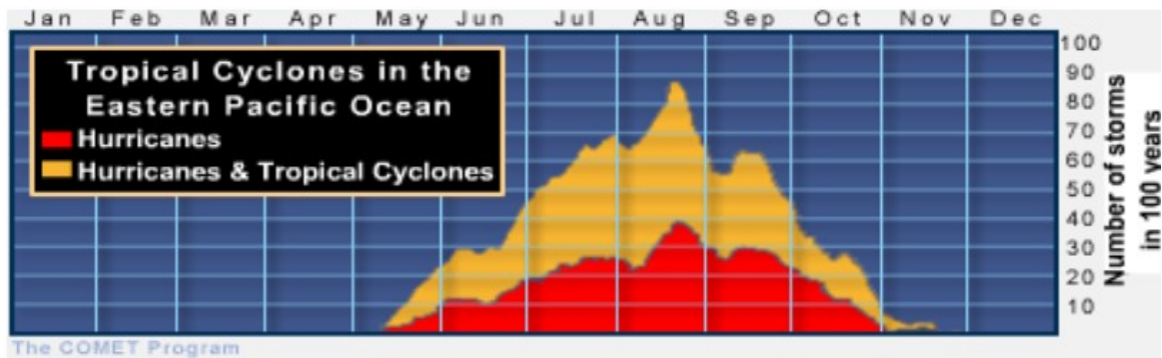


Figura 22: Período de ocorrência de furacões no leste do Oceano Pacífico. No gráfico, a área em vermelho refere-se a furacões enquanto a área laranja refere-se a furacões e ciclones tropicais. No eixo horizontal são os meses do ano e no eixo vertical temos o número de tempestades em 100 anos. Fonte: The Comet Program: http://stream1.cmatc.cn/pub/comet/Environment/Hurricane_Strike/strike/text/htc_t2.htm#seasons1_ret

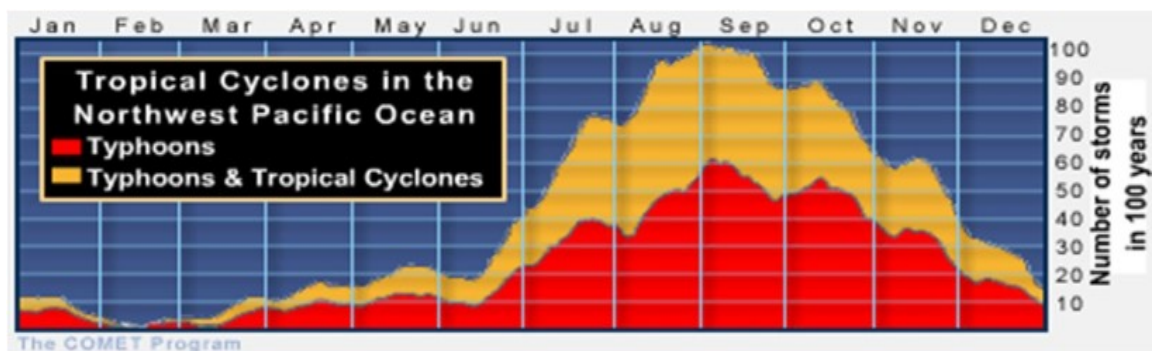


Figura 23: Período de ocorrência de furacões no noroeste do Oceano Pacífico. No gráfico, a área em vermelho refere-se aos tufões enquanto a área laranja refere-se a tufões e ciclones tropicais. No eixo horizontal são os meses do ano e no eixo vertical temos o número de tempestades em 100 anos. Fonte: The Comet Program: http://stream1.cmatc.cn/pub/comet/Environment/Hurricane_Strike/strike/text/htc_t2.htm#seasons1_ret

Trajeto dos furacões no período 1842 – 2016

Observa-se a ocorrência de furacões na região norte do Oceano Atlântico; leste do Oceano Pacífico; noroeste do Oceano Pacífico; Oceano Índico, na região abaixo da linha do Equador principalmente, na região que vai da costa da África até a Austrália; região da Oceania no Oceano Pacífico conforme pode ser observado na figura 23. Porém, há um único evento registrado na região sul do Oceano Atlântico, o furacão Catarina, que ocorreu em março de 2004. Até 2016, não há outro registro de evento nessa região.

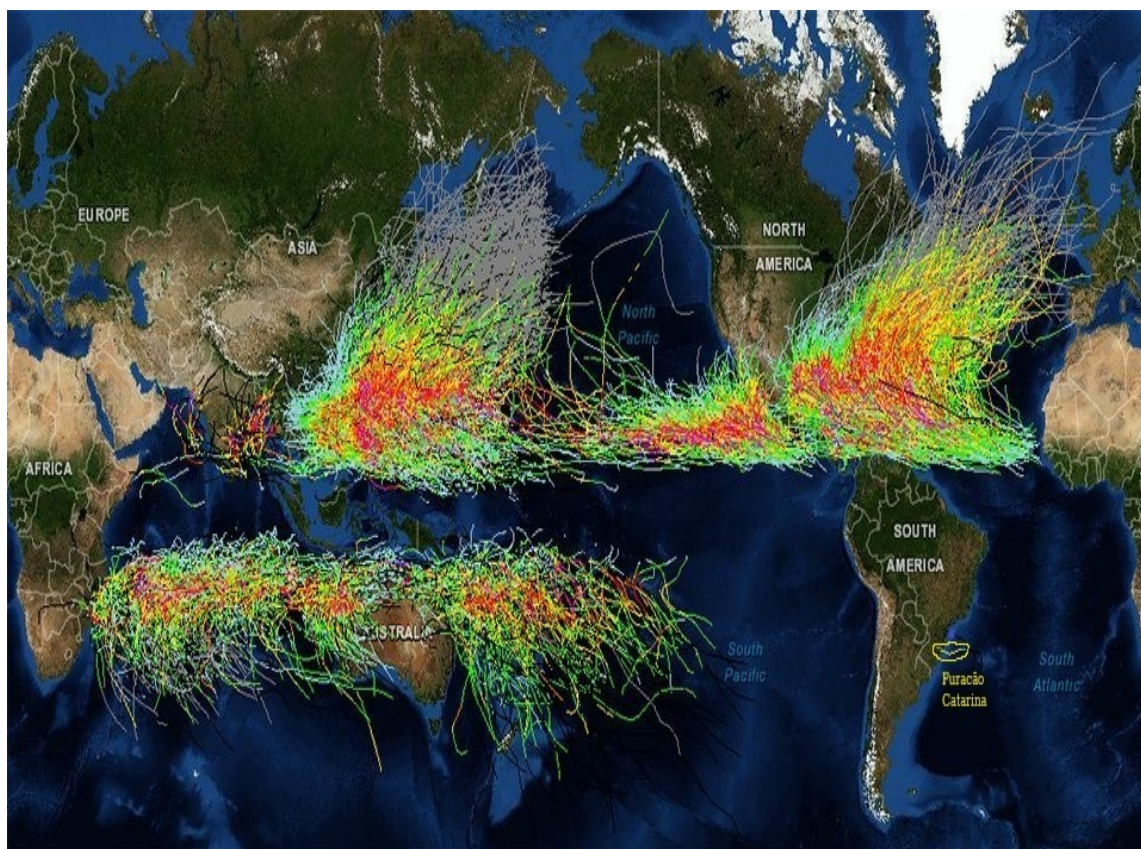


Figura 24: Histórico de ocorrências de furacões de 1842 – 2016. Fonte: <https://shadeandshutter.com/hurricane-tracking/>

Condições necessárias, mas não suficientes para a formação de um ciclone tropical.

- 1 – Energia térmica suficiente sobre o oceano - Temperatura da Superfície do Mar (TSM) > 26 °C, até uma profundidade de 60m.
- 2 – Aumento da umidade relativa na troposfera (pressão atmosférica de 700 hPa).
- 3 – Instabilidade Condicional.
- 4 - Aumento da vorticidade relativa baixa na troposfera.
- 5 – Fraco cisalhamento vertical do vento horizontal na região de gênese.
- 6 – Deslocamento de pelo menos 5° de latitude a partir do Equador.

Um ciclone tropical necessita de uma perturbação fraca ou intermediária que sirva para iniciar o seu desenvolvimento. No Oceano Atlântico o ciclo de vida do ciclone tropical sofre influência por ondas geradas por instabilidades no *African Easterly Jet* (norte da África); o período de ocorrência vai de Abril/Maio e se estende até Outubro/Novembro. Em geral duram de 3 a 5 dias com comprimentos de onda que variam de 2 a 4 mil km.

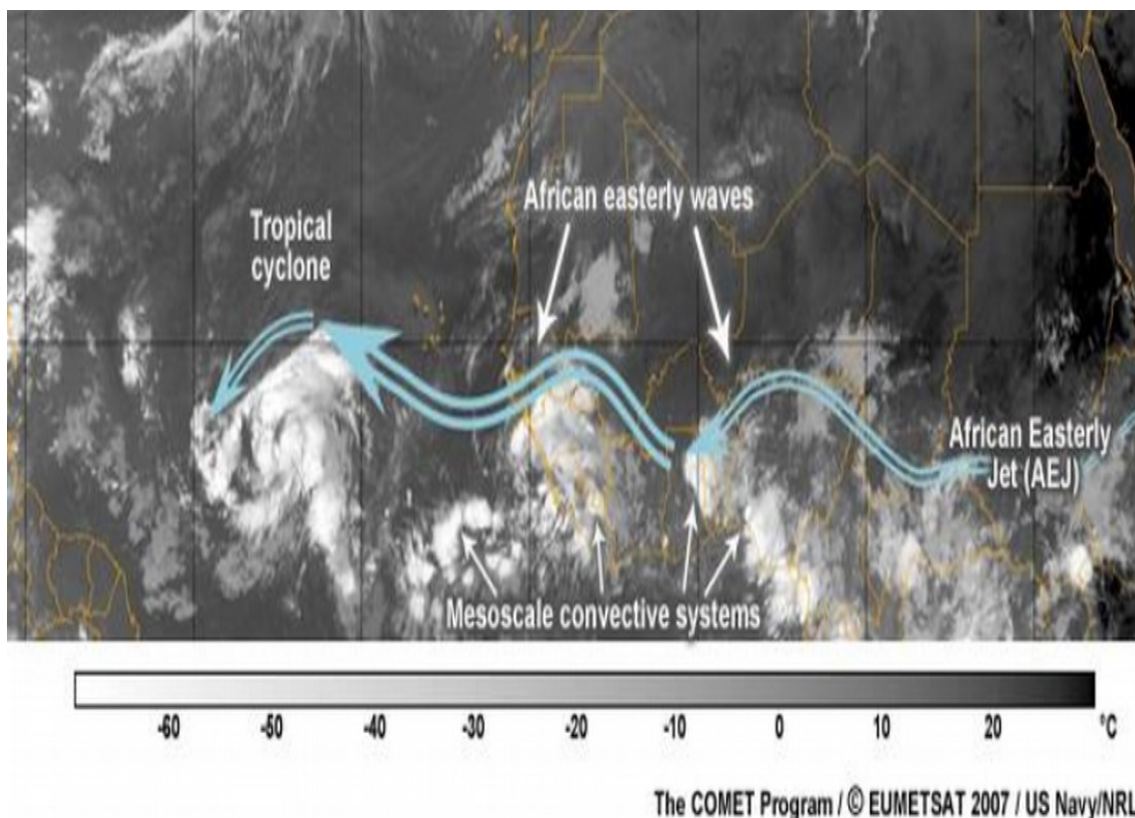


Figura 25: African Easterly Jet (AEJ) (Corrente de Jato Africana). Na imagem podemos notar o Ciclone Tropical, as Ondas do Leste Africano, Sistemas Convectivos em Mesoescala . Fonte: The Comet Program / EUMETSAT 2007/ US Navy.

Caso se tenham as condições favoráveis a perturbação inicial se transformará em uma tempestade tropical. Essas condições favoráveis devem manter-se por um período que servirá para o sistema se intensificar.

A evaporação, com um fluxo de calor latente, e a transferência de calor, fluxo de calor sensível, aquecem e passam a fornecer umidade para o sistema. Este processo provoca uma redução da estabilidade estática do ar e converte energia potencial em energia cinética. O sistema passará a ser denominado tempestade tropical quando ele se tornar autossuficiente.

Estrutura de um ciclone tropical

- *Inflow* (afluência de ar) na camada limite;
- *Eyewall* (parede do olho);
- Cobertura de Nuvens Cirrus;
- Bandas de precipitação (chuva);
- *Outflow* (escoamento de ar) em altos níveis (alta troposfera).

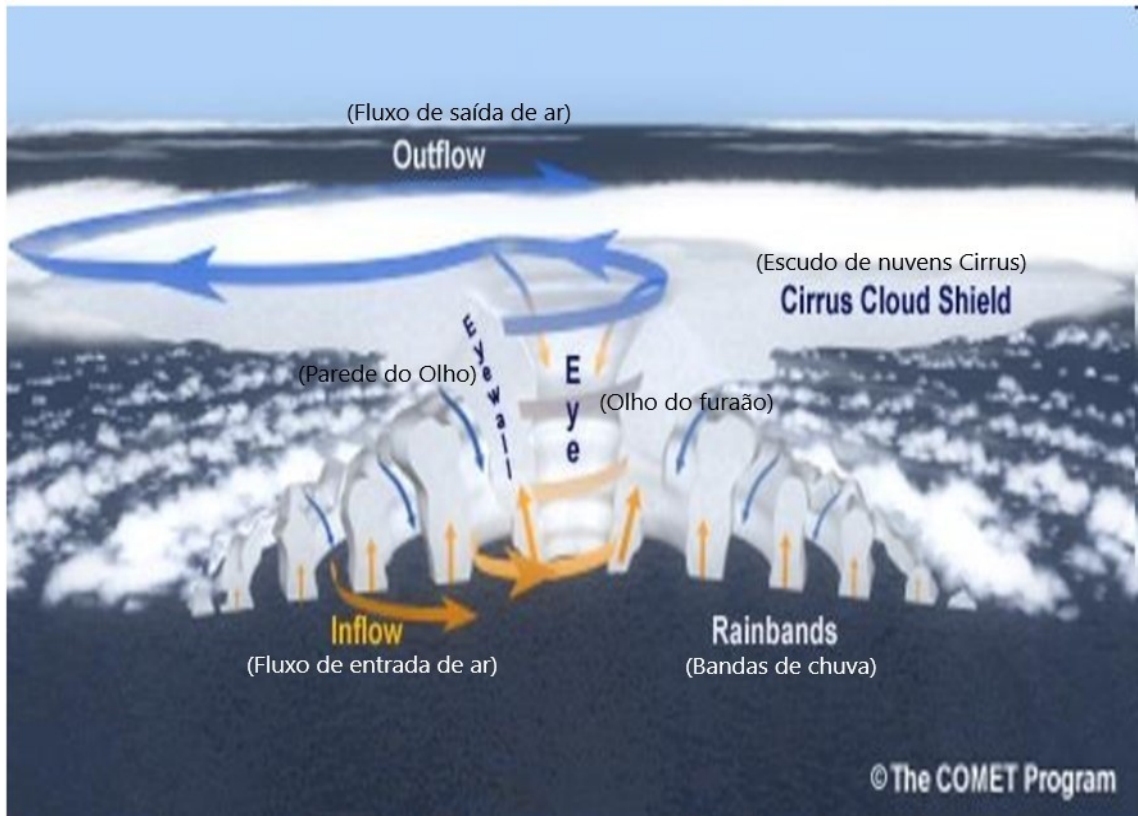


Figura 26: Estrutura de um ciclone tropical. Fonte: The COMET Program.

Ciclones tropicais são centros de baixa pressão, assim apresentam circulação **anti-horária** no Hemisfério Norte e **horária** no Hemisfério Sul; ar ascende e forma as bandas de tempestades, o vento circula em direção ao centro, acelerado.

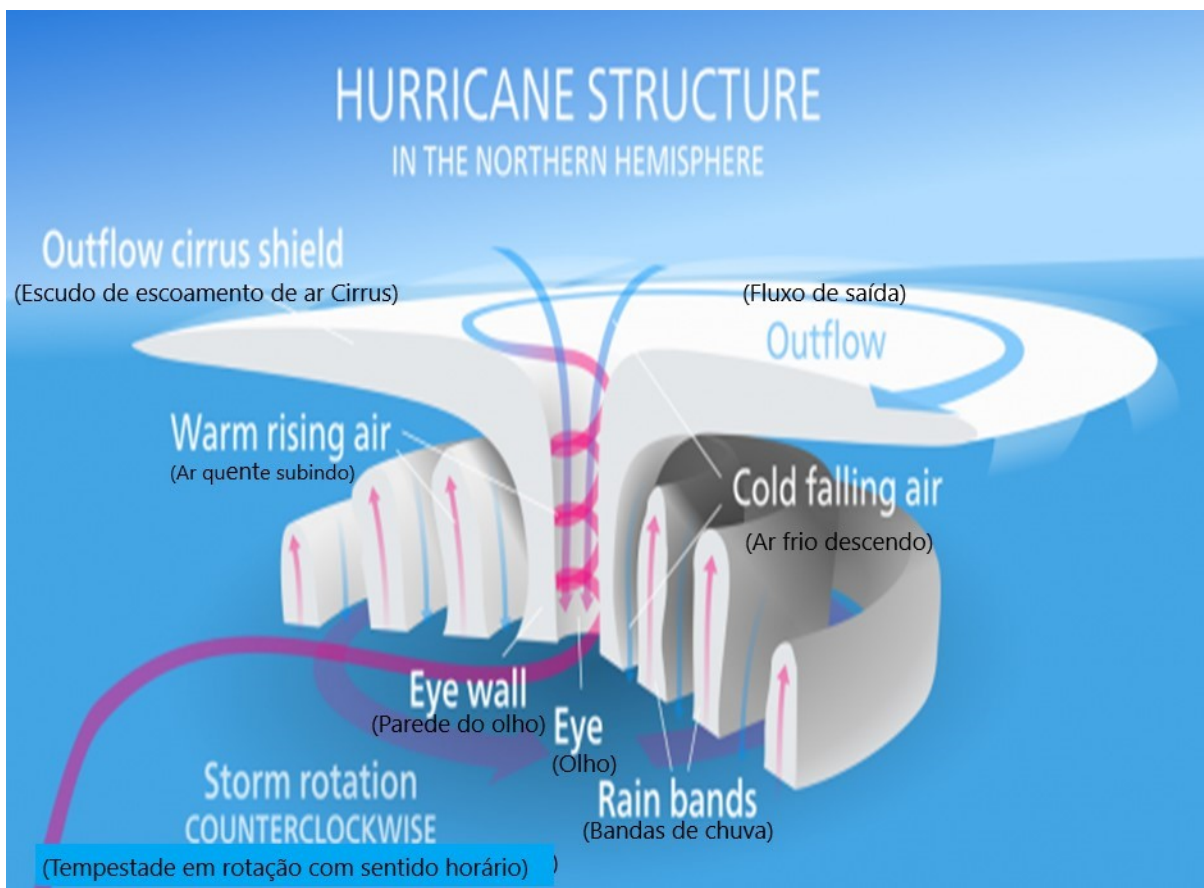


Figura 27: Estrutura de um furacão no Hemisfério Norte. Fonte: Metservice

Ciclone Tropical (CT)

Caso haja a continuidade das condições favoráveis o sistema é intensificado até que se desenvolva para um ciclone tropical. A partir desse instante há a definição do “olho” e das bandas de chuva.

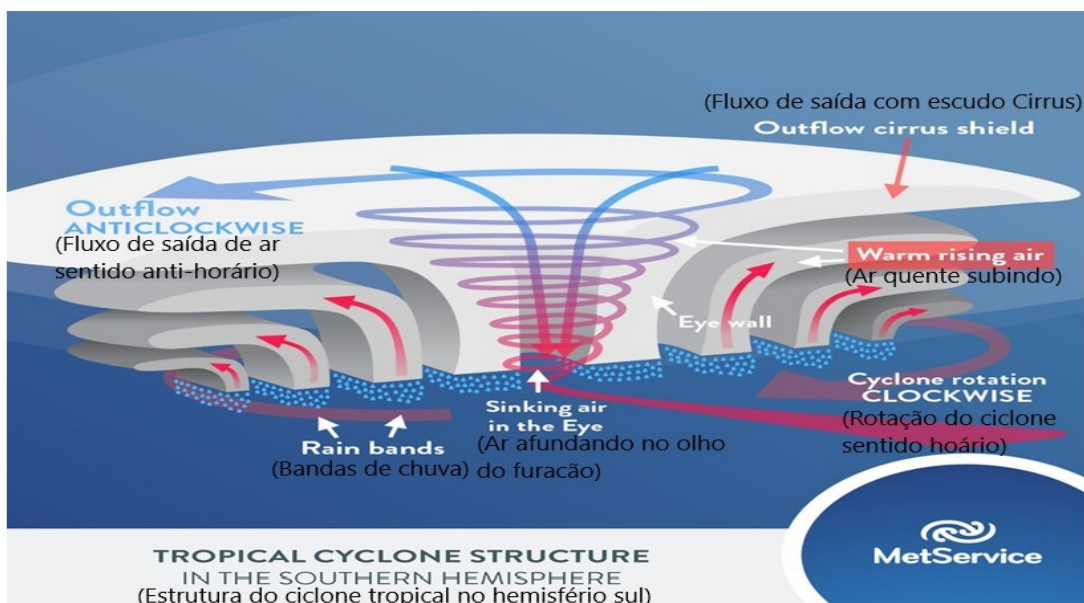


Figura 28: Estrutura de um ciclone tropical mostrando as bandas de chuvas. Fonte: MetService

- O olho possui ventos fracos, céu parcialmente ou totalmente claro, com 20-50km de diâmetro;
- A parede do olho possui precipitação e ventos mais severos, ar ascendente ciclonicamente;
- Subsidência (fluxo de ar de cima para baixo) de ar no meio do olho.

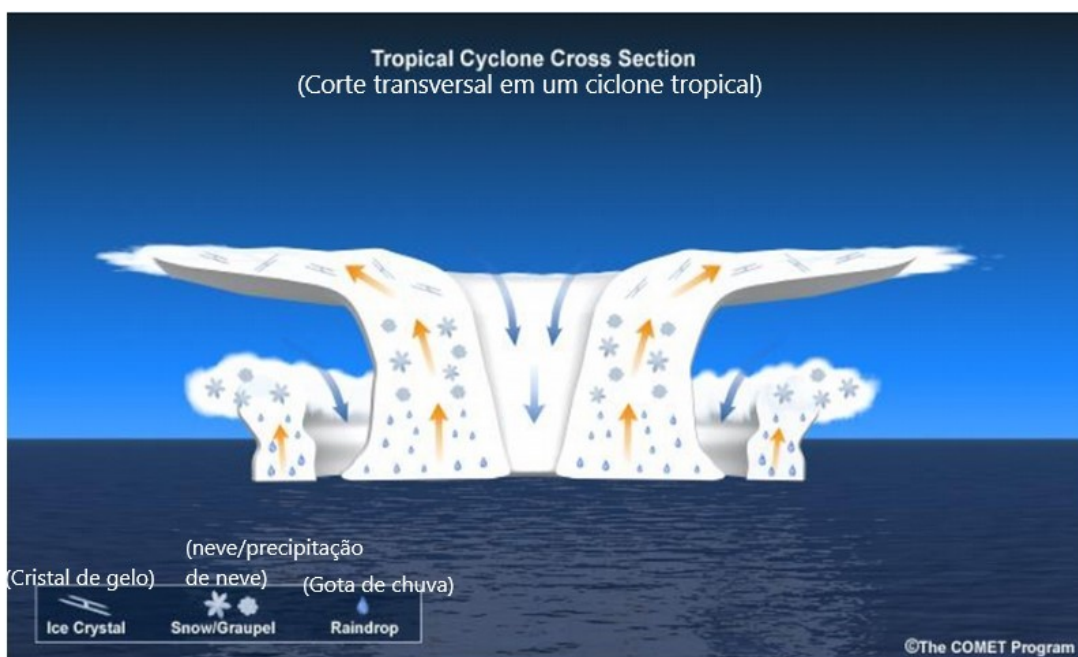


Figura 29: As seções de um ciclone tropical mostrando os cristais de gelo, neve, gotas de chuva e o sentido de deslocamento do ar. Fonte: The COMET Program.

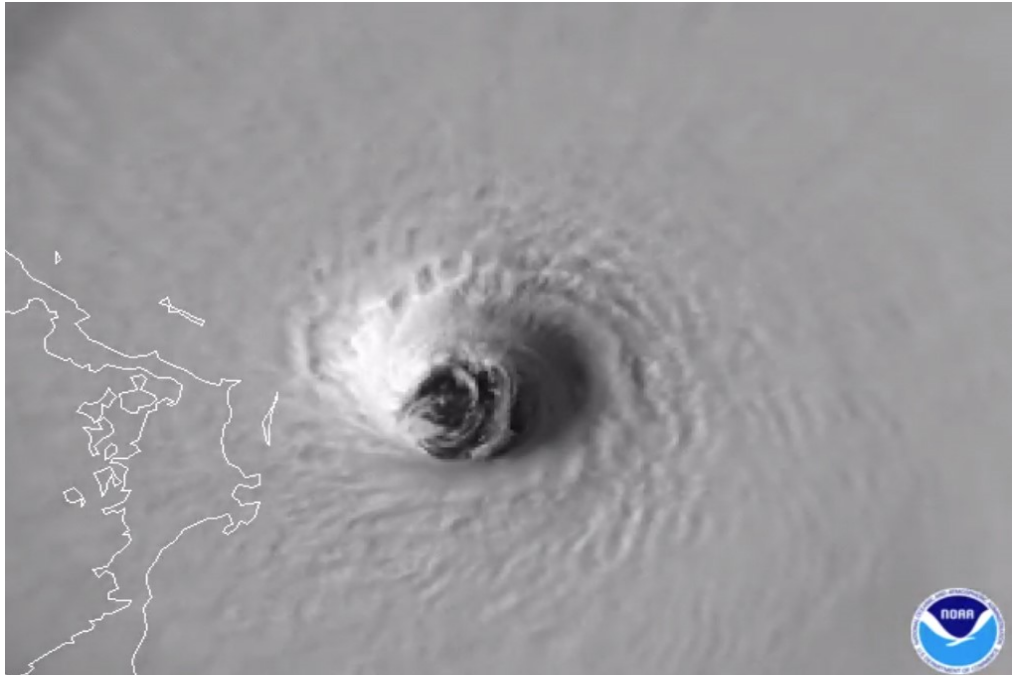


Figura 30: Furacão Dorian próximo às ilhas Ábaco, Oceano Atlântico em 01/09/2019. Fonte: NOAA

Glossário:

- Cisalhamento do vento: também denominado *windshear*, tesoura de vento, vento cortante; horizontal (mudança de vento sobre uma distância horizontal).
- Troposfera: camada mais baixa da atmosfera. A espessura média é de 12km nas latitudes médias; contém 75% da massa atmosférica, e 99% do vapor d'água e aerossóis.
- Instabilidade condicional: ocorre quando o ar úmido ambiente tem uma taxa de variação da temperatura entre taxas adiabáticas seca e úmida.
- Taxa adiabática seca: taxa de aquecimento ou resfriamento de aproximadamente 10°C a cada 1000m de altura e aplicada somente ao ar não saturado (umidade relativa do ar é menor que 100%).
- Taxa adiabática úmida: devido ao calor acrescentado durante o processo de condensação, o ar resfriará a uma taxa menor devido à expansão

Conceitos de Física relacionados a um furacão que são trabalhados:

- Temperatura
- Força de Coriolis
- Calor Sensível
- Calor Latente
- Pressão Atmosférica
- Energia Potencial
- Processos Adiabático, isobárico, isotérmico, isovolumétrico
- Energia Cinética

Referências

HOLLAND, G. J. (1993): “Ready Reckoner” – chapter 9, **Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting**, WMO/TC – N° 560, Report N° TCP-31, World Meteorological Organization; Geneva, Switzerland.

NEWMANN, C.J. (1993): “Global Overview” – Chapter 1 **Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting**, WMO/TC – N° 560. TCP-31, World Meteorological Organization; Geneva, Switzerland.

National Hurricane Center: <https://www.aoml.noaa.gov/hrd-faq/#1589395208493-2c554211-7f85> (acessado em 10/09/2019)

MetService: <https://about.metservice.com/our-company/national-weather-services/tropical-cyclones/> (acessado em 10/09/2019)

Science Media Centre: <https://www.sciencemediacentre.co.nz/2020/02/15/tropical-cyclones-expert-qa/> (acessado em 10/09/2019)

NSIDC: <https://nsidc.org/cryosphere/glossary-terms/climatology-and-meteorology?page=26> (acessado em 10/09/2019)

TERMODINÂMICA

A Termodinâmica trata de fenômenos decorrentes de dois conceitos, temperatura e calor. Ela nos apresenta o conceito da irreversibilidade, em que temos uma assimetria temporal de ocorrência dos fenômenos. Devido a um gás conter um número N muito grande de partículas (moléculas ou átomos) torna-se inviável uma descrição microscópica desse sistema. As partículas que compõem o gás movem-se de forma desordenada, assim uma análise macroscópica do gás desse sistema termodinâmico torna-se o melhor modo para estudá-lo. Na descrição macroscópica do gás são consideradas somente três variáveis: volume (V); a pressão (P) e a temperatura (T). Portanto, um sistema termodinâmico é sempre descrito de forma macroscópica, devido ao grande número de partículas que compõem o sistema [NUSSENZVEIG, 2015].

Primeira Lei da Termodinâmica

A energia de um sistema que passou por um processo termodinâmico é composta de duas partes:

- Energia externa: é a energia recebida pelo sistema do meio exterior na forma de calor e/ou trabalho, isso representa o fluxo de energia através do sistema.
- Energia interna: é a energia que está contida no sistema, ou seja, é intrínseca a ele, na forma de energia cinética e energia potencial entre as suas partículas.

Se um sistema termodinâmico mudar de estado físico, tanto o fluxo de trabalho (W) quanto o calor (Q) dependem da natureza do processo.

A quantidade $Q - W$ não é dependente, isto é, $Q - W$ varia de acordo com os estados inicial e final. A Primeira lei da Termodinâmica diz essencialmente que todo sistema termodinâmico em equilíbrio tem uma propriedade física importante chamada energia interna (U) em que:

$$\Delta U = Q - W$$

$$dQ = dU + dW$$

Ao analisar o clima, os meteorologistas costumam expressar a primeira lei da Termodinâmica da seguinte maneira:

A temperatura do ar aumenta quando o calor é adicionado ou quando a pressão aumenta. [HEWITT, 2015]

Transformações particulares e a 1ª lei da Termodinâmica

- **Transformação isotérmica ($\Delta T = 0$)**

Nas transformações isotérmicas não há variação de temperatura, e no caso dos gases ideais também não há variação da energia interna do sistema. Logo teremos que

$$\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0.$$

Nesse caso, pela 1ª lei da Termodinâmica teremos:

$$Q = W + \Delta U \Rightarrow Q = W$$

- **Transformação isovolumétrica ($\Delta V = 0$)**

Nesse tipo de transformação não existe variação de volume, portanto, não há realização de trabalho.

$$\Delta V = 0 \Rightarrow W = 0$$

Para um gás ideal, pela primeira Lei da Termodinâmica teremos:

$$Q = W + \Delta U \Rightarrow Q = \Delta U$$

- **Transformação isobárica ($\Delta P = 0$)**

Nesse tipo de transformação a pressão se mantém constante, o volume varia na mesma proporção que a variação de temperatura no caso de um gás ideal. No processo de expansão ocorre um aumento de volume e da temperatura do gás, com isso a energia interna aumenta

($\Delta U > 0$). Ao ocorrer a compressão do gás tanto a temperatura quanto o volume diminuem, assim temos uma diminuição da energia interna ($\Delta U < 0$).

Transformação adiabática

Em um sistema físico, em geral, ocorrem mudanças (processos, transformações). Quando essas mudanças ocorrem lentamente podem existir certas grandezas que se mantenham praticamente constantes; tais grandezas caracterizam uma importante propriedade do sistema físico, denominada invariante adiabático. Ou seja, um invariante adiabático é uma propriedade que uma grandeza apresenta ao se manter constante quando no sistema físico ocorrem mudanças lentas (Crawford, 1990). Como exemplo de processo adiabático temos a compressão rápida do ar numa bomba para encher o pneu de uma bicicleta. Sendo a compressão tão rápida, não há tempo para troca de calor com o ambiente. Portanto, a variação da quantidade de calor é nula ($\Delta Q = 0$). Aplicando-se a primeira lei da Termodinâmica teremos

$$Q = 0$$

$$Q = W + \Delta U \Rightarrow W = - \Delta U$$

Os processos adiabáticos na atmosfera ocorrem nas correntes de ar ascendentes e descendentes, que são formadas por parcelas de ar as quais podemos caracterizar como sendo:

- termicamente isoladas do ambiente de modo que sua temperatura muda adiabaticamente quando sobem ou descem;
- possuem a mesma pressão do ar ambiente no mesmo nível que se supõem em equilíbrio hidrostático;
- movem-se com lentidão suficiente para que sua energia cinética seja uma fração desprezível de sua energia total.

Para que a temperatura do ar seja alterada é necessário que se adicione ou retire-se calor, ou que ocorra uma mudança na pressão do ar, ou mesmo ambos. A radiação solar, a radiação terrestre de ondas longas, a condensação do vapor ou através do contato como solo aquecido, são os meios pelos quais o calor é adicionado no ar. Esses processos resultam em aumento da temperatura atmosférica. Entretanto, a radiação emitida ao espaço, a evaporação da chuva que cai através do ar seco, ou por contato com superfícies frias, são processos que

retiram calor da atmosfera ocasionando como resultado uma queda na temperatura do ar. [HEWITT 2015]

A pressão atmosférica não é uniforme e à medida que altura aumenta a pressão diminui. Como o número de moléculas diminui com a altura, o mesmo ocorre com o peso exercido por essas moléculas numa determinada coluna de ar. Assim, a pressão atmosférica, bem como a densidade, sempre diminui com a altura, decrescendo rapidamente nos primeiros quilômetros e depois mais lentamente. [YONUE 2017].

Na atmosfera existem alguns processos em que a quantidade de calor adicionado ou retirado é muito pequena – suficiente para que o processo seja aproximadamente adiabático. Então podemos escrever a forma adiabática da primeira lei da Termodinâmica:

A temperatura do ar se eleva (ou cai) quando a pressão cresce (ou diminui).

[HEWITT. 2015]

O processo adiabático que é responsável pela formação de nuvens é o resfriamento por expansão. A pressão de uma camada de ar cai à medida que o ar sobe na atmosfera. Ao subir e se expandir ela realiza trabalho sobre o ar próximo. Essa energia utilizada durante a expansão vem da energia interna da camada de ar e, por consequência, a temperatura cai e o volume aumenta. Ao descer na atmosfera o ar aquece por compressão. A taxa de variação de temperatura quando o ar sobe ou desce na atmosfera é denominada taxa adiabática seca.

$\Gamma_d = 9,8 \text{ }^\circ\text{C/km} \approx 10 \text{ }^\circ\text{C/km}$ $\Gamma_d \rightarrow$ somente é válida para uma camada de ar seco que sobe ou baixa adiabaticamente. Na atmosfera a taxa real de variação da temperatura (Γ), medida por radiossondas, é em média $6,5^\circ\text{C/km}$ na troposfera.

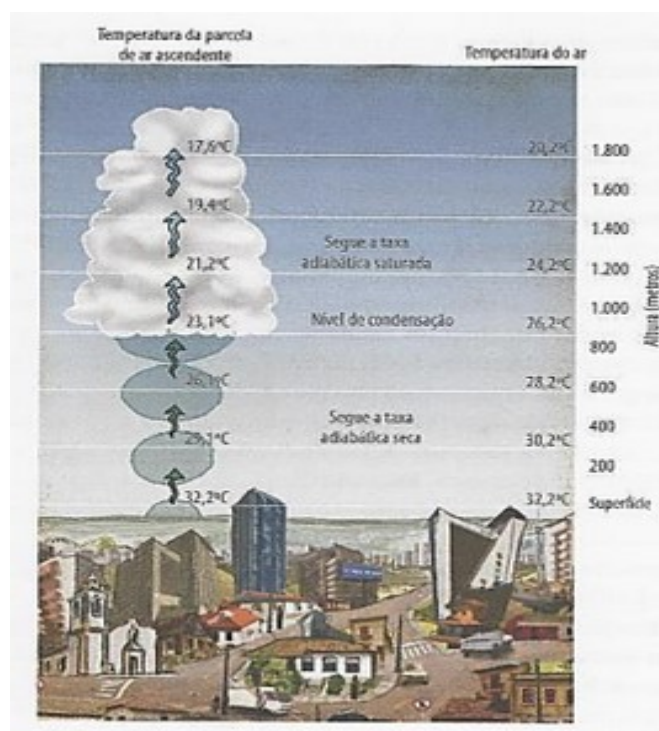


Figura 31: Camadas da atmosfera. Fonte: Steinke (2012)

Referências

HEWITT, Paul G. Física Conceitual. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2019. 341 p.
Tradução: Trieste Freiri Ricci

CRAWFORD, F.S. Elementary examples of adiabatic invariance. American Journal of Physics, v. 58, n. 4, p. 337-344, 1990.

NUSSENZVEIG, Herch Moyses. Curso de Física Básica. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

SILVA JUNIOR, Romualdo Santos; MILTÃO, Milton Souza Ribeiro; SILVA JÚNIOR, Osmar de Souza e. Uma Abordagem Epistemológica dos Invariantes Adiabáticos: como obtê-los. Revista Thema, Pelotas, v. 15, n. 3, p.877-884, set. 2018.

STEINKE, E. T. Climatologia Fácil. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

YONUE, Rita Yuri, REBOITA, Michele S., AMBRIZZI, Tércio, SILVA, Gylene A.M.
Meteorologia: noções básicas. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

A FÍSICA EM UM CICLONE TROPICAL

Para que haja a formação de um Ciclone Tropical é necessário que ocorram condições ambientais bem específicas. Diversos processos físicos ocorrem simultaneamente e geram um grande acúmulo de energia na atmosfera.

A primeira condição é que a temperatura da superfície do mar seja maior que 26°C (TSM > 26°C). O acúmulo de energia na superfície do mar é transferido para a atmosfera através do calor sensível e do calor latente através do processo de evaporação da água do mar. A Terra recebe energia do Sol e se considerarmos o limite mais externo da atmosfera em que a incidência é perpendicular, temos uma taxa de 2,0 cal cm⁻² min⁻¹.

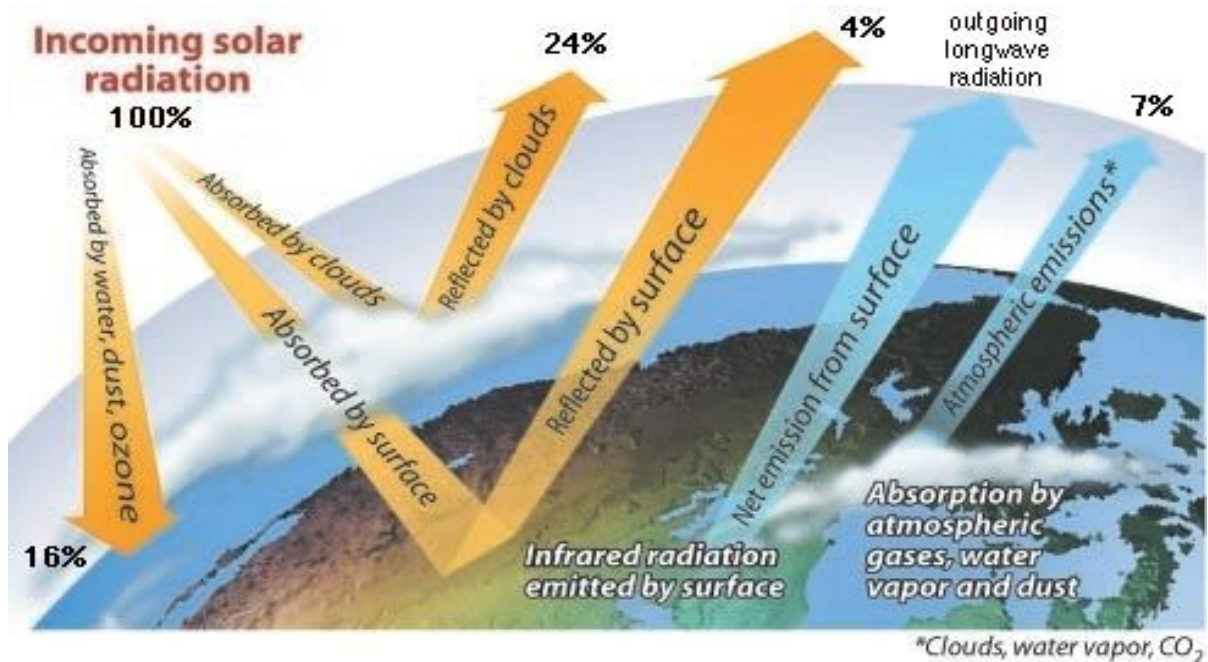


Figura 32 - Absorção (16%), radiação espelhada (7%) e reflexão (24% de nuvens, 4% da superfície da Terra) da radiação de ondas curtas chega à superfície dos oceanos diretamente, como radiação espalhada direta do céu descoberto e como radiação espalhada pelas nuvens

Fonte: Adapted from Scripps Institution of Oceanography, Explorations vol. 10, no. 2, reproduced with permission: matthias.tomczak@flinders.edu.au

Nem toda a energia recebida na camada mais externa da atmosfera é disponível para os oceanos. Se considerarmos a radiação solar incidente normalizada a 100%, então:

- 16% são absorvidos na atmosfera;
- 24% são refletidos nas nuvens;

- 7% são irradiados de volta para o espaço pela atmosfera;
- 4% são refletidos da superfície da Terra (principalmente os oceanos)

Logo, temos que 35% retorna para o espaço, enquanto 65% está disponível como energia.

Temos que em média a superfície do oceano tem uma temperatura cerca de 0,8°C mais elevada que o ar acima dele. Assim a transferência de calor sensível ocorre geralmente da água para o ar, logo haverá perda de calor pelo oceano nesse processo.

Dois fatores explicam a maior facilidade em se transferir calor da água para o ar:

Uma menor quantidade de energia é necessária para aquecer o ar do que a água. A energia gasta para aquecer uma espessura de 1cm de água em 1°C é suficiente para produzir o mesmo aquecimento em uma camada de ar com 31cm de espessura.

O aquecimento das camadas mais baixas da atmosfera causa instabilidade, o que resulta em corrente de convecção no ar e o transporte de calor para cima. Entretanto a entrada de calor nos oceanos causa estabilidade e previne que o calor atinja camadas mais profundas.

Da quantidade energia recebida pelos oceanos 51% é usada para evaporação, que é uma perda de calor da água para a atmosfera.

Quando o ar se torna não saturado por umidade tem-se o início da evaporação. Quanto mais quente for o ar mais ele poderá reter umidade. Em condições normais a transferência de calor sensível acontece do oceano para o ar, logo a situação normal é que o ar se torne menos saturado de umidade provocando a evaporação. O processo de condensação ocorre quando o ar mais quente se encontra sobre a água mais fria.

Com a grande quantidade de vapor d'água na atmosfera, temos uma enorme concentração de energia, da ordem de 10^{17} a 10^{19} joules. Toda essa energia concentra-se em uma área do tamanho de cidade média, a uma profundidade de 50 a 60m em que há uma variação de temperatura de aproximadamente $\Delta T \cong 7^\circ\text{C}$.

Furacões são fenômenos físicos que têm no “olho” um sistema de baixa pressão atmosférica e nas extremidades alta pressão atmosférica. Com isso o deslocamento de ar converge para o centro de forma acelerada, em ascendência, em forma de uma espiral.

A pressão atmosférica está associada à força que a camada de ar exerce sobre os corpos que estão nela imersos. Em geral, não percebemos a pressão atmosférica porque ela está em equilíbrio com nossa pressão interna. Porém, em uma viagem para uma cidade localizada na

serra, ou em uma viagem de avião, sentimos a mudança da pressão atmosférica através de nosso tímpano. Ao nível do mar a pressão atmosférica é de 760mmHg enquanto no monte Everest, a 8845m de altura, a pressão atmosférica é de 260mmHg.

De acordo com o balanço global de massa temos:

Processo	Volume anual ($\times 10^3 \text{ km}^3/\text{ano}$)
Evaporação	440
Precipitação	411
Descarga por rios	29

Fonte: <http://www.physocean.icm.csic.es/IntroOc/lecture04-pt.html>

A partir dessa enorme quantidade de água, temos uma grande concentração de energia na superfície do mar, e com isso uma perturbação na atmosfera provocará o surgimento de furacões.

De acordo com a *National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA)* podemos analisar a quantidade de energia contida em um furacão por dois métodos:

- 1) A quantidade total de energia lançada pela condensação de gotículas de água;
- 2) A quantidade de energia cinética para manter o forte turbilhão de ventos do furacão [Emanuel 1999].

De acordo com o NOAA, um furacão, em média, produzirá 1,5cm/dia de chuva em um círculo com 665km de raio [Gray 1981]. A partir desses dados e usando o calor latente de condensação, essa quantidade de chuva nos dará $5,2 \times 10^{19}$ J/dia ou $6,0 \times 10^{14}$ W. Essa quantidade é cerca de 200 vezes a capacidade de geração de energia elétrica no planeta.

O outro método de análise da energia de um furacão é a partir da energia cinética gerada pelos ventos. Para um furacão maduro, a quantidade de energia cinética gerada é igual ao que está sendo dissipado devido ao atrito [Emanuel 1999].

Assumindo que a velocidade do vento é de cerca 40 m/s em uma escala de raio 60km, a quantidade de energia gerada seria de $1,3 \times 10^{17}$ J/dia ou $1,5 \times 10^{22}$ W. Isso é o equivalente a aproximadamente metade da capacidade de geração de energia elétrica no planeta.

Observa-se que a relação entre a quantidade de energia lançada em um furacão (para criar as nuvens/chuvas) e o que é usado para manter os ventos do furacão em espiral é uma enorme proporção de 400:1.

Pressão

Para se definir a pressão [Nussenzveig 2015] necessita-se classificar os diferentes tipos de forças que atuam em um meio material. Se considerarmos um elemento de superfície (externo ou interno) situado no meio, as forças que atuam sobre esse elemento são geralmente proporcionais à sua área. A força por unidade de área se chama tensão e conforme a direção distinguimos entre tensões normais e tensões tangenciais. Na figura a seguir temos diversos tipos de tensões aplicadas em um bloco. Em (b), o bloco, apoiado no chão, exerce sobre um elemento de superfície do chão, uma tensão T' também normal, de compressão, ou, simplesmente, uma **pressão**.

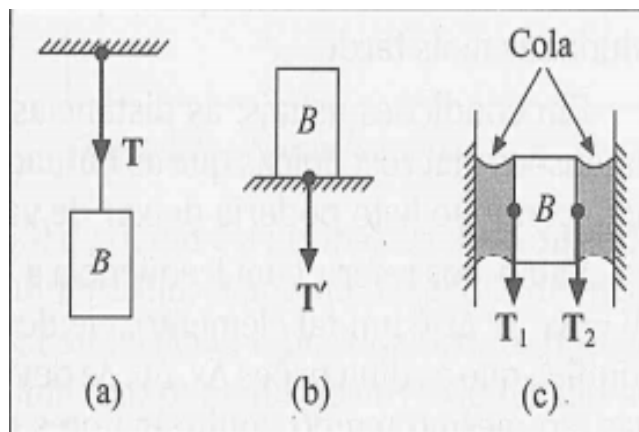


Figura 33: Força aplicada sobre um elemento de superfície.

$P = F/A \Rightarrow F$: força aplicada sobre a superfície

A : área de aplicação da força

Pressão Atmosférica

Torricelli, aluno de Galileu, resolveu um problema nos jardins do duque da Toscana onde uma bomba não conseguia aspirar a água para um local acima de 10m de altura [Nussenzveig 2015]. De acordo com Torricelli “vivemos no fundo de um oceano de ar, conforme mostra a experiência, que sem dúvida tem peso” devendo, portanto, exercer sobre um corpo uma pressão atmosférica.

A partir do experimento de Torricelli, podemos deduzir a pressão atmosférica como sendo dada por

$$p_0 = \rho \cdot g \cdot h ,$$

onde ρ é a densidade do mercúrio, g é a aceleração da gravidade e h a altura da coluna de mercúrio. Utilizando-se um barômetro de mercúrio, a altura da coluna de mercúrio permite ler diretamente a pressão atmosférica.

A pressão atmosférica não é uniforme. Além das variações devido à altitude, a pressão atmosférica também varia de uma localidade para outra, e de dia para dia. A pressão atmosférica pode variar mesmo em uma localidade ao nível do mar devido a massas de ar. Essa variação na pressão ocorre por causa da diferença na densidade do ar decorrentes de diferenças na temperatura, ou no conteúdo de vapor d'água, ou ambos. Normalmente a temperatura exerce maior influência sobre a pressão que o vapor d'água.

Isso produz o movimento de frentes frias e de tempestades que constituem nosso clima. Quando ocorrer a aproximação de um sistema de alta pressão, ocorrerá uma temperatura mais fria e céu azul. Se houver a aproximação de um sistema de baixa pressão, ocorrerá um clima mais quente, chuva e tempestades. [HEWITT, 2015]

Força de Coriolis

Gustave-Gaspard Coriolis (1792-1843) foi um matemático e engenheiro francês que descobriu o que mais tarde foi denominado “Efeito de Coriolis”. Em 1836, Coriolis descreveu o efeito que surge quando em um sistema em rotação, um corpo move-se em relação a esse sistema. O efeito descrito por Coriolis é uma consequência do movimento de um corpo em um

sistema de coordenadas não inercial, ou seja, um sistema de coordenadas fixo sobre uma superfície que está em rotação no mesmo instante que ela.

Para compreendermos melhor a força de Coriolis vejamos o seguinte exemplo: suponhamos que duas pessoas estejam brincando em um carrossel. Nessa brincadeira um dos participantes arremessa uma bola para frente. Ao olharmos de cima o carrossel podemos observar a trajetória retilínea da bola. Quando observados de um outro referencial, em qual os participantes são observados imóveis, a trajetória verificada será curvilínea. Esse desvio apresentado é consequência da força de Coriolis. A força de Coriolis é então descrita como:

$$F_{cr} = 2m(v_r \times \omega),$$

ω : velocidade angular,

m : massa do corpo,

v_r : velocidade em relação ao referencial não inercial.

Ao analisarmos a expressão da força Coriolis percebe-se que ela só poderia existir caso tenha uma velocidade angular. Ou seja, a força de Coriolis só aparecerá em corpos que estão em movimento em um sistema girante.

A Força de Coriolis na Atmosfera

Sabemos que a Terra tem seu movimento de rotação no sentido Oeste para Leste, então, objetos que são lançados em direção aos pólos desviam-se para leste, objetos que se desloquem em direção ao equador desviam-se para oeste, objetos deslocando-se para oeste desviam-se para os pólos e objetos deslocando-se para leste desviam-se para o equador.

De acordo com Van Donelen, da Ohio State University, considere um centro de baixa pressão, onde existe menos ar do que na área ao seu redor. Sendo assim se existe menos ar em um lugar do que no seu entorno, o ar tentará se mover de modo a balancear a pressão.

Ar começando do repouso em relação ao chão se moverá em direção ao centro de baixa pressão. Este movimento no hemisfério Norte será defletido para a direita. Entretanto, as forças que puseram o ar em movimento ao redor do centro de baixa pressão ainda existem, e o resultado é um vórtice de ar girando em sentido anti-horário. O ar tentará girar para a direita, o centro de baixa pressão o atrairá em sua direção e o resultado é que o ar é mantido em círculo que gira no sentido anti-horário [VAN DONELEM, 2000]. No hemisfério Sul o sentido de rotação do vórtice será o oposto ao que ocorre no hemisfério Norte, ou seja, no sentido horário, conforme descrito nas figuras abaixo.

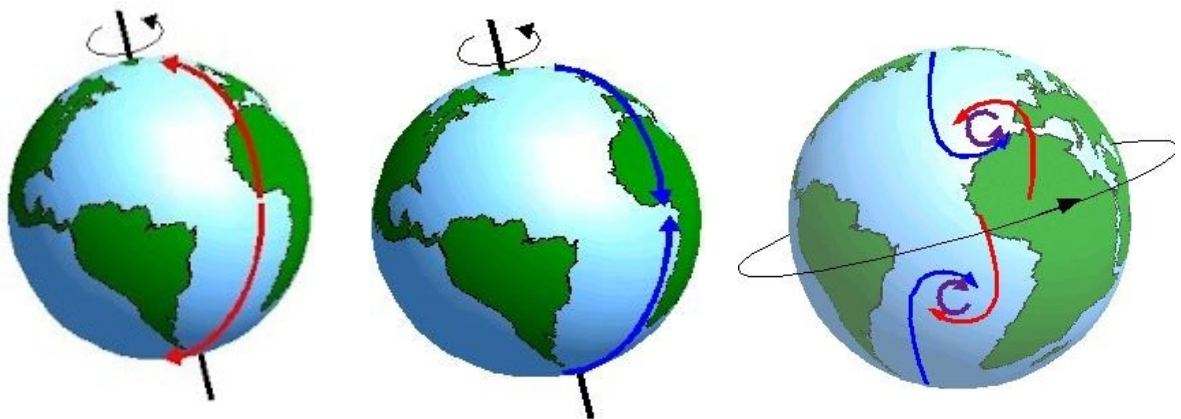


Figura 34: Indicação do movimento de fluidos influenciados pela força de Coriolis na atmosfera do planeta.

O olho do furacão é um claro exemplo de ventos velozes curvados em um círculo, movendo-se tão rapidamente que eles não podem ser sugados para o centro. A baixíssima pressão no centro do furacão significa que existe uma força puxando o ar para o centro, mas as altas velocidades dos ventos dão a eles força de Coriolis suficiente para que as duas forças atinjam um certo equilíbrio [VAN DONELEM, 2000].

Referências

ARIANE F SANTOS (São José dos Campos). Inpe. Estabilidade Atmosférica e Desenvolvimento de Nuvens.2013. Disponível em:

<http://ftp.cptec.inpe.br/ariane/biblio/apostila_estabilidade_atm_itajuba.pdf>. Acesso em: 15 set. 2019.

CRAWFORD, F.S. Elementary examples of adiabatic invariance. **American Journal of Physics**, v. 58, n. 4, p. 337-344, 1990.

EMANUEL, K.A. 1999: “The power of a hurricane: An example of reckless driving on the information superhighway” *Weather*, 54, 107-108

GRAY, W.M. (1981): “Recent Advances in tropical cyclone research from rawinsonde composite analysis” *World Programme on Research in Tropical Meteorology*, World Meteorological Organization, Geneva, 407 pp.

HEWITT, Paul G..*Física Conceitual*. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2019. 341 p.
Tradução: Trieste Freiri Ricci.

HANNA, Steven R.; BRIGGS, Gary A.; HOSKER JR., Rayford P. (1982). *Handbook on Atmospheric Diffusion*, Office of Health and Environmental Research, Office of Energy Reserch, Technical Information Center, U.S. Department of Energy.

NUSSENZVEIG, Herch Moyses. **Curso de Física Básica**. vol. II 5. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

SILVA JUNIOR, Romualdo Santos; MILTÃO, Milton Souza Ribeiro; SILVA JÚNIOR, Osmar de Souza e. Uma Abordagem Epistemológica dos Invariantes Adiabáticos: como obtê-los. *Revista Thema, Pelotas*, v. 15, n. 3, p.877-884, set. 2018.

SLADE, David H. - Editor (1968). *Meteorology and atomic energy*, US Atomic Energy Commission, Office of Information Services.

STEINKE, E. T. *Climatologia Fácil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

WALLACE, John M.; HOBBS, Peter V. (1977). Atmospheric Science, an introductory survey, Academic Press, NY.

YAN Y.Y. (2005) “Coriolis Effect”. Em: Oliver J E (eds) Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht.

VAN DONELEN, David J. Getting Around The Coriolis Force. 2000. Disponível em: <<http://www.physics.ohio-state.edu/~dvandom/Edu/newcor.html>>. Acesso em: 10 set. 2019.

Apostila sobre meteorologia capítulo 5, hospedada em: www.fisica.ufpr.br/grimm/apostmeteo/cap5/cap5-6-2.html (acessado em 10/09/2019).

NOAA - aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/D7.html (acessado em 10/09/2019)

EXPERIMENTO SOBRE PROCESSOS ADIABÁTICOS

Objetivo:

Proporcionar meios que contribuam no aprendizado sobre os conceitos relativos aos processos adiabáticos e a formação de nuvens.

Materiais Utilizados:

- Bomba de bicicleta;
- Alicates de bico;
- Cola (ex. Araldite);
- Termômetro digital acoplado à tampa de uma garrafa PET;
- Garrafa PET com um bico de câmara de ar de bicicleta instalado;
- Balão de festa introduzido dentro da garrafa PET.

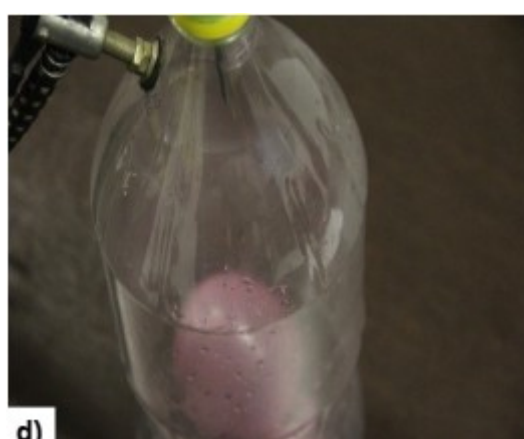


Figura 1: Material necessário para o experimento: a) Bomba de bicicleta; b) Termômetro acoplado à tampa da garrafa PET; c) Garrafa PET com um bico de câmara de ar de bicicleta instalado; d) Balão de festa no interior da garrafa PET.

Procedimento Experimental

Parte – 1:

- Faça um furo na tampa da garrafa do diâmetro do termômetro que será fixado, em seguida introduza-o e use cola para vedar o furo;
- Faça um furo no corpo da garrafa como mesmo diâmetro do bico da câmara de bicicleta, em seguida passe a cola (por ex. araldite) no bico da câmara e com a ajuda de um alicate de bico, coloque-o por dentro da garrafa de modo que ele fique para fora conforme a figura d. Caso necessário passe cola em volta do bico para que o furo fique completamente vedado;
- Fazer a leitura do valor da temperatura inicial do termômetro;
- Observar o volume inicial do balão dentro da garrafa;
- Aumentar, utilizando a bomba de bicicleta, a pressão no interior da garrafa PET;
- Verificar o novo valor da temperatura e o volume do balão.



Figura 2: Estágio inicial do experimento (volume do balão menor)



Figura 3: Experimento em andamento (volume do balão maior)

O balão que está dentro da garrafa terá seu volume diminuído à medida que a pressão interna fique maior. Em relação à temperatura seu valor irá aumentar à medida que a pressão no interior da garrafa aumente.

Parte – 2:

- Utilize um palito sobre o bico da válvula de modo que o ar escape de dentro da garrafa;
- Verificar a nova temperatura e observar o volume do balão.

Parte – 3:

- Introduzir água na garrafa até aproximadamente 1/3 de sua capacidade;
- Vedar a garrafa e aumentar a pressão interna com o auxílio da bomba de bicicleta;
- Abrir de forma abrupta a tampa da garrafa e observar a “formação de nuvem”.

Após a abertura rápida da tampa da garrafa, como a pressão interna é muito maior que a externa, o ar sairá rapidamente e devido a diferença de pressão ao qual a parcela de ar estará submetida, este condensará e poderemos verificar a formação da “nuvem”.

Pode-se abrir a tampa da garrafa e introduzir um palito de fósforo imediatamente após ser apagado, para que a fumaça atue como núcleo de condensação e a “formação de nuvens” fique mais perceptível.

Referência

ARIANE F SANTOS (São José dos Campos). Inpe. ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA E DESENVOLVIMENTO DE NUVENS.2013. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/ariane/biblio/apostila_estabilidade_atm_itajuba.pdf>. Acesso em: 15 set. 2019

APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO DE INVESTIGAÇÃO INICIAL

01 – Assinale a alternativa que melhor exemplifica o seu nível de conhecimento sobre as *Mudanças Climáticas Globais*.

- () 0 – não possuo conhecimento sobre o tema;
- () 1 a 3 – possuo pouco conhecimento sobre o tema;
- () 4 a 6 – possuo um conhecimento mediano sobre o tema;
- () 7 a 8 – possuo um bom conhecimento sobre o tema;
- () 9 a 10 – possuo ótimo conhecimento sobre o tema.

02 – Você considera que sua vida foi afetada de algum modo por causa das mudanças climáticas? Se sim exemplifique.

03 – Qual o seu nível de conhecimento em relação ao *aquecimento global*?

- () 0 – não possuo conhecimento sobre o tema;
- () 1 a 3 – possuo pouco conhecimento sobre o tema;
- () 4 a 6 – possuo um conhecimento mediano sobre o tema;
- () 7 a 8 – possuo um bom conhecimento sobre o tema;
- () 9 a 10 – possuo ótimo conhecimento sobre o tema.

04 – Qual a diferença entre *mudanças climáticas globais e aquecimento global*?

05 – O que é o protocolo de Quioto?

06 – O que é o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC)?

07 – O que é um furacão?

08 – Qual a diferença entre um furacão e um tornado?

09 – Você conhece algum fenômeno climático, como um furacão, que tenha ocorrido no Brasil? Se sim exemplifique.

10 – Nos dias atuais você considera possível que a região de Florianópolis seja afetada por um furacão? Explique.

Respostas do questionário de investigação

02 – Uma possível resposta é o aluno relacionar o aumento das temperaturas médias como um fator que afeta a sua vida.

04 – Aquecimento global é o aumento da temperatura média dos oceanos e da camada de ar próxima à superfície da Terra que pode ser consequências de causas naturais e atividades humanas.

As Mudanças Climáticas Globais são alterações na temperatura, intensidade das chuvas e eventos climáticos extremos, como furacões e ondas de calor. São em grande parte devidas à atividade humana, especificamente à emissão na atmosfera de grandes quantidades de gases do efeito estufa (GEE), como CO₂ e metano.

05 – O Protocolo de Quioto é um tratado internacional em que os países signatários se comprometeram a reduzir as suas respectivas emissões de gases do efeito estufa na atmosfera. Foi um acordo derivado da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), ele foi negociado e adotado pelas partes em Quioto, no Japão, em 11 de dezembro de 1997 e entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005.

06 – IPCC é a sigla em inglês de Intergovernmental Panel on Climate Change. Em português, ele é chamado de Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Ele foi criado em 1988 pela organização Meteorológica Mundial, em conjunto com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. O IPCC tem como função avaliar a informação científica, técnica e socioeconômica relevante, para melhor compreender os riscos associados às mudanças climáticas, os possíveis impactos e as opções disponíveis de mitigação e adaptação.

07 – É um sistema de baixa pressão atmosférica onde o ar se movimenta no sentido horário, no Hemisfério Sul, e no sentido anti-horário no Hemisfério Norte. São associados a grandes áreas de nuvens carregadas que provocam chuva intensa. A diferença de pressão atmosférica entre o centro do sistema e a porção mais externa aumenta a velocidade do vento.

08 – Tornado é um redemoinho de ventos gerado com muita velocidade e que se forma em condições especiais num ambiente de tempestade muito forte. Este redemoinho descende de uma nuvem de tempestade, atinge o chão, causando destruição por onde passa. A dimensão espacial do tornado é de centenas de metros e ele, normalmente, tem uma vida média de poucos minutos e percorre uma extensão de 500 a 1500m, os ventos passam comumente de 200 km/h. Enquanto que o furacão é um ciclone tropical que se tornou muito intenso com ventos girando no sentido horário no Hemisfério Sul, em sentido anti-horário no Hemisfério Norte ao redor de um centro de baixa pressão. Furacões acontecem sobre a maioria dos Oceanos Tropicais em áreas onde a temperatura da superfície do mar encontra-se acima de 26°C.

09 – Sim, o furacão Catarina de categoria 1 que se formou próximo à costa do Rio Grande do Sul e Santa Catarina em março de 2004.

10 – Levando-se em consideração que já ocorreu um evento em 2004, furacão Catarina, há a possibilidade do surgimento de um furacão na região de Florianópolis.

**APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO SOBRE O TEXTO MUDANÇAS CLIMÁTICAS
GLOBAIS E SUAS CONSEQUÊNCIAS**

Nome: _____

Data: __/__/__

Questionário sobre o texto “*Mudanças Climáticas Globais e suas Consequências*”

01 – De que maneira as Mudanças Climáticas podem ser percebidas aqui em Santa Catarina?

02 – O que é o efeito estufa? Cite exemplos sobre as consequências do efeito estufa para os seres humanos.

03 – Quais os fatores que contribuem para o aumento do efeito estufa?

04 – Os efeitos do aquecimento global serão enfrentados do mesmo modo pela população de Santa Catarina? Justifique.

05 – Quais as ações globais que poderiam ser feitas para amenizar as consequências das Mudanças Climáticas? E ações locais?

06 – Se a sociedade continuar com esse modo de vida e portanto de consumo, como vocês imaginam que estará o planeta em 50 anos?

07 – Como o governo de Santa Catarina e o poder público no estado poderiam agir para diminuir as consequências das Mudanças Climáticas para a população?

08 – As queimadas realizadas na Amazônia podem afetar a sua vida aqui em Santa Catarina? Explique.

RESPOSTAS QUESTIONÁRIO SOBRE O TEXTO MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E SUAS CONSEQUÊNCIAS

01 – A percepção mais evidente é o aumento da temperatura média anual, outra alteração está na maior ocorrência de eventos extremos como chuvas intensas, ciclones e secas severas.

02 – O Efeito Estufa é a forma que a Terra tem para manter sua temperatura constante, impedindo que raios solares sejam refletidos para o espaço e que o planeta perca calor, portanto é um fenômeno natural. O que vem ocorrendo é o aumento do efeito estufa causado pelas intensas atividades humanas, sendo a principal delas a liberação de CO₂ (dióxido de carbono) na atmosfera. Podemos citar o aumento da temperatura global estimado entre 2°C e 6°C nos próximos 100 anos, aumento do nível médio das águas do mar, pelo menos 30cm, interferindo na vida de milhões de pessoas; degelo das calotas polares; grandes alterações a nível topográfico e ecológico do planeta.

03 – O aumento do efeito estufa é causado pelas intensas atividades humanas sendo a principal delas a liberação de CO₂ (dióxido de carbono) na atmosfera. Nos últimos anos a concentração de CO₂ na atmosfera tem aumentado cerca de 0,4% anualmente; a principal fonte de liberação de CO₂ é a queima de combustíveis fósseis. Outros gases como metano, clorofluorcarbonetos (CFC) liberados pelo homem também aumentam o efeito estufa.

04 – Os efeitos do aquecimento global não serão enfrentados do mesmo modo por toda a população de Santa Catarina, pois as pessoas com menor poder aquisitivo têm maiores possibilidades de sofrerem com as mudanças climáticas.

05 – A principal ação global para amenizar as consequências das Mudanças Climáticas são a redução das emissões dos gases do efeito estufa (GEE); diminuição do desmatamento das florestas; investir no reflorestamento e na conservação de áreas naturais; incentivar o uso de energias renováveis não convencionais (solar, eólica, biomassa e Pequenas Centrais Elétricas). Entre as ações locais estão o reflorestamento de áreas degradadas; investir na redução do consumo de energia e na eficiência energética; reduzir, reaproveitar e reciclar materiais; melhorar e incentivar o transporte público com baixa emissão de gases do efeito estufa (GEE).

06 – Se os padrões de consumo da sociedade não se alterarem o planeta certamente estará bastante degradado, com temperaturas altas; eventos climáticos extremos mais recorrentes.

07 – O governo catarinense deveria incentivar o uso de energias renováveis; reaproveitamento e reciclagem de materiais; ordenar a ocupação dos terrenos costeiros; investir em transporte público com baixa emissão de GEE.

08 – Sim, pois as chuvas nas regiões Sul e Sudeste sofrem influência da umidade vinda da Amazônia, e com menor área de floresta haverá menor quantidade de umidade chegando nessas regiões do país.

APÊNDICE D - QUESTIONÁRIO DE INVESTIGAÇÃO FINAL

Nome: _____

Data: __/__/__

Avaliação sobre Fenômenos Atmosféricos

01 - No final de agosto de 2005, o furacão Katrina inundou grandes áreas da Louisiana, Mississippi e Alabama, causando a morte de cerca de duas mil pessoas e deixando centenas de milhares de desabrigados, sobretudo em Nova Orleans.

Em 2011, o furacão Irene atingiu a costa leste americana e chegou a ameaçar o sistema de barragens da parte baixa de Manhattan, onde se localiza o distrito financeiro de Wall Street.

Entre as características comuns aos furacões, assinale a alternativa correta:

- a) formam-se geralmente nas regiões frias da terra e deslocam-se em direção ao Equador.
- b) são fenômenos provocados por duas ou mais tempestades tropicais em zonas de alta pressão.
- c) são anticiclones que se formam, geralmente, em áreas do oceano com águas quentes, onde predomina o clima tropical ou equatorial.
- d) são fenômenos atmosféricos em que os ventos giram seguindo um padrão circular, tendo no centro uma área de alta pressão.
- e) forma-se no hemisfério sul a partir de ventos que giram em sentido horário e no hemisfério norte, no sentido anti-horário.

02 - Leia a frase a seguir:

Mesmo um pequeno aumento na temperatura da superfície oceânica pode transformar mais perturbações tropicais em furacões, além de tornar uma tempestade já em andamento mais intensa e aumentar sua precipitação.

Sobre essa frase, analise as afirmativas a seguir.

I. Ela está incorretamente formulada, pois os furacões independem da temperatura da superfície marinha.

II. Ela está incorreta, pois uma perturbação tropical não pode evoluir para um furacão, exceto no hemisfério meridional.

III. Ela está correta, pois os ciclones ou furacões tropicais são fortemente influenciados pelas temperaturas da superfície oceânica.

IV. Ela está correta, porque o fato nela descrito aplica-se, plenamente, à faixa tropical atlântica do Hemisfério Norte.

V. Se realmente ocorrer o aquecimento global, poderá acontecer um agravamento da intensidade dos ciclones tropicais, logo a frase está correta.

Está CORRETO apenas o que se afirma em:

a) I e II.

b) III e V.

c) III, IV e V.

d) II.

e) III.

03 – Assinale a alternativa que **não** corresponde às condições necessárias à formação de um furacão:

a) Calor concentrado;

b) Baixa temperatura da superfície do mar;

c) Temperatura elevada da superfície do mar;

d) Ar quente e úmido;

e) Cisalhamento do vento.

04 – Caso haja as condições para a formação de um ciclone tropical, o que é necessário para que ocorra o fenômeno?

05 – Como a energia é transferida da superfície do mar para a atmosfera?

06 – Explique a influência exercida pela força de Coriolis sobre um ciclone tropical.

07 – O que é um processo adiabático?

08 – De onde vem o vapor de água presente na atmosfera? Qual é sua importância?

RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO DE INVESTIGAÇÃO FINAL

01 – E – forma-se no Hemisfério Sul a partir de ventos que giram em sentido horário e no Hemisfério Norte, no sentido anti-horário.

02 – III, IV, V.

03 – B - Baixa temperatura da superfície do mar.

04 – Para que se formem os furacões são necessárias:

- Energia térmica suficiente sobre o oceano, ou seja, temperatura da Superfície do Mar (TSM) $>26^{\circ}\text{C}$, até uma profundidade de 60m;
- Aumento da umidade relativa na troposfera (pressão atmosférica de 700hPa);
- Ventos com rotação horizontal, para que a tempestade se concentre;
- Ventos subindo a partir da superfície do oceano com força e velocidade constantes;
- Vento cortante que interrompe o fluxo de calor e umidade que faz com que o furacão tome forma.

05 – A transferência de energia da superfície do mar para a atmosfera acontece através do processo de evaporação.

06 – A força de Coriolis influencia na rotação de um ciclone tropical. No Hemisfério Norte a rotação é em sentido anti-horário, no Hemisfério Sul a rotação é em sentido horário.

07 – Processo adiabático é aquele que ocorre sem que haja transferência de calor entre o sistema e o ambiente externo. A variação da energia interna do sistema é devida unicamente à realização de trabalho. Portanto, a variação da quantidade de calor é nula ($\Delta Q = 0$).

08 – Podemos afirmar que o vapor d'água presente na atmosfera é resultado da evaporação de todas as superfícies líquidas da Terra. O transporte d'água na atmosfera é um componente importante do ciclo hidrológico, pois é através deste que grande quantidade de água é levada na forma de vapor, de uma região para outra.

APÊNCICE E - SLIDES UTILIZADOS DURANTE A APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

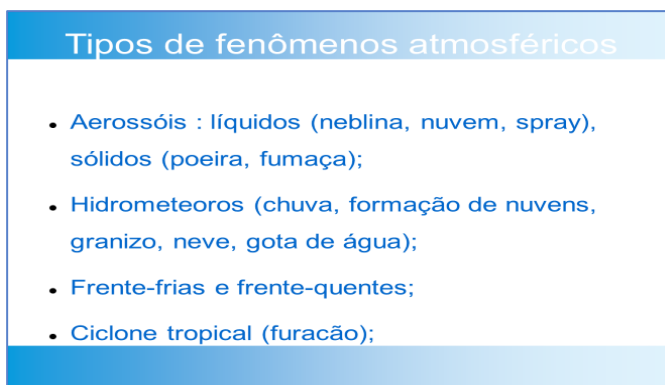
Slide 1



Slide 2



Slide 3



Slide 4

- Ciclone extratropical;
- Ciclone subtropical;
- Tornado;
- Eletrometeoros (raio, trovão).

Slide 5

Fenômenos mais energéticos

- Ciclones
- Furacões
- Tornados

Slide 6

Ciclones Tropicais

- Termo genérico usado para um sistema de baixa pressão de escala sinótica não frontal sobre as águas tropicais ou subtropicais e circulação ciclônica do vento.

Slide 7

Ciclones Tropicais

- Ventos superficiais de menos de 17 m/s são denominados “*depressões tropicais*”.
- Ventos de pelo menos 17 m/s são chamados de “*tempestades tropicais*”; na Austrália um ciclone de categoria 1.

Slide 8

Ciclones Tropicais

- Ventos ao atingirem 33 m/s são chamados de furacão (Oceano Atlântico; NE do Pacífico).

Slide 9

Classificação dos Furacões

Categoria	Velocidade do vento (km/h)	Danos causados
01	119 - 153	Ventos muito perigosos que produzirão alguns estragos.
02	154 - 178	Extremamente perigosos, os ventos causarão danos extensos
03	179 - 208	Ocorrerão danos devastadores.
04	209 - 252	Ocorrerão danos catastróficos
05	> 252	Danos catastróficos

Fonte: <http://www.nhc.noaa.gov/aboutgloss.shtml>

Slide 10

Principais Eventos Ocorridos

- **Ciclone Bhola em 1970:**
 - Bangladesh e Bengala Ocidental na Índia em 12 de novembro de 1970.
 - Entre 300000 e 500000 vítimas.
 - A cidade de Thana Tuzumuddin (Bangladesh) foi a região mais devastada e 45% da população de 167000 pessoas morreram.
 - Ciclone categoria 3.

Slide 11

Principais Eventos Ocorridos



Foto do ciclone Bhola atuando na costa de Bangladesh, 1970.

Slide 12

Principais Eventos Ocorridos



Trajetória do ciclone Bhola em 1970.

Slide 13

Principais Eventos Ocorridos



Foto da destruição causada pelo ciclone Bhola em 1970.

Slide 14

Principais Eventos Ocorridos

- **Tufão Nina em 1975.**
 - Supertufão que ocorreu na China, teve curta duração;
 - Chuvas de 1060mm na região central da China, em um dia o que seria esperado em um ano;
 - 85 mil pessoas morreram devido às inundações, principalmente por causa do rompimento de uma barragem;
 - Prejuízo causado, em valores de 1975, foi de US\$ 1,2 bilhões;
- Tufão de categoria 4.

Slide 15

Principais Eventos Ocorridos

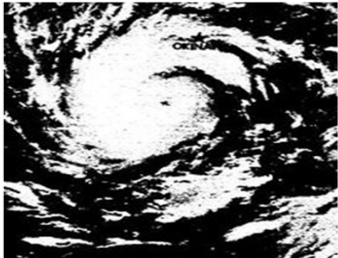
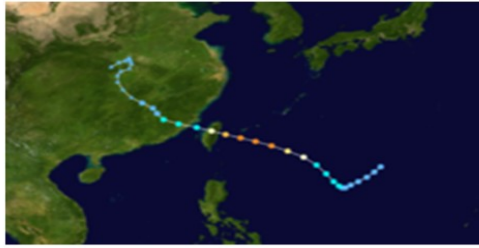


Foto do tufão Nina em 1975.

Slide 16

Principais Eventos Ocorridos



Trajetória do tufão Nina em 1975.

Slide 17

Principais Eventos Ocorridos



Destruição causada pelo tufão Nina em 1975.

Slide 18

Principais Eventos Ocorridos

- **Furacão Ike em 2008**
 - Um dos três maiores furacões a atingir os EUA e o Caribe;
 - Entre o Haiti e os EUA ao menos 195 pessoas morreram;
 - Prejuízos de US\$ 24 bi nos EUA; US\$ 7,3 bi em Cuba; US\$ 200mi nas Bahamas e US\$ 500mi em Turks e Caicos.

Slide 19

Principais Eventos Ocorridos

- Ventos atingiram 230 km/h;
- Furacão categoria 4.

Slide 20

Principais Eventos Ocorridos



Fotos do olho do furacão Ike em 2008.

Slide 21

Principais Eventos Ocorridos



Furacão Ike próximo à costa dos EUA.

Slide 22

Principais Eventos Ocorridos



Trajetória do furacão Ike, 2008. Fonte: NOAA

Slide 23

Principais Eventos Ocorridos



Destruição no Haiti causada pelo furacão Ike em 2008.

Slide 24

Principais Eventos Ocorridos



Destruição em Gilchrist, Texas.

Slide 25

Principais Eventos Ocorridos



Onda estourando na costa de Baracoa, leste de Cuba.

Slide 26

Principais Eventos Ocorridos



Prejuízos causado pelo furacão Ike, Galveston, Texas.

Slide 27

Principais Eventos Ocorridos

- **Furacão Katrina em agosto de 2005.**
 - Região metropolitana de New Orleans, no estado da Louisiana, EUA, foi devastada;
 - As mortes foram de 1833 pessoas;
 - Prejuízo estimado em US\$ 81 bilhões;
 - Alcançou categoria 5, seus ventos atingiram 280km/h;

Slide 28

Principais Eventos Ocorridos



Furacão Katrina sobre os EUA, em 2005.

Slide 29

Principais Eventos Ocorridos



Furacão Katrina aproximando-se da costa dos EUA.

This slide features a satellite image of Hurricane Katrina as it approaches the Gulf of Mexico coast. The hurricane's eye is clearly visible in the center of the storm system. The surrounding clouds are dense and white, contrasting with the blue of the ocean and the green of the land.

Slide 30

Principais Eventos Ocorridos



Trajetória do furacão Katrina. Fonte: NOAA, Office for Coastal Management, DigitalCoast

This slide displays a map titled "Historical Hurricane Tracks" showing the paths of various hurricanes over the Gulf of Mexico and the Eastern United States. A legend on the right side of the map lists hurricane numbers: 115 (purple), 114 (pink), 113 (red), 112 (orange), 111 (yellow), 110 (green), 109 (light green), 108 (blue), 107 (light blue), 106 (grey), and 105 (white). The path of Hurricane Katrina is highlighted in purple, showing its trajectory from the Gulf of Mexico, through the Florida peninsula, and into the Atlantic Ocean.

Slide 31

Principais Eventos Ocorridos



New Orleans, após passagem do furacão Katrina.

This slide shows an aerial photograph of New Orleans, Louisiana, following the passage of Hurricane Katrina. The image captures the extensive damage to the city's infrastructure, with many buildings and structures appearing destroyed or severely damaged. The surrounding area shows a mix of debris and remaining structures, illustrating the scale of the disaster.

Slide 32

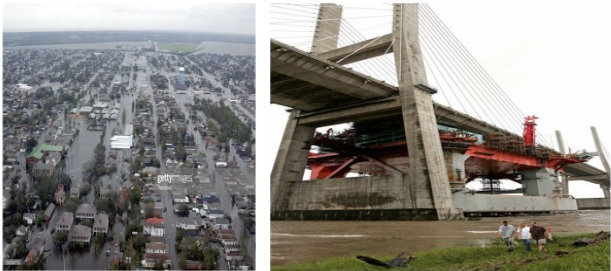
Principais Eventos Ocorridos



New Orleans inundada após passagem do furacão Katrina.

Slide 33

Principais Eventos Ocorridos



New Orleans após o Katrina. Plataforma de petróleo arrastada pelo furacão Katrina.

Slide 34

Principais Eventos Ocorridos

- Furacão Catarina em março de 2004.
 - Atingiu o sul do estado de Santa Catarina e 40 municípios foram afetados;
 - As cidades de Araranguá, Balneário Arroio do Silva, Balneário Gaivota, Passos de Torres e Sombrio foram as mais atingidas;
 - Ventos com velocidades máximas sustentadas de até 180km/h;

Slide 35

Principais Eventos Ocorridos

- Os prejuízos causados foram estimados em US\$ 470 milhões;
- quatro pessoas morreram, 518 ficaram feridas e 33 mil pessoas ficaram desabrigadas.

Slide 36

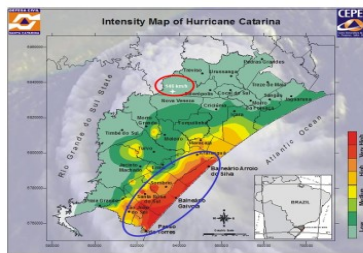
Principais Eventos Ocorridos



Imagem do furacão Catarina próximo à costa de SC.

Slide 37

Principais Eventos Ocorridos



Região afetada pelo furacão Catarina.

Slide 38

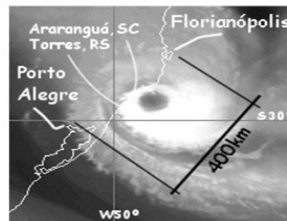
Principais Eventos Ocorridos



Casa destruída após o furacão Catarina, 2004.

Slide 39

A dimensão do Catarina



Furacão Catarina na costa de SC.

Slide 40

Principais Eventos Ocorridos



Destruição causada pelo Catarina, 2004.

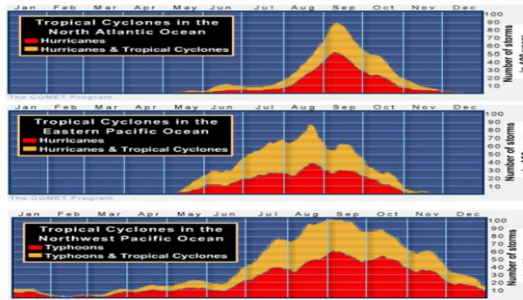
Slide 41



Jornal Diário Catarinense em 29 março de 2004.

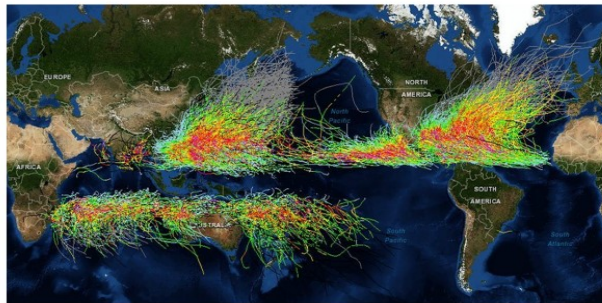
Slide 42

Período de Ocorrência de Furacões



Slide 43

Trajeto dos furacões de 1842 - 2016



Fonte: <https://shadeandshutter.com/hurricane-tracking/>

Slide 44

Condições de formação de um Furacão

- Condições necessárias mas não suficientes para a formação de um ciclone tropical.
 - Energia térmica suficiente sobre o oceano (TSM > 26°C até 60m de profundidade);
 - Aumento da umidade relativa na troposfera (700hPa);
 - Instabilidade condicional;

Slide 45

Condições de formação de um Furacão

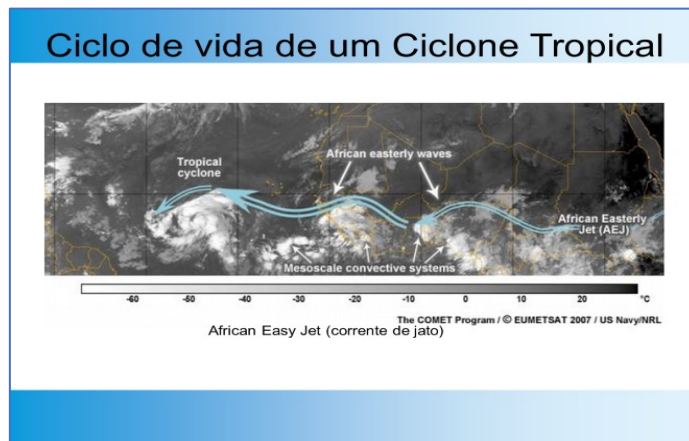
- Aumento da vorticidade relativa na Baixa Troposfera;
- Fraco cisalhamento vertical do vento na região de gênese;
- Deslocamento de pelo menos 5° de latitude a partir do Equador;

Slide 46

Ciclo de vida de um Ciclone Tropical

- Sofre influência por ondas originadas no norte da África (African Easterly Jet);
- Em geral duram de 3 a 5 dias com comprimento de onda que variam de 2 a 4 mil km.
- Com condições iniciais favoráveis a perturbação inicial se transformará em uma tempestade tropical.

Slide 47



Slide 48

- ### Ciclo de vida de um Ciclone Tropical
- As condições devem manter-se por um período de tempo que servirá para intensificar o sistema;
 - A **evaporação**, com um **fluxo de calor latente**, e a transferência de calor, **fluxo de calor sensível**;
 - Aquecem e passam a fornecer umidade para o sistema;

Slide 49

- ### Ciclo de vida de um Ciclone Tropical
- O processo provoca a redução da estabilidade estática do ar;
 - Converte **energia potencial** em **energia cinética**;
 - Sistema passa a ser denominado tempestade tropical quando se torna autossuficiente;

Slide 50

Ciclone Tropical

- Com a manutenção das condições favoráveis o sistema é intensificado e se desenvolve para um ciclone tropical;
- Nesse momento há a definição do “olho” e das bandas de chuvas.

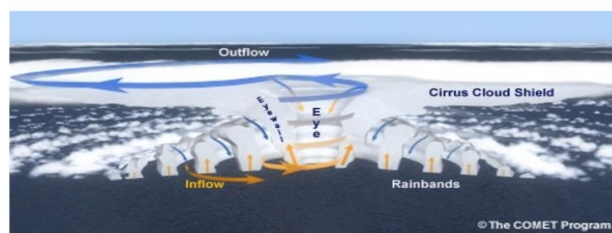
Slide 51

Estrutura de um ciclone tropical

- Inflow na camada limite;
- Eyewall (parede do olho);
- Cobertura de Nuvens Cirrus;
- Bandas de precipitação (chuva);
- Outflow em altos níveis (alta troposfera).

Slide 52

Estrutura de um ciclone tropical



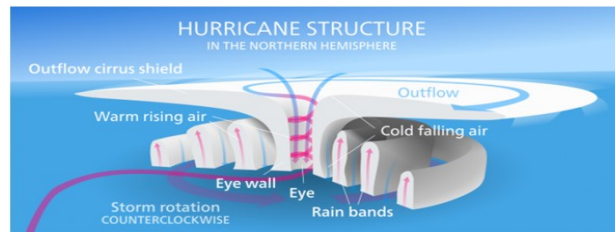
Slide 53

Estrutura do Ciclone Tropical

- Ciclones tropicais são centros e baixa pressão então apresentam circulação **anti-horária** no HN e **horária** no HS;
- Ar ascende e forma as bandas de tempestades;
- O vento circula em direção ao centro, acelerado.

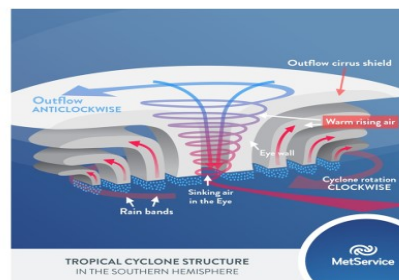
Slide 54

Estrutura de um Ciclone Tropical



Slide 55

Estrutura de um Ciclone Tropical



Slide 56

Estrutura do Ciclone Tropical

- O olho possui ventos fracos, céu parcialmente ou totalmente claro, com 20-50km de diâmetro;
- Parede do olho possui precipitação e ventos mais severos, ar ascendente ciclonicamente;
- Subsidiência (fluxo de ar de cima para baixo) de ar no meio do olho.

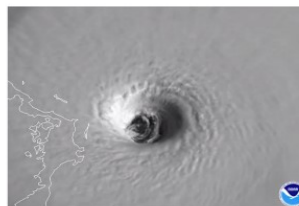
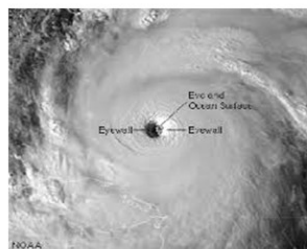
Slide 57

Estrutura do Ciclone Tropical



Slide 58

Estrutura de um Ciclone Tropical



Furacão Dorian próximo das ilhas Abaco, Oceano Atlântico, 01/09/2019.

A Física e os Ciclones Tropicais

Slide 59

- Acúmulo de energia na superfície do mar e na atmosfera.
 - Energia potencial
 - Energia cinética
- Transferência de energia da superfície do mar para a atmosfera.
 - Evaporação: a transferência acontece lentamente à temperatura ambiente;

Balanco Oceânico Global de Massa

Slide 60

Processo	Volume anual ($\times 10^3 \text{ km}^3/\text{ano}$)
Evaporação	440
Precipitação	411
Descarga por rios	29

A Física e os Ciclones Tropicais

Slide 61

- Concentração de energia da ordem de 10^{17} a 10^{19} joules.
- Área de concentração da energia do tamanho de uma cidade média.
- Estima-se que um furacão possui energia média cinco vezes o total de energia usada pelos seres humanos em 1 ano.
- Sistema de baixa pressão atmosférica no "olho" do furacão.
- Influência da força de Coriolis no sentido de rotação do furacão.

Slide 62

Pressão Atmosférica

- A pressão atmosférica é a força que a camada de ar exerce sobre os corpos que estão imersos nela.
- Ao nível do mar a pressão atmosférica é de 760mmHg;
- No monte Everest, a 8845m de altura, a pressão atmosférica é de 260mmHg.
- No furacão Katrina (categoria 5) a pressão atmosférica central chegou a 676,55mmHg.

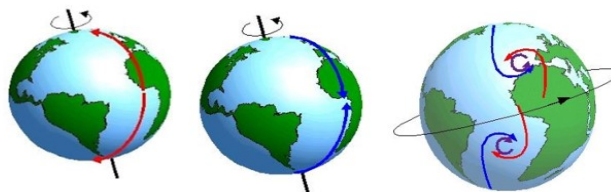
Slide 63

Força de Coriolis

- Foi formulado matematicamente em 1835 pelo engenheiro francês Gaspard Coriolis.
- A força de Coriolis atua no movimento dos ventos em centros de baixa pressão.
- Quando há formação de um centro de baixa pressão na atmosfera, ocorre um movimento de ar em sua direção porém será defletido pela força de Coriolis.
- É uma força perpendicular ao eixo de rotação do planeta e perpendicular também em relação à velocidade relativa de um corpo em relação à Terra.

Slide 64

Força de Coriolis



Slide 65

Processos Adiabáticos

- Processo adiabático é aquele que ocorre sem que haja transferência de calor entre o sistema e o ambiente externo. A variação da energia interna do sistema é devido unicamente à realização de trabalho. Neste caso a $\Delta Q = 0$.
- Os processos adiabáticos na atmosfera ocorrem nas correntes de ar ascendentes ou descendentes, que seriam formadas por parcelas de ar que são:

Slide 66

Processos Adiabáticos

- Termicamente isoladas do ambiente e sua temperatura é modificada adiabaticamente quando sobem ou descem.
- Possuem a mesma pressão do ar ambiente no mesmo nível, que supõem-se em equilíbrio hidrostático.
- Move-se com lentidão de forma que sua energia cinética seja uma fração desprezada de sua energia total.

Slide 67

Processos Adiabáticos

- O processo responsável pela formação de nuvens é o **resfriamento por expansão**.
- A pressão sobre a camada de ar cai conforme este sobe na atmosfera.
- Ao subir e se expandir ela realiza trabalho sobre o ar próximo.

Slide 68

Processos Adiabáticos

- A energia usada para a expansão vem da energia interna da camada de ar.
- Logo a temperatura da camada de ar cai quando o volume aumenta.
- A taxa de variação da temperatura do ar é denominada taxa adiabática seca.
- $\Gamma_d = 9,8^\circ\text{C}/\text{km} \cong 10^\circ\text{C}/\text{km}$

Slide 69

Processos Adiabáticos

Altitude (m)	Temperatura da parcela de ar (T) (°C)	Temperatura da atmosfera (T _a) (°C)
0 (Superfície)	22,0	32,0
1000	17,0	27,0
2000	12,2	22,2
3000	7,4	17,4

Camadas da atmosfera. Fonte: Steinke (2012)

Slide 70

Processos Adiabáticos

- Γ_d : somente é válida para uma camada de ar seco que sobe ou desce na atmosfera de modo adiabático.
- Na atmosfera a taxa real de variação de temperatura (Γ), medida por radiosondas, é em média $6,5^\circ\text{C}/\text{km}$ na troposfera.

Slide 71

Referências Bibliográficas

EMANUEL, K.A. 1999. "The power of a hurricane: An example of reckless driving on the information superhighway" *Weather*, 54, 107-108.

GRAY, W.M. (1981). "Recent Advances in tropical cyclone research from rawinsonde composite analysis" World Programme on Research in Tropical Meteorology, World Meteorological Organization, Geneva, 407 pp.

VAN DONELEN, David J. Getting Around The Coriolis Force. 2000. Disponível em: <<http://www.physics.ohio-state.edu/~dvandom/Edu/newcor.html>>. Acesso em: 10 set. 2019.

YAN YY. (2005) "Coriolis Effect". Em: Oliver J E (eds) *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht. aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/D7.html (acessado em 10/09/2019)

SILVA JUNIOR, Romualdo Santos; MILTÃO, Milton Souza Ribeiro; SILVA JÚNIOR, Osmar de Souza e. Uma Abordagem Epistemológica dos Invariantes Adiabáticos: como obtê-los. *Revista Thema*, Pelotas, v. 15, n. 3, p.877-884, set. 2018.

CRAWFORD, F.S. Elementary examples of adiabatic invariance. *American Journal of Physics*, v. 58, n. 4, p. 337-344, 1990.

Slide 72

HANNA, Steven R.; BRIGGS, Gary A.; HOSKER JR., Rayford P. (1982). *Handbook on Atmospheric Diffusion*. Office of Health and Environmental Research, Office of Energy Reserch, Technical Information Center, U.S. Department of Energy.

SLADE, David H. - Editor (1968). *Meteorology and atomic energy*, US Atomic Energy Commission, Office of Information Services.

WALLACE, John M.; HOBBS, Peter V. (1977). *Atmospheric Science, an introductory survey*. Academic Press, NY.

STEINKE, E. T. *Climatologia Fácil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

Apostila sobre meteorologia capítulo 5, hospedada em: www.fisica.ufpr.br/grimm/apostmeteo/cap5/cap5_6-2.html (acessado em 10/09/2019).

Slide 73

MARENGO, J; SOARES, W, 2003: Impacto das modificações da mudança climática Síntese do Terceiro Relatório do IPCC. Condições climáticas e recursos hídricos no Norte do Brasil. Chapter 6 in *Clima e Recursos Hídricos 9*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos/FBMC-ANA. Porto Alegre, Brasil, pp 209-233

NOBRE, Carlos A; SAMPAIO, Gilvam; SALAZAR, Luis. Mudanças Climáticas e Amazônia. *Cienc. Cult.*, São Paulo, v. 59,n. 3,p. 22-27, Sept. 2007. Available from <http://cienciaecultura.lvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252007000300012&lng=en&nr=iso>. access on 08 Sept. 2019.

NOBRE, Carlos Afonso; SAMPAIO, Gilvam; SALAZAR, Luis. Cenários d e Mudanças Climáticas para a América do Sul para o Fim do Século 21. *Parcerias Estratégicas*, Brasília, v. 13, n. 27, p.19-42, 2008.

MENDONÇA, Fernando. Aquecimento Global e suas Manifestações Regionais e Locais: Alguns indicadores da Região Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v. 2, p.71-86, 2006.

MARENGO, José Antonio. Mudanças Climáticas Globais Regionais: Avaliação do Clima Atual do Brasil e Projeções de Cenários Climáticos do Futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 16, n. 1, p.01-18, 2001.

NOBRE, Carlos Afonso. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. *Parcerias Estratégicas*, Brasília, n. 12, p.239-258, 2001.

Intergovernmental Panel on Climate Change [homepage on the Internet]. Washington DC: IPCC; 2007[cited 2007 Feb.]. Available from: <http://www.ipcc.ch>