



**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DE TEMPERATURA DE
PLANETAS COM A EQUAÇÃO BAROMÉTRICA**

ADVALDO CARVALHO NÓBREGA

ARAGUAÍNA

2022

ADVALDO CARVALHO NÓBREGA

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DE TEMPERATURA DE
PLANETAS COM A EQUAÇÃO BAROMÉTRICA**

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

Orientador: Dr. Daniel Augusto Barra de Oliveira

Araguaína

2022

ADVALDO CARVALHO NÓBREGA

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DE TEMPERATURA DE PLANETAS COM A EQUAÇÃO BAROMÉTRICA

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

Orientador: Dr. Daniel Augusto Barra de Oliveira

Data da aprovação: 02/09/2022

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



DANIEL AUGUSTO BARRA DE OLIVEIRA

Data: 28/09/2022 17:24:39-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr. Daniel Augusto Barra de Oliveira (UFNT-MNPEF)
Participação por videoconferência

Documento assinado digitalmente



REGINA LELIS DE SOUSA

Data: 14/09/2022 20:45:08-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dra. Regina Lelis de Sousa (UFNT-PROFMAT)
Participação por videoconferência

Documento assinado digitalmente



RENATA ALVES DA SILVA

Data: 14/09/2022 22:11:58-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dra. Renata Alves da Silva (UFNT-MNPEF)
Participação por videoconferência

Documento assinado digitalmente



VERENNA BARBOSA GOMES

Data: 28/09/2022 14:18:49-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dra. Verenna Barbosa Gomes (UFNT-MNPEF)
Participação por videoconferência

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

N754s Nóbrega, Advaldo Carvalho.
SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DE
TEMPERATURA DE PLANETAS COM A EQUAÇÃO
BAROMÉTRICA. / Advaldo Carvalho Nóbrega. – Araguaína, TO, 2022.
177 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do
Tocantins – Câmpus Universitário de Araguaína - Curso de Pós-
Graduação (Mestrado) Profissional Nacional em Ensino de Física,
2022.

Orientador: Daniel Augusto Barra de Oliveira

1. Ensino de física. 2. Gases ideais. 3. Planetas. 4. Equação de
Clapeyron. I. Título

CDD 530

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de
qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde
que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime
estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica
da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo seu infinito amor e perdão.

Aos meus pais, mesmo não sabendo lê me apoiaram, dedicaram suas vidas em minha educação: João Días Nóbrega e Balbina Carvalho Nóbrega.

A minha esposa, Luciene Rondow da Cruz, me incentivou o tempo todo.

Ao meu amigo mestre Luiz Fernando Nunes Ramos e Ramos.

Aos meus colegas da turma 2019 MNPEF que foi unida e nunca abandonou o espírito da bondade em ajudar uns aos outros: Alex, Elves, Bruno, Charlene, Daniel, Eliabe, Rlima, Rodrigues, Pablo e Wênio.

Aos professores do MNPEF - UFT que nos ensinou: Dr. Anderson, Dra. Cláudia, Dra. Érica, Dr. Juracyr, Dra. Liliana, Dr. Nilo, Dra. Pâmella, Dra. Regina e Dra. Shirlei.

A meu orientador Dr. Daniel Augusto Barra de Oliveira, sem ele eu não teria conseguido.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001."

Dedico este trabalho a Deus pelo seu amor eterno. Aos meus familiares, pais: João Días Nóbrega e Balbina Carvalho Nóbrega, as minhas irmãs: Regina Carvalho de Oliveira, Rosilene Carvalho Nóbrega, Eliane Carvalho Nóbrega, Luciene Carvalho Nóbrega e Luciana Carvalho Nóbrega, a minha digníssima esposa: Luciene Rondow da Cruz. A meu orientador o Dr. Daniel Augusto Barra de Oliveira, pela paciência, dedicação e colaboração na orientação ao longo do mestrado.

RESUMO

O ensino de física na educação básica muitas vezes, é centrado em teorias físicas com pouco interdisciplinaridade. Os modelos exemplificativos são baseados em experiências excessivamente simples, destoando da real aplicabilidade da teoria. Neste trabalho foi proposto um produto que exemplifica, de modo mais contundente, os modelos dos gases ideais e suas múltiplas aplicabilidades. A ideia nuclear do produto foi mostrar como um modelo simples, como aquele dos gases ideais, pode contribuir para a explicação de fenômenos atmosféricos de vários planetas do sistema solar. Esse fim foi alcançado com o desenvolvimento da distribuição barométrica no ensino médio, com posterior aplicação no estudo da atmosfera de Vênus, Terra e Marte. A extensão do produto não se dá somente entre a explícita relação entre gases e astronomia, mas também reverbera questões como aquelas climáticas ligadas à distribuição de moléculas na atmosfera. Conceitos laterais como a Matemática e a descrição da Física dos planetas foram nortes essenciais para o desenvolvimento do trabalho, que é um prelúdio para a mudança de paradigmas básicos do ensino de Física.

Palavras-chave: Ensino de física. Gases ideais. Planetas. Equação de Clapeyron.

ABSTRACT

The teaching of traditional physics, in high school and elementary school, is centered on physical theories with a tibia interdisciplinarity. The exemplary models are based on excessively simple experiments, which do not match the real applicability of the theory. In this work, a product that exemplifies the ideal gas models and their multiple applicability was proposed. The product's core idea was to show how a simple model, such as that of ideal gases, can contribute to the explanation of atmospheric phenomena on several planets in the solar system. This end was achieved with the development of barometric distribution in high school with later application in the study of the atmosphere of Venus, Earth and Mars. The extension of the product does not only occur between the explicit relationship between gases and astronomy, but also reverberates issues such as climate related to the distribution of molecules in the atmosphere. Lateral concepts such as mathematics and the description of the physics of the planets were essential guidelines for the development of the student's interest in the subject, which is a prelude to the change in the basic paradigms of teaching physics.

Keywords: Physics teaching. ideal gases. planets. Clapeyron Equation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Ciência e o Método Científico	11
2.2 Os Planetas do Sistema Solar.....	12
2.2.1 A Terra e sua Atmosfera	14
2.2.2 Vênus e sua atmosfera	15
2.2.3 Marte e sua atmosfera	17
2.3 O EFEITO ESTUFA.....	19
2.3.1 Visão Macro e Microscópica do Efeito Estufa	19
2.3.2 Gases de Efeito Estufa (GEE).....	21
2.3.3 O Gás Carbônico e o Resfriamento do Efeito Estufa.....	22
2.4 Os Gases Ideais e suas Características	23
2.5 Distribuição Barométrica	28
2.6 A Teoria Da Aprendizagem Significativa de David Ausubel	31
2.7 Instrução Conceitual Orientada Para Mudanças (Icom).....	34
2.8 CONFEÇÃO E APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	36
2.8.1 Objetivo do Produto	36
2.8.2 Descrição do Produto e sua aplicação	36
2.9 Resultados esperados	46
2.10 Resultados e discussão	47
2.11 Resultado do Questionário Diagnostico Inicial	48
2.11.1 Da Aplicação do Produto: Um Diagnóstico Geral	52
2.11.2 Diagnóstico Final com Questões Próprias do Produto Sistematizadas por Áreas de Conhecimento.....	58
2.12 Diagnóstico de aprendizado dos cálculos de distribuição barométrica.....	65
3 CONCLUSÃO.....	67
BIBLIOGRAFIA.....	68

1 INTRODUÇÃO

O estudo das atmosferas planetárias é muito importante para compreendermos o clima dos planetas. Em particular, é útil o conhecimento das moléculas que compõem essas atmosferas, uma vez que o tipo de molécula pertencente à atmosfera, combinada com variáveis como pressão, temperatura e volume, permite o entendimento do que se passa abaixo desse invólucro de gases.

Planetas como Mercúrio possuem uma atmosfera muito tênue, enquanto outros, como Vênus, têm uma atmosfera densa. Esse fato tem implicações notadamente interessantes. Vênus se encontra mais distante que o Sol em relação à Mercúrio. Contudo, Vênus é mais quente. A explicação desse fenômeno físico pode ser encontrada no tipo de atmosfera de Vênus, bem como na distribuição dos gases. O Planeta Vênus possui uma atmosfera densa composta majoritariamente por dióxido de carbono, o que eleva a sua temperatura para $471\text{ }^{\circ}\text{C}^1$ (BULLOCK et al, 2001).

Nesse sentido, é possível afirmar que esses resultados podem ser compreendidos a partir de noções básicas sobre gases e sua distribuição nas atmosferas. A partir da lei dos gases ideais, pode-se deduzir uma relação que correlacione a variação de temperatura com a altura, a pressão e a densidade da atmosfera. Em síntese, a lei da distribuição barométrica pode ser utilizada para se estudar atmosferas planetárias. Contudo, esse estudo vai assumir as limitações inerentes à aproximação da idealidade dos gases.

A lei dos gases ideais é abordada no ensino médio e seu escopo de aplicação é, em geral, muito reduzido nos livros didáticos. Portanto, neste trabalho foi realizada uma aplicação da lei dos gases ideais com o intuito de se compreender algumas atmosferas planetárias. Foi desenvolvida, ainda, a lei de distribuição barométrica para tentar explicar as altas temperaturas de Vênus. Com esse fim, os discentes do ensino médio realizaram cálculos de distribuição barométrica para demonstrar alta temperatura da atmosfera dos planetas que compõem o sistema solar.

Enfim, o produto subsidiário deste estudo foi um pequeno livro que exemplificou os conceitos elementares para a compreensão da distribuição barométrica. A matemática subjacente aos cálculos e os conceitos físicos também foram

¹ Grau Celsius.

detalhadamente trabalhados, evidenciando o desenvolvimento de habilidades que antecedem o cálculo barométrico. Há no livro uma linear exposição dos conceitos envolvidos no estudo. O resultado da aplicação do produto é a construção de um gráfico de distribuição barométrica, que pode ser comparado com dados experimentais, obtidos de sondas que pousaram nos planetas. Não obstante a construção dos conceitos físicos e matemáticos, há explanações sobre os planetas e suas respectivas atmosferas.

Com o objetivo de ensinar as variáveis de um gás e os efeitos da concentração de gases de efeito estufa na temperatura de uma atmosfera planetária, desenvolvemos o produto de ensino traz uma sequência didática que oportunizou aos alunos um aprendizado baseado na Instrução Conceitual Orientada para Mudanças. Nesse material didático foram trabalhadas as habilidades do educando, tais como: os conceitos de termodinâmica, transformações de energia; variáveis constituintes da equação dos gases; analisar o comportamento dos gases de acordo com as alterações sofridas nas suas variáveis; identificar as aplicações dos gases no cotidiano.

Desde o início da humanidade interagimos uns com os outros e familiares, adquirindo conhecimentos e experiências nos primeiros dias de vida. Essas primeiras aprendizagens adquiridas, em função do contato entre as sociedades, assimilam conhecimentos que geram outros conhecimentos. David Ausubel define esse conhecimento prévio como conceito de subsunção. Os novos conhecimentos potencialmente significativos desenvolvem a estrutura cognitiva do aprendiz, corroborando com a existência do conhecimento pré-existente no sujeito que aprende, tornando a aprendizagem significativa e justificando o conhecimento prévio, que acaba sendo fundamental para o processo. Para alcançarmos a aprendizagem significativa o aprendiz faz interagir o que já sabe com as novas ideias figuradas e isenta de ideias externas. Então, é possível observar que para que haja uma aprendizagem significativa, o aprendiz necessita de conhecimento prévio.

O Produto Educacional em questão consiste na didática baseada nos trabalhos de (AYDENIZ, 2012), e é composto por 21 aulas expositivas teóricas e 14 aulas de reforço e correção das atividades (totalizando 35 aulas de 40 minutos), dois dias por semana, nas quais utilizou-se processos matemáticos nos cálculos de grandezas expressivamente grandes (aquelas que são representadas por potência de base dez).

O trabalho desenvolve correlação entre astronomia e gases, tornando os temas qualitativamente mais interessantes. Por fim, convém explanar que essa breve introdução serve como preâmbulo para o trabalho executado que será desenvolvido ao longo das próximas páginas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ciência e o Método Científico

O professor de física está muitas vezes habilitado para determinar a velocidade de um projétil, no entanto, está sempre cerceado pelo conceito de ciência. Definir ciência é um exercício inerentemente filosófico. Não há como definir o que seja ciência a partir do método científico. A tentativa de se definir o que seja ciência começa em Aristóteles, há mais de 2000 anos atrás. Para Aristóteles, a ciência é o estudo das causas (REALE, 1997). Ainda para o filósofo grego, havia quatro causas principais:

Causa material: de que a coisa é feita? Uma mesa feita de madeira e pregos.

Causa eficiente: o que fez a coisa? O marceneiro

Causa formal: o que lhe dá a forma? A própria mesa.

Causa final: o que lhe deu a forma? A intenção do marceneiro.

Então, apesar de ser uma teoria universal, se restringia aos aspectos qualitativos dos fenômenos. Quase 1600 anos depois, Descartes usaria da matemática para quantificar os fenômenos, abordagem quantitativa que ainda persiste até os dias atuais.

Karl Popper, um filósofo da ciência moderna (1902-1994), tentou realizar uma definição de ciência baseando-se nas descobertas científicas mais modernas. Para ele, a ciência deveria ser hipotético-dedutiva (POPPER, 2004). A diferença entre dedução e indução remonta também aos gregos antigos, onde “induzir” significa sair do particular para chegar ao universal, e “deduzir” parte do universal para o particular.

Notadamente, a indução é um método menos robusto que a dedução, pois nada garante que um número finito de observações possa ser generalizado e basta uma observação contrária para desmistificar a hipótese aventada pela indução. As informações aventadas pela hipótese devem ser, ainda, falseáveis.

Com isso, além do elemento experimental desenvolvido durante a Idade Média por Francis Bacon (1561-1626), a ciência deve seguir o itinerário proposto por Karl Popper. Essa é uma visão filosófica contestável, porém bastante importante para o conceito de ciência. O método científico pode ser generalizado em algumas etapas:

- 1º - Observação.
- 2º - Elaboração do problema (fase do questionamento)
- 3º - Hipóteses.
- 4º - Experimentação.
- 5º - Análise dos resultados.
- 6º - Conclusão.

A observação do fenômeno é a fase inicial, onde serão realizadas medidas quantitativas para posterior formulação de hipóteses. Das hipóteses aventadas são realizados experimentos que consigam explicar o fenômeno. Por fim, os dados são analisados e uma conclusão é elaborada. Nesse sentido, é importante ressaltar que o envolvimento do discente nas etapas do desenvolvimento científico será observado neste trabalho.

2.2 Os Planetas do Sistema Solar

Os seres humanos estudaram o sistema solar por milhares de anos, mas foi apenas nos últimos séculos que os cientistas começaram a realmente descobrir como eles funcionam. Para se ter uma ideia, a era da exploração robótica (MALAYA *et al.* 2021) - e o envio de espaçonaves além da Terra, servindo como nossos olhos e ouvidos - têm apenas pouco mais de 55 anos. Uma frota de robôs espaciais está explorando destinos como o Sol, orbitando outras estrelas e planetas distantes.

Nosso sistema solar consiste em sua estrela, o Sol, e tudo o que está ligado a ele pela gravidade - os planetas Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno; planetas anões como Plutão; dezenas de luas; e milhões de asteroides, cometas e meteoroides. Além do nosso sistema solar, descobriu-se atualmente milhares de sistemas planetários orbitando outras estrelas na Via Láctea (MALAYA *et al.* 2021).

Cabe mencionar que neste trabalho, os estudos sobre atmosferas planetárias ficarão restritos aos planetas rochosos com atmosferas que afetam de alguma forma a temperatura da superfície do planeta. Diante dessa perspectiva, não será discutida a atmosfera dos planetas gasosos (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno). A dinâmica de funcionamento da atmosfera desses planetas é extremamente complexa e não se pode falar de um tipo de superfície como ponto de partida para os cálculos usados neste trabalho (IRWIN, 2009 *apud* MALAYA *et al.* 2021).

A composição de Júpiter é semelhante à do Sol - principalmente hidrogênio e hélio (NASA, *Jupiter*, acessado Fev 2022). Nas profundezas da atmosfera, a pressão e a temperatura aumentam, comprimindo o gás hidrogênio em um líquido. Isso dá a Júpiter o maior oceano do sistema solar - um oceano feito de hidrogênio, em vez de água. Os cientistas acham que, em profundidades - talvez na metade do caminho para o centro do planeta - a pressão se torna tão grande que os elétrons são espremidos para fora dos átomos de hidrogênio, tornando o líquido eletricamente condutor como o metal. Acredita-se que a rotação rápida de Júpiter impulse as correntes elétricas nesta região, gerando o poderoso campo magnético do planeta. Ainda não está claro se, no fundo, Júpiter tem um núcleo central de material sólido ou se pode ser uma sopa espessa, superquente e densa, de até 90.032 °F² (50.000 °C), feito principalmente de minerais de ferro e silicato (semelhantes ao quartzo).

Restam, então, os planetas rochosos: Mercúrio, Vênus, Terra e Marte. Em vez de uma atmosfera, por exemplo, Mercúrio (DUNBAR, 2015) possui uma fina exosfera composta por átomos lançados da superfície pelo vento solar e meteoroides em queda. Essa exosfera é composta principalmente por oxigênio, sódio, hidrogênio, hélio e potássio. Portanto, em virtude da existência dessa tênue atmosfera, Mercúrio será

² Grau Fahrenheit.

excluído deste estudo, que será limitado a Vênus, Terra e Marte, que terão suas estruturas atmosféricas descritas de modo mais detalhado.

2.2.1 A Terra e sua Atmosfera

É o terceiro planeta do Sol e o único lugar que se conhece até agora que seja habitado por seres vivos. Embora a Terra seja apenas o quinto maior planeta do sistema solar, é o único do mundo em nosso sistema solar com água líquida na superfície. Um pouco maior que o vizinho Vênus, a Terra é o maior dos quatro planetas mais próximos do Sol, todos feitos de rocha e metal. O nome Terra possui pelo menos 1.000 anos e é o único de todos os planetas, que não fora nomeado em homenagem a deuses e deusas gregos e romanos. No entanto, o nome Terra é uma palavra germânica, que significa simplesmente "o solo".

As ideias sobre a composição atmosférica e o clima na Terra primitiva evoluíram consideravelmente nos últimos 30 anos, contudo, muitas incertezas ainda permanecem. É geralmente aceito que a atmosfera continha pouco ou nenhum oxigênio livre inicialmente e que as concentrações de oxigênio aumentaram acentuadamente a 2,0 bilhões de anos atrás, porém, o momento preciso e as razões para seu aumento permanecem inexplicáveis.

Da mesma forma, geralmente se admite que o efeito estufa atmosférico deve ter sido maior no passado para compensar a luminosidade solar reduzida, mas os níveis de dióxido de carbono atmosférico e outros gases de efeito estufa necessários permanecem especulativos. Uma melhor compreensão da evolução atmosférica passada é importante para se entender a evolução da vida e prever se planetas como a Terra podem existir em outros lugares da galáxia (KASTING, 1993).

Há dois bilhões de anos atrás, a Terra tinha uma atmosfera parcialmente reduzida, que incluía N_2 , CO_2 , compostos de carbono reduzidos, algumas NH_3 , mas nenhum H_2 livre. As temperaturas da superfície estavam mais altas do que agora, devido a um grande efeito estufa. Quando o O_2 livre apareceu, a temperatura caiu drasticamente. Se a Terra estivesse apenas um pouco mais longe do Sol, a glaciação descontrolada teria ocorrido naquela época.

Cientistas indicam que um efeito estufa descontrolado teria ocorrido no início da história do Planeta Terra, se ele estivesse apenas algum percentual mais perto do Sol o efeito estufa era ainda maior. Portanto, parece que, levando em consideração

as possibilidades de glaciação descontrolada ou um efeito estufa descontrolado, a zona continuamente habitável em torno de uma estrela do tipo solar é bastante estreita, estendendo-se apenas a aproximadamente 0,95 a 1,01 UA³.

A fotossíntese do oxigênio parece ter evoluído bem antes que os níveis de O₂ aumentassem na atmosfera, em torno de 2,4 bilhões de anos atrás. Isso levou a inúmeras sugestões sobre o que poderia ter mantido o O₂ suprimido e, então, eventualmente, permitido que ele aumentasse. Essas sugestões incluem: mudanças na reciclagem de carbono e enxofre em relação à água (ou hidrogênio); uma mudança de vulcanismo predominantemente submarino para predominantemente subaéreo; uma oxidação gradual dos continentes e uma diminuição concomitante de gases metamórficos; um declínio na deposição de ferro em faixas de formações; um declínio na disponibilidade de níquel; além de várias propostas para aumentar a eficiência da fotossíntese. Enfim, vários desses diferentes mecanismos podem ter contribuído para o aumento do O₂, embora nem todos sejam igualmente eficazes (KASTING, 2013).

2.2.2 Vênus e sua atmosfera

Vênus é o segundo planeta do Sol e vizinho planetário mais próximo da Terra. É um dos quatro planetas internos terrestres (ou rochosos) e frequentemente chamado de gêmeo da Terra, dada as suas semelhanças em tamanho e densidade. No entanto, eles não são gêmeos idênticos - existem diferenças radicais entre os dois mundos.

Vênus possui uma atmosfera espessa e tóxica, cheia de dióxido de carbono, e está perpetuamente envolta em nuvens espessas e amareladas de ácido sulfúrico que prendem o calor, causando um efeito estufa descontrolado (Zasova et al. 2007; Irwin, 2009). É o planeta mais quente do nosso sistema solar, embora Mercúrio esteja mais perto do sol.

As temperaturas da superfície em Vênus são de cerca de 900 °F (475 °C) - quente o suficiente para derreter o chumbo. A superfície é enferrujada e salpicada de montanhas intensamente trituradas e milhares de grandes vulcões. Os cientistas pensam que é possível que alguns vulcões ainda estejam ativos (*Moore et al.*, 1992).

³ Unidades Astronômicas.

Possui uma pressão de ar esmagadora em sua superfície - mais de 90 vezes a da Terra - semelhante à pressão que você encontraria uma milha (1,6 km) abaixo do oceano no Planeta Terra.

A sonda Pioneer Vênus revelou novas características importantes da estrutura e da circulação da atmosfera de Vênus (Hoffman *et al.* 1979). A temperatura diminui de quase 750 K na superfície para cerca de 180 K em cerca de 100 km de altitude. Acima de 100 km, há um contraste marcante entre as estruturas termais diurnas e noturnas. No período diurno, há uma termosfera na qual as temperaturas aumentam até uma temperatura exosférica de cerca de 300 K. No período noturno, há uma "criosfera" na qual as temperaturas diminuem até uma temperatura exosférica de cerca de 100 K. A atmosfera é estratificada de forma estável desde as altitudes mais altas até cerca de 28 km.

Entre cerca de 20 e 28 km, a taxa de lapso também é quase adiabática, embora haja evidências de estratificação estável entre cerca de 10 e 20 km. Os contrastes térmicos horizontais são da ordem de 1–2% na atmosfera profunda e 100% na atmosfera superior. Nas nuvens e abaixo delas, as temperaturas geralmente diminuem com a latitude em superfícies de pressão constante; acima das nuvens, entre cerca de 70 e 90 km, há um gradiente de temperatura latitudinal de média zonal invertida. Há também uma super-rotação da atmosfera em altitudes de 150 km e acima. Perfis de baixa latitude e altura do vento zonal têm camadas alternadas de alto e baixo cisalhamento, que se correlacionam com a estrutura nos perfis verticais de estabilidade estática.

O avanço do calor pelos grandes ventos zonais ajuda a manter os contrastes térmicos longitudinais relativamente pequenos em toda a atmosfera abaixo das nuvens. Os contrastes latitudinais de temperatura e pressão são consistentes com uma atmosfera em rotação zonal, em equilíbrio ciclostrófico aproximado. Os ventos meridionais abaixo de 60 km variam em velocidade cerca de 10 m/s; os ventos estão na direção dos polos no topo das nuvens. Uma circulação de Hadley no nível da nuvem, é fenômeno onde o ar quente sobe na zona equatorial aquecimento pelo Sol chegando aos polos, se combina com a circulação zonal para produzir um vórtice polar no topo da nuvem. Redemoinhos na forma de células convectivas, ondas de gravidade em pequena escala e ondas em escala planetária são encontrados em toda a atmosfera. Os turbilhões, assim como as circulações meridionais médias, podem ser

importantes no transporte de energia e movimento. A circulação atmosférica de Vênus não é estável, apesar da pequena obliquidade do planeta e da órbita quase circular (Navarro *et al.*, 2021; Schubert *et al.*, 1980).

2.2.3 Marte e sua atmosfera

Marte tem um núcleo denso em seu centro, entre 930 e 1.300 milhas (1.500 a 2.100 quilômetros) de raio. É feito de ferro, níquel e enxofre. Ao redor do núcleo está um manto rochoso com espessura entre 770 e 1.170 milhas (1.240 a 1.880 quilômetros) e, acima disso, há uma crosta feita de ferro, magnésio, alumínio, cálcio e potássio. Esta crosta possui entre 6 e 30 milhas (10 a 50 quilômetros) de profundidade (CARR, 2007; HOFFMAN *et al.*, 1979).

O planeta vermelho tem muitas cores. Na superfície, é possível ver cores como marrom, dourado e castanho. A razão pela qual Marte parece avermelhado é a oxidação - ou ferrugem - do ferro nas rochas, regolito ("solo" marciano) e poeira de Marte. Essa poeira é lançada na atmosfera e a distância faz com que o planeta pareça quase todo vermelho.

Marte é o lar do maior vulcão do sistema solar, Monte Olimpo. É três vezes mais alto que o Monte Everest da Terra, com uma base do tamanho do estado do Novo México.

Marte parece ter tido um passado aquático, com antigas redes de vales de rios, deltas e leitos de lagos, bem como rochas e minerais na superfície, que só poderiam ter se formado em água líquida. Algumas características sugerem que Marte experimentou grandes inundações há cerca de 3,5 bilhões de anos.

Há água em Marte hoje, mas a atmosfera marciana é muito fina para a existência de água líquida por muito tempo na superfície. Hoje, a água em Marte é encontrada na forma de água gelada, logo abaixo da superfície nas regiões polares, bem como de água salgada, que flui sazonalmente por algumas encostas e paredes de crateras.

Marte tem uma fina atmosfera composta principalmente por gases de dióxido de carbono, nitrogênio e argônio. Aos nossos olhos, o céu estaria enevoado e vermelho por causa da poeira suspensa, em vez da tonalidade azul familiar que vemos

na Terra. A atmosfera esparsa de Marte não oferece muita proteção contra impactos de objetos como meteoritos, asteroides e cometas.

Marte é o planeta mais próximo que potencialmente abriga vida e que pode ser explorado por humanos. A água era abundante no início de Marte, mas desapareceu quando se tornou o planeta frio e seco que se vê hoje. A perda de água para o espaço desempenhou um papel importante na sua história. A variabilidade dos componentes da atmosfera que impulsionou a fuga ocorreu em todas as escalas de tempo, de interanual às escalas de tempo de 10^5 , 10^6 e $> 10^7$ anos de variações de obliquidade à escala de tempo de 4 bilhões de anos de evolução climática em grande escala. Essas variações tiveram um grande impacto no comportamento da atmosfera, do clima e da água. Também é difícil avaliar quantitativamente para onde a água foi e, apesar dessa incerteza, o enriquecimento observado na proporção de deutério/hidrogênio requer que a perda para o espaço tenha sido substancial (JAKOSKY, 2021).

Ainda não está totalmente claro se Marte começou como um planeta quente e úmido que evoluiu para o corpo frio e seco dos dias atuais ou se sempre foi frio e seco, com apenas alguns episódios esporádicos de água líquida em sua superfície. Uma pista importante para essa questão pode ser obtida estudando a evolução mais antiga da atmosfera marciana e se ela era densa e estável para manter um clima quente e úmido ou tênue e suscetível a forte escape atmosférico.

Nesta revisão, portanto, discute-se aspectos relevantes para a evolução e estabilidade de um potencial atmosfera marciana inicial. Esta contém a evolução do fluxo energia ultravioleta (EUV) do jovem Sol, a escala de tempo de formação e inventário volátil do planeta - incluindo desgaseificação vulcânica, entrega e remoção de impacto - a perda da atmosfera de vapor catastróficamente liberada, interações atmosfera-superfície, bem como térmicas e processos de escape não térmico que afetaram um potencial atmosfera secundária no início de Marte.

Embora o escape atmosférico não térmico inicial em Marte, antes de 4 bilhões de anos atrás, seja mal compreendido, em particular em vista de seu antigo campo magnético intrínseco, pesquisas sobre processos de escape térmico e a estabilidade de uma atmosfera dominada por CO_2 ao redor de Marte contra altos fluxos de EUV indicam que a entrega volátil e a desgaseificação vulcânica não podem contrabalançar o forte escape atmosférico.

Portanto, uma atmosfera de vapor catastróficamente liberada de várias barras de volume de CO_2 e H_2O , ou CO e H_2 para condições reduzidas, por meio da solidificação do oceano de magma marciano, poderia ter sido perdida em apenas alguns milhões de anos. Posteriormente, Marte provavelmente não poderia construir uma densa atmosfera secundária durante seus primeiros ~400 milhões de anos, mas só pode ter possuído uma atmosfera esporadicamente durante eventos de forte desgaseificação vulcânica, potencialmente incluindo SO_2 . Isso indica que antes de ~4,1 bilhões de anos atrás, Marte de fato poderia ter sido frio e seco, com no máximo períodos curtos e esporádicos de aquecimento. Uma atmosfera mais densa dominada por CO_2 ou CO , no entanto, pode ter se acumulado depois, mas deve ter sido perdida mais tarde devido a processos de escape não térmico e sequestro para o solo.

2.3 O EFEITO ESTUFA

2.3.1 Visão Macro e Microscópica do Efeito Estufa

O planeta terra tem um imenso histórico de mudanças causadas por forças que surgem das profundezas de suas rochas, moldando, ao longo dos milhares de anos, seu habitat atual. Forças que agem em toda parte, como na litosfera, por exemplo, onde o calor faz surgir grandes movimentos tectônicos - que causam terremotos, erupções vulcânicas, soerguimento de montanhas - que formam, assim, a atmosfera terrestre. Por sua vez, forças meteorológicas impulsionadas pelo calor solar e com a constante participação da hidrosfera fazem surgir tempestades, inundações, geleiras, erosões e grande movimentação de massa gasosa.

Todos estes fenômenos, dentre outros, bem organizados, fazem o planeta Terra acumular composições gasosas em volta da parte rochosa e líquida, nomeada de troposfera. Essa última é umas das partes da atmosfera terrestre que será correlacionada ao efeito estufa, que é a retenção de calor solar por alguns gases que compõem na atmosfera, por algum tempo. Enfim, relatar-se-á todo os aspectos macros e microscópicos desse fenômeno.

O efeito estufa é o equilíbrio de temperaturas terrestres - dia/noite - proveniente da retenção de energia em forma de calor, radiada das partes sólidas e líquidas do

planeta Terra, que chegam até estes corpos através de ondas eletromagnéticas solares. Esses fenômenos de troca de calor são de natureza físico-químico e consolidam-se durante o dia, finalizando seu processo ao anoitecer.

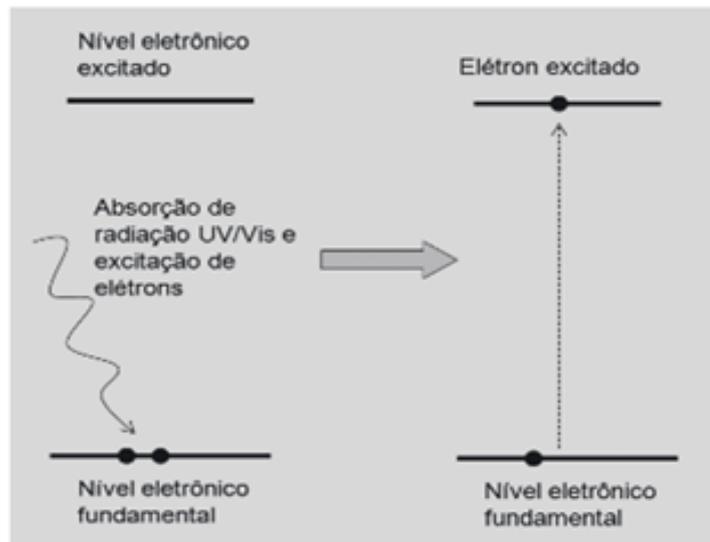
Os gases responsáveis pela retenção do calor são o vapor d'água, o dióxido de carbono, os óxidos de nitrogênio, o gás metano, dentre outros. Na ausência dessas substâncias gasosas, o referido planeta diminuiria sua temperatura média, chegando a congelar a hidrosfera, que ficaria imprópria para a vida humana e de muitos outros seres vivos.

Das cinco principais camadas da atmosfera, a troposfera é a que detém a maior parte dos gases de nosso planeta, chegando a uma concentração de massa gasosa na ordem de 80% da atmosfera. É a camada responsável distribuição de calor para superfície terrestre, como também dos fenômenos ambientais (chuvas, raios, ventos etc.). Os voos das aves e aeronaves são registrados nessa área da atmosfera.

A radiação solar é um fenômeno de transporte de energia em forma de calor através de ondas eletromagnéticas, que classificamos e nomeamos de três maneiras: raio infravermelho, raio ultravioleta e raios visíveis (que formam o arco-íris quando atravessados por gotículas de águas). Os raios com comprimentos de ondas ($\lambda = 4,0 \times 10^{-7}$ a $\lambda = 7,0 \times 10^{-7}$ m) e com comprimentos de ondas ($\lambda = 0,1 \times 10^{-7}$ a $\lambda = 4,0 \times 10^{-7}$ m) - do espectro visível e ultravioleta, respectivamente - quando incidem nos gases estufa, conseguem alterar os níveis de energia dos elétrons, mudando de nível fundamental para nível excitado de energia (menor energia e maior energia, respectivamente).

Vejamos o exemplo de excitação eletrônica, representada na Figura 1. Com a absorção dos raios ultravioleta e raios visíveis os elétrons das moléculas de gases estufa, ficam excitados saindo de seu estado fundamental indo para um de mais energia contribuindo para o aumento de temperatura.

Figura 1: Representação da excitação de um elétron pela absorção da radiação solar, raios UV/Vis



Fonte: Silva et al., 2009, p. 05.

Como é possível vivenciar, os raios solares incidem nos gases de efeito estufa, alterando o comportamento de suas partículas, os elétrons. Absorvendo energia e liberando algum tempo depois em forma de calor para o meio ambiente ao seu redor. Os demais raios que não foram captados pelas moléculas de gases, incidem nos materiais da litosfera e hidrosfera que, por sua vez, são aquecidos e refletem raios de menor energia. Boa parte desses raios vão para o espaço e a outra parte é absorvida pelos gases estufa, retornando aos fenômenos citados acima. A seguir serão mostradas duas teorias contrastantes sobre o efeito estufa.

2.3.2 Gases de Efeito Estufa (GEE)

As atividades humanas são as principais causas do aumento da concentração de CO₂ na atmosfera, já que, na última década, dois terços do efeito estufa foram causados por estas atividades.

Existem dez GEE primários, incluindo vapor de água (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), que ocorrem naturalmente; e perfluorocarbonos (CF₄, C₂F₆), hidrofluorocarbonos (CHF₃, CF₃CH₂F e CH₃CHF₂) e hexafluoreto de enxofre (SF₆), que só estão presentes na atmosfera devido a processos industriais. O vapor de água é o gás de efeito estufa mais importante, abundante e dominante, e o CO₂, que é o segundo mais importante (SONGOLZADEH

et al. 2014). A concentração desses gases na atmosfera faz alterar a temperatura terrestre, e a ação antropogênica está sendo responsável por esse aumento, principalmente no uso de carvão pelas indústrias de ferro e aço em concentração molar. Nos Estados Unidos as indústrias de energia elétrica são responsáveis por mais de 50% das emissões de GEE, segundo o autor.

2.3.3 O Gás Carbônico e o Resfriamento do Efeito Estufa

Nos últimos trezentos anos a humanidade vivenciou a revolução industrial e, oriundos disso, os lançamentos dos gases de efeito estufa na atmosfera terrestre. Desde então, presencia-se uma preocupação em controlar essas emissões e evitar o aumento da temperatura de nosso planeta natal, podendo alterar completamente os fenômenos naturais, trazendo grandes prejuízos aos seres vivos e ao ecossistema terrestre.

Por outro lado, segundo Chilingar, os resultados podem ser totalmente diferentes do que se prega. Os autores mostram que o aumento da concentração de CO₂ deve resultar no resfriamento do clima. A acumulação de metano não tem efeito essencial sobre o clima da Terra. Além disso, o CO₂ aumentando sua concentração na atmosfera resulta também no aumento da produtividade agrícola e na melhora as condições para o reflorestamento.

Os autores investigam o efeito estufa usando o modelo adiabático⁴, que relaciona a temperatura global da troposfera à pressão atmosférica e permite analisar as mudanças de temperatura devido a variações de massa e a composição química da atmosfera. (Chilingar et al 2009)

Para provar os efeitos de resfriamento do efeito estufa, Chilingar desenvolveu um modelo teórico físico-químico que evidenciava a distribuição de massa e energia com os gases carbônicos e metanos, seguindo os parâmetros: (1) evolução da composição da atmosfera; (2) evolução das condições geológicas; (3) dados sobre a mudança da radiação solar; (4) a precessão da revolução da Terra; (5) dados oceanológicos; e (6), feedbacks múltiplos entre a atmosfera e o oceano (CHILINGAR et al., 2009). Como mostra na equação logo abaixo.

⁴ O modelo adiabático permite uma abordagem simplificada da atmosfera terrestre, através da análise da temperatura e pressão média em função da altitude na troposfera, que abrange altitudes até aproximadamente 15 km.

$$T = b^\alpha \left[\frac{S(1-A)}{\sigma \left(\frac{\pi/2 - \psi}{\pi/2} \times 4 + \frac{\psi}{\pi/2} \times 2 \times \frac{2}{1 + \cos\psi} \right)} \right]^{1/4} \left(\frac{P}{p_0} \right)^\alpha \quad (1)$$

A partir da equação (1), é possível determinar a distribuição da temperatura na troposfera terrestre, para pressões maiores de 0,2 atm., mostrando o resfriamento em vez de aquecimento. Na equação 1, temos:

T é a temperatura do planeta em questão;

b é um fator de escala;

α é o expoente adiabático⁴, $\alpha = (\gamma - 1) / \gamma$; $\gamma = c_p / c_v$, onde c_p e c_v são os calores específicos do gás a pressão constante e volume constante, respectivamente;

$S = 1,367 \times 10^6$ erg/cm².s é a constante solar (fluxo da energia solar que chega à Terra);

A é a refletividade do planeta (albedo) (para a Terra $A \approx 0,3$);

$\sigma = 5,67 \times 10^{-5}$ erg/cm².s.°C⁴ é a constante de Stefan-Boltzmann;

ψ é o ângulo de precessão do planeta em rotação (para a Terra atualmente, $\psi = 23,44^\circ$). Se $\psi = 23,44^\circ$, o denominador em 1 é igual a 3,502 em vez de 4,0 no formato clássico em $\psi = 0$.

P é a pressão em dada altura;

p_0 é a pressão ao nível do mar.

2.4 Os Gases Ideais e suas Características

O estado da matéria bem interessante e complexo de estudo, são os gases. Quando armazenados ocupam toda área do recipiente, justificando a falta de interação molecular e a livre movimentação sem interações químicas. Esses comportamentos moleculares são utilizados para classificá-los em gases perfeitos ou simplesmente ideais. E, por estarem livres de interações quimicamente moleculares, essas moléculas gasosas estão bem distantes umas das outras, formando uma

propriedade física de baixa pressão e obedecendo às leis que definem as variáveis de pressão-temperatura-volume.

Para uma transformação gasosa de volume astronômicos, a transformação isotérmica, sua energia interna continua constante, necessitando de uma lei matemática que preveja comportamentos das variáveis de pressão, temperatura e volume. Em um de seus experimentos, Robert Boyle (1627-1691) detectou a variação volumétrica de certo fluido com a pressão, um século depois, com os conceitos de temperatura já definidos, Charles demonstra que a variação volumétrica ocorre com a variação da temperatura. (M. Da Silva et al 2018)

O estudo dos gases deve fazer parte do itinerário de estudo das atmosferas, já que essas são basicamente uma mistura de diversas moléculas interagindo entre si. A proposição de relações que expliquem o comportamento dos gases é realizada usando as variáveis pressão, temperatura, volume e número de moles.

Estudos concernentes a gases em baixíssima pressão levaram a um interesse generalizado pela relação entre as variáveis P e V como na equação 2. Boyle projetou e construiu uma bomba de ar para estudar o comportamento dos gases, com uma melhora substancial em relação aos aparatos experimentais anteriores. Durante o período entre 1655-1660, Boyle demonstrou que o ar tinha peso e que havia variação da pressão em um dispositivo constituído por uma coluna de mercúrio (M. Da Silva et al 2018). Dessa forma, constatou que a pressão atmosférica era variável:

$$PV = k \tag{2}$$

Na equação 2, P é a pressão, V, o volume e k, é uma constante. O conceito de temperatura não foi desenvolvido nos trabalhos experimentais de Boyle. Os estudos de Jacques Alexandre César Charles (1746-1823) em 1787 e Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) em 1802, levaram à formulação da seguinte lei empírica. (M. Da Silva et al 2018)

$$V(t) = V_0(1 + \alpha\theta) \tag{3}$$

Onde:

α (coeficiente de expansão) = $3,661 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

V_0 é o volume do gás a 0°C .

θ é a temperatura na escala Celsius

Portanto, se a equação 3 for válida em todas as temperaturas em Celsius, o volume, $V(t)$, deve ser zero, para $t = -1 / \alpha = -273^\circ \text{C}$. Essa temperatura ('zero absoluto') é conhecida hoje como $-273,15^\circ \text{C}$ Benoit Paul Émile Clapeyron (1799-1864) propôs a "lei do gás ideal generalizado" em 1834, que às vezes é conhecida como equação de Clapeyron. (M. Da Silva et al 2018)

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (4)$$

Onde:

P é pressão do gás

V é volume do gás

n é números de mols

R é constante dos gases perfeitos

T é temperatura em Kelvin

Na Equação 4, temos a adição da constante dos gases R e a relação do número de mols introduzida por Amedeo Avogadro em 1811 (M. Da Silva et al 2018). A equação dos gases ideais assume alguns princípios, um deles afirma que as moléculas do gás não interagem entre si, ou seja, as forças intermoleculares são desprezadas. Isso implica dizer que esse gás não irá se liquefazer mesmo que a temperatura e a pressão sejam diminuídas. Esse comportamento explica a limitação da equação dos gases ideais. Uma equação que descrevesse os gases reais deveria levar em conta os fatores interativos que existem entre as moléculas.

Vamos agora relatar as leis que deram embasamento a lei dos gases ideais; Boyle, Charles, Gay-Lussac e Avogadro:

- Lei de Boyle-Mariotte, Boyle fez as primeiras observações experimentais entre 1961 e 1962 e apenas em 1976 foram refeitos e publicados por Moriotte. Concluíram; quanto maior for a pressão sobre uma certa massa de um gás menor será seu volume, como descrito na equação 2 que pode ser reescrita como na equação 5, para a

isoterma da transformação gasosa a 0 °C. Daí o subscrito 0n significa zero grau e uma unidade de massa molar.

$$V_0 = \frac{k_{0n}}{P} \quad (5)$$

- Lei de Charles, em 1787 fez experimentos com balões ao aquecê-los, seus volumes aumentavam proporcionalmente em transformações gasosas isobáricas, só em 1802 Gay-Lussac quantificou e publicou essas observações, nomeando Lei de Charles. O subscrito pn significa pressão constante para uma certa massa de gás.

$$V = k_{pn} \cdot T \quad (6)$$

-Lei de Gay-Lussac, adicionalmente verificou o aumento da pressão com o aumento da temperatura sem alterar o volume.

$$p = k_{vn} \cdot T \quad (7)$$

Das três leis descrita acima temos: O p significa pressão no gás, o v volume da massa gasosa, o T a temperatura das transformações gasosas na escala kelvin (M. Da Silva et al 2018). O subscrito na constante de proporcionalidade k_{vn} , significa volume constante v para uma certa massa de gás n.

- Princípio de Avogadro, em 1811 enunciou o seguinte; "gases diferentes de mesmo volume, temperatura e pressão tinham o mesmo número de moles.

$$V = n \cdot V_m \quad (8)$$

Nessa equação 8 o V_m é a constante de proporcionalidade entre a quantidade de matéria e o volume do sistema V, em certos números de mols n.

Da equação 3 temos:

$$\begin{aligned} V &= V_0(1 + \alpha\theta) \\ V &= V_0 + \alpha \cdot V_0 \cdot \theta \end{aligned} \quad (9)$$

Se dividir e multiplicar o primeiro V_0 por α_0 , temos:

$$V = \alpha_0 \cdot V_0 \cdot \left(\frac{1}{\alpha_0} + \theta \right) \quad (10)$$

Se chamamos a parte entre parêntese de T , sendo $\alpha = 3,661 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, chegamos no seguinte:

$$T = \left(\frac{1}{\alpha_0} + \theta \right) \quad (11)$$

$$T = 273,15 + \theta$$

Definimos a escala de temperatura absoluta T .

Inserindo a equação 11 na equação 10, temos:

$$V = \alpha_0 \cdot V_0 \cdot T \quad (12)$$

Por interpretação física, obtemos a Lei de Charles, sendo a constante de proporcionalidade k_{pn} . O subscrito pn significa pressão constante para uma certa massa de gás.

$$k_{pn} = \alpha_0 \cdot V_0 \quad (13)$$

Substituindo o V_0 na equação 12 por aquele dado pela equação 5, obtemos:

$$V = \alpha \cdot k_{0n} \cdot \frac{T}{P} \quad (14)$$

Considerando o V_m volume molar de um gás para 1 mol de moléculas, temos a constante K escrita assim na temperatura a zero grau Celsius ou 273,15 Kelvin:

$$V_m = \alpha_0 \cdot k_{01} \cdot \frac{T}{P} \quad (15)$$

Agora Inserindo a equação 15 na 8, obtemos:

$$V = n \cdot \alpha_0 \cdot k_{01} \cdot \frac{T}{P} \quad (16)$$

O produto de αk para um mol de qualquer gás, é uma constante que pode ser obtida experimentalmente da isoterma a 0 °C ou 273,15 K. Podemos observar que a constante αk está relacionada ao volume molar a 273,15 K e pressão de 1 atm, isso definem a constante universal dos gases ideais (R).

$$V = n \cdot R \cdot \frac{T}{P} \quad (17)$$

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

onde se refere na equação 4. (Magalhães et al 2013)

2.5 Distribuição Barométrica

A fórmula barométrica expressa a dependência da pressão atmosférica com a altitude. A significância da queda da pressão atmosférica com o aumento da elevação é bastante conhecida na vida cotidiana e tem uma série de consequências notáveis. Primeiro, a elevação pode ser estimada com um barômetro e a Eq. 18 abaixo tem papel fundamental no processo. Enjoo de altitude também está bem documentado até mesmo em histórias populares (CASTELLAN, 1986). Essa síndrome ocorre nas montanhas em altitudes elevadas e é causado por uma falta geral de oxigênio no corpo. Em grandes altitudes, a pressão atmosférica geral é menor do que no nível do mar, o que significa que a pressão parcial de oxigênio também é muito mais baixa do que os corpos humanos estão acostumados, mesmo que a composição percentual do ar seja a mesma.

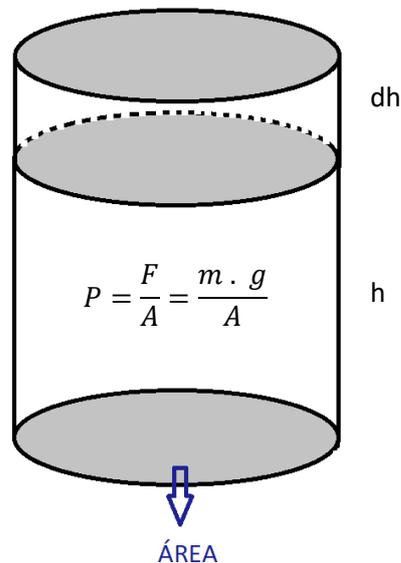
A descrição precisa dos fenômenos atmosféricos é obviamente importante na ciência ambiental. A altitude depende da pressão, da temperatura e da composição de toda a atmosfera e desempenha papéis dominantes na formação dos climas padrões da Terra, fenômenos radiativos, como luminescência atmosférica em luzes polares (aurora austral no hemisfério sul e aurora boreal no hemisfério norte) e na manutenção e operação da camada de ozônio. Também é claro que o uso da fórmula

barométrica não é limitado ao planeta Terra e deve ser válido para outros planetas extra-solares, também porque os gases existem lá em um campo gravitacional.

Na forma mecânica de pensamento, o ponto de partida é que a mudança na pressão do gás, diminui a força da gravidade, é causada apenas pelo peso do gás. Imagine uma camada muito magra de ar em uma coluna que tem uma seção transversal horizontal de A , e seu tamanho vertical é dh (ou seja, infinitesimal). A pressão agindo na superfície inferior é maior do que na superior por dP (Equação 18). A diferença dP é causada pelo peso do ar entre as duas superfícies, então fica:

Figura 2: Representação da coluna de ar e pressão atmosfera

Fonte: Autor, 2022



$$dP = \frac{\rho(h)gAdh}{A} = \rho(h)gdh \quad (18)$$

Onde:

P é a pressão

ρ é a densidade do gás

g é a força da gravidade

A é a área

h é a altura

Nesta fórmula, $\rho(h)$ (letra grega rho) é a densidade de massa do ar na altitude h, e g é a aceleração gravitacional ($9,81 \text{ m/s}^{-2}$ para localizações geográficas de latitude média). A densidade de massa de um gás ideal pode ser calculada a partir da definição de densidade de massa e da lei do gás ideal como $\rho = m / V = nM/V$ e $n/V = P/(RT)$, então, esta equação dará uma conexão direta entre densidade de massa e pressão:

$$\rho(h) = P(h)M/RT \quad (19)$$

As quantidades usadas nesta equação foram usadas e definidas em 18. A próxima etapa é combinar as Equações 19 e 20 para calcular a derivada da pressão em relação à altitude. Altitude h é medida a partir da superfície da Terra, então, aumenta para cima, mas a pressão diminui para cima, sendo que um sinal negativo é também necessário na equação final:

$$\frac{dP}{dh} = -\frac{Mg}{RT} p(h) \quad (20)$$

Nesta seção, assume-se que a temperatura não muda com a altitude. Assim, todo o termo $Mg / (RT)$ na Eq. 21 é independente da altitude. Portanto, a Eq. 21 é uma das equações diferenciais ordinárias mais simples possíveis: uma de primeira ordem, linear, cuja solução é a função exponencial. Usando a notação p_0 para a pressão na altitude zero, a solução assume a seguinte forma:

$$P = P_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}} \quad (21)$$

Onde:

P – é a pressão do gás na altitude em questão;

P_0 – é a pressão do gás em um nível de referência com altitude adotada como zero, ao nível do mar;

g – é a aceleração da gravidade;

R – é a constante dos gases ideais;

M - é a massa molar do gás;

T – é a temperatura;

2.6 A Teoria Da Aprendizagem Significativa de David Ausubel

Os seres humanos, desde o nascimento, aprendem e evoluem com o ambiente e seus familiares. As primeiras aprendizagens adquiridas, em função do contato com a progenitora e ao longo de sua vida, assimilam conhecimentos que geram outros conhecimentos. David Ausubel define esse conhecimento prévio como conceito subsunçor ou, simplesmente, subsunçor, que é um conjunto de estruturas de conhecimentos específicos, responsável pela aprendizagem significativa quando permite dar significado ao um novo pacote de conhecimento.

[...]os subsunçores simplesmente como conhecimentos prévios especificamente relevantes para que os materiais de aprendizagem ou, enfim, os novos conhecimentos sejam potencialmente significativos...
...Subsunçores seriam, então, conhecimentos prévios especificamente relevantes para a aprendizagem de outros conhecimentos. (MOREIRA, 2012, P. 10)

Os novos conhecimentos, potencialmente significativos, desenvolvem a estrutura cognitiva do aprendiz, corroborando com os conhecimento pré-existente do sujeito que aprende, tornando a aprendizagem significativa e justificando o conhecimento prévio, que acaba sendo fundamental para o processo.

Para alcançamos a aprendizagem significativa o aprendiz faz interagir o que já sabe com as novas ideias figuradas e isenta de ideias externas. “Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe.” Moreira (2012)

Então, é possível observar, para que haja uma aprendizagem significativa, o aprendiz necessita de conhecimento prévio, sendo esse interligado ao novo conhecimento que está sendo adquirido. Quando esse novo conhecimento ou grupo de conhecimentos passa a dominar esses “pacotes” de conhecimentos prévios, chegamos à aprendizagem significativa superordenada.

Os novos pacotes de conhecimentos adquirem significados ao aprendiz e subordinam os conhecimentos já existentes, fazendo amarrações nos conhecimentos prévios e em aquisição. Esses surgiduros fazem desenvolver no aprendiz uma aprendizagem significativa denominada de subordinada, onde interagem antigos conhecimentos com novos, de forma relevante. “A maneira mais típica de aprender significativamente é a aprendizagem *significativa subordinada*, na qual um novo conhecimento adquire significado na ancoragem interativa com algum conhecimento prévio especificamente relevante.” Moreira (2012)

Quando os novos pacotes de conhecimentos dominam, amparam e subordinam os subsunçores, se desenvolve a clareza, a estabilidade cognitiva, a abrangência, a variação, e melhora a aprendizagem significativa do sujeito. Essa aprendizagem possui como âncora o conhecimento dinâmico, não estático, que pode evoluir e, inclusive, envolver, sancionando a diferenciação progressiva, que por sua vez atribuirá novos significados para um certo subsunçor, derivada das várias utilizações de significados a novos conhecimentos. Moreira (2012)

A partir de um subsunçor, vários conhecimentos vão nutrindo sucessivas interações, progressivamente, de novos significados, ficando mais abundantes, mais sofisticados, mais estremados, resultado das incessantes reutilizações do subsunçor ancoradouro para novas aprendizagens significativas.

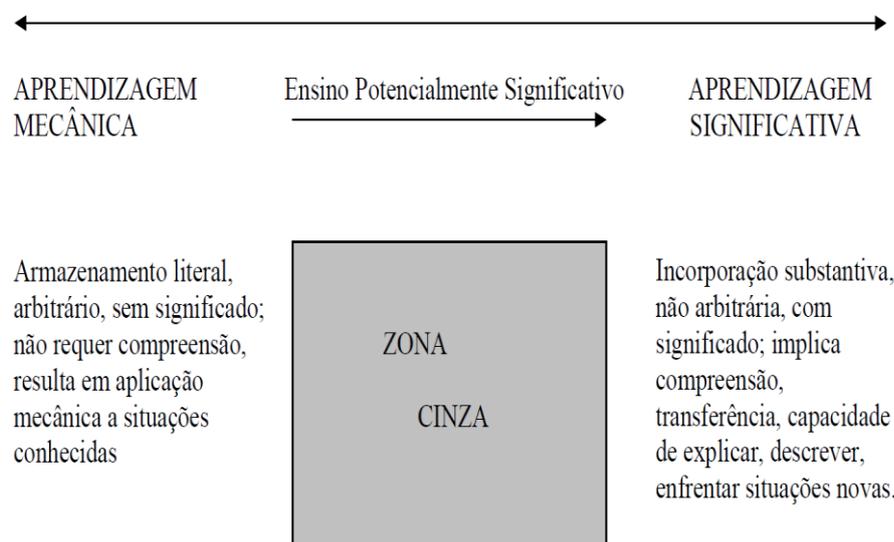
A reconciliação integradora, ou integrativa, é um processo da dinâmica da estrutura cognitiva, simultâneo ao da diferenciação progressiva, que consiste em eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências, integrar significados, fazer superordenações. (Moreira, 2012, P. 06)

Essas duas últimas aprendizagens significativas são opostas e ocorrem simultaneamente, enquanto uma dá novos significados, a outra elimina as diferenças, devendo caminhar mutuamente e simultaneamente. Cabe salientar, ainda, que a variável mais importante da estrutura cognitiva do sujeito que aprende, é o conhecimento prévio, pois é dado como moderador de novos conhecimentos. Contudo, nem sempre é assim, pois ela pode, em alguns casos, ser uma variável impossibilitadora, fazendo com o sujeito que aprende tenha maior dificuldade, tornando em alguns casos uma variável bloqueadora.

O professor e/ou instituição de ensino deve disponibilizar um material de aprendizagem de maior potencialidade significativa, ficando para o aprendiz o dever

de se predispor a aprender. Quanto ao material de significado lógico, e não arbitrário ou literal, esse deve ser apropriado e relevante a uma estrutura cognitiva do aprendiz. Já o aprendiz que não tenha em sua estrutura cognitiva ideias-âncora relevantes com as quais esse material possa se relacionar, deve ter a predisposição para obtê-las com o auxílio do professor. Essas duas condições são essenciais para desenvolvimento da aprendizagem significativa.

Figura 3: Uma visão esquemática do contínuo aprendizagem significativa-aprendizagem mecânica, sugerindo que na prática grande parte da aprendizagem ocorre na zona intermediária desse contínuo e que um ensino potencialmente significativo pode facilitar “a caminhada do aluno nessa zona cinza”

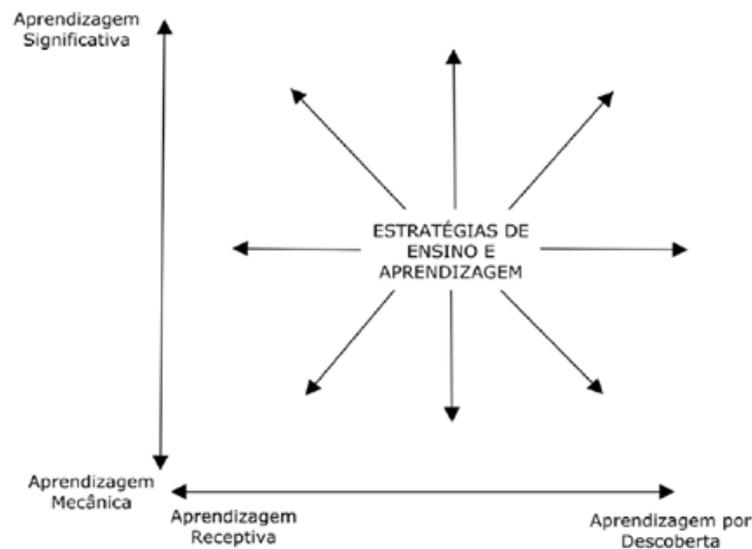


Fonte: Marco. “O QUE É AFINAL APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA?”, P. 10

Para a aprendizagem significativa de acordo com a teoria da aprendizagem de David Ausubel, são duas as condições, a primeira dessas condições é fortemente dependente do conhecimento prévio do aprendiz em relacionar com o material de aprendizagem, pois se esse não existir, nenhum novo conhecimento será potencialmente significativo. No entanto, a segunda condição também tem a ver com o conhecimento prévio, pois normalmente quanto mais o indivíduo domina significativamente um campo de conhecimentos, mais se predispõe a novas aprendizagens nesse campo ou em campos afins. No caso da aprendizagem mecânica, ocorre o inverso: quanto mais o aprendiz precisa memorizar conteúdos mecanicamente, mais se predispõe contra esses conteúdos, ou disciplinas, como na figura 3.

Vimos a necessidade de termos um bom material de aprendizagem e um aprendiz disposto a aprender, a união destes dois fatos geram aprendizagens significativas. Unindo os conhecimentos existentes com os novos conhecimentos do material potencialmente significativo, favorecerão uma ideia-âncora para aquisição de novos conhecimentos e assim irão se moldando adquirindo outros subsunçores, correlacionando significados já vindo com o aprendiz. Essa forma de aprender através de novos conhecimentos serem subordinados aos outros estacionários é a maneira mais típica de aprender com relevância.

Figura 4: Um hipotético sistema de coordenadas formado pelos eixos aprendizagem mecânica x aprendizagem significativa e aprendizagem receptiva x aprendizagem por descoberta



Fonte: Marco. "O QUE É AFINAL APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA?", P. 15

Na aprendizagem mecânica o conhecimento é esquecido quase que totalmente, já na aprendizagem significativa, se houver o esquecimento, sempre deixará um resíduo dentro do subsunçor, observe a figura 4.

2.7 Instrução Conceitual Orientada Para Mudanças (ICOM)

Com o objetivo de ensinar a Lei de Clapeyron e os efeitos da concentração de gases de efeito estufa na temperatura de uma atmosfera planetária, foi desenvolvido um livro. Nesse material didático foram trabalhadas as habilidades do educando, tais como: as propriedades dos gases ideais, propriedades matemáticas nas operações

com potência de base dez e notação científica, massa atômica e massa molar, as unidades de volume e pressão, como também os efeitos microscópicos da temperatura e sua conversão de unidade.

O presente produto educacional traz uma sequência didática que oportunizou aos alunos um aprendizado baseado na Instrução Conceitual Orientada para Mudanças (ICOM), que consiste no estudo dos conteúdos, por parte dos educandos, antes da aula propriamente dita, para que os alunos possam desenvolver seus conceitos sobre fenômenos científicos antes de vir para a sala de aula. Estes conceitos podem ser científicos ou não, pois influenciam o aprendizado dos alunos sobre novas concepções científicas. Orientado pelo professor, estas ideias pré-existentes são substituídas por ideias científicas e corretas para o assunto. Como citou Çetin: (Çetin et al 2009)

[...] a aprendizagem envolve mudar as concepções agregando novos conhecimentos ao que já é realizado. A aprendizagem envolve uma interação entre concepções novas e existentes, e o resultado da aprendizagem depende da natureza da interação. As concepções existentes dos alunos antes da instrução afetam sua aprendizagem em ciências (Çetin et al 2009, p. 01).

Para o desenvolvimento do projeto utilizamos diversas estratégias, tais como:

- A disponibilização, por capítulo, de cada assunto, um dia antes da aula, para o aluno criar dúvidas e fazer perguntas no fim de cada aula;
- Usamos o aplicativo Meet para as reuniões virtuais e Microsoft word para desenhar as equações e trabalhar com as mesmas;
- Tempo de uma semana para elaboração das respostas das atividades propostas;
- Aulas expositivas e explicativas via remota e, no contraturno, auxílio via WhatsApp, como se fosse uma aula de reforço.

Como foi explanado anteriormente, antes da aplicação do produto educacional, os discentes já haviam estudado alguns conteúdos sobre o assunto de cada aula. Os conteúdos ministrados em cada aula seguiram os capítulos em ordem do livro produto, iniciando desde o conhecimento científico, passando pela notação científica, e pela

temperatura na visão microscópica, densidade, mols, chegando à Lei de Distribuição Barométrica.

2.8 CONFECÇÃO E APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

2.8.1 Objetivo do Produto

Este capítulo tem como objetivo demonstrar a aplicação da lei de distribuição barométrica na determinação da temperatura de planetas do sistema solar, observando o método científico e o desenvolvimento da aprendizagem significativa.

2.8.2 Descrição do Produto e sua aplicação

O processo de aplicação do produto educacional ocorreu de forma remota (aulas online via Google Meet e WhatsApp), foram 35 aulas de 40 minutos duas vezes na semana, junto aos alunos das quatro turmas de Segundo ano do Ensino Médio, cada uma composta por 44 alunos em média, da Escola Estadual de Ensino Médio, localizada na cidade de Redenção –PA. Baseou-se nos trabalhos de (Aydeniz, 2012).

Tivemos, em média, a participação de 33 alunos por aula, das turmas A, B, C e D, vespertino. Vale lembrar que, devido à pandemia, ocorreu certa oscilação no número de participantes das atividades ao longo do período de aplicação, sendo necessário, então, disponibilizar um tempo maior para alunos desenvolverem suas atividades. A aplicação do produto educacional iniciou-se no dia 08 de março de 2021 com encerramento no dia 25 de maio de 2021, sendo que no dia 31 de maio houve a aplicação de um questionário diagnóstico.

Explicou-se para a turma o objetivo e o porquê da aplicação do produto, deixando bem claro o que iria ser ministrado e como seria feito ao longo do período de interação no turno e contraturno, como também nos fins de semana. Ao final da primeira aula de exposição do produto, propomos para os alunos a leitura dos dois primeiros capítulos, para que, na aula seguinte, assistissem a aula explicativa e participassem das discussões, iniciando, a partir daí as resoluções das atividades propostas. A partir da segunda aula, foram orientados a estudarem o conteúdo antes

de assistirem a explicação pelo professor. Na segunda aula o conteúdo foi exposto em aproximadamente meia hora e os 10 minutos restantes ficou para discussões e perguntas. Na terceira aula, na semana seguinte, corrigimos algumas questões e prorrogamos o prazo da entrega para dar oportunidade na correção dos equívocos, fato primordial para as aulas posteriores. Sempre no final de cada explicação de conteúdo, um novo conteúdo era disponibilizado para estudo antes da aula seguinte.

Na quarta aula ocorreu a explicação do conteúdo proposto na aula anterior, aula de 30 minutos mais 10 minutos para os questionamentos, foi disponibilizada uma atividade diagnóstica no Google Forms, por 40 minutos. Como de praxe, o capítulo seguinte foi disponibilizado em arquivo PDF para estudo, todas as aulas foram gravadas.

Durante a aplicação do produto fizemos discussões e avaliações nas quais sondamos a aprendizagem significativa, assim, buscando e obtendo evidências que comprovassem a existência da aprendizagem, foi também proposto situações problemas que deixamos para o aluno resolver. Os alunos tiveram a oportunidade de refazer suas atividades, pois, acreditamos na troca de conceitos preexistentes para os conceitos científicos. Na tabela 1 a seguir, apresentamos o roteiro com a sequência didática do produto educacional que foi aplicado.

Tabela 1: Resumo das aulas que compõem o produto educacional⁵ - Sequência Didática do Produto Educacional

Aula	Tema e duração da aula	O que será abordado? Qual o objetivo? Recursos?
Aula 01 02/03/2021 1 aula	Apresentação do Produto e Metodologia. 40 minutos via Meet.	Apresentação do objetivo do Produto Educacional, discutindo sobre efeito estufa e a temperatura dos Planetas Terra e Vênus, pontuando os gases de efeito estufa e a pressão atmosfera nos planetas do sistema solar. Apresentação do site da NASA. (Meet e WhatsApp). O objetivo desta aula foi apresentar o livro em pdf e os conteúdos a serem trabalhados nos meses de março a maio de 2021.

⁵ Em todas as aulas serão necessários os seguintes materiais: notebook, celular, ponto de wi-fi ou dados móveis, programa word da Microsoft para o professor, e materiais escolares básicos, como lápis, caderno etc.).

<p>Aula 02 08/03/2021 2 aulas</p>	<p>Método Científico Notação Científica 40 minutos via meet e 40 min. WhatsApp.</p>	<p>Apresentação dos conteúdos de notação e conhecimento científico, pontuando: as etapas da pesquisa científica, as grandezas astronômicas de massa e volume dos planetas, as operações com números de notação científica (Meet e WhatsApp). O objetivo foi mostrar o início do conhecimento científico e a notação científica.</p>
<p>Aula 03 09/03/2021 1 aula</p>	<p>Método Científico Notação Científica 40 minutos Meet.</p>	<p>Correção de questões chave para os alunos, prorrogação do tempo para os alunos com dificuldades nas resoluções das questões e distribuição do conteúdo seguinte (em PDF, via WhatsApp). O objetivo foi desenvolver a habilidade de calcular com potência de base dez.</p>
<p>Aula 04 15/03/2021 2 aulas</p>	<p>Os Gases Atmosféricos e a Temperatura 40 minutos via Meet e 40 min. WhatsApp.</p>	<p>Aula explicativa sobre o surgimento da litosfera e atmosfera terrestre. Composição da troposfera e os gases de efeito estufa. Explicação em visão microscópica dos efeitos dos raios solares nas moléculas de gases, exemplificando: raios infravermelho e ultravioleta, polos magnéticos moleculares, e estado fundamental e excitado dos elétrons (Meet e WhatsApp). O objetivo foi mostrar a ação microscópica dos raios solares nas moléculas de efeito estufa.</p>
<p>Aula 05 16/03/2021 2 aulas</p>	<p>Os Gases Atmosféricos e a Temperatura 20 minutos via Meet e 60 minutos Google Forms.</p>	<p>Continuação da aula explicativa sobre efeito estufa e atividades pelo formulário google. Disponibilização do conteúdo para a próxima aula em PDF (Meet e WhatsApp). Com o objetivo de avaliar o que aprenderam sobre temperatura e as moléculas de efeito estufa.</p>
<p>Aula 06 22/03/2021 2 aulas</p>	<p>Densidade dos Corpos. 60 minutos via Meet e 20 min. WhatsApp.</p>	<p>Apresentação dos corpos que flutuam e afundam na água, diferenciando massa e peso, explicação sobre massa específica, cálculo do volume e da densidade com números de grandezas planetária (Meet e WhatsApp). O objetivo foi diferenciar peso e massa, materiais mais densos e menos densos, água como padrão de densidade e o que flutua e afunda.</p>

<p>Aula 07 23/03/2021 1 aula</p>	<p>Densidade dos Corpos. 40 minutos via Meet.</p>	<p>Correção e resolução das atividades de densidade. Aula de reforço para os alunos com dificuldades nas resoluções das questões. Disponibilização do conteúdo para a próxima aula em PDF (Meet e WhatsApp). O objetivo foi mostrar os equívocos dos cálculos de densidade.</p>
<p>Aula 08 29/03/2021 2 aulas</p>	<p>Números de Mols 60 minutos via Meet e 20 min. WhatsApp.</p>	<p>Apresentação da tabela periódica, da massa atômica, explicando o cálculo de massa molar e exemplificando o cálculo de números de mols. O objetivo foi ensinar os números atômicos e moleculares.</p>
<p>Aula 09 30/03/2021 1 aula</p>	<p>Números de Mols 40 minutos via Meet.</p>	<p>Continuação da aula anterior, números de mols e volume de gás, relação entre números de mols e a quantidades de partículas. O objetivo foi mostrar os equívocos dos cálculos de massa molar e poder corrigi-los.</p>
<p>Aula 10 05/04/2021 2 aulas</p>	<p>Números de Mols 80 minutos via Meet.</p>	<p>Correção da atividade de números de mols. Disponibilização o conteúdo para a próxima aula em PDF (Meet e WhatsApp). O objetivo foi mostrar os equívocos dos cálculos de massa molar e poder corrigi-los.</p>
<p>Aula 11 06/04/2021 1 aula</p>	<p>Hipótese de Avogadro 40 minutos via Meet.</p>	<p>Apresentação do número de Avogadro, mostrando algumas propriedades dos gases ideais, exemplificando a regra de três simples (Meet e WhatsApp). O objetivo foi mostrar a constante de Avogadro muito importante para a Física.</p>
<p>Aula 12 12/04/2021 2 aulas</p>	<p>Hipótese de Avogadro 80 minutos via Meet.</p>	<p>Correção da atividade Hipótese de Avogadro. Disponibilização do conteúdo para a próxima aula em PDF (Meet e WhatsApp). O objetivo foi mostrar os equívocos dos cálculos que envolvem essa constante e corrigi-los.</p>

<p>Aula 13 13/04/2021 1 aula</p>	<p>Escala Celsius e Kelvin 40 minutos via Meet.</p>	<p>Apresentação da criação da equação de conversão de unidade de temperatura, exemplificando a transformação de Kelvin para Celsius e vice-versa. Disponibilização do conteúdo para a próxima aula em PDF (Meet e WhatsApp). O objetivo foi mostrar as diferentes escalas termométricas, principalmente a de Celsius e Kelvin.</p>
<p>Aula 14 19/04/2021 2 aulas</p>	<p>Escala Celsius e Kelvin 80 minutos via Meet.</p>	<p>Correção da atividade de escala termométrica. Disponibilização do conteúdo para a próxima aula em PDF (Meet e WhatsApp). Com o objetivo de mostrar os equívocos dos cálculos de transformações de temperatura em outra escala.</p>
<p>Aula 15 20/04/2021 1 aula</p>	<p>Equação de Clapeyron (Terra) 40 minutos via Meet.</p>	<p>Apresentação das equações de transformações gasosas, Lei de Boyle – isotérmica, Lei de Charles – isovolumétrica. Lei de Gay-Lussac – isobárica. O objetivo foi compreender as transformações gasosas e iniciar nos conceitos de gás ideal.</p>
<p>Aula 16 26/04/2021 2 aulas</p>	<p>Equação de Clapeyron (Terra) 80 minutos via Meet e WhatsApp.</p>	<p>Uso da Equação de Clapeyron no cálculo de temperatura da Troposfera terrestre, com o objetivo de encontrar e corrigir os equívocos no uso da equação dos gases ideais.</p>
<p>Aula 17 27/04/2021 1 aula</p>	<p>Equação de Clapeyron (Vênus) 40 minutos via Meet e WhatsApp.</p>	<p>Correção da atividade de uso da Equação de Clapeyron para calcular a temperatura da Terra, com o objetivo de encontrar e corrigir os equívocos no uso da equação dos gases ideais.</p>
<p>Aula 18 03/05/2021 2 aulas</p>	<p>Equação de Clapeyron (Vênus) 80 minutos via Meet e WhatsApp.</p>	<p>Uso da Equação de Clapeyron no cálculo de temperatura da Troposfera de Vênus, com o objetivo de encontrar e corrigir os equívocos no uso da equação dos gases ideais.</p>
<p>Aula 19 04/05/2021 1 aula</p>	<p>Equação de Clapeyron (Vênus) 40 minutos via WhatsApp.</p>	<p>Aula de reforço para os alunos com dificuldades no uso da Equação de Clapeyron no cálculo de temperatura da Troposfera de Vênus, com o objetivo de encontrar e corrigir os equívocos no uso da equação dos gases ideais.</p>

Aula 20 10/05/2021 2 aulas	Lei de Distribuição Barométrica (Terra) 80 minutos via Meet e WhatsApp.	Considerações sobre a Equação de Clapeyron e apresentação da proposta de cálculo a temperatura em função da altitude do Planeta Terra. O objetivo foi o aprofundamento de cálculos em nível de graduação e montagem de tabela e gráfico com duas variáveis.
Aula 21 11/05/2021 1 aula	Lei de Distribuição Barométrica (Terra) 40 minutos via Meet.	Aula que mostra como calcular a temperatura de uma atmosfera em função da altitude usando a Lei de Distribuição Barométrica. Criação de tabela com os dados obtidos. Apresentação do esboço de um gráfico de temperatura x altitude. O objetivo foi o aprofundamento de cálculos em nível de graduação e montagem de tabela e gráfico com duas variáveis.
Aula 22 17/05/2021 2 aulas	Lei de Distribuição Barométrica (Terra) 40 minutos via Meet e 40 minutos via WhatsApp.	Correção dos cálculos de temperatura da atmosfera em função da altitude usando a Lei de Distribuição Barométrica no Planeta Terra. Criação da tabela com os dados obtidos e esboço do gráfico de temperatura x altitude. O objetivo foi o aprofundamento de cálculos em nível de graduação e montagem de tabela e gráfico com duas variáveis.
Aula 23 18/05/2021 1 aula	Lei de Distribuição Barométrica (Vênus) 40 minutos via Meet.	Aula que mostra como calcular a temperatura de uma atmosfera em função da altitude, usando a Lei de Distribuição Barométrica, agora no Planeta Vênus. Criação de tabela com os dados obtidos. Apresentação do esboço de um gráfico de temperatura x altitude. O objetivo foi o aprofundamento de cálculos em nível de graduação e montagem de tabela e gráfico com duas variáveis.
Aula 24 24/05/2021 2 aulas	Lei de Distribuição Barométrica (Vênus) 40 minutos via WhatsApp.	Aula de reforço para os alunos com dificuldades no uso da Equação Barométrica no cálculo de temperatura da Troposfera de Vênus. Ensino da plotagem de um gráfico de temperatura x

		altitude. O objetivo foi o aprofundamento de cálculos em nível de graduação e montagem de tabela e gráfico com duas variáveis.
Aula 25 25/05/2021 1 aula	Questionário Final. (Google Forms) 40 minutos via WhatsApp.	Considerações finais, apresentação dos resultados, autoavaliação e disponibilização do questionário final do produto educacional. O objetivo foi o aprofundamento de cálculos em nível de graduação e montagem de tabela e gráfico com duas variáveis.

Fonte: Do autor.

Segue agora um breve relato de cada aula, como foi ministrada e desenvolvida ao longo de 80 minutos nos dias de aulas duplas e 40 minutos nos dias com apenas uma aula.

- **Aula 01 – Apresentação do Produto e Metodologia:** Apresentamos o produto educacional; usamos o site da NASA (Nasa, 2021) para mostrar os dados de planetas do sistema solar com ênfase nos Planetas Terra, Marte e Vênus, da seguinte forma: breve relato de como se ocorre o efeito estufa; temperatura dos Planetas Terra e Vênus; os gases de efeito estufa e a pressão atmosférica nos planetas; composição atmosférica dos 8 planetas do sistema solar através do site da NASA. Finalizamos com a proposta de estudar para aula seguinte os capítulos 2 e 3 do livro produto (Método e Notação Científica).
- **Aula 02 – Método Científico e Notação Científica:** Iniciamos a aula com os conteúdos de método científico e notação científica em 18 slides; pontuamos as principais etapas do método científico; apresentamos a notação científica e a operação com potência de base dez; e propomos um exercício para ser corrigido na próxima aula.
- **Aula 03 – Método Científico e Notação Científica:** Correções de algumas atividades da aula anterior, salientando os equívocos, revisando regras básicas da matemática, ensinando operação com frações e jogo de sinais, regra de soma, divisão e multiplicação de potência com base dez na prática. Por fim, propomos a leitura do capítulo 4 do livro produto, como também a correção dos equívocos de

cálculos matemáticos. Obs.: percebi grandes déficits nos conhecimentos básicos para operações com números, o que pode alterar os resultados previstos.

- **Aula 04 – Os Gases Atmosféricos e a Temperatura:** aula expositiva e explicativa apresentada via Meet em arquivo doc. (12 páginas) com os seguintes parâmetros: os habitats e os seres vivos; a vida e o Planeta Terra; a troposfera, a litosfera, a hidrosfera e o calor; o Sol e a irradiação solar; as placas tectônicas, as erupções vulcânicas e o surgimento da atmosfera terrestre; a composição gasosa e os componentes que armazenam, transportam e dissipam o calor na atmosfera; os raios ultravioleta, infravermelho e as moléculas de gás carbônico e metano (assuntos que continuaram a ser abordados na aula 05).
- **Aula 05 – Os Gases Atmosféricos e a Temperatura:** raios ultravioleta, infravermelho e as moléculas de gás carbônico e metano; os elétrons e a radiação solar. Os exercícios das aulas 4 e 5 foram disponibilizados na plataforma google formulário, questionário que será usado como base para a avaliação do produto. Por fim, foi feita a apresentação do capítulo 5 para leitura e discussão na aula seguinte (densidade).
- **Aula 06 – Densidade dos Corpos:** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. (8 páginas) com os seguintes parâmetros: definição de densidade; apresentação da equação matemática de densidades; relação entre densidade absoluta e relativa; a temperatura dos corpos altera a densidade? a densidade e a água como padrão; a densidade dos gases e a equação de Clapeyron (dedução da equação e unidades de medidas); por fim, foram feitos exercícios formados por 6 questões.
- **Aula 07 – Densidade dos Corpos:** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: correção dos exercícios propostos na aula anterior; apresentação do capítulo 06 - átomos e moléculas (mol).
- **Aula 08 – Números de Mols:** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: apresentação do átomo e a origem do nome;

apresentação da função de cada partícula subatômica; localização do número correspondente a cada partícula na tabela periódica; formação das moléculas; números de massa e o isótopo do carbono 12; massa molar; cálculo do número de gramas por mols (assuntos que continuaram a ser abordados na aula seguinte).

- **Aula 09 – Números de Mols:** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: números de mols e o volume de gás; números de mols e a quantidades de partícula (átomos, prótons, nêutrons, elétrons e moléculas); equação matemática número de mols e a notação científica; por fim, exercícios formados por 4 questões.
- **Aula 10 – Números de Mols:** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: correção das atividades de números de mol; apresentação do capítulo 7, lei de Avogadro.
- **Aula 11 – Hipótese de Avogadro:** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: o que é o número de Avogadro? A relação entre número de Avogadro e o volume de um gás; diferença de CNTP e CATP; a relação entre número de Avogadro e a quantidade de partícula numa amostra da substância; exercícios com 4 questões.
- **Aula 12 – Hipótese de Avogadro:** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: correção das atividades de Lei de Avogadro; apresentação do próximo capítulo, o 8.
- **Aula 13 – Escala Celsius e Kelvin:** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: gráfico das principais escalas termométricas; a escala Celsius e seus pontos de ebulição e fusão; a escala Kelvin e o zero absoluto; exercícios para correção na próxima aula.
- **Aula 14 – Escala Celsius e Kelvin:** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: correção das atividades anteriores e apresentação do capítulo seguinte, “a lei de Clapeyron”.

- **Aula 15 – Equação de Clapeyron:** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: o surgimento da lei de Clapeyron; a Lei de Boyle e os gráficos das isotermas; as leis de Charles e Gay-Lussac; os gráficos das transformações isovolumétrica e isobárica;
- **Aula 16 – Equação de Clapeyron (Terra):** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: a junção das equações de Charles e Gay-Lussac; as propriedades dos gases ideais; a criação da equação de Clapeyron; exercícios de uso da equação de Clapeyron; exemplificando o uso da Equação de Clapeyron no cálculo de temperatura da Troposfera terrestre e exercícios para correção na próxima aula.
- **Aula 17 – Equação de Clapeyron (Terra):** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: corrigindo as atividades de cálculo da temperatura terrestre. (obs.: muitos alunos não conseguiram desenvolver os cálculos, fiz aulas extras via WhatsApp para sanar dificuldades dos discentes).
- **Aula 18 – Equação de Clapeyron (Vênus):** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: mostrando os dados da atmosfera do Planeta Vênus e exemplificando os cálculos para chegarmos na temperatura do Planeta Vênus $\sim 480^\circ \text{C}$.
- **Aula 19 – Lei de Distribuição Barométrica:** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: reforço via WhatsApp sanando os equívocos e revisando alguns conteúdos, como potência, massa molar, dentre outros.
- **Aula 20 – Lei de Distribuição Barométrica:** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: corrigindo o exercício anterior; mostrando alguns equívocos de alguns alunos; e apresentando a Lei de Distribuição Barométrica.

- **Aula 21 – Lei de Distribuição Barométrica:** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: a pressão atmosférica dos planetas solares; altitude e pressão atmosférica; temperatura e pressão atmosférica; o nanômetro; desenvolvendo a equação da pressão atmosférica; as unidades de pressão; a força aplicada por área e a pressão de um fluido; a fórmula matemática da pressão barométrica; as unidades de cada grandeza e fatores de conversões.
- **Aula 22 – Lei de Distribuição Barométrica:** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: as unidades da constante universal dos gases ideais; unidades de volume e temperatura; gráfico da temperatura e altitude; exemplo de como usar a equação barométrica; calculando o logaritmo natural com uso da calculadora; tabela de altitude, aceleração da gravidade e pressão; correção de alguns equívocos cometidos pelos alunos.
- **Aula 23 – Lei de Distribuição Barométrica:** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: cálculo da temperatura terrestre usando a equação barométrica (resposta); montagem do gráfico da temperatura x altitude (Planeta Terra).
- **Aula 24 – Lei de Distribuição Barométrica:** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: cálculo da temperatura venusiana usando a equação barométrica (resposta); montagem do gráfico da temperatura x altitude (Planeta Vênus).
- **Aula 25 – Questionário Final. (Google Forms):** aula expositiva apresentada via Meet em arquivo doc. com os seguintes parâmetros: Considerações finais e apresentação dos resultados, autoavaliação e disponibilização do questionário final do produto educacional.

2.9 Resultados esperados

O livro (produto) apresentado propôs desenvolver uma aprendizagem significativa da Física de calor e seus efeitos na atmosfera planetárias do sistema solar, especificamente aqueles que possuem, em sua composição atmosférica, gases de efeito estufa. Esses tópicos de Física Clássica foram embasados por conceitos específicos de Matemática e Química. Ao final da aplicação do produto educacional, o aprendiz deveria ser um bom conhecedor e aplicador dos conceitos de: notação científica; densidades e suas variações de unidades; tabela periódica e os números de mols; número de Avogadro; pressão e suas unidades; conversão de unidades de temperatura; tipos de transformações gasosas (isotérmicas, isobárica e isovolumétrica); o uso da equação de Clapeyron, como também o uso da equação barométrica no cálculo experimental de temperatura atmosférica.

Essa cartilha foi designada aos alunos de segunda série do ensino médio, com o intuito de desenvolver habilidades cognitivas para que o aprendiz tenha uma vasta visão do todo em um sistema gigantesco como um planeta, visto que nos livros didáticos de ensino médio, os conceitos de propriedades gasosas são trabalhados em volumes limitados a recipientes inanimados e pequenos, os quais se pode pegar, apalpar e manusear, não evidenciando, então, a realidade empírica de cada aprendiz.

A notória competência de teoria vinculada a prática, nas pesquisas no site da NASA, forjará aulas ricas de conhecimentos significativos, desenvolverão no aprendiz o senso de pesquisa e estudo para permutar os conhecimentos prévios em conceitos científicos, como também incentivarão a curiosidade de entender o funcionamento do Planeta Terra e seu vizinho, Vênus, para uma suposta intervenção na interação entre o homem e a natureza.

2.10 Resultados e discussão

Ao término da aplicação do produto foram aplicados questionários para a averiguação do aprendizado do discente. A abordagem do conteúdo seguiu uma ordem crescente na apresentação dos conceitos, oportunizando aos alunos tempo para dirimir suas dúvidas sobre os conceitos mais elementares trabalhados na distribuição barométrica dos gases e sua temperatura. As questões, dessa forma, subsidiaram a evolução da aplicação do conteúdo, demonstrando o nível de

habilidade do discente em áreas da Física que antecedem o conhecimento do tema discutido no trabalho.

A primeira abordagem qualitativa subsidiou os conceitos quantitativos do questionário final (vide a partir do gráfico 10 na seção resultados do diagnóstico final), cujo essa abordagem servira de subsunçores para aprendizagem significativa. Os questionários iniciais versaram sobre o conceito de efeito estufa e da ação humana sobre o meio ambiente. Aos discentes foram realizadas perguntas inerentes ao fenômeno conhecido como efeito estufa, procurando depreender o subsídio intelectual pré-existente. A escolha do tema dos questionários foi realizada para alcançar uma aprendizagem significativa. O conceito de distribuição barométrica deveria estar relacionado aos conceitos de efeito estufa no diagnóstico final. Foi averiguado, ainda, o conceito prévio que os discentes tinham sobre distribuição de gases em atmosfera, não saberem distinguir vapor de gás, de modo a desenvolver o estudo dos gases ideais e da distribuição barométrica. O discente deveria ampliar e atualizar a informação anterior, atribuindo novos significados a seus conhecimentos. No trabalho foi desenvolvida uma valoração do conhecimento que o discente tinha sobre aumento de temperatura da atmosfera para depois relacioná-lo ao conceito de distribuição barométrica.

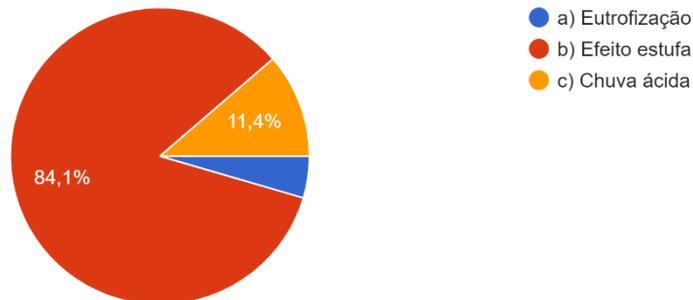
2.11 Resultado do Questionário Diagnóstico Inicial

O diagnóstico inicial teve como finalidade compreender os conceitos iniciais que os discentes tinham sobre alguns temas subjacentes à teoria da distribuição barométrica. As questões versaram, basicamente, sobre a conceituação do efeito estufa e o seu entendimento a partir da composição atmosférica. A abordagem se coaduna com a aprendizagem significativa onde os conceitos prévios que os discentes possuem são readaptados a realidade científica usual. Foram aplicadas seis questões de múltipla escolha no quesito gás carbônico e efeito estufa, apenas conceitual. As cores, das questões 1, 2 e 3 em vermelho, são as quantidades de acertos. Em azul, 4, 5 e 6.

Gráfico 1, 2 e 3: Resultados do diagnóstico inicial
As cores em vermelho são as corretas

1 - Instituto Machado de Assis – O CO₂ é o principal causador do fenômeno conhecido como:

44 respostas



2 - (PUC-RIO 2008) – Entre outros processos, o reflorestamento contribui para a diminuição do efeito estufa, ao promover o(a):

44 respostas



3 - (UVA – 2017, modificada) A poluição é um grave e preocupante problema urbano da atualidade. Estudiosos do assunto têm demonstrado...ssíveis consequências do “efeito estufa”, que é:

44 respostas

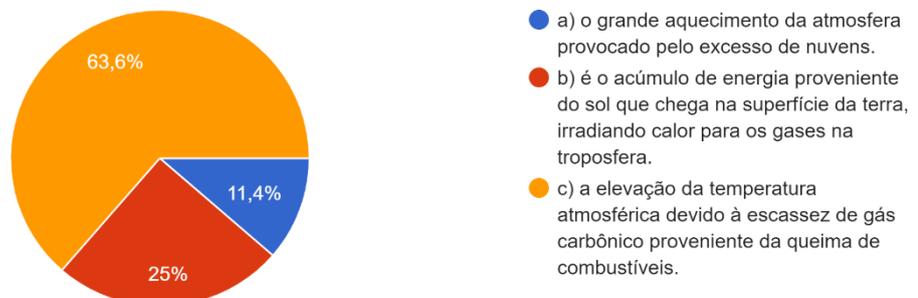
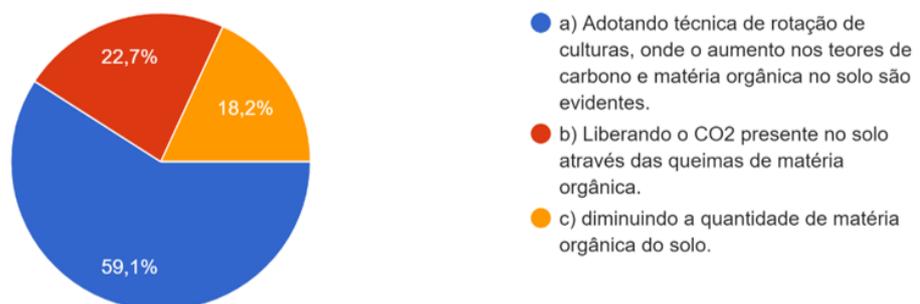


Gráfico 4 e 5: Resultados diagnóstico inicial
As cores em azul são as corretas

4 - (ENEM 2013) – Sabe-se que o aumento da concentração de gases como gás carbônico (CO_2), gás metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) na atmosfera é um dos fatores responsáveis pelo agravamento do efeito estufa. A agricultura é uma das atividades humanas que pode contribuir tanto para a emissão quanto para o sequestro desses gases, dependendo do manejo da matéria orgânica do solo.
ROSA, A. H.; COELHO, J. C. R. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, São Paulo, n. 5, nov. 2003 (adaptado).

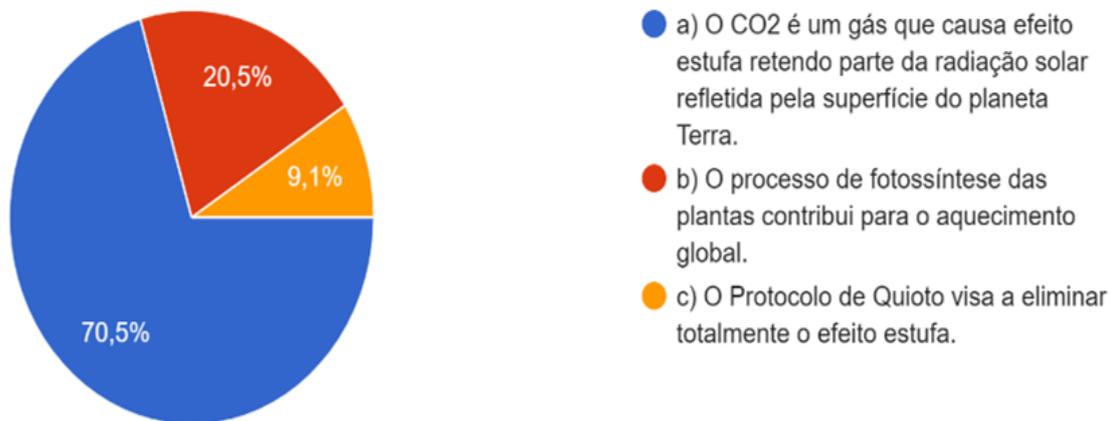
De que maneira as práticas agrícolas podem ajudar a minimizar o agravamento do efeito estufa?

44 respostas



5 - (PUC-RIO 2010, modificada) – O efeito estufa é um fenômeno natural e fundamental para a manutenção da vida no planeta Terra, entretanto, quantidades excessivas de gases estufa na atmosfera podem elevar a temperatura do planeta a níveis indesejados. O Protocolo de Quioto (1997) propõe um calendário pelo qual os países signatários têm a obrigação de reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa em, pelo menos, 5,2% até 2012, em relação aos níveis de 1990. Sobre o aquecimento global e os gases causadores do efeito estufa, é correto afirmar que:

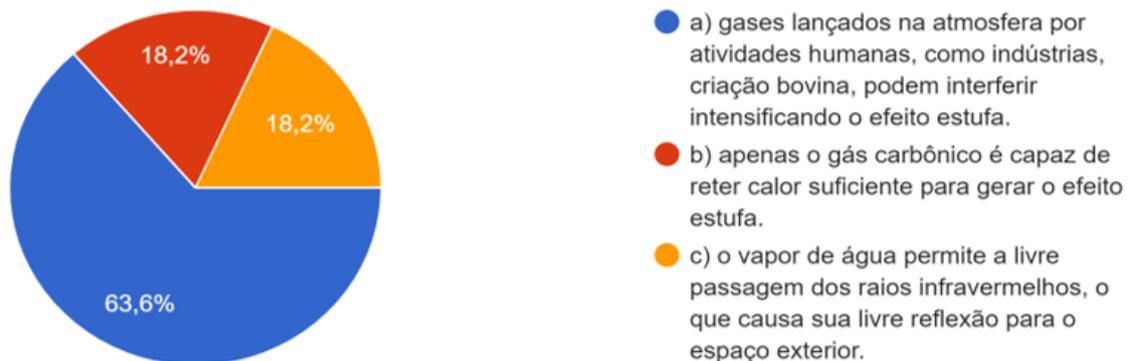
44 respostas



Fonte: Autor 2021/Google Formulário
Gráfico 6: Resultados diagnóstico inicial
As cores em azul são as corretas

6 - (ENEM, modificada) – “Discutindo sobre a intensificação do efeito estufa, Francisco Mendonça afirmava: A conservação do calor na Troposfera ocorre a partir da perda de energia da superfície terrestre. Esta, ao se resfriar, emite para a atmosfera radiações de ondas longas equivalentes à faixa do infravermelho, caracterizadas como calor sensível, que são retidas pelos gases de efeito estufa. O dióxido de carbono (CO_2) é o principal gás responsável em reter o calor na baixa atmosfera, mas o vapor d'água, o metano, a amônia, o óxido nitroso, o ozônio, e o clorofluorcarbono (conhecido como CFC, que destrói a camada de ozônio na Tropopausa/Estratosfera) também são gases causadores do efeito estufa. Além desses gases, a nebulosidade e o material particulado em suspensão no ar são importantes contribuintes no processo de aquecimento da Troposfera, uma vez que também atuam como barreira à livre passagem das radiações infravermelhas emitidas pela superfície”. (Climatologia, Ed. Oficina de Textos.) A partir da leitura do texto, conclui-se que:

44 respostas



Fonte: Autor 2021/Google Formulário

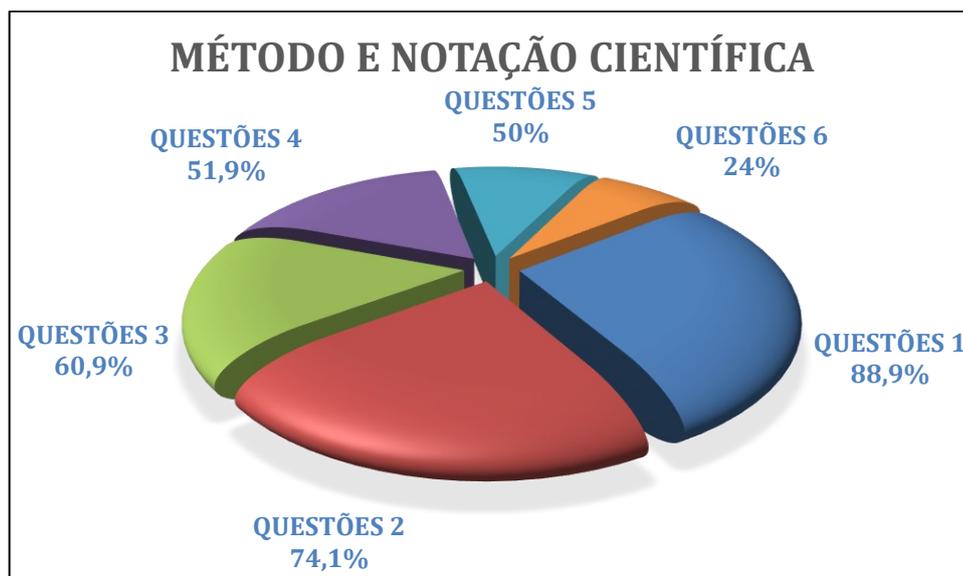
Observa-se que há uma predominância de acertos conceituais no tocante ao efeito estufa com questões próprias do ENEM. Os discentes trabalharam questões e conteúdos necessários ao engajamento na Universidade ao mesmo tempo que forjaram os conceitos que antecedem a conceitualização da distribuição barométrica que é o último capítulo da aplicação do produto. Optou-se também em não diagnosticar os elementos matemáticos subsidiários a teoria, deixando-se essa abordagem estritamente ligada a posterior aplicação do produto.

2.11.1 Da Aplicação do Produto: Um Diagnóstico Geral

Agora será demonstrada a estatística relativa às questões próprias do produto. A ideia aqui é verificar se as questões inseridas no produto conseguem prover uma avaliação do conteúdo escrito e se teve uma aprendizagem significativa. Logramos êxitos, levando em consideração a pandemia, falta de interesse por parte de alguns alunos e a prova disso foram os feedbacks requintados de muitas dúvidas entre aluno-

professor durante a aplicação do produto. As figuras e imagens propostas no livro sobre o assunto tiveram papel fundamental no quesito chamar atenção dos educandos para o estudo. Partindo do diagnóstico inicial foram propostas atividades para sondar o ganho de subsunçores inerentes à continuidade do assunto e vinculando um conteúdo ao outro. Usamos a ferramenta do Google Sala de aula e assim avaliamos, paralelamente, em cada capítulo do livro. Nas imagens abaixo estão apresentados os resultados dos acertos, por porcentagem, de cada grupo de questões utilizadas no decorrer da aplicação do produto.

Gráfico 7: Resultados dos acertos de educandos nos questionários apresentados nos capítulos I e II do produto.



Fonte: Autor, 2022.

No gráfico 7 estão apresentadas as questões de 1 a 6. Onde as questões de 1 e 2 foram conceituais e obtivemos expressivo números de acertos, já em relações as questões de 3 a 6, nas quais foram exigidos conceitos básicos de Matemática como por exemplo, regra de sinais, notou-se que cujo a maioria dos educandos não tinham tal conhecimento e o número de acerto foi reduzido. Ensinar notação científica para alunos do ensino médio sem os subsunçores prévios é tentar ultrapassar os limites cognitivos de cada aprendiz. Para evidenciar em exemplos, citarei algumas questões de operações com potências, questões estas tiveram grande dificuldades!

- A massa do Planeta Terra e do Sol, é aproximadamente e respectivamente igual à $6 \cdot 10^{24}$ kg e $2 \cdot 10^{30}$ kg. Qual é o resultado da multiplicação destes dois números?

Os educandos, boa parte deles, multiplicavam o fator pela base da potência.

Ex: $6 \cdot 10^{24} = 60^{24}$

- Resolva as divisões com potência de base 10:

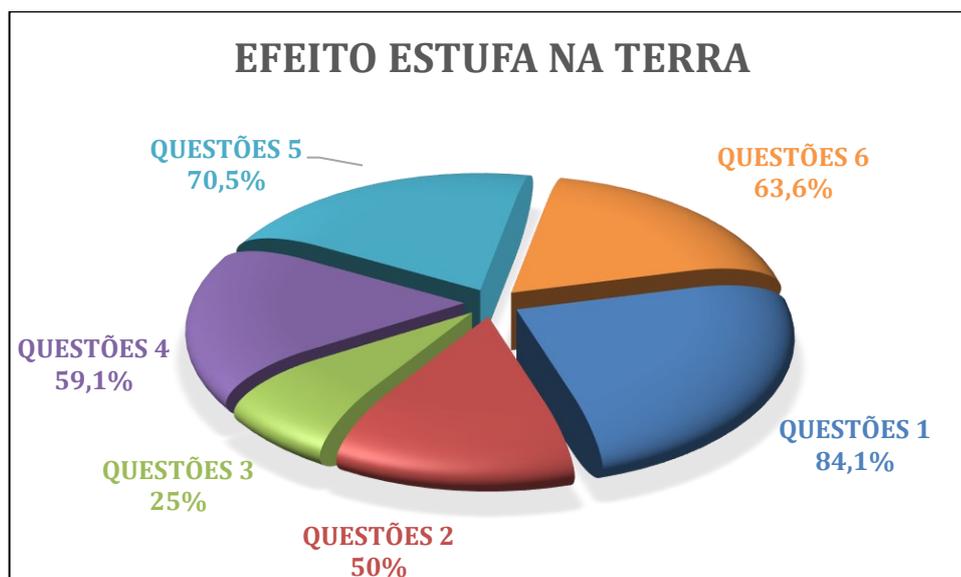
$$\frac{10^2}{10^4} = \text{ou} \quad \frac{2 \cdot 10^2}{10^{-4}} = \text{ou} \quad \frac{2 \cdot 10^2}{3 \cdot 10^4} =$$

$$\frac{-2 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 10^4} = \text{ou} \quad \frac{(-2) \cdot 10^2}{(-4) \cdot 10^{-4}} = \text{ou} \quad \frac{(+2) \cdot 10^{-2}}{(-4) \cdot 10^{-4}} =$$

Boa parte dos educandos desconhecem as regras de sinais!

No gráfico 8 estão apresentados os resultados dos questionários de diagnose inicial, cujo as questões foram selecionadas de tal maneira proporcionar subsunções para os desenvolvimentos e aplicação da equação barométrica.

Gráfico 8: Resultados dos acertos respostas dos educandos no questionário apresentado no capítulo III, diagnóstico inicial



Fonte: Autor, 2022.

As questões de efeito estufa foram usadas no diagnóstico inicial e podemos evidenciar as respostas no tópico acima.

Gráfico 9: Resultados dos acertos dos educandos nos questionários apresentados nos capítulos IV e V



Fonte: Autor, 2022.

No gráfico 9 estão apresentadas as questões de 1 a 8. Onde as questões de 1 a 4 exigiram do aprendiz um conceito mais amplo e domínio de equações simples, como dividir a massa pelo volume, por exemplo, diferenciar as operações com unidades de medida. Obtivemos sucesso na primeira questão, já nas outras 3 questões o nível foi aumentado e a maioria não conseguiu alcançar o exigido, por não terem o conhecimento prévio de razão e proporção. Nas outras questões de 5 a 8 a exigência foi de um nível maior de compreensão, por exemplo: tabela periódica; massa molar; números de mols, tivemos um número expressivos de equívocos e apenas a minoria conseguiram alcançar os objetivos propostos nas questões de números de mols.

Gráfico 10: Resultados dos acertos dos educandos nos questionários apresentados nos VI e VII



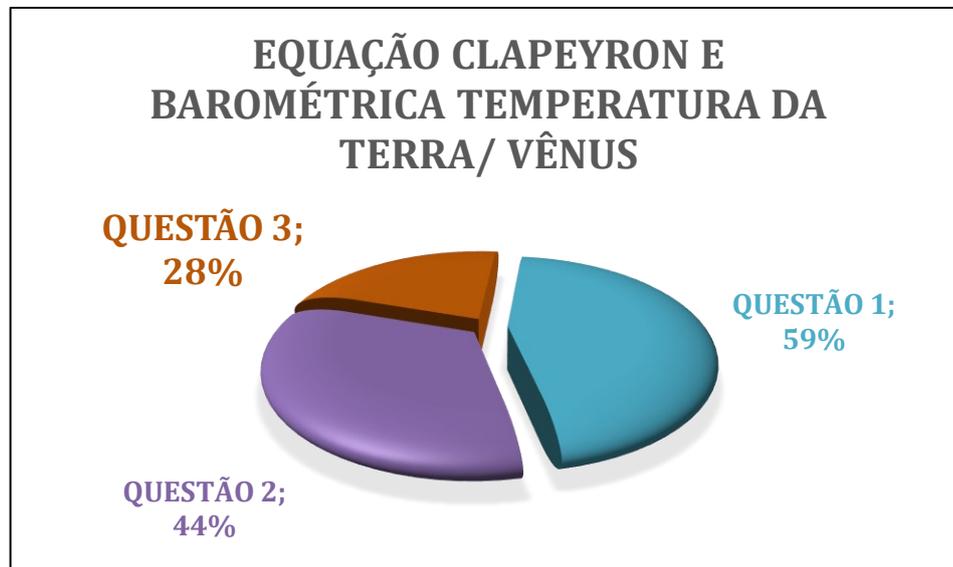
Fonte: Autor, 2022

No gráfico 10 estão apresentadas as questões de 1 a 8. Onde as questões de 1 a 4 onde se referem aos números de Avogadro, usamos a regra de três simples, mas como os alunos não conseguiram sanar seus equívocos, suas dificuldades nos conhecimentos prévios de razão e proporção foi crucial na média baixa de acertos. Nas questões de 5 a 8 tivemos uma melhor pontuação de acertos, cálculo simples de transformação de temperatura de Celsius para Kelvin e vice versa.

No gráfico 11 a seguir, foram colocados os resultados dos três últimos questionários do objeto de ensino (produto). Na questão número “um” foi proposto o cálculo da temperatura do planeta Vênus com a equação de Clapeyron, da seguinte forma: Os educandos deveriam seguir o exemplo do cálculo da temperatura terrestre, com os dados do site da NASA usamos a pressão em bar, em seguida a massa e densidade da atmosfera terrestre para chegarem no volume atmosférico e em seguida transforma-lo em unidades litros de metros cúbicos. Agora, achar o números de mols através da massa atmosférica em gramas e a massa molar do gás nitrogênio e oxigênio, a partir dos conhecimentos de operações com notações científicas chegamos a temperatura aproximada e em média do planeta Terra.

Pelo resultado, observamos as barreiras que tivemos de romper, mas com muita dedicação por parte de alguns alunos o resultado teve um ganho satisfatório. Dos alunos que tentaram fazer, mais de 50% dos alunos alcançaram mais de 80% do objetivo da questão.

Gráfico 11: Resultados dos acertos de educandos nos questionários de cálculo de temperatura dos Planetas Terra e Vênus



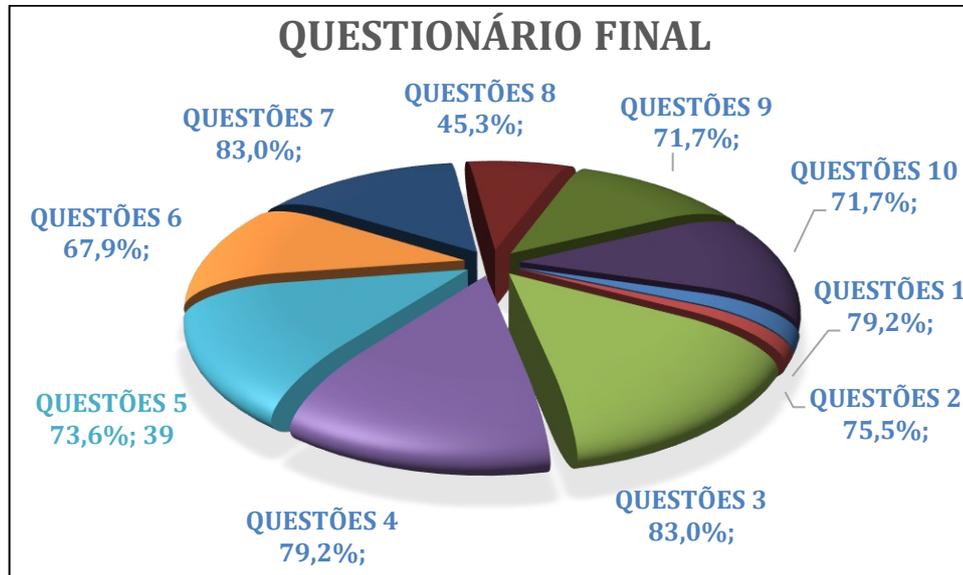
Fonte: Autor, 2022.

Na questão 2 teve um desafio maior e de com mais complexidade. Estimar a temperatura do planeta Vênus usando a equação barométrica. Neste caso, o educador dividiu a equação original em três outras equações menores e de menor complexidade: ficando na primeira parte, fazer a diferença entre os logaritmos natural das pressões final e inicial que foi simbolizado de beta (β); em seguida o produto da massa molar, gravidade, altura e dividindo pela constante dos gases ideais, chamamos este operador de alfa (α). Para finalizar, a razão negativa do alfa e beta.

Dos alunos que fizeram, 44% deles alcançaram no mínimo de 80% de todo o processo.

Na questão 3, muitos alunos já tinham desistido de estudar online, creio que foi devido ao agravamento da pandemia de 2021. Nessa questão era para usar a equação barométrica para estimar a temperatura de Vênus, dos alunos que tentaram 28% chegaram nos 80% do objetivo da questão.

Gráfico 12: Resultados dos acertos dos educandos nos questionários apresentados nos VIII e IX



Fonte: Autor, 2022.

No primeiro questionário de diagnóstico foi aplicado questões qualitativas, já neste final, usamos questões quantitativas exigindo a noção de cálculo e as fórmulas de Clapeyron e barométrica, como mostra no gráfico 12. Comparando os dois desempenhos dos educandos citados no gráfico “efeito estufa na Terra” e “questionário final, tivemos um ganho de aprendizagem significativa.

2.11.2 Diagnóstico Final com Questões Próprias do Produto Sistematizadas por Áreas de Conhecimento

Nessa etapa de diagnóstico inicial foi realizado um detalhamento dos assuntos tratados resumidamente no item anterior. As questões do produto foram usadas como base para um detalhamento dos resultados de aprendizado. O produto foi disponibilizado aos discentes para leitura e realização dos exercícios. Uma análise inicial, geralmente negligenciada pelos professores do ensino médio, é a do conceito de conhecimento científico. Muitos não sabem dizer o que é ciência. O conceito de ciência é estritamente filosófico e envolve abordagens diferenciadas. Karl Popper, um filósofo da ciência, define a ciência como elemento verificável e falsificável. As

afirmações feitas pelo cientista devem ser passíveis de verificação experimental ao mesmo tempo em que devem ser falseáveis. A pergunta 1 demonstra que 79,2% dos discentes compreenderam através da leitura do material disponibilizado as etapas do método científico.

O segundo e terceiro questionário discutiram sobre o uso da matemática subsidiária aos cálculos envolvidos no trabalho. Ao trabalhar com dados astronômicos surge a proeminente necessidade do uso da notação científica. Os cálculos de notação científica foram trabalhados junto aos alunos através de aplicações práticas da astronomia. Nas questões 2 e 3 essa discussão é realizada pelos alunos. Na primeira abordagem (Questão 2), os alunos realizaram exercícios de matemática pura com posterior abordagem da matemática e da astronomia (Questão 3).

Quantitativamente, os discentes apresentaram melhores resultados no tocante ao entendimento da notação científica quando aplicada a problemas práticos. Ao calcular a massa do planeta houveram 83% de acertos contra 75% da aplicação do cálculo matemático sem abordagem prática. O produto didático segue com uma discussão qualitativa sobre os planetas do sistema solar. Essa abordagem traz elementos acerca da climatologia dos planetas e de suas dimensões. Aqui, o discente desenvolve o dimensionamento das escalas astronômicas na prática com a aplicação da matemática da notação científica.

Os gráficos do 16 ao 20 mostram os resultados do aprendizado dos conceitos relativos à lei dos gases.

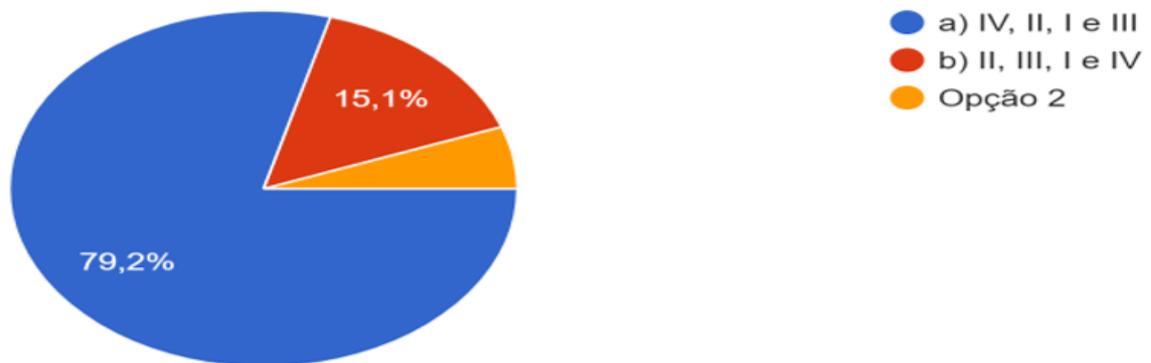
Gráficos 13 e 14: Resultados do diagnóstico final
 As cores em azul são as corretas

1. leia:

- I. Experimentos que podem ser realizados;
- II. Levantamento de deduções;
- III. Formulação de hipótese;
- IV. Observação de um fato.

Os itens listados são etapas simplificadas do método científico. Pode-se prever que os passos lógicos desse método seria:

53 respostas

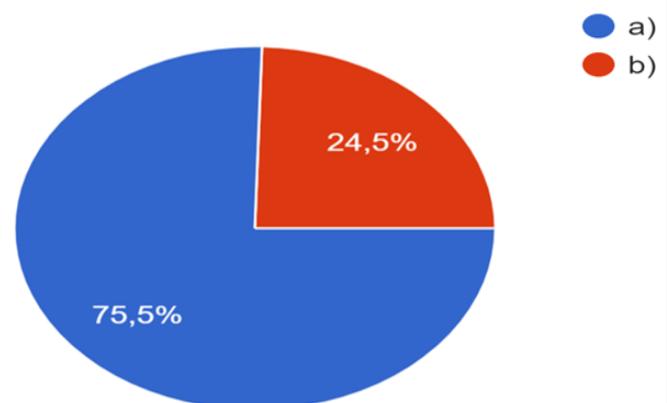


2. Qual é a verdadeiro?

a) $27^4 \cdot 27^9 = 27^{13}$

b) $\frac{10^3}{10^5} = 10^8$

53 respostas



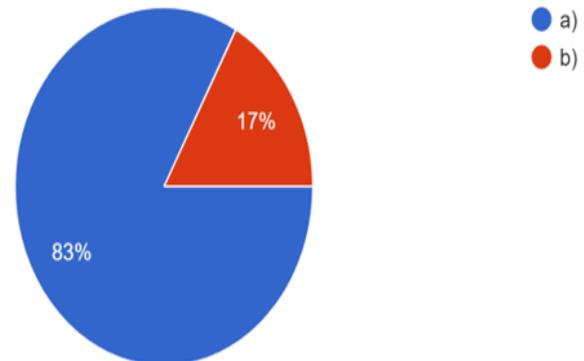
Gráficos 15: Resultados do diagnóstico final
As cores em azul são as corretas

3. A massa do Sol é cerca de 1 989 000 000 000 000 000 000 000 000 000 quilogramas. Qual a massa do Sol em notação científica?

53 respostas

a) $1,989 \cdot 10^{30}$ kg

b) $1,989 \cdot 10^{29}$ kg



Fonte: Autor 2021/Google Formulário

O segundo grupo de perguntas diz respeito ao uso comum do conteúdo de gases ideais. Em geral, os livros didáticos tecem considerações sobre o que são os gases ideais e quais são as relações matemáticas dedutíveis entre as variáveis de estado (Pressão, Temperatura e Volume). Em alguns livros, há definições claras do que são os gases ideais. A “lei” dos gases ideais assume pressupostos que devem ser mencionados. Microscopicamente, os gases ideais são partículas não interagentes. Esse fato demonstra a inviabilidade da aplicação dessa lei na mudança de estados. Contudo, as extensões dessa lei podem subsidiar a explicação das variáveis de estado. O aumento da temperatura pode ser pensado como aumento da energia cinética. A pressão pode ser idealizada como número de colisões de partículas contra a parede de um recipiente.

Prosseguido com as devidas ressalvas sobre a lei dos gases ideais, é necessário estabelecer as relações matemáticas entre as variáveis de estado. A abordagem aqui envolve notadamente aspectos históricos que culminaram na lei dos gases. O produto já traz a discussão das relações entre as variáveis de estado (P, V, T e n) aplicada em questões planetárias. Abordagens como essa são encontradas de maneira implícita em sites como o NASA (National American Space Agency). Os gráficos 16,17 18 e 19 mostram ainda a evolução conceitual dos discentes na compreensão dos conceitos subjacentes a distribuição barométrica como a relação

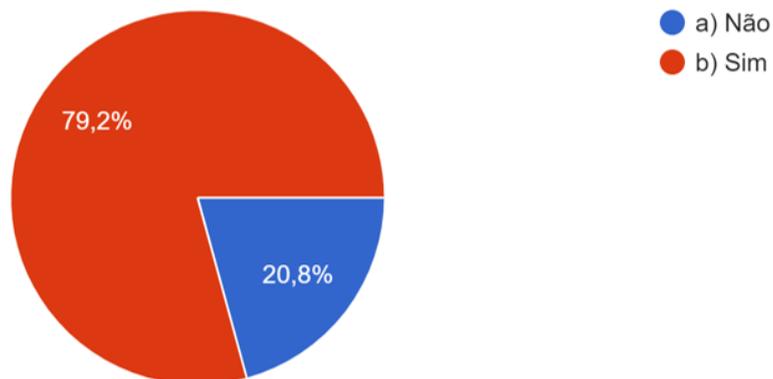
entre as variáveis de estado e a equação de Clapeyron.

O discernimento entre a equação de Clapeyron e a equação barométrica é modulada na questão 6 relacionado ao gráfico de número 18.

Gráficos 16 e 17: Resultados do diagnóstico final
 As cores em vermelho e laranja são as corretas, respectivamente.

4. A equação de Clapeyron, que retrata o comportamento de um gás perfeito se existisse. A partir dela se estudam os comportamentos dos gases reais. Ela é importantíssima para fazer os exercícios de estudo dos gases. É possível estimar a temperatura de um planeta usando esta equação?

53 respostas

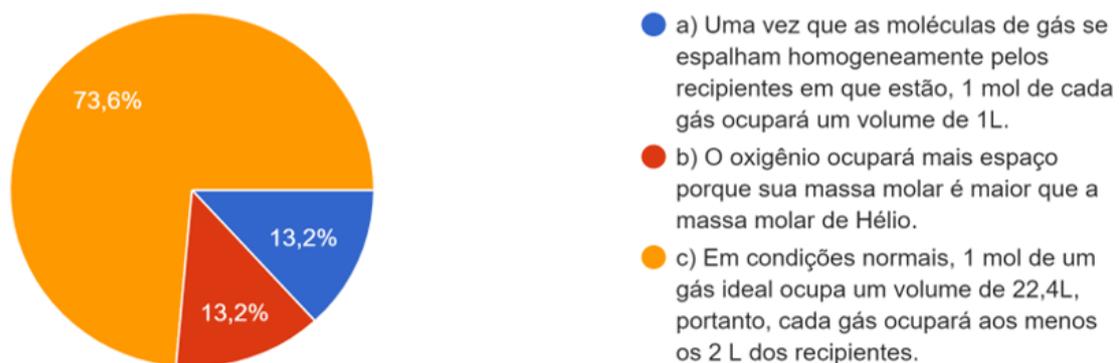


5. Um mol de gás oxigênio e 1 mol de gás hélio são mantidos em dois recipientes distintos, de volumes iguais a 2 litros, separados e à temperatura ambiente. Qual das seguintes declarações é verdadeira sobre esses gases nessas condições.

- I. O volume de 1 mol de oxigênio e 1 mol de hélio é 2 L.
- II. O volume de 1 mol de oxigênio será diferente de 1 mol de hélio.

Qual das seguintes explicações você usaria para ser sua resposta:

53 respostas



Gráficos 18 e 19: Resultados do diagnóstico final
 As cores em vermelho e azul são as corretas, respectivamente.

6. (Um recipiente de volume de 1 L contém um gás ideal que está sob pressão de 760 mmHg, a uma temperatura de 280 K. Ao alcançar a temperatura de 560 K, qual será a pressão (em atm) exercida pelas moléculas do gás contido no recipiente. Dados: 1 atm = 760 mmHg). Ao tentar responder esta questão, um estudante estava na dúvida em qual equação usar, a de Clapeyron ou equação barométrica. Em sua opinião, qual equação ele deveria usar?

53 respostas

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$p = p_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}}$$

Onde:

P é pressão do gás

V é volume do gás

n é números de mols

R é constante dos gases perfeitos

T é temperatura em Kelvin

Onde:

P – é a pressão do gás na altitude em questão;

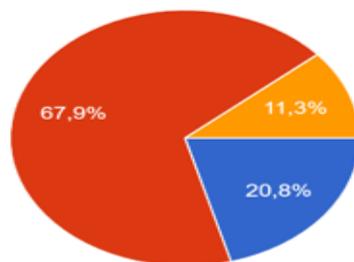
P₀ – é a pressão do gás em um nível de referência com altitude adotada como zero, ao nível do mar;

g – é a aceleração da gravidade;

R – é a constante dos gases ideais;

M - é a massa molar do gás;

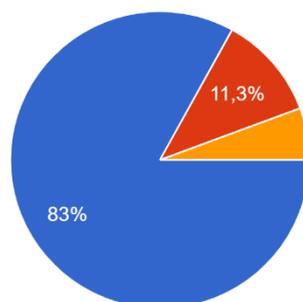
T – é a temperatura;



- a) Equação barométrica;
- b) Equação de Clapeyron;
- c) Nenhuma das duas.

7. Determine o volume molar de um gás ideal, cujas condições estejam normais, ou seja, a temperatura à 273K e a pressão a 1 atm. (Dado: R = 0,082 atm.L/mol.K)

53 respostas

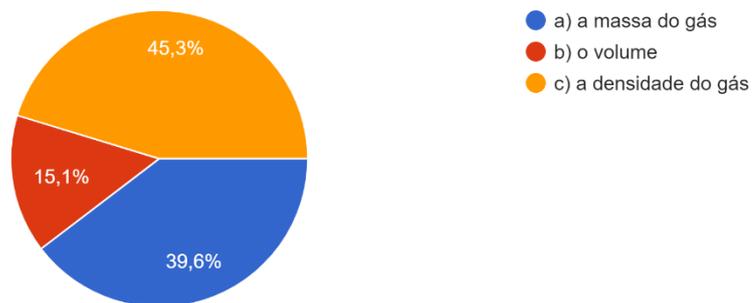


- a) 22,4 L
- b) 24,2 m3
- c) 11,2 L

Gráfico 20, 21: Resultados do diagnóstico final
As cores em laranja e vermelho são as corretas, respectivamente.

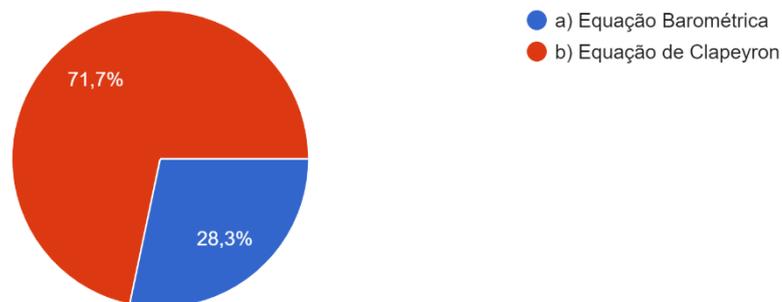
8. Se quadruplicar a pressão de um gás confinado, sem mudar a temperatura, ou seja, à temperatura constante, a grandeza do gás que duplicara será:

53 respostas



9. Número de mol é a designação (ou unidade) utilizada na Química com o objetivo de tornar o trabalho numérico com partículas, massa e volume...o. O número de mol é utilizado em qual equação?

53 respostas



Fonte: Autor 2021/Google Formulário

Gráfico 22: Resultados do diagnóstico final
 A cor em laranja é a correta, respectivamente.



Fonte: Autor 2021/Google Formulário

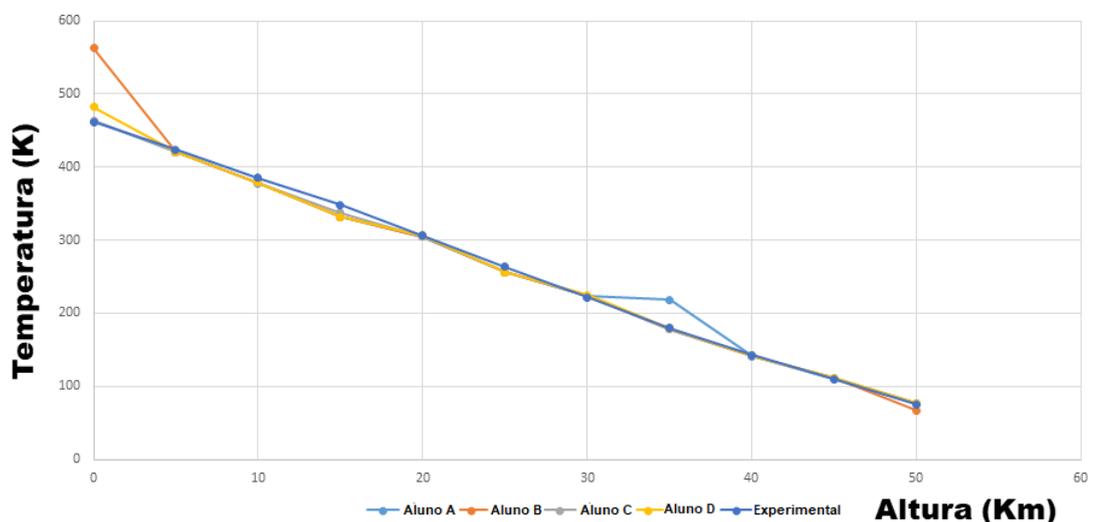
Os gráficos 19, 20 e 21 antecedem o conceito de distribuição barométrica. Aqui a necessidade do aprendizado da equação de Clapeyron é diagnosticada já que serve como pré-requisito para a compreensão da distribuição barométrica que foi discutida também a luz dos cálculos matemáticos. Há ainda nos resultados finais das perguntas ponderativas nas quais o aluno deveria correlacionar a temperatura do planeta Vênus com sua composição atmosférica e sua elevada densidade. Fica evidenciado pelos resultados do gráfico 22 que os discentes associaram o efeito estufa com a presença de gás carbônico a partir do conhecimento da atmosfera Venusiana.

2.12 Diagnóstico de aprendizado dos cálculos de distribuição barométrica

Agora será realizada uma abordagem dos resultados quantitativos alcançado pelos discentes no tocante aos cálculos de distribuição barométrica. A partir da aula 19 foram explicados os modos de cálculo para a obtenção das curvas de distribuição barométrica. No capítulo 10 do produto há uma explanação acerca dos cálculos de distribuição barométrica bem como exercícios correlatos com o tema objetivando a produção de gráficos que correlacionem a altura com a temperatura (Exercício 2, cap.

10). Os exercícios foram realizados por diferentes grupos de discentes que denotaremos aqui por A, B, C e D. Os resultados obtidos por esses grupos podem ser comparados com os dados experimentais obtidos na literatura para fins de diagnóstico do aprendizado. Nesse sentido plotamos aqui um gráfico com resultados obtidos por diversos grupos de discentes para o cálculo de distribuição barométrica. Os resultados obtidos pelo grupo de discentes mostra boa correlação com dados obtidos da literatura. Esses resultados demonstram a viabilidade da extensão do conceito de distribuição barométrica para o ensino médio, onde os discentes podem sistematizar conceitos de pressão, volume e temperatura aplicados ao estudo de atmosferas planetárias.

Gráfico Temperatura em K vs Altura em Km para o planeta Vênus



O gráfico acima explicado mostra o domínio dos discentes no tocante ao aprendizado dos cálculos propriamente ditos da distribuição barométrica. Há uma boa correlação entre os dados calculados pelos discentes e os dados experimentais provenientes das sondas espaciais Venera. Os gráficos do google forms trazem uma ideia da evolução conceitual qualitativa dos dados enquanto o gráfico de Temperatura v.s. Altura traduz de maneira bastante clara o bom entendimento das premissas algébricas e físicas do trabalho executado.

3 CONCLUSÃO

Um material didático foi construído para que alunos do ensino médio pudessem usar conhecimentos elementares de gases para estudar atmosferas planetárias. O material foi constituído de etapas lineares de aprendizagem para se chegar ao conceito de distribuição barométrica. Findado o processo de aplicação do produto, os discentes seguiram o método científico e foram capazes de obter a relação entre altura e temperatura na atmosfera de Vênus. A essa proposta didática foram agregados conceitos sobre o efeito estufa, astronomia e gases ideais.

BIBLIOGRAFIA

Aydeniz, Mehmet & Pabuccu, Aybuke & Cetin, Pinar & Kaya, Ebru & Ebru,. (2012). Exploring the impact of argumentation on college students' conceptual understanding of the properties and behavior of gases.

Bullock, Mark A.: Grinspoon David H. The Recent Evolution of Climate on Venus, *Icarus*: Departamento de Estudos Espaciais, Colorado, v. 150, n. 01, p. 19-37, mar. 2001 doi:10.1006/icar.2000.6570.

Carr, Michael H. The Surface of Mars. Cambridge Planetary Science. 04 Ed. England U.K. Cambridge University Press. January 2007. Disponível em: https://books.Google.com/books/about/The_Surface_of_Mars.html?hl=pt-BR&id=uLHIJ6sjohwC (Accessed : February 2022).

Castellan, Gilbert. *Fundamentos de fisico-quimica*. Rio de Janeiro: LTC, 1986. Çetin, P.S., Kaya, E. & Geban, Ö. Facilitating Conceptual Change in Gases Concepts. *J Sci Educ Technol* 18, 130-137 (2009). <https://doi.org/10.1007/s10956-008-9138-y>. Acessado: Janeiro 2020.

Chilingar, G. V.: Sorokhtin, O. G.: Khilyuk, L.: Gorfunkel, M. V. Greenhouse gases and greenhouse effect. *Environmental Geology*. Vol. 58, pages1207–1213, September 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00254-008-1615-3#Bib1>. Acessado: janeiro 2020.

Dunbar, B. (2015) 'Planet Mercury'. Available at: <http://www.nasa.gov/planetmercury> (Acessado: 27 February 2022).

HOFFMAN, J. H., HODGES, R. R. JR., MCELROYT, M. B., DONAHUE, T. M., KOLPIN, M. Composition and structure of the venus atmosphere: results from pioneer venus', *Science*, ISSN 0036-8075. Vol. 205, Issue 4401, pp. 49-52. July 1979. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.205.4401.49>. Acessado: 10 Agosto 2021.

Irwin, P. *Giant Planets of Our Solar System: Atmospheres, Composition and Structure*. 02. Ed. Alemanha Springer Science & Business Media. 2009.

Jakosky, B. M. Atmospheric Loss to Space and the History of Water on Mars. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Vol. 49 pp. 71–93. May 2021. <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-earth-062420-052845>. Acessado: Setembro 2022.

Kasting, J. F.. Earth's early atmosphere. *Science*, ISSN 0036-8075, Vol. 259, Issue 5097, pp. (920–926), Fev, 1993. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.11536547>. Acessado: 27 Janeiro 2022.

Kasting, J.F. What caused the rise of atmospheric O₂? *Chemical Geology*, ISSN = 0009-2541, Vol. 362, pp. (13–25). Dez. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0009254113002568?via%3Di>

hub. Acessado: 17 Dezembro 2021.

M. Da Silva, Leonardo e H. de Castro, Arthur. REVISITING IDEAL GASES AND PROPOSAL OF A SIMPLE EXPERIMENT FOR DETERMINING ATMOSPHERIC PRESSURE IN THE LABORATORY, *Química Nova*. (Diamantina-Mg) Vol. 41, Nº. 7, p. (818-824), março, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170221>. Acesso em: maio 2022.

Magalhães, Welington Ferreira de, Fernandes Nelson Gonçalves, Ferreira Amary Cesar. FÍSICO-QUÍMICA I, Termodinâmica do Equilíbrio: Gases Ideais. Maio 2013. Aula 05. Notas de Aula. Universidade Federal De Minas Gerais, Departamento de Química, ICEx. Setor De Físico-Química. Disponível em: https://www2.ufjf.br/quimicaead/wp-content/uploads/sites/224/2013/05/Aula5_FQI.Pdf. Acesso em: maio 2022.

Malaya, K.B.M.: Ramesh K.: Noor B. D.: Srivardini A.. A Review on Human Interplanetary Exploration Challenges. *American Institute of Aeronautics and Astronautics*. Vol. 205, Issue 4401 pp. 49-52. Dec. 2021. Disponível em: <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2022-2585>. Acesso em: 10 de dez. 2021.

Moore H. J., Plaut J. J., Schenk P. M., Head J. W.: An unusual Volcano On Venus. *Advancing Earth Space Science. Journal of Geophysical Research Planets*. V. 97, Edição E8: p. 13479-13493: August 1992. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/92JE00957>. Acesso em: 20 dez. 2021.

Moreira, Marco. O QUE É AFINAL APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA? Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, pp. 01-27, aceito para publicação, *Curriculum, La Laguna, Espanha*, 2012. <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>. Acessado: agosto 2020.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. 2022 Disponível em: <https://www.nasa.gov/https://www.nasa.gov/> (Acessado: 27 janeiro 2021).

NASA - National Aeronautics and Space Administration. 2022 Disponível em: <http://www.nasa.gov/>. *Jupiter (2022) NASA Solar System Exploration*. Available at: <https://solarsystem.nasa.gov/planets/jupiter/overview> (Accessed: 27 February 2022).

Navarro, T.: Gilli, G.: Schubert, G.: Lebonnois, S.: Lefèvre, F.: Quirino, D. Venus' upper atmosphere revealed by a GCM: I. Structure and variability of the circulation', *Icarus*, ISSN 0019-1035, Vol. 366 p. 114400. February 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019103521000877?via%3Dihub>. doi:10.1016/j.icarus.2021.114400. Accessed: 10 August 2021

Popper, K. R. *A lógica da pesquisa científica*: São Paulo. Editora Cultrix, 2004.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T.H. Para Entender a Terra 4a edição. Tradução: MENEGAT, R. Porto Alegre, Bookman. 2006. 656 p.

Press, Frank. para entender a terra. 4. ed. porto alegre: Bookman, 2006
Reale, G. *Introdução a Aristóteles*: 10. Ed. Roma; Bari: Laterza. Contraponto, 1997.

246 p.

Schubert G., Covey C., Del Gênio A., Elson LS., Keating G., Seiff A., Jovem RE., J. Apt, Conselheiro III CC., Kliore AJ., Limaye SS., Revercomb HE., Sromovsky LA., Suomi VE, Taylor F., Woo R., von Zahn U. Structure and circulation of the Venus atmosphere. *Advancing Earth and Space Science; Journal of Geophysical Reserch*. Volume 85, Issue A13, pp 8007-8025, December 1980. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/JA085iA13p08007>. Accessed: 27 October 2021).

Silva, Cristina Neres da. *Química Nova na Escola. Ensinando a Química do Efeito Estufa no Ensino Médio: Possibilidades e Limites*. PubliSBQ. Vol. 31 N° 4. novembro 2009. Expressão Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc31_4/. Accessed: Janeiro 2020.

Songolzadeh, M.: Soleimani, M.: Ravanchi, M. T.: Songolzadeh, R. "Carbon Dioxide Separation from Flue Gases: A Technological Review Emphasizing Reduction in Greenhouse Gas Emissions", *The Scientific World Journal*, hindawi.com/, vol. 2014, Article ID 828131, 34 pages, February 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2014/828131>. Accessed: Janeiro 2020.

Zasova, L.V. Ignatiev, N. Khatuntsev, I. Linkina, V. Structure of the Venus atmosphere. *Planetary and space science*, ISSN 0032-0633, Vol. 55, Issue 12, pp. (1712–1728), October 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032063307000098?via%3Dihub>. Accessed: 10 August 2021.

PRODUTO EDUCACIONAL

**APLICAÇÃO DA LEI DOS GASES IDEAIS NA
DETERMINAÇÃO DE TEMPERATURA DE PLANETAS DO
SISTEMA SOLAR**

ADVALDO CARVALHO NÓBREGA

**APLICAÇÃO DA LEI DOS GASES IDEAIS NA DETERMINAÇÃO DE
TEMPERATURA DE PLANETAS DO SISTEMA SOLAR**

Objeto de Ensino aplicado a turma de segunda série do ensino médio apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr.: Daniel Augusto Barra de Oliveira

ARAGUAÍNA (TO)

2020

Apresentação

Esse livro foi desenvolvido para melhorar o ensino e a aprendizagem em aulas de física, no tocante às propriedades dos gases e sua relação com o aumento da temperatura de um planeta. Depois de muita dedicação em sala de aula e uma extensa pesquisa sobre os comportamentos dos gases, como também do uso da equação de Clapeyron, exemplificou-se alguns conceitos matemáticos, como: operações com potências de base dez, densidade ou volume, massa molar, pressão, escalas termométricas e as unidades do SI.

Justificativa

Este produto visa desenvolver algumas habilidades no educando, como, dentre outras: a Argumentação na Compreensão Conceitual de Estudantes (ACCE) e o impacto dessa pedagogia sobre as propriedades e comportamentos dos gases.

Segundo os trabalhos de Mehmet Aydeniz, “A argumentação auxilia os alunos de formas variadas: ampara os participantes a tomar conhecimento de suas deficiências de conhecimento e no nosso caso, foi usado para discutir a Física dos gases. Sendo assim, a metodologia que permite abordar seus equívocos relacionados ao tema dos gases, dando-lhes a possibilidade de repetir os conteúdos relacionados à aula e corrigir suas atividades, ajudando a desenvolver uma melhor compreensão do tema, contribuindo para eles se tornem mais confiantes em seu conhecimento de gases” (AYDENIZ, et al., 2011, tradução nossa). Com isso será usado nesse trabalho a presente metodologia - ACCE - para melhorar o aprendizado.

Outro instrumento de estudo escolhido, importante para o desenvolvimento das habilidades do educando, é a Instrução Conceitual Orientada para Mudanças - ICOM. Esta metodologia mostrou um avanço na aquisição dos novos conceitos científicos, apresentados pelo orientador, no que diz respeito à troca dos conhecimentos que já existem, a partir das experiências vividas pelos discentes. Essa metodologia funciona da seguinte maneira: “Os alunos desenvolvem uma ideia sobre fenômenos científicos antes de vir para a sala de aula. Essas ideias que podem ser científicas ou não influenciam o aprendizado dos alunos sobre novas concepções científicas”

(HEWSON¹ 1992, p. 01 apoud ÇETIN et al., 2009). Afirma Cetin que “a aprendizagem envolve mudar as concepções agregando novos conhecimentos realizado” (ÇETIN et al., 2009). Os resultados mostraram que houve uma diferença média significativa entre os escores de alunos ensinados pela ICOM e a instrução química tradicionalmente projetada, em relação à compreensão dos conceitos de gases após o tratamento.

¹ Hewson PW (1992) Conceptual change in science teaching and teacher education. National Center of Educational Research, Documentation and Assessment, Madrid, Spain

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	7
2 O MÉTODO CIENTÍFICO	10
2.1 Exercícios de Fixação Método Científico	12
3 NOTAÇÃO CIENTIFICA.....	14
3.1 Atividades de fixação notação científica.....	18
4 OS GASES ATMOSFÉRICOS E A TEMPERATURA.....	20
4.1 A troposfera	23
4.2 Exercícios de fixação efeito estufa	29
5 DENSIDADE.....	32
5.1 Densidade de um gás	35
5.2 Exercícios de fixação sobre densidade.....	37
6 ÁTOMOS E MOLÉCULAS (MOL).....	39
6.1 Massa atômica.....	40
6.2 Massa molar.....	44
6.3 Números de mols.....	42
6.4 Exercícios de fixação sobre números de mols	45
7.1 Exercícios de fixação de constante de avogadro	49
8.1 Escala Celsius	52
8.2 Escala Kelvin	53
8.3 como converter uma escala termométrica em outra	53
8.4 Exercícios de fixação de escala termométrica	55
9 A LEI DE CLAPEYRON	56
9.1 A Lei de Boyle.....	56
9.2 A Lei de Jacques Charles.....	58
9.3 A Lei de Gay-Lussac.....	60
9.4 Gases Ideais.....	61
9.5 Equação de Clapeyron	62
9.6 Exercícios de fixação de uso da Lei de Clapeyron.....	64
10 PRESSÃO ATMOSFÉRICA	67

10.1 Pressão Atmosférica e Temperatura	67
10.2 Pressão Atmosférica e Altitude	69
10.3 Fatores De Conversão E Unidades	71
10.4 O Volume	73
10.5 A Temperatura	74
10.6 Lei de Distribuição Barométrica	74
10.7 Exercícios da Lei de Distribuição Barométrica	78
Diferença entre a atmosfera venusiana e terrestre.....	81
11 PLANETAS DO SISTEMAS SOLAR	82
11.1 Mercúrio	82
<i>11.1.1 Atmosfera de Mercúrio</i>	82
<i>11.1.2 Composição da atmosfera de Mercúrio (Exosfera)</i>	82
<i>11.1.3 Algumas medidas de Mercúrio</i>	83
<i>11.1.4 Distância entre o Sol e Mercúrio</i>	83
<i>11.1.5 As Temperaturas de Mercúrio</i>	84
11.2 Vênus	84
<i>11.2.1 Atmosfera de Vênus</i>	84
<i>11.2.2 Composição da atmosfera de Vênus</i>	84
<i>11.2.3 Algumas medidas de Vênus</i>	85
<i>11.2.4 Distância entre o sol e Vênus</i>	85
<i>11.2.5 As Temperaturas de Vênus</i>	85
11.3 Terra	86
<i>11.3.1 Atmosfera da Terra</i>	86
<i>11.3.2 Composição da atmosfera da Terra</i>	86
<i>11.3.3 Algumas medidas da Terra</i>	87
<i>11.3.4 Distância entre o Sol e a Terra</i>	87
<i>11.3.5 As Temperaturas da Terra</i>	87
11.4 Marte	88
<i>11.4.1 Atmosfera de Marte</i>	88
<i>11.4.2 Composição da atmosfera da Marte</i>	89
<i>11.4.3 Algumas medidas de Marte</i>	89

11.4.4 Distância entre o Sol e Marte	89
11.4.5 As Temperaturas de Marte	90
11.5 Júpiter	90
11.5.1 Atmosfera de Júpiter	90
11.5.2 Composição da atmosfera de Júpiter	91
11.5.3 Algumas medidas de Júpiter	92
11.5.4 Distância entre o Sol e Júpiter	92
11.5.5 As Temperaturas de Júpiter	92
11.6 Saturno	92
11.6.1 Atmosfera de Saturno	92
11.6.2 Composição da atmosfera de Saturno	93
11.6.3 Algumas medidas de Saturno	94
11.6.4 Distância entre o Sol e Saturno	94
11.6.5 As Temperaturas de Saturno	94
11.7 Urano	95
11.7.1 Atmosfera de Urano	95
11.7.2 Composição da atmosfera de Urano	96
11.7.3 Algumas medidas de Urano	96
11.7.4 Distância entre o Sol e Urano	96
11.7.5 As Temperaturas de Urano	97
11.8 Netuno	97
11.8.1 Atmosfera de Netuno	97
11.8.2 Composição da atmosfera de Netuno	98
11.8.3 Algumas medidas de Netuno	98
11.8.4 Distância entre o Sol e Netuno	99
11.8.5 As Temperaturas de Netuno	99
12 REFERÊNCIAS	103

1 INTRODUÇÃO

O uso da equação de Clapeyron exige do aprendiz vários conceitos, tais como: propriedades de pressão de um gás, trabalhar as diversas unidades de volume, a transformação de unidades de temperaturas, a densidade de um gás, a massa atômica e a massa molar, o uso de propriedade matemática dos números de base dez e a notação científica. Ensina-se, por exemplo, que a pressão varia com o inverso do volume e que o aumento de temperatura implica no aumento de pressão. Esses conceitos, relacionados à equação de Clapeyron, consideram que os gases nela usados são gases ideais e têm comportamentos idealizados para facilitar os cálculos e, assim, melhorar o entendimento dos educandos.

Nesse sentido, existem condições ideais para o uso da equação de Clapeyron, como também condições desfavoráveis, quais sejam, por exemplo: limitações nas explicações nas mudanças de fases de condensação e de ebulição. Então, observa-se que existe uma complexidade nos estudos dos gases, o que exige um esforço maior de compreensão por parte do discente.

Além da condição de não interatividade entre as moléculas, são usados vários parâmetros de classificação dos gases perfeitos, como: partículas do gás têm volume insignificante e se movem aleatoriamente de acordo com as Leis do Movimento de Newton; colisões elásticas perfeitas sem perda de energia, pressão baixa, as moléculas devem estar mais afastadas uma das outras; alta temperatura com vibrações de muita energia.

Na realidade, não há gases ideais. Qualquer partícula de gás possui um volume dentro do sistema (uma quantidade mínima, mas presente, no entanto), o que viola a primeira suposição. Além disso, as partículas de gás podem ter tamanhos diferentes, a exemplo do gás hidrogênio, cujo as partículas são, significativamente, menores que aquelas que compõem o gás xenônio. Cada partículas que formam os gases, em um sistema, têm forças intermoleculares com partículas vizinhas, particularmente em baixas temperaturas quando as partículas estão lentas, elas, interagem mais fortemente umas com as outras. Mesmo que as partículas do gás possam se mover aleatoriamente, elas não têm colisões elásticas perfeitas e devemos usar conservação de energia e do momento dentro do sistema para estudar as colisões. Enfim, esses conceitos tendem a despertar muitas incertezas nos aprendizes.

Enquanto os gases ideais são estritamente uma concepção teórica, os gases reais podem se comportar idealmente sob certas condições. Sistemas que têm pressões muito baixas ou altas temperaturas, permitem que os gases reais sejam estimados como “ideais”. A baixa pressão de um sistema permite que as partículas de gás experimentem menos forças intermoleculares com outras partículas. Similarmente, sistemas de alta temperatura permitem que as partículas de gás se movam rapidamente dentro do sistema e exibam menos forças intermoleculares entre si. Portanto, para fins de cálculo, os gases reais podem ser considerados “ideais” em sistemas de baixa pressão ou alta temperatura.

Nos dias atuais, encontrar métodos para o enriquecimento nos planejamentos de ensino das variáveis de um gás, tem sido uma tarefa árdua para o docente do ensino médio. Por outro lado, o avanço da tecnologia pode ser um apoio para quem busca diversificar suas aulas de Química e Física. São vários os sites de simuladores virtuais que mostram os comportamentos quase reais das moléculas de um gás. O uso de estratégias variadas para o ensino de Física e Química vem demonstrando pertinência efetiva na prática escolar.

Segundo Teixeira:

O ensino de ciências concebido à luz de objetivos educacionais mais amplos que o aprendizado de ciências per se (conhecimentos e procedimentos), assumido como parte da alfabetização, implica práticas pedagógicas que, a um só tempo, envolvem e desenvolvem: atividade intelectual, pensar crítico e autônomo, mobilização consciente e intencional de recursos cognitivos e metacognitivos. (TEIXEIRA, et al. 2013)

Dessa maneira, aprender e ensinar as propriedades das variáveis de um gás ideal, é desenvolver um olhar analítico para alcançar o conhecimento científico, suscitando, assim, o aprendizado da ciência. As práticas desenvolvidas são importantes na medida em que traduzem a ciência para aqueles que ainda estão no processo inicial de aprendizagem.

Todavia, o estudo da ciência por si só pode causar certo desânimo para aqueles que apresentam melhor aprendizagem no domínio das experiências cotidianas. Para esses, a apresentação da interdisciplinaridade é muito útil, pois traz os conceitos matemáticos e físicos para a compreensão do fenômeno no cotidiano. É notório que a prática pedagógica atual envolve o uso mínimo das relações qualitativas das leis dos gases e o uso moderado de uma sequência simples de um fenômeno complexa.

Dada à complexidade conceitual das leis de gases ideais, a abordagem de apresentação com maior uso de exercícios qualitativos e, no estágio inicial, pelo menos, com o uso de um modelo mais simples, no qual as inter-relações entre as leis dos gases ideais são mais fáceis de serem estabelecidas. O trabalho vai procurar abordar a interdisciplinaridade no ensino da lei dos gases ideais para a descrição da temperatura em alguns planetas do sistema solar, relacionando as altas temperaturas à composição gasosa atmosférica. Para esse fim, serão usados dados provenientes de sondas espaciais a fim de fazer cálculos básicos para a determinação do comportamento das variáveis de pressão, temperatura, volume e composição gasosa.

Nessa primeira aula iremos apresentar o produto educacional, o site da NASA (<https://www.nasa.gov/topics/solarsystem/index.html>), mostraremos os dados de planetas do sistema solar com ênfase nos Planetas Terra, Marte e Vênus. Falar sobre efeito estufa nos 3 planetas em questão, mostrar como catalogar os dados das atmosferas, tais como: temperatura, massa, densidade, composição gasosa, pressão etc. Finalizamos com a proposta de estudar para aula seguinte os capítulos 2 e 3 do livro produto (Método e Notação Científica), para que haja conhecimentos prévios e assim adquirirem uma aprendizagem significativa de David Ausubel, como mostra na figura 1.

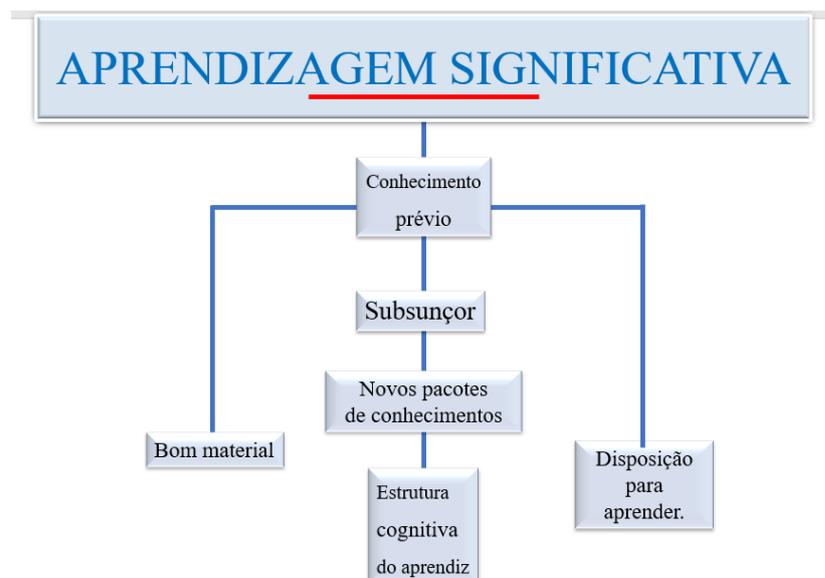


Figura 1 – etapas do desenvolvimento cognitivo do aprendiz

Fonte: Autor 2022

Onde o educando necessitará vir a sala de aula com um conhecimento prévio depois de ter usado um bom material de estudo. O educador terá como objetivo, o desenvolvimento dos subsunçores, para que os educandos recebam novos pacotes de conhecimentos e desenvolvam em si, uma estrutura cognitiva.

2 O MÉTODO CIENTÍFICO

Iremos narrar, de maneira lúdica, as etapas que permitiram chegar ao desenvolvimento do método científico, etapas que não precisam ser seguidas nessa ordem para que se alcance o objetivo do conhecimento científico. Partiremos do significado segundo o dicionário online de português, (Dicio, 2020):

[...] é um conjunto estruturado de procedimentos que devem ser seguidos para a produção do conhecimento; consiste na observação sistemática e controlada dos fenômenos da natureza, através de pesquisas de campo e experimentos que, posteriormente analisados pela lógica, devem corroborar ou falsear o conjunto de hipóteses que sustentam determinada teoria científica.

Este método científico foi desenvolvido, ao longo dos séculos, desde que o homem começou a observar o universo a sua volta, iniciando a partir de seu próprio lar, o Planeta Terra, com a observação do vento, da luz, das árvores, da água dos rios, do fogo etc. Essa observação gerou o primeiro passo do método científico e iniciou uma corrida em busca do descobrimento das leis da natureza que hoje sistematizamos em campo de conhecimento conhecido como: Física, Química, Biologia, dentre outras.

Durante esse tempo, os filósofos e estudiosos fizeram observações e adquiriram dados, quantitativos e qualitativos, com isso, começaram a questionar o “porquê” dos acontecimentos? Como esses fenômenos são descritos? Quais os fatores que influenciam tal fenômeno da natureza? Chegaram, então, a mais uma etapa do conhecimento científico: o questionamento.

A partir desse questionamento do ato científico, chegamos a um procedimento que hoje é chamado de hipótese, que vem para dar uma possível resposta para os questionamentos, ou pelo menos tentar desvendar, os fenômenos observados. Lembrando que é possível usar o plural quando falarmos de hipótese, já que podem

ser uma ou várias para um mesmo fenômeno. Essas hipóteses também irão guiar os experimentos, outra parte do método científico.

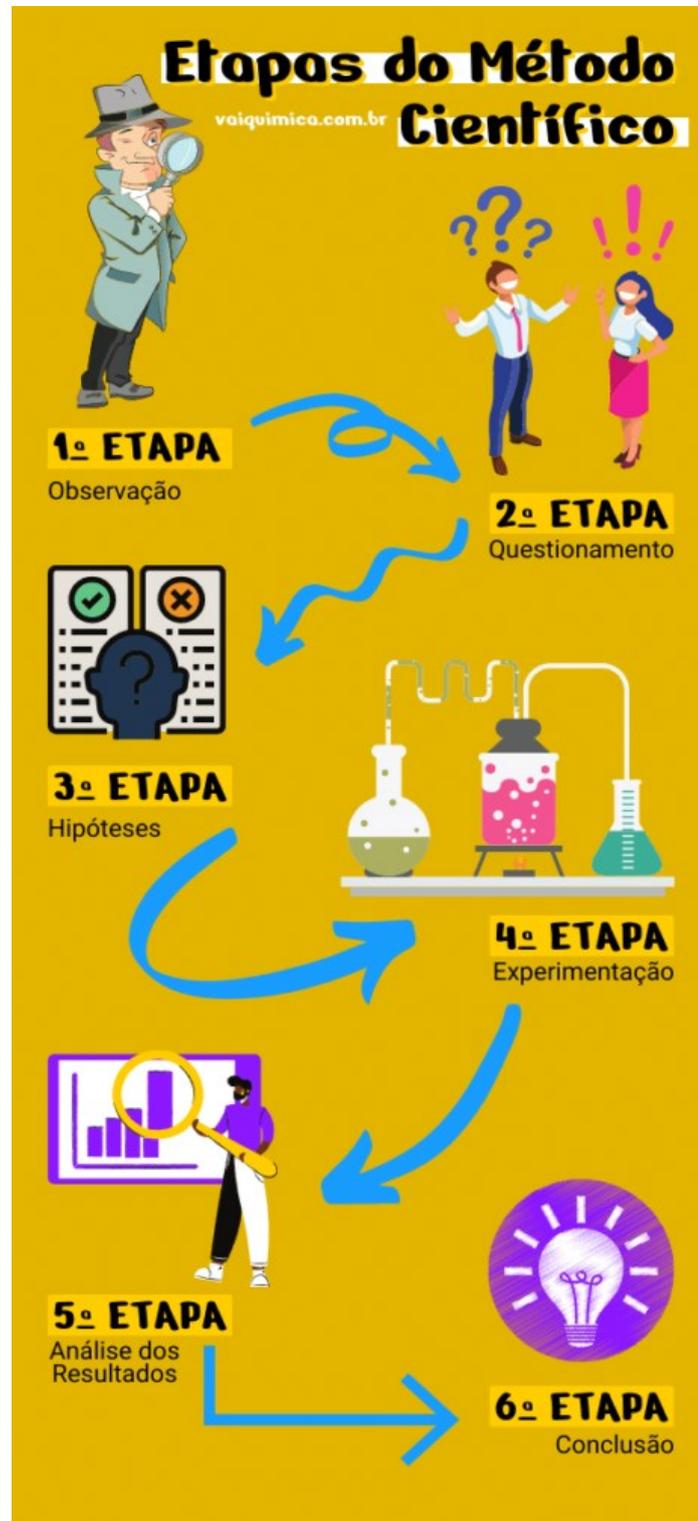


Figura 1 – Etapas do Método Científico
Fonte: <https://vaiquimica.com.br>

O método experimental veio regularizar as condições práticas das ocorrências dos fenômenos observados. À medida em que os experimentos são realizados, automaticamente são colocados à prova e haverá mudanças em todas as hipóteses, até que se chegue a um resultado satisfatório para a comunidade científica. Chegando, enfim, até a outra parte do método científico, os resultados.

Esses resultados são colocados a prova durante toda a eternidade e, com o passar do tempo, as conclusões são finalizadas para uma dada teoria, que passa a ser considerada lei. Essas leis, por mais rigorosas que sejam, sempre podem mudar.

Assim podemos citar o método científico, em parte, pois, lembrem-se de que a ordem das fases citadas nas numerações a seguir não altera os resultados. Não quero transmitir a ideia de que o método científico segue uma sequência lógica e rígida como descrita a seguir:

- 1 - Aquisição de conhecimento;
- 2 - A observação;
- 3 - Coletar dados;
- 4 - Criar questionamentos;
- 5 - Levantar hipóteses;
- 6 - Usar o método experimental;
- 7 - Criar as teorias;
- 8 - Estabelecer as leis.

2.1 Exercícios de Fixação Método Científico

1 - Na busca de respostas a determinado fenômeno físico, os cientistas levantam afirmações e essas são testadas até que são comprovadas as causas e efeitos do fenômeno em questão. Aqui estamos falando de? Marque a alternativa correta:

- a) Faz parte do método científico, a hipótese.
- b) É denominado de projeto.
- c) Deverá ser seguido de uma experimentação.
- d) Deve ser precedido por uma conclusão.

2 - Analisando as informações explanadas anteriormente, enumere as informações abaixo, na sequência do método científico:

- () Possíveis respostas para a pergunta em questão (hipótese)
- () Etapa experimental
- () Conclusões
- () Dúvida sobre determinado fenômeno da natureza
- () Levantamento de deduções

3 NOTAÇÃO CIENTÍFICA

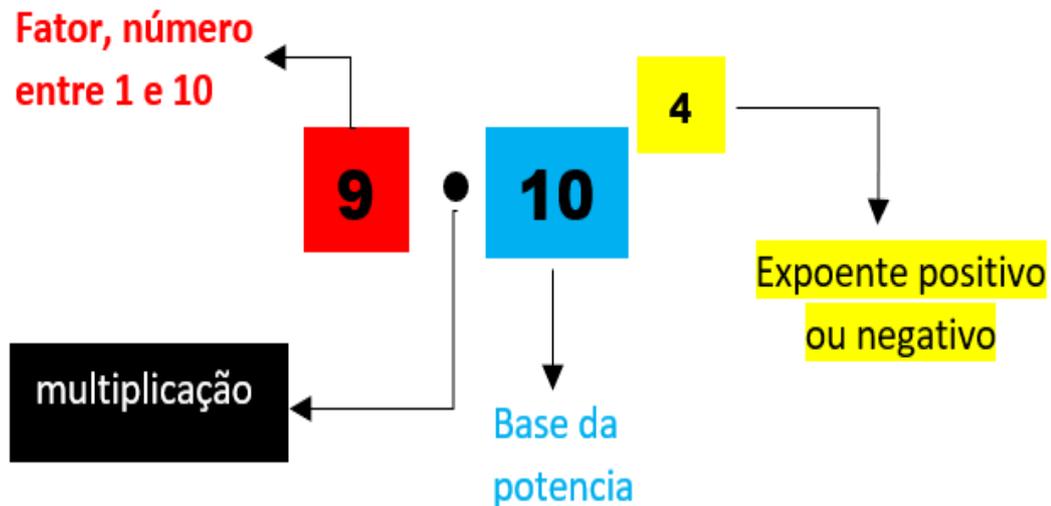


Figura 2 – Propriedades da Notação Científica
Fonte: Autor, 2021

Onde o expoente é o número de vezes que o fator precisa multiplicado por dez para reproduzir o número original.

O método de escrever números em forma de potência de base é chamado de notação científica, e é bem utilizado como uma ferramenta para facilitar os cálculos em Matemática, Física, Química e outras disciplinas. Permite escrever e operar números que, quando escritos em sua forma original, exigem grande paciência e esforço por serem números com muitos algarismos (Luiz, 2020).

No estudo de corpos ou sistemas macro, ou ainda micro, consolidam-se os números com grandes quantidades de zero, ou com várias casas depois da vírgula. Observamos, então, que a notação científica tem como parâmetro as potenciações cuja base é dez, e suas operações matemáticas são envolvidas basicamente com dois números, o multiplicador da base e o expoente. Seguem exemplos:

Observa-se, então, a diminuição dos expoentes, ocasionando um aumento nos números zero à esquerda. Da mesma forma em que o expoente aumenta, também diminuem os números de zero, isso para os expoentes negativos. Podemos analisar, então, da seguinte forma: os zeros são complementos da vírgula, que se desloca para a esquerda quando o expoente é negativo, e para direita quando o expoente é positivo.

Em outras palavras, “o número que está no expoente é a quantidade de zeros que temos à direita. Isso é equivalente a dizer que a quantidade de casas decimais andadas para a direita é igual ao expoente da potência positivo. Por exemplo, 10^{10} é igual a 10 000 000 000” (Luiz, 2020).

Exemplo 4:

$$10^{-1} = \frac{1}{10^1} = \frac{1}{10} = 0,1$$

$$10^{-2} = \frac{1}{10^2} = \frac{1}{100} = 0,01$$

$$10^{-3} = \frac{1}{10^3} = \frac{1}{1000} = 0,001$$

$$10^{-4} = \frac{1}{10^4} = \frac{1}{10\,000} = 0,0001$$

Esse processo é melhor compreendido, evidenciando a vírgula do lado direito do numeral (1) e deslocando-a para a esquerda quantas vezes forem o expoente do denominador, exemplo 4. Para números com um algarismo diferente de zero, podemos afirmar que as quantidades de zero à esquerda são as mesmas do numeral que representa o expoente negativo. Ou seja, o sinal do expoente negativo passa para positivo, e vice-versa quando o mesmo ocorre no denominador. Podemos assim, criar o número de notação científica, o fator é representado por números menores que 10 e maiores ou igual a 1.

Segue o exemplo 5:

$$a) 0,0000013 = 1,3 \cdot 10^{-6}$$

$$b) 137.000.000.000 = 1,37 \cdot 10^{11}$$

Outros exemplos estão no item “c” e “d”. Fazendo uma leitura minuciosa, ao diminuir o fator negativo, o expoente aumenta em módulo. Aumentando o fator negativo, o expoente da base dez diminui em módulo. Lembrando, o expoente negativo reduzirá quando aumentar o módulo do expoente.

Observem no exemplo 6:

$$c) 10^0; 10^{-1}; 10^{-2}; 10^{-3}; 10^{-4}; 10^{-5}; 10^{-6}; 10^{-7}; 10^{-8}; 10^{-9}.$$

$$d) 10^0; 10^1; 10^2; 10^3; 10^4; 10^5; 10^6; 10^7; 10^8; 10^9.$$

Na letra c), o expoente diminui, e na d), o expoente aumenta e diminui naturalmente. Observe agora os exemplos com “letras” no lugar de números, e, em seguida, com números:

Exemplo 7 e 8

$$a^n \cdot a^k = a^{n+k}$$

$$\frac{1}{a^n} = 1 \cdot a^{-n} = a^{-n}$$

$$\frac{a^n}{a^k} = a^{n-k}$$

$$10^3 \cdot 10^2 = 10^{3+2} = 10^5$$

$$\frac{1}{10^2} = 1 \cdot 10^{-2} = 10^{-2}$$

$$\frac{10^3}{10^2} = 10^3 \cdot 10^{-2} = 10^{3-2} = 10^1$$

3.1 Atividades de fixação notação científica

1. Nas ciências da natureza, a constante de Avogadro é a relação entre o número de átomos e a unidade básica do SI, o mol. Essa constante é bem utilizada também para relacionar volumes de gases, sendo seu valor igual a aproximadamente 602 000 000 000 000 000 000 000. Escreva esse número em notação científica:

2. A massa do Planeta Terra e do Sol é de aproximadamente e respectivamente igual à $6 \cdot 10^{24}$ kg e $2 \cdot 10^{30}$ kg. Qual é o resultado da multiplicação desses dois números?

3. Resolva as multiplicações com potência de base 10:

a) $10^2 \cdot 10^4 =$

b) $2 \cdot 10^{-2} \cdot 10^4 =$

c) $2 \cdot 10^2 \cdot 3 \cdot 10^3 =$

d) $2 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-3} =$

e) $(-2) \cdot 10^3 \cdot (-3) \cdot 10^{-3} =$

4. Resolva as divisões com potência de base 10:

a) $\frac{10^2}{10^4} =$

b) $\frac{2 \cdot 10^2}{10^{-4}} =$

$$c) \frac{2 \cdot 10^2}{3 \cdot 10^4} =$$

$$d) \frac{-2 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 10^4} =$$

$$e) \frac{(-2) \cdot 10^2}{(-4) \cdot 10^{-4}} =$$

$$f) \frac{(+2) \cdot 10^{-2}}{(-4) \cdot 10^{-4}} =$$

4 OS GASES ATMOSFÉRICOS E A TEMPERATURA



Figura 3 – Exemplos de Habitats no Planeta Terra
Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Habitat>.

O berço da vida terrestre é a fina camada atmosférica entre a litosfera e a tropopausa, composta por gases e vapores d'água, onde ocorrem vários fenômenos que esculpem nosso planeta. Essas forças de interação, provenientes da luz solar e do centro da terra, formam um habitat essencial para a vida. A troposfera, essa fina camada, foi estruturada com as forças das placas tectônicas no interior da litosfera, controladas pelo calor interno das profundezas, gerando terremotos, erupções vulcânicas e fazendo surgir as arquiteturas montanhosas do solo (Press et al., 2006, p. 585). Os outros fenômenos, tais como: chuvas e tempestades, dilúvios e enchentes, icebergs e geleiras, dentre outros, são provenientes da grande massa de ar na atmosfera e da imensa massa de água da hidrosfera, sendo controladas pela irradiação solar e o calor.



Figura 4 – Exemplos dos efeitos das Forças de placas tectônicas nos soerguimentos de montanhas e serras. O famoso Monte Everest, localizado na cordilheira do Himalaia
Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Montanha>.

Os movimentos das placas tectônicas e seus fenômenos, juntamente com o clima terrestre mantêm um equilibrado ambiente na superfície terrestre, no qual a sociedade humana pode prosperar e crescer. Esses fenômenos citados acima foram, ao longo dos anos, responsáveis pela formação da atmosfera terrestre, que é constituída por camadas compostas de gases provenientes das partes sólidas (litosfera) e líquidas (hidrosfera) de nosso planeta. Assim, acreditamos que estes eventos ocorram nos demais planetas de nosso sistema solar.



Figura 5 - Uma tempestade em Enschede, nos Países Baixos
Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Tempestade>

A movimentação das placas tectônicas, ao longo dos anos, fez surgir gases em volta da terra, sendo o mesmo aprisionado pela força gravitacional terrestre. Hoje, a atmosfera, essa camada gasosa que tem uma espessura de aproximadamente 1000 quilômetros desde a crosta até a exosfera, tem uma função primordial na proteção do planeta no que diz respeito aos raios solares e às chuvas de meteoros. A atmosfera terrestre é classificada de acordo com sua temperatura e densidade gasosa, sendo que sua principal função é a regulação da entrada e do escape de radiação solar, controlando a temperatura e, assim, propiciando um ambiente perfeito para a vida no planeta (National Geographic Society). Enfatizaremos, neste capítulo, os principais componentes terrestres que armazenam e transportam energia em forma de calor e a composição da atmosfera de partículas gasosas, conforme figura 6.

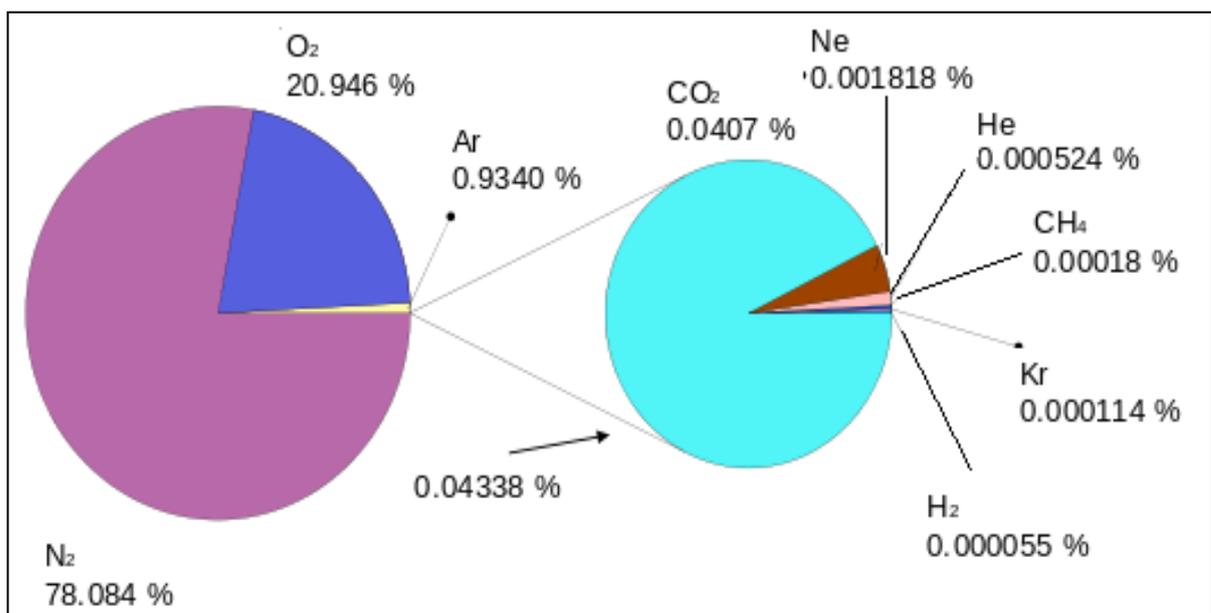


Figura 6 – A Composição Gasosa da Atmosfera Terrestre
 Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Atmosfera_da_Terra

Nota-se, que o gás nitrogênio, N₂, e o gás oxigênio, O₂, são predominantes constituído de, 78% e 21% para a formação da atmosfera, respectivamente. Os demais gases e vapores d'água não chegam a 1% da composição atmosférica. Saliento que nesses 1% da composição atmosférica, estão os gases de efeito estufa.

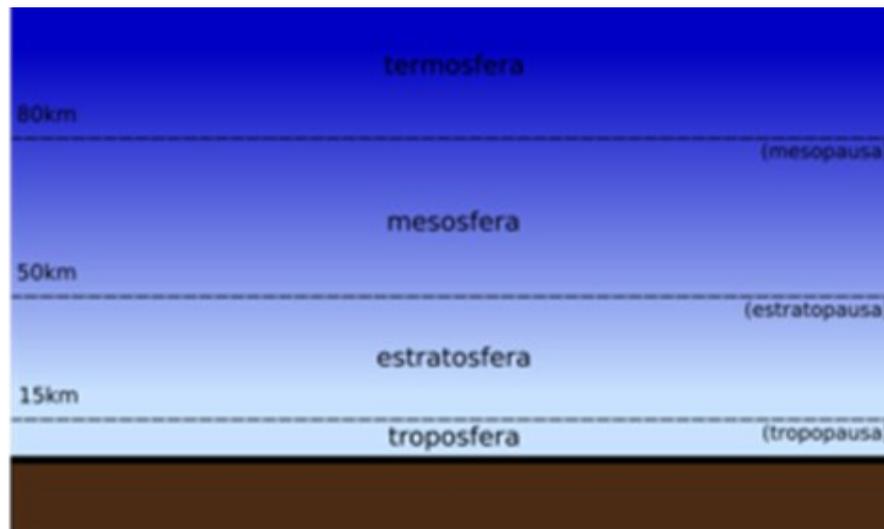


Figura 7 – Camadas da Atmosfera Terrestre
 Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Estratosfera>

4.1 A troposfera

A maior parte da atmosfera está concentrada na troposfera, que se estende desde a superfície até uma altitude de cerca de 10 a 15 km (6 a 9 milhas), dependendo da latitude e da estação. É a primeira camada da atmosfera terrestre, próxima à superfície, composta por cerca de 80% de toda massa da atmosfera, e também 80% dos gases existentes nas 5 camadas. Sua temperatura varia desde 15 °C, na parte mais baixa, até -60 °C na parte mais alta, evidenciando que sua temperatura decai com a altitude (Nasa, 2022). Nesta região da atmosfera acontecem a maioria dos fenômenos climáticos, tais como; as chuvas, os raios, os relâmpagos, os ventos, a vida. Região onde transitam as aeronaves e os pássaros, a poluição, dentre outros.

A quantidade de gás e vapor d'água existente na troposfera, interagem com a radiação solar desencadeando todos estes fenômenos climáticos. Como é a parte mais móvel do globo, se encarrega de absorver energia solar e distribuí-la por toda a superfície terrestre, “transportando das regiões equatoriais mais quentes para as regiões polares mais frias” (Press, et al., 2008).

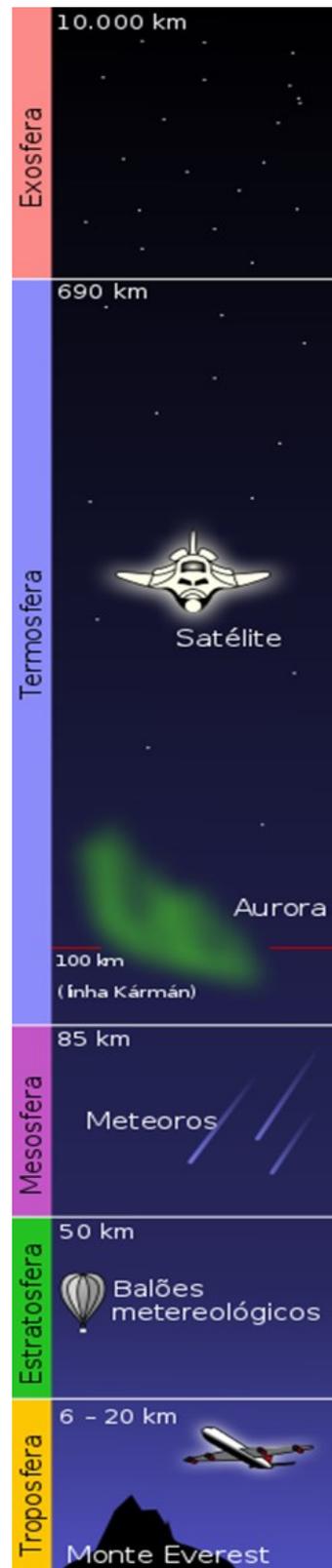


Figura 8 - Camadas da atmosfera (sem escala)
 Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Atmosfera_da_Terra

A atmosfera da Terra tem cinco principais camadas e cinco camadas secundárias. Cada uma delas tem seu papel fundamental em nosso planeta, como na figura 8. As principais camadas são a troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera. As secundárias, zona de transição de uma camada para outra, são a tropopausa, a estratopausa, a mesopausa e a termopausa. Por exemplo, esta última é a zona de transição entre a termosfera e a próxima camada atmosférica, a exosfera.

Esses movimentos de energia causam grande movimentação de ar, são formados por gases e vapores d'água, sendo transparentes aos raios solares e absorvendo energia radiante da litosfera e da hidrosfera, o que ocorre principalmente com os raios ultravioleta, visível e infravermelho.

As moléculas gasosas, captam a radiação infravermelha ($\lambda = 0,7 \cdot 10^{-6}$ metros a $\lambda = 1,0 \cdot 10^{-3}$ metros), proveniente da reflexão da hidrosfera e da litosfera gerando uma vibração de maior amplitude e rapidez. O gás metano (CH_4) e o gás carbônico (CO_2) sofrem deformações em suas estruturas moleculares de ligação covalente, criando, por algum tempo, dipolos eletromagnéticos, como mostra a Figura 9. Há também um aumento nos movimentos de rotação e translação (átomos e moléculas), ocasionados pelo acúmulo de energia interna de um sistema gasoso.

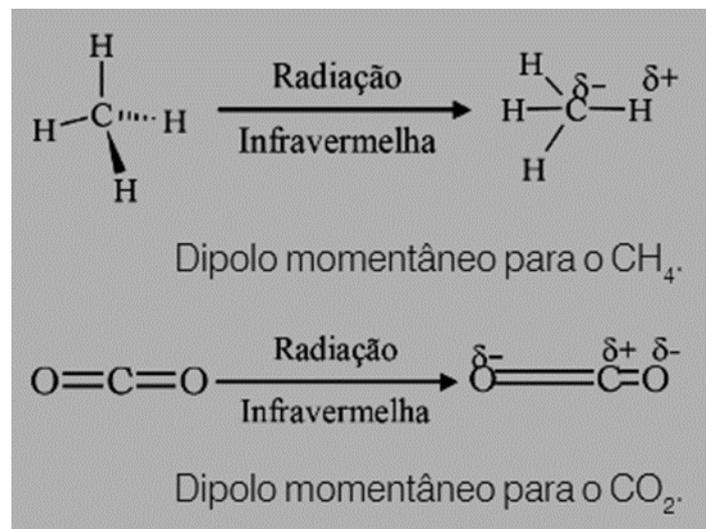


Figura 9 – Dipolo das moléculas de gás metano e carbônico.
Fonte: Press, 2008.

Quando a luz solar chega à superfície terrestre, aquece o solo e as águas dos rios e mares, esse calor é radiado de volta ao espaço. Nesse percurso, as radiações de calor, com comprimentos de ondas ($\lambda = 4,0 \cdot 10^{-7}$ a $\lambda = 7,0 \cdot 10^{-7}$ m) e com comprimentos de ondas ($\lambda = 0,1 \cdot 10^{-7}$ a $\lambda = 4,0 \cdot 10^{-7}$ m) do espectro visível e

ultravioleta respectivamente, quando incidem nos gases estufa, conseguem alterar os níveis de energia dos elétrons. Com isso, eles se afastam do núcleo do átomo, o que chamamos de nível excitado de energia. Menor energia (nível fundamental) e maior energia (nível excitado), como é possível observar na Figura 10.

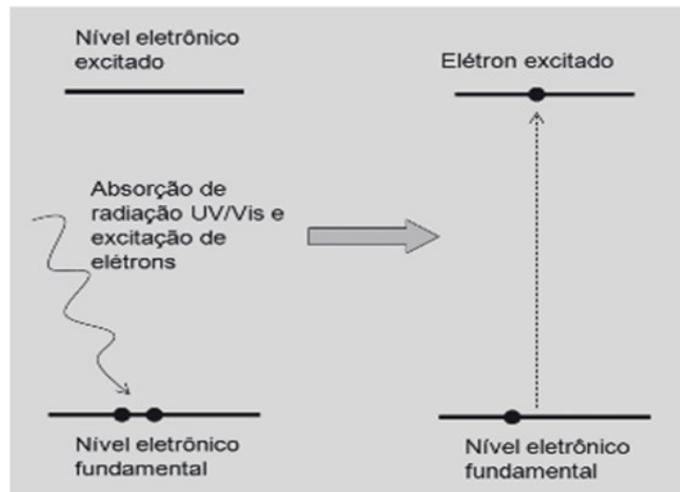


Figura 10 – Representação da excitação de um elétron pela absorção da radiação UV/Vis
 Fonte: Silva, 2009.

Os elétrons “ao absorver certa quantidade de energia, é excitado para um nível mais energético. Somente a partir do visível e ultravioleta, as radiações passam a ter energia suficiente para excitarem os elétrons” (Silva, 2009).

Ao passar algum tempo, essa energia é radiada novamente em forma de calor para o ambiente em volta, e os elétrons voltam aos seus estados fundamentais próximos ao núcleo. Isso acontece por três possibilidades (Figura 11): A primeira é a fluorescência (o elétron decai diretamente para o seu nível fundamental e emite um fóton de mesma energia do fóton absorvido); a segunda é a fosforescência (o elétron pode decair de forma indireta para níveis intermediários antes de atingir o nível fundamental); já na terceira o elétron decai gradativamente para níveis vibracionais associados ao estado excitado (Figura 12).

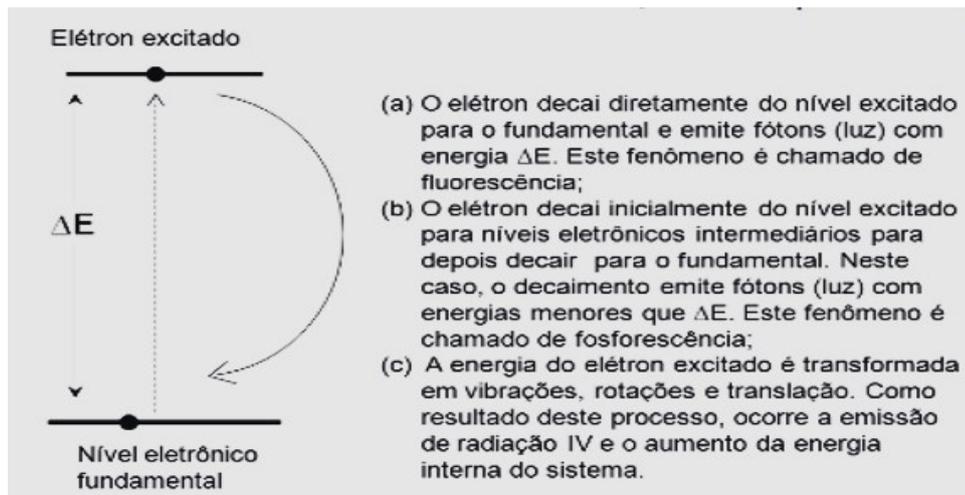


Figura 11 – Possíveis rotas para o decaimento de um elétron excitado.
 Fonte: Silva, 2009.

A energia liberada pelos elétrons tem comprimento de onda na faixa do infravermelho, podendo ser percebida por suas propriedades de aquecimento.

Quando o elétron decai devido à liberação de energia, ele está devolvendo calor para o ambiente, podem acontecer dois tipos de fenômenos: a liberação da radiação infravermelha e os movimentos de vibração, rotação e translação (Figuras 11 e 12).

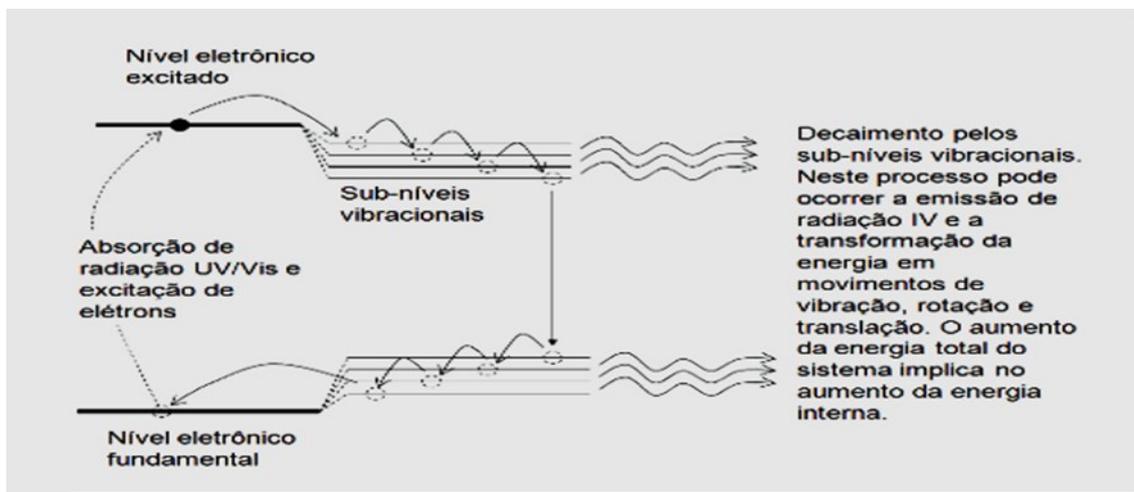


Figura 12 – Absorção da radiação UV/Vis, o decaimento por subníveis vibracionais produzindo radiação infravermelha e aumento da energia cinética das moléculas
 Fonte: Silva, 2009.

Resumindo, o efeito estufa, que acontece principalmente na troposfera, nada mais é que o acúmulo de energia em forma de movimentos. Segue um resumo no Quadro 1, no Quadro 2 e na Figura 13.

- As radiações ultravioleta e visível, provenientes do Sol, chegam à superfície da Terra e excitam os elétrons presentes nos materiais.
- Por sua vez, os elétrons excitados emitem radiação infravermelha e aumentam os movimentos de vibração, rotação e translação.
- O aumento da energia cinética (por meio da maior velocidade de translação das moléculas) promove um aquecimento no ambiente em volta desses gases. Assim, a luz solar, ao adentrar no Planeta Terra, serve para aquecer os corpos na superfície, sendo a outra parte transformada em radiação infravermelha.

Quadro 1: Conhecendo mais o efeito da radiação na Terra

- A luz raiada em infravermelha é absorvida pelas moléculas, intensificando os movimentos de translação, rotação e vibração. O movimento translacional das moléculas tem uma relação direta com o aumento da temperatura.
- Essas são as principais moléculas do efeito estufa: CO₂, H₂O, O₃, CH₄ e óxidos de nitrogênio, que formam os chamados gases estufa.

Quadro 2: Conhecendo mais o efeito da radiação na Terra.

OS PRINCIPAIS GASES DE EFEITO ESTUFA SÃO:

Monóxido de Carbono (CO)

Dióxido de Carbono (CO₂)

Clorofluorcarbonos (CFC)

Óxido de Nitrogênio (N_x O_x)

Dióxido de Enxofre (SO₂)

Metano (CH₄)

Vapor D'água (H₂O)



Figura 13 – Modelo do efeito estufa ilustrando a interação da radiação com a matéria
Fonte: Silva, 2009.

4.2 Exercícios de fixação efeito estufa

1. (ENEM, modificada) – “Discutindo sobre a intensificação do efeito estufa, Francisco Mendonça afirmava: A conservação do calor na Troposfera ocorre a partir da perda de energia da superfície terrestre. Esta, ao se resfriar, emite para a atmosfera radiações de ondas longas equivalentes à faixa do infravermelho, caracterizadas como calor sensível, que são retidas pelos gases de efeito estufa. O dióxido de carbono (CO_2) é o principal gás responsável em reter o calor na baixa atmosfera, mas o vapor d’água, o metano, a amônia, o óxido nitroso, o ozônio e o clorofluorcarbono (conhecido como CFC, que destrói a camada de ozônio na Tropopausa/Estratosfera) também são gases causadores do efeito estufa. Além desses gases, a nebulosidade e o material particulado em suspensão no ar são importantes contribuintes no processo de aquecimento da Troposfera, uma vez que também atuam como barreira à livre passagem das radiações infravermelhas emitidas pela superfície”.

(Climatologia, Ed. Oficina de Textos.)

A partir da leitura do texto, conclui-se que:

a) Gases lançados na atmosfera por atividades humanas, como indústrias, criação bovina, podem interferir intensificando o efeito estufa.

- b) Apenas o gás carbônico é capaz de reter calor suficiente para gerar o efeito estufa.
- c) O vapor de água permite a livre passagem dos raios infravermelhos, o que causa sua livre reflexão para o espaço exterior.

2. (PUC-RIO 2010, modificada) – O efeito estufa é um fenômeno natural e fundamental para a manutenção da vida no planeta Terra, entretanto, quantidades excessivas de gases estufa na atmosfera podem elevar a temperatura do planeta a níveis indesejados. O Protocolo de Quioto (1997) propõe um calendário pelo qual os países signatários têm a obrigação de reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa em, pelo menos, 5,2% até 2012, em relação aos níveis de 1990. Sobre o aquecimento global e os gases causadores do efeito estufa, é correto afirmar que:

- a) O CO₂ é um gás que causa efeito estufa retendo parte da radiação solar refletida pela superfície do planeta Terra.
- b) O processo de fotossíntese das plantas contribui para o aquecimento global.
- c) O Protocolo de Quioto não visa eliminar totalmente o efeito estufa.

3. (PUC-RIO 2008) – Entre outros processos, o reflorestamento contribui para a diminuição do efeito estufa, ao promover o:

- a) Aumento da liberação de gás carbônico para a atmosfera.
- b) Aumento da fixação do carbono durante a fotossíntese.
- c) Aumento da respiração durante o crescimento das plantas.

4. (ENEM 2013) – Sabe-se que o aumento da concentração de gases como gás carbônico (CO₂), gás metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) na atmosfera é um dos fatores responsáveis pelo agravamento do efeito estufa. A agricultura é uma das atividades humanas que pode contribuir, tanto para a emissão, quanto para o sequestro desses gases, dependendo do manejo da matéria orgânica do solo.

ROSA, A. H.; COELHO, J. C. R. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, São Paulo, n. 5, nov. 2003 (adaptado).

De que maneira as práticas agrícolas podem ajudar a minimizar o agravamento do efeito estufa?

- a) Adotando técnica de rotação de culturas, onde o aumento nos teores de carbono e matéria orgânica no solo são evidentes.
- b) Liberando o CO₂ presente no solo através das queimas de matéria orgânica.
- c) Diminuindo a quantidade de matéria orgânica do solo.

5. (UVA – 2017, modificada) A poluição é um grave e preocupante problema urbano da atualidade. Estudiosos do assunto têm demonstrado grande preocupação a respeito das possíveis consequências do “efeito estufa”, como:

- a) O grande aquecimento da atmosfera provocado pelo excesso de nuvens.
- b) O acúmulo de energia proveniente do sol que chega na superfície da terra, irradiando calor para os gases na troposfera.
- c) A elevação da temperatura atmosférica devido à escassez de gás carbônico proveniente da queima de combustíveis.

6. (Instituto Machado de Assis) – O CO₂ é o principal causador do fenômeno conhecido como:

- a) Eutrofização
- b) Efeito estufa
- c) Chuva ácida

5 DENSIDADE

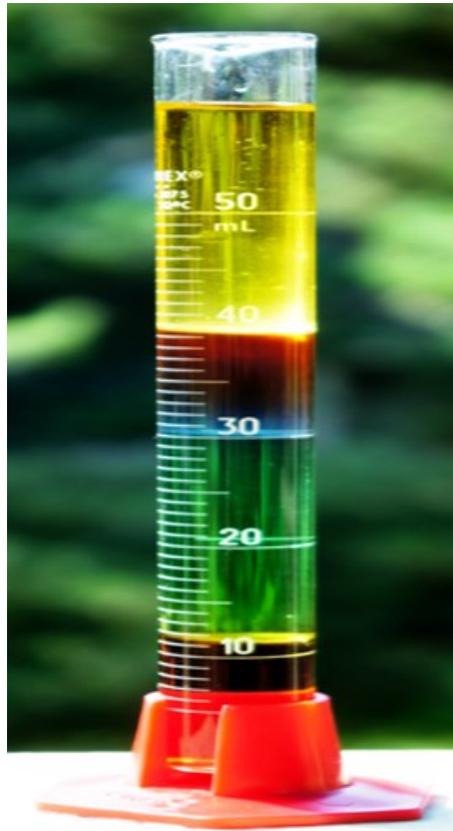


Figura 14 - Líquidos com diferentes níveis de densidade
Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Densidade>.

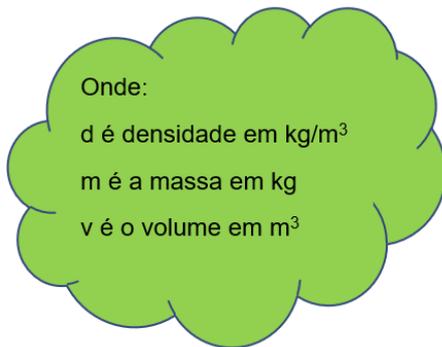
A densidade é uma propriedade, específica de cada material, que serve para identificar uma substância (Fogaça, 2020). Ela determina a quantidade de matéria que está presente em um certo volume. A grandeza física da densidade é a razão entre a massa (m) e o volume (v) de materiais nos estados sólidos e líquidos. Matematicamente, a expressão usada para se calcular a densidade ou massa específica, é dada por:

$$densidade = \frac{massa}{volume}$$

$$volume = \frac{massa}{densidade}$$

$$massa = densidade \cdot volume$$

Ou simplesmente assim



$$d = \frac{m}{v}$$

$$v = \frac{m}{d}$$

$$m = d \cdot v$$

A densidade é diretamente proporcional à massa e inversamente proporcional ao volume. No SI (sistema Internacional de Unidades), podemos expressar a unidade de densidade em kg/m³. Portanto, podemos usar também em unidades de gramas por centímetro cúbico (g/cm³) ou gramas por mililitro (g/ml), dentre outras unidades.



Figura 15 – Volume e massa do chumbo, água e madeira.
Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Chumbo>. <https://www.publicdomainpictures.net/pt/view-image.php?image=164885&picture=cubos-de-gelo>.

Como podemos perceber na figura 15, o peso é usado como sinônimo de massa erroneamente. Para distinguir, o primeiro é a massa multiplicado pela gravidade, já o segundo é a quantidade de matéria que um corpo tem. Enfim, 1 cm³ de chumbo tem mais matéria que 1 cm³ de água ou madeira, por isso sua densidade é maior.

Como a massa do corpo é diretamente proporcional à densidade, percebe-se que no aumento de uma à outra também aumenta. Classificamos esse fato como grandezas inversamente proporcionais. Quando comparada a densidade com o volume, a densidade diminui à medida que o volume aumenta e vice-versa, então essas duas grandezas, densidade e volume, são inversamente proporcionais.

A propriedade usada para identificar e diferenciar uma substância de outra é chamada de densidade absoluta. Cada substância tem sua densidade específica. A densidade relativa de um material é a relação entre a sua densidade absoluta e a densidade de uma substância estabelecida como padrão, no caso, a água. No cálculo da densidade relativa de sólidos e líquidos, o padrão usualmente escolhido é a densidade absoluta da água, que corresponde a $1,0 \text{ g/cm}^3$ a $4,0 \text{ °C}$ ou $1,0 \text{ kg/m}^3$ no SI. A densidade de um sólido ou líquido depende da temperatura e, principalmente, da natureza da sua estrutura cristalina, haja vista que é possível termos materiais com mesmas moléculas, mas com arranjos diversos, assim, existem várias densidades. Em resumo, comparando com a água:

- O corpo que afunda na água tem sua densidade ou massa específica **maior** que a da água;
- O corpo que flutua na água tem sua densidade ou massa específica **menor** que a da água;
- A razão entre a massa específica de uma substância e a massa específica da água é chamada de densidade relativa ou simplesmente densidade.

Vejamos:

A densidade relativa de um corpo é igual a massa do corpo no ar, pela massa de um volume igual de água.

$$\text{densidade} = \frac{\text{massa do corpo no ar}}{\text{massa de igual volume de água}}$$

Ex. A densidade relativa do chumbo é 11,34, isso quer dizer que a massa do chumbo tem 11,34X a massa de água para um mesmo volume.

- Os sólidos e líquidos dilatam muito pouco com a variação da temperatura, pouco influenciando no volume;
- Os gases se expandem muito facilmente com a variação de temperatura e pressão, que precisam ser especificadas ao trabalhar com a densidade de gases.

Os gases são estados físicos muito versáteis da matéria, por isso, precisamos levar em consideração, ao calcularmos a densidade, outras variáveis além do volume e da massa, tais como: temperatura, pressão, massa molar, quantidade de matéria. Lembrando que moléculas gasosas estão sempre em movimento. Trataremos desses assuntos nos capítulos seguintes, agora, vamos calcular a densidade de um gás a partir da equação Clapeyron (equação de estados dos gases ideais).

5.1 Densidade de um gás



Figura 16 – balão de ar quente.

Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Bal%C3%A3o_de_ar_quente

Para calcular a pressão de um gás, iremos usar a equação de Clapeyron.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Vamos substituir a quantidade de matéria (representada pela letra n , chamada também de números de mols), na equação de estados dos gases ($P.V = n.R.T$).

$$n = \frac{m}{M}$$

Onde: m é massa em gramas;

M é massa molar.

$$P . V = n . R . T$$

$$P . V = \frac{m}{M} . R . T$$

$$P . M = \frac{m}{V} . R . T$$

$$\frac{P . M}{R . T} = \frac{m}{V}$$

OU

$$\frac{m}{V} = \frac{P . M}{R . T}$$

Observe a razão entre a $\frac{m}{V}$ e a densidade $d = \frac{m}{V}$

$$d = \frac{P . M}{R . T}$$

Onde: P é pressão (atm)

M é massa molar (g/mol)

T é temperatura (Kelvin)

R é constante universal (atm.L.mol⁻¹.K⁻¹)

d é que é a densidade do gás!

$$d = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}$$

$$d = \frac{(atm) \cdot (g \cdot mol^{-1})}{(atm \cdot L \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}) \cdot (K)}$$

$$d = \frac{(\cancel{atm}) \cdot (g \cdot \cancel{mol}^{-1})}{(\cancel{atm} \cdot L \cdot \cancel{mol}^{-1} \cdot \cancel{K}^{-1}) \cdot (\cancel{K})}$$

$$d = \frac{g}{L}$$

Onde: m é em gramas (g)

V é em litro (L)

$$d = \frac{m}{V}$$

Unidade de densidade de um gás:

$$d = 1 \text{ g/L}$$

5.2 Exercícios de fixação sobre densidade

1. (EXEMPLO) Uma solução foi preparada misturando-se 30 gramas de um sal em 300 g de água. Considerando-se que o volume da solução é igual a 300 mL, a densidade dessa solução em g/mL será de:

$$m = 30 + 300 = 330 \text{ g}$$

$$v = 300 \text{ ml}$$

$$d = ?$$

- a) 10,0
- b) 1,0
- c) 0,9
- d) 1,1
- e) 1,2

$$d = \frac{m}{v}$$

$$d = \frac{330}{300}$$

$$d = 1,1 \text{ g/ml}$$

1. Uma solução foi preparada misturando-se 60 gramas de um sal em 300 g de água. Considerando-se que o volume da solução é igual a 300 mL, a densidade dessa solução em g/ml será de:
2. Uma solução foi preparada misturando-se 80 gramas de um sal, e sua densidade ficou 2 g/ml. Qual o volume ocupado por esta solução?
3. Se um corpo tem a massa de 20 g e densidade igual a 5 g/cm³. Qual o volume desse corpo?
4. Se um corpo tem a massa de 80 g e densidade igual a 4 g/cm³. Qual o volume desse corpo?
5. Calcule o volume de um corpo, cuja massa deste objeto constituído de ouro maciço é 500 g e sua densidade é de 20 g/cm³.
6. Calcule o volume de um corpo, cuja massa deste objeto constituído de ouro maciço é 0,6 kg e sua densidade é de 10 g/cm³.

6 ÁTOMOS E MOLÉCULAS (MOL)

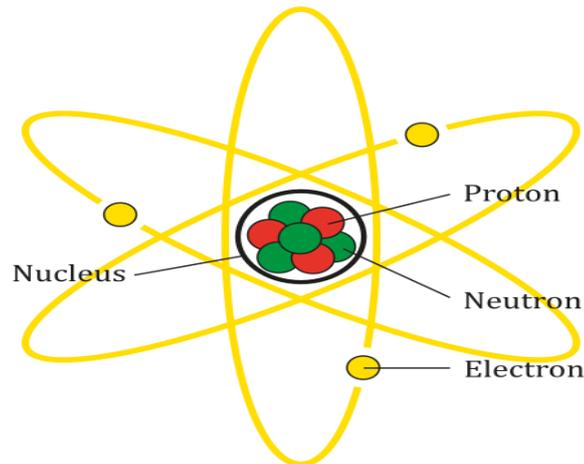


Figura 17 – O átomo e suas partes

Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atom_Diagram.svg

Em meados de 400 anos antes de Cristo, os filósofos da Grécia, Demócrito e Leucipo, usaram o termo “átomo” como nome dado ao formador da matéria (Encyclopædia, 2022). Elementos químicos, moléculas, substâncias e materiais orgânicos ou inorgânicos são formados por átomos, ou, tudo aquilo que tem massa e ocupa lugar no espaço é formado por átomo. Mais de dois mil anos depois, com contribuições de Ernest Rutherford, Niels Henrik David Bohr e James Chadwick, constatou-se a divisibilidade do átomo em prótons, nêutrons e elétrons, a partir daí, o átomo não era mais a menor parte da matéria (Encyclopædia, 2022). Todavia, sua visualização não é possível e a comprovação foi feita por meio de experimentos químicos e físicos, como também por modelos matemáticos.

A união dos átomos forma as moléculas, essas são constituídas por átomos iguais ou totalmente diferentes. Existem moléculas simples, como a do gás nitrogênio (N_2) da composição atmosférica. Por outro lado, existem moléculas bem mais complexas com números expressivos de átomos, a exemplo de buckyballs (mais de 60 átomos de carbono ligados em formato de esfera, como na figura 18), que são as maiores moléculas já encontradas no espaço (WIKIPÉDIA, 2020).

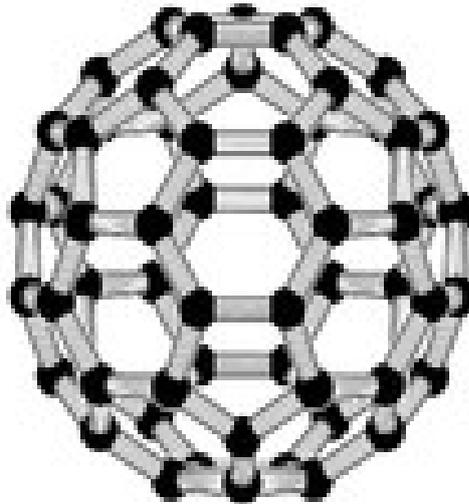


Figura 18 - Buckminsterfulereno é uma molécula de fullereno esférica com 60 átomos de carbono
Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Buckminsterfulereno>.

6.1 Massa atômica

Tabela periódica

3 — número atômico
Li — símbolo químico
lítio — nome
6,94 — peso atômico (massa atômica relativa)

1 H hidrogênio 1,008																	2 He hélio 4,0026
3 Li lítio 6,94	4 Be berílio 9,0122											5 B boro 10,81	6 C carbono 12,011	7 N nitrogênio 14,007	8 O oxigênio 15,999	9 F flúor 18,998	10 Ne neônio 20,180
11 Na sódio 22,990	12 Mg magnésio 24,305											13 Al alumínio 26,982	14 Si silício 28,086	15 P fósforo 30,974	16 S enxofre 32,06	17 Cl cloro 35,45	18 Ar argônio 39,95
19 K potássio 39,098	20 Ca cálcio 40,078(4)	21 Sc escândio 44,956	22 Ti titânio 47,867	23 V vanádio 50,942	24 Cr cromo 51,996	25 Mn manganês 54,938	26 Fe ferro 55,845(2)	27 Co cobalto 58,933	28 Ni níquel 58,693	29 Cu cobre 63,546(2)	30 Zn zinco 65,38(2)	31 Ga gálio 69,723	32 Ge germânio 72,630(8)	33 As arsênio 74,922	34 Se selênio 78,971(8)	35 Br bromo 79,904	36 Kr criptônio 83,798(2)
37 Rb rubídio 85,468	38 Sr estrôncio 87,62	39 Y ítrio 88,906	40 Zr zircônio 91,224(2)	41 Nb nióbio 92,906	42 Mo molibdênio 95,95	43 Tc tecnécio	44 Ru rutênio 101,07(2)	45 Rh ródio 102,91	46 Pd paládio 106,42	47 Ag prata 107,87	48 Cd cádmio 112,41	49 In índio 114,82	50 Sn estanho 118,71	51 Sb antimônio 121,76	52 Te telúrio 127,60(3)	53 I iodo 126,90	54 Xe xenônio 131,29
55 Cs césio 132,91	56 Ba bário 137,33	57 a 71	72 Hf háfnio 178,48(6)	73 Ta tântalo 180,95	74 W tungstênio 183,84	75 Re rênio 186,21	76 Os osmio 190,23(3)	77 Ir irídio 192,22	78 Pt platina 195,08	79 Au ouro 196,97	80 Hg mercúrio 200,59	81 Tl talho 204,38	82 Pb chumbo 207,2	83 Bi bismuto 208,98	84 Po polônio	85 At astato	86 Rn radônio
87 Fr frâncio	88 Ra rádio	89 a 103	104 Rf rutherfordio	105 Db dúbnio	106 Sg seabórgio	107 Bh bório	108 Hs hásio	109 Mt meitnério	110 Ds darmatádio	111 Rg roentgenio	112 Cn copernício	113 Nh nihônio	114 Fl fleróvio	115 Mc moscóvio	116 Lv livermório	117 Ts tennesso	118 Og oganessônio

Figura 19: Tabela periódica

Fonte: <https://www.tabelaperiodica.org/wp-content/uploads/2020/03/Tabela-completa-5-algarismos-sem-intervalo-v8-colorida.pdf>

A medida dos números de massas dos átomos é determinada como massa atômica, baseada no elemento químico carbono 12, sendo representada pela letra (A). Para determinado elemento, é a soma de prótons e nêutrons que compõe o núcleo do átomo. Essa medida de massa tem representação por u.m.a. (unidade de massa

atômica) ou simplesmente u. Em outras palavras, é o número que indica quantas vezes o átomo é mais pesado que 1/12 do isótopo do carbono 12.

Ficando:

C^{12} o padrão atual de massa atômica.

$\frac{1}{12} C$ é a unidade padrão de massa atômica (u.m.a.).

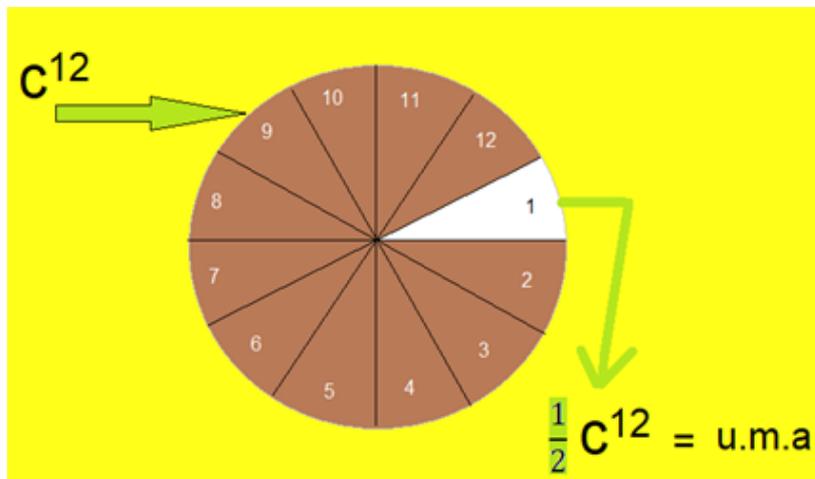


Figura 20 – Unidade Padrão de Massa Atômica.
 Fonte: Autor 2021

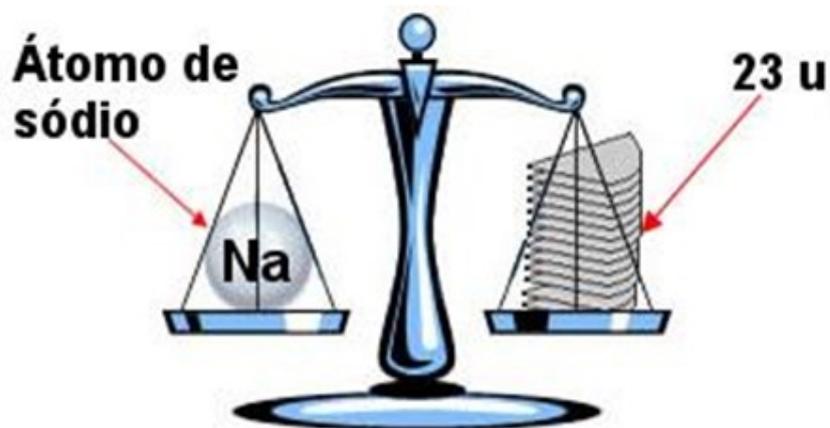


Figura 21 – Exemplo de massa atômica do átomo de sódio
 Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/massa-atmica.htm>.

6.3 Números de mols



Mol é a denominação de unidade de massa utilizada principalmente na Química, com o objetivo de tornar os trabalhos numéricos com partículas, massa e volume, de uma determinada matéria, mais próximos do mundo macroscópico. Segundo o dicionário online de português, mol significa “Massa molecular de uma substância, medida em gramas; indica quantidade e contém, em qualquer substância, $6,02 \times 10^{23}$ átomos, moléculas, íons ou radicais” (Dicio, 2020). Reafirmando, é a quantidade de matéria referente ao isótopo do carbono12, sendo relacionado ainda a constantes de Avogadro. Isso significa que 1 mol de uma matéria contém $6,02 \cdot 10^{23}$ entidades elementares dessa matéria (átomos, prótons, nêutrons, elétrons).

Exemplo:

- 1 mol de gás carbônico possui uma massa de 44 gramas, que, por sua vez, possui $6,02 \cdot 10^{23}$ entidades.

Como vimos, a partir do número de mol, é possível determinar diversos dados referentes a uma determinada matéria no mundo microscópico, independentemente de seu estado físico ou constituição. Entretanto, para calcular o número de mol (n), podemos determiná-lo de uma maneira bastante simples, sendo a relação entre a massa do corpo e a massa molar, matematicamente:

$$n = \frac{m}{M}$$

Onde:

n é número de mol

m é a massa corpo;

M é a massa molar.

Depois de somadas as massas atômicas dos átomos que compõem a molécula (chegando à massa molar), basta dividir a massa (m) em gramas, pela massa molar. Na resolução dos exercícios, os alunos devem calcular primeiro a massa molar e, em seguida, os números de mols, como citado acima. Lembrando sempre do pressuposto:

1 mol ----- $6,02 \cdot 10^{23}$ entidades elementares-----massa molar-----volume molar (22,4 L)

Exemplos:

1. Vamos calcular os números de mols de uma amostra de gás carbônico, onde

temos **100g** desse gás: (CO_2).

$$n = \frac{m}{M}$$

$$n = \frac{100}{44}$$

$$n = 2,27 \text{ mols}$$

CO_2

$$\text{C} = 1 \times 12 = 12$$

$$\text{O} = 2 \times 16 = \underline{32}$$

$$44 \text{ g/mol}$$

2. Calcular os números de mols de gás carbônico da composição atmosférica do Planeta Vênus, cuja a massa da atmosfera é $4,8 \times 10^{20}$ kg:

Massa da atmosfera de Vênus - Transformar em gramas:

$$4,8 \cdot 10^{20} \text{ quilogramas}$$

$$4,8 \cdot 10^{20} \times 10^3 \text{ g} =$$

$$4,8 \cdot 10^{20+3} =$$

$$4,8 \cdot 10^{23} \text{ gramas}$$

$$n = \frac{m}{M}$$

$$n = \frac{4,8 \cdot 10^{23}}{44}$$

$$n = \frac{48, \cdot 10^{22}}{44}$$

$$n = 1,10 \cdot 10^{22} \text{ mols}$$

$$4,8 \cdot 10^{20} \text{ kg}$$

$$4,8 \cdot 10^{20} \times 10^3 =$$

$$4,8 \cdot 10^{20+3} = 4,8 \cdot 10^{23}$$

6.4 Exercícios de fixação sobre números de mols

1. Submetida a um tratamento médico, uma pessoa ingeriu um comprimido contendo 45 mg de ácido acetilsalicílico, cuja molécula é ($C_9H_8O_4$). Calcule o número de mols desse ácido:
2. Qual é o número de mols de uma amostra de gás etano, cuja molécula é (C_2H_6), e tem uma massa de $5 \cdot 10^{-23}$ gramas?
3. Calcule o número de mols de uma amostra de gás oxigênio (O_2), cuja massa é $1,2 \cdot 10^{19}$ kg?
4. Calcule o número de mols de uma amostra de gás carbônico (CO_2), cuja massa é $4,8 \cdot 10^{20}$ kg?

7 HIPÓTESE DE AVOGADRO



Figura 22 – Número de Avogadro
Fonte: Autor, 2021.

Lei de Avogadro (teoria de Avogadro; hipótese de Avogadro; número de Avogadro) é um princípio estabelecido em 1811, pelo químico italiano Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro (1776-1856), em que volumes iguais de gases à mesma temperatura e pressão contêm o mesmo número de moléculas independentemente da sua natureza química e propriedades físicas (Magalhães et al 2013).

Esse número (número de Avogadro) é $6,02 \cdot 10^{23}$. É o número de moléculas de qualquer gás presente em um volume de 22,4 L e é o mesmo para o mais leve dos gases (hidrogênio), como para um gás pesado, tal como o dióxido de carbono ou o bromo. A lei pode ser indicada matematicamente:

$$\frac{V}{n} = k$$

Onde:

V é o volume de gases.

n é a quantidade de substância do referido gás.

k é uma constante de proporcionalidade.

A consequência mais importante da lei de Avogadro é que a constante do gás ideal tem o mesmo valor para todos os gases. A justificativa é o tamanho das partículas de um gás é desprezível em relação aos espaços entre elas.

Isso significa que a constante:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1 \cdot n_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2 \cdot n_2} = \text{Constante}$$

Onde:

P é a pressão

V é o volume

T é a temperatura

n é número de mols

Um mol de um gás ideal ocupa 22,4 litros nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP), e 24,4 litros em condições ambientais de temperatura e pressão (CATP), sendo 273 K a temperatura e a pressão 1 atm. Esse volume é conhecido muitas vezes como volume molar de um gás perfeito (ideologicamente considerado para facilitar o estudo). (Magalhães et al 2013).

O número de Avogadro é essencial aos estudos dos gases, pois permite o cálculo da quantidade de substância pura (mol), que é a base das relações estequiométricas. Pode determinar ainda a massa molecular dos gases estudados e assim tornar possível a comparação de qual molécula é mais pesada que a outra, ou os pesos dos volumes iguais.

O Número de Avogadro (convencionalmente representado por N em cálculos químicos e físicos) é agora considerado o número de átomos presentes em 12 gramas de carbono¹² isótopo (um mol de carbono 12) e pode ser aplicado a qualquer tipo de substância química.

A lei dos gases ideais, juntamente com a lei de Avogadro, tem relação íntima com a quantidade de átomos e moléculas gasosas para converter os valores em massa específica ou massa em grama, comparando-se com o volume ocupado pelo gás, caso não varie a pressão e a temperatura. Nessas condições os números de

partículas são iguais para os mesmos volumes, independente do tamanho da molécula de gás.

Isso implica que iguais volumes de gás oxigênio e gás cloro, por exemplo, desde que apresentem comportamento de gás ideal e estejam CNTP, contêm o mesmo número de moléculas.

A lei de Avogadro pode traduzir-se matematicamente por:

$$\frac{V_i}{\eta_i} = \frac{V_f}{n_f} \longleftrightarrow \frac{V_i}{\eta_i} \times \frac{V_f}{n_f}$$

$$\frac{V_i}{V_f} = \frac{\eta_i}{n_f} \longleftrightarrow V_i \cdot n_f = V_f \cdot \eta_i$$

Onde:

V_i é o volume inicial

V_f é o volume final

η_i é a quantidade inicial de gás

η_f é a quantidade final de gás

Enfim, com a junção das leis: Avogadro; Boyle; Charles e Gay-Lussac, chegamos à lei Clapeyron ou equação de estado de um gás, onde se relaciona a pressão, o volume, os números de mols e a temperatura de um gás. (Magalhães et al 2013).

$$\mathbf{P \cdot V = n \cdot R \cdot T.}$$

7.1 Exercícios de fixação de constante de avogadro

1. Silicatos são compostos de grande importância nas indústrias de cimento, cerâmica e vidro. Quantas gramas de silício há em 3,0 mols do silicato natural Mg_2SiO_4 ?

2. A Tabela a seguir apresenta os valores de temperatura, pressão e volume para cinco gases diferentes, contidos em recipientes separados e fechados:

Recipientes	Gás	Temperatura (K)	Pressão (atm)	Volume (L)
I	NO_2	298	2	11,2
II	Ar	298	2	22,4
III	NH_3	298	2	33,6
IV	F_2	298	2	44,8
V	CO_2	298	2	56,0

Baseando-se na lei de Avogadro, calcule o número de moléculas em cada recipiente.

3. Segundo o italiano *Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro*, “quando dois ou mais gases estão ocupando o mesmo volume, nas mesmas condições de temperatura e pressão, apresentam sempre o mesmo número de moléculas”. Baseado na afirmação proposta por ele, temos a seguir alguns recipientes fechados contendo gases, submetidos à mesma temperatura e pressão:

I NO_2 30L	II NO 75L	III NH_3 30L	IV H_2 90L
---------------------------	--------------------------	-----------------------------	---------------------------

Quantos átomos de oxigênio existem nos recipientes I e II? E quantos átomos de hidrogênio contém no recipiente III e IV?

4. (Mackenzie-SP) Considerando dois gases com comportamento ideal, CH_4 e C_2H_6 , contidos em compartimentos separados e fechados, ambos com volumes iguais a 15 L, sob as mesmas condições de temperatura e pressão, de acordo com a hipótese de Avogadro, pode-se afirmar que ambos os gases:
- a) Possuem a mesma massa.
 - b) Possuem a mesma massa molar.
 - c) Contêm a mesma quantidade de moléculas.

8 ESCALAS TERMOMÉTRICA E TEMPERATURA

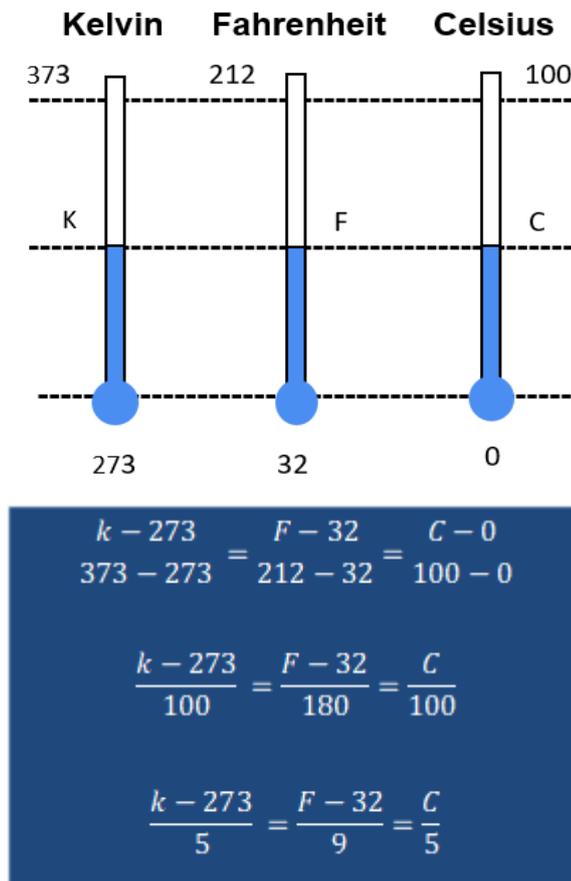


Figura 23 – Escalas termométricas mais usadas atualmente
Fonte: Autor, 2021.

As escalas termométricas citadas na figura 22 são Celsius, Fahrenheit e Kelvin, sendo a última a mais utilizada em pesquisas científicas. Trabalharemos com as escalas Celsius e Kelvin, já que somente elas são suficientes para esse estudo de cálculo de temperatura dos planetas.

As escalas termométricas são utilizadas para medir o grau de agitação das moléculas, ou seja, elas são utilizadas para indicar se um determinado corpo está quente ou frio quando o termômetro entra em equilíbrio térmico com o corpo em questão, através do contato. O corpo mais quente vibra as moléculas e o termômetro dilata, marcando a temperatura. (PUC, 2022)

Já existiram diversas escalas termométricas ao longo da História, mas apenas as três, citadas anteriormente, são mais utilizadas nos dias atuais. Os pontos de fusão e ebulição da água são o padrão de referência usado nessas escalas.

8.1 Escala Celsius

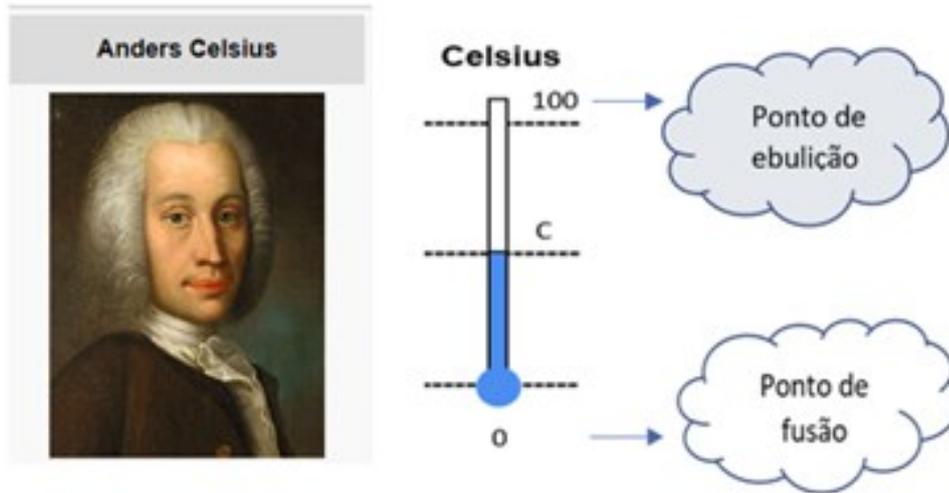


Figura 24 – Criador da escala Celsius baseado nas temperaturas de gelo e vapor d'água
Fonte: Autor, 2021.

A escala termométrica do astrônomo sueco Anders Celsius, criada em 1742 (PUC, 2022), é chamada de centígrado por possuir cem intervalos entre os pontos de fusão e ebulição, ou seja, utiliza como referência as temperaturas de fusão do gelo (0°C) e da água fervente (de 0° a 100° Celsius), como na figura 25.



Figura 25 – Um iceberg no Oceano Atlântico Norte, em 2007 / água em ebulição
Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Iceberg> - <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ebulição>.

8.2 Escala Kelvin

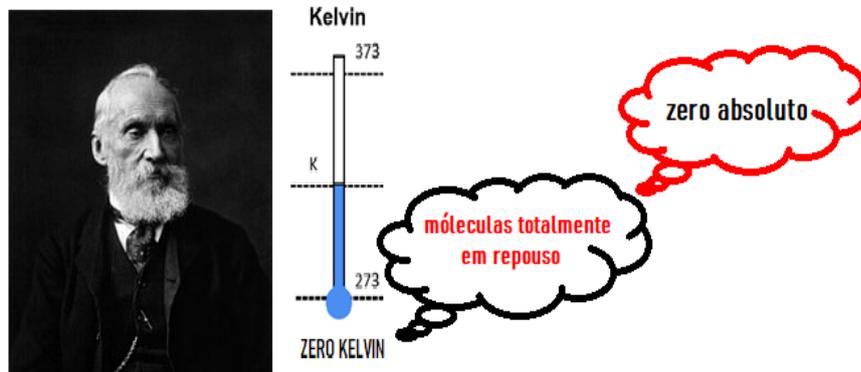


Figura 25 – Criador da escala absoluta, Lorde Kelvin
Fonte: Autor, 2021.

Escala criada no século XIX, pelo engenheiro irlandês William Thomson, que detinha o título de um nobre “lorde” no Reino Unido, daí o nome Lorde Kelvin. Para ele, a ausência total de movimento das moléculas, significando a temperatura zero, não era percebida pelas escalas termométricas da época, justificando a criação de sua escala com “zero absoluto”, ausente de números negativos. Kelvin estipulou a temperatura de 273 K para o gelo fundente e 373 K para a água em ebulição, seguindo a ideia de Celsius. (Magalhães et al 2013)

Ponto de fusão da água = 273 K

Ponto de ebulição da água = 373 K

Hoje, Kelvin é a escala termométrica adotada pelo Sistema Internacional (SI).

8.3 como converter uma escala termométrica em outra

Caso queiramos descobrir valores iguais nas duas escalas Kelvin e Celsius, ou seja, transformar de uma escala para outra, é essencial utilizar a seguinte relação, como na figura 23:

$$\frac{T_C - 0}{100 - 0} = \frac{T_k - 273}{373 - 273}$$

$$\frac{T_C}{100} = \frac{T_k - 273}{100}$$

$$T_C = T_k - 273$$

Ou

$$T_k = T_c + 273$$

Onde:

T_c = Temperatura em graus Celsius

T_k = Temperatura Kelvin

Resumindo: para converter de Celsius para kelvin é subtrair 273, e para transformar de kelvin em Celsius é somar 273. Por exemplo, para transformar a temperatura da atmosfera terrestre de 295 Kelvin em graus Celsius, utilizamos a expressão citada acima, da seguinte maneira:

$$T_c = T_k - 273$$

$$T_c = 295 - 273$$

$$T_c = 22 \text{ }^\circ\text{C}$$

8.4 Exercícios de fixação de escala termométrica

1. Na tabela a seguir, temos os valores das temperaturas dos pontos de fusão e de ebulição do oxigênio, do fenol e do pentano. Quais seriam esses valores na escala kelvin?

Substância	Ponto de Fusão (°C)	Ponto de Ebulição (°C)
Oxigênio	-218,4	-183
Fenol	43	182
Pentano	-130	36,1

2. A preocupação com o efeito estufa tem sido cada vez mais notada. Em alguns dias do verão de 2012, a temperatura na cidade de São Paulo chegou a atingir 35 °C. O valor dessa temperatura em escala Kelvin é:
3. Dois termômetros, um com a escala Celsius e outro na escala Kelvin, foram colocados no mesmo fluido. Sabendo que a temperatura registrada na escala Celsius era de 45 °C, qual é a temperatura marcada no termômetro em Kelvin?
4. Um termômetro digital, localizado em uma praça na Inglaterra, marca a temperatura de 104 K. Essa temperatura, na escala Celsius, corresponde a:

9 A LEI DE CLAPEYRON

**EQUAÇÃO DOS GASES IDEAIS
CLAPEYRON**

pressão	volume	quantidade de matéria	constante dos gases	temperatura
P	· V	= n	· R	· T
atm ou Pa	L ou m ³	mol		Kelvin (K)

Figura 26 – As variáveis de um gás ideal e criador da equação, Benoît Paul-Émile Clapeyron
 Fonte: Autor, 2021.

Para chegar à equação dos gases, Clapeyron estudou e unificou as leis de transformações gasosas criadas por físicos e químicos que viveram entre os séculos XVII e XIX. As três leis dos gases e a lei de Avogadro, são denominadas: (M. Da Silva et al 2018)

- Lei de Boyle (transformação isotérmica);
- Lei de Charles (transformação isovolumétrica);
- Lei de Gay-Lussac (transformação isobárica);
- A lei de Avogadro.

9.1 A Lei de Boyle

Robert Boyle (1627-1691) criou a lei das transformações de temperatura constante, conhecida como Lei de Boyle, e descreve como a pressão de um gás faz variar o volume de uma certa massa de gás dentro de um recipiente sem ter sua temperatura alterada. (M. Da Silva et al 2018)

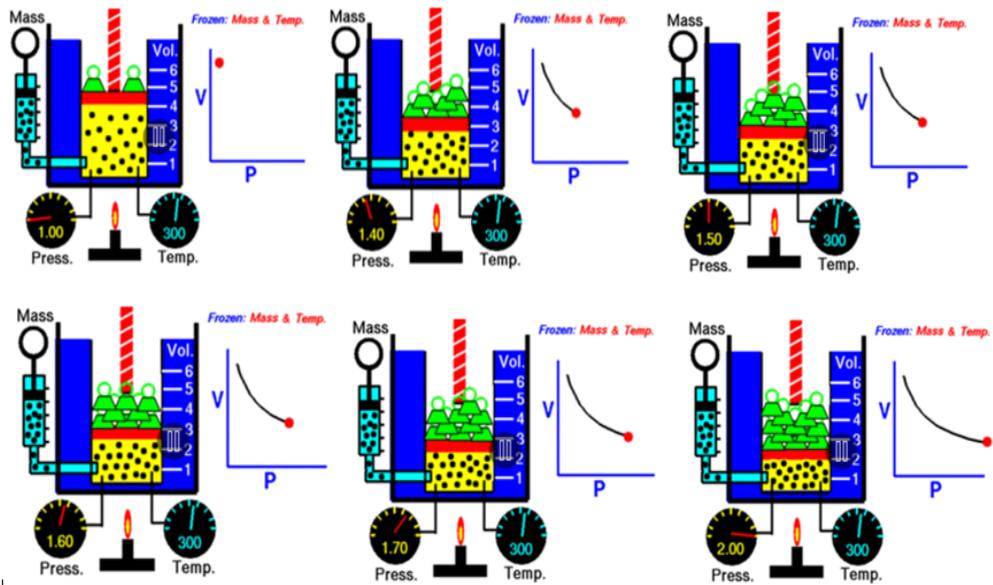
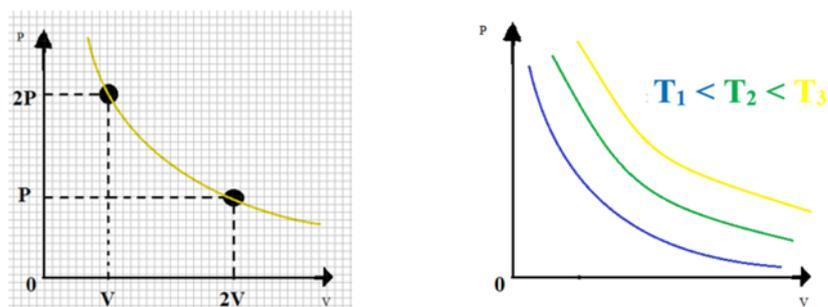


Figura 27 - Animação exibindo a relação entre pressão e volume quando a temperatura e o número de partículas estão constantes. Ao lado de cada figura, gráfico demonstrando a pressão em função do volume variando conforme a imagem.

Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Boyle-Mariotte

Matematicamente falando:

- O volume de um gás é inversamente proporcional a sua pressão, se a temperatura e a quantidade de gás se manter constante, em um recipiente.
- $P \cdot V = K$; onde P é a pressão do gás, V é o volume do gás, e k é uma constante.
- A multiplicação da pressão e do volume resulta numa constante para uma dada massa de gás confinado e isso se mantém enquanto a temperatura for constante. Para analisarmos melhor, seguem dois gráficos de pressão e volume.



$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

Figura 28 – Lei de Boyle maior volume menor pressão e vice-versa

Fonte: Autor, 2021.

- A equação de Boyle, atribuída aos gráficos representados na figura 28, mostra que conforme o volume aumenta, a pressão do gás diminui proporcionalmente e vice-versa. Faz saber que nessa transformação gasosa é sempre em temperatura constante e com a mesma massa de gás.

9.2 A Lei de Jacques Charles

Jacques Alexandre Cesar Charles (1746-1823) criou a lei das transformações de pressão constante, conhecida como Lei de Charles, e descreve como a temperatura faz variar o volume de uma certa massa de gás dentro de um recipiente sem ter a sua pressão alterada. (M. Da Silva et al 2018)

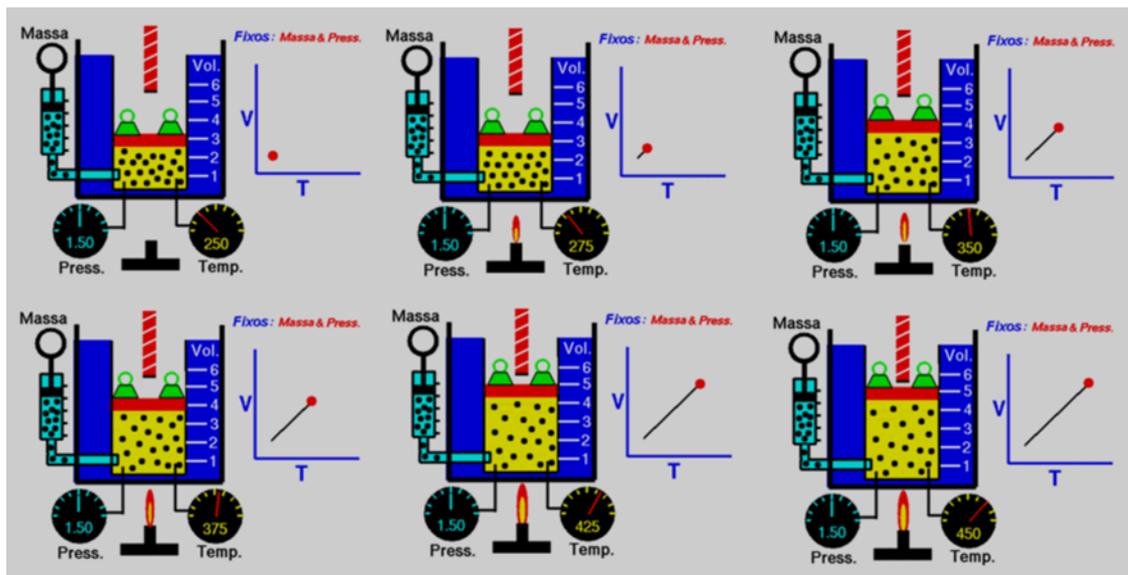


Figura 29 – Uma animação demonstrando a relação entre o volume e a temperatura à pressão constante

Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Charles.

Matematicamente falando:

- O volume de um gás é diretamente proporcional a sua temperatura, se a pressão e a quantidade de gás se manterem constantes, em um recipiente.
- $\frac{V}{T} = k$ onde: V é o volume do gás, T é a temperatura do gás, e k é uma constante.

- A equação afirma que o quociente entre volume e a temperatura é uma constante para uma dada massa de gás confinado e isso se mantém enquanto a pressão se mantiver constante.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

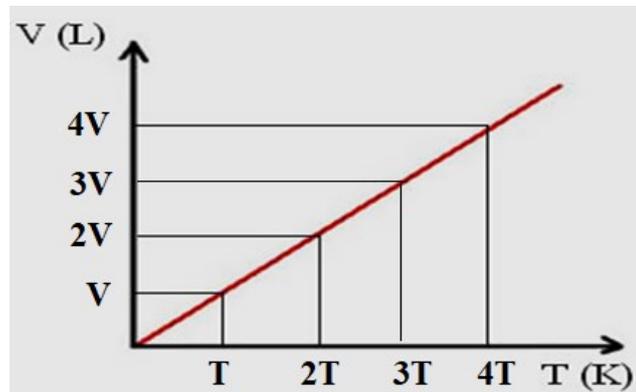


Figura 30 – Gráfico da Transformação Isobárica
Fonte: Autor 2021

- Essa equação mostra, o aumento da temperatura e do volume de gás, proporcionalmente. Da mesma forma, conforme a temperatura diminui, o volume do gás também.

Obs.: As expressões matemáticas da Lei de Gay-Lussac são igualmente semelhantes às da Lei de Charles

Resumindo:

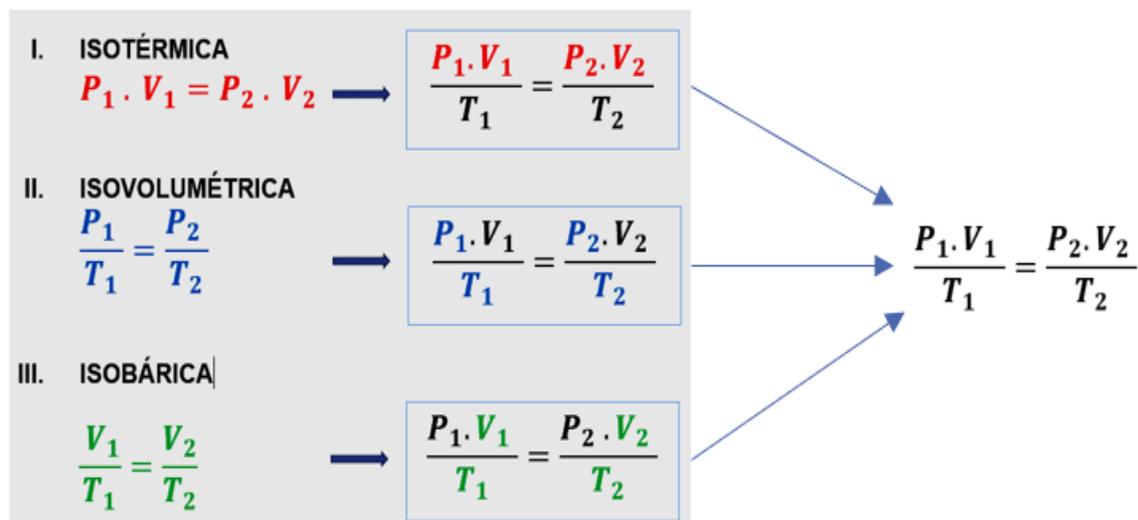


Figura 33 – Criação da Equação de Clapeyron a partir das Leis de Transformações Gasosas
Fonte: Autor, 2021.

9.3 A Lei de Gay-Lussac

Louis Joseph Gay-Lussac (1778-1850) criou a lei das transformações de volume constante, conhecida como a Lei de Gay-Lussac, e descreve como a temperatura faz variar a pressão de uma certa massa de gás, sem alterar o volume do gás dentro do recipiente. (M. Da Silva et al 2018)

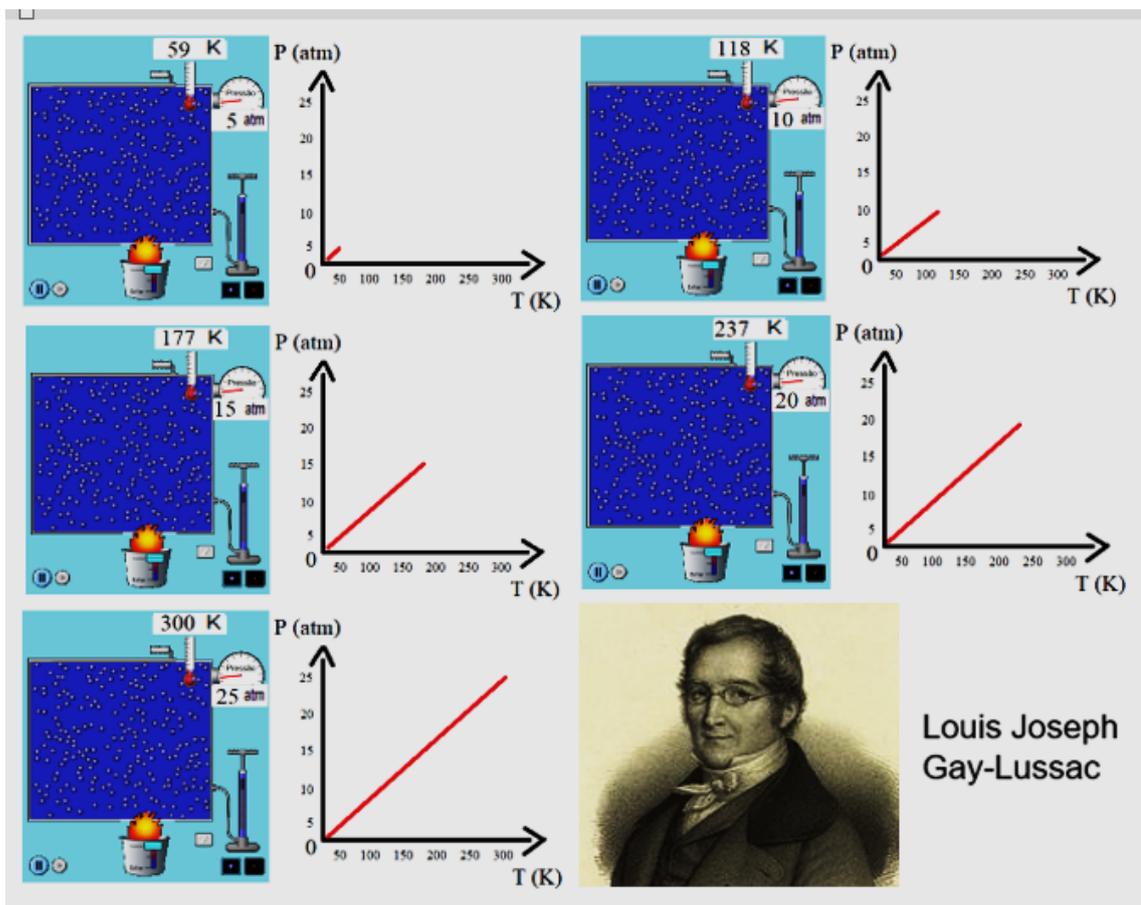


Figura 31 – Experimento virtual com o PhET colorado da lei isocórica
 Fonte: Autor, 2021.

Matematicamente falando:

- A pressão de um gás é diretamente proporcional a sua temperatura, se o volume e a quantidade de gás se mantem constante, em um recipiente.
- $\frac{P}{T} = k$, onde P é a pressão do gás, T é a temperatura do gás, e k é uma constante.

- A equação afirma que o quociente da pressão e da temperatura é uma constante para uma dada massa de gás confinado e isso se mantém enquanto o volume for constante.

Segue a equação matemática:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

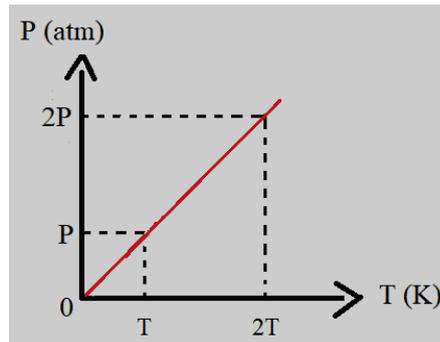
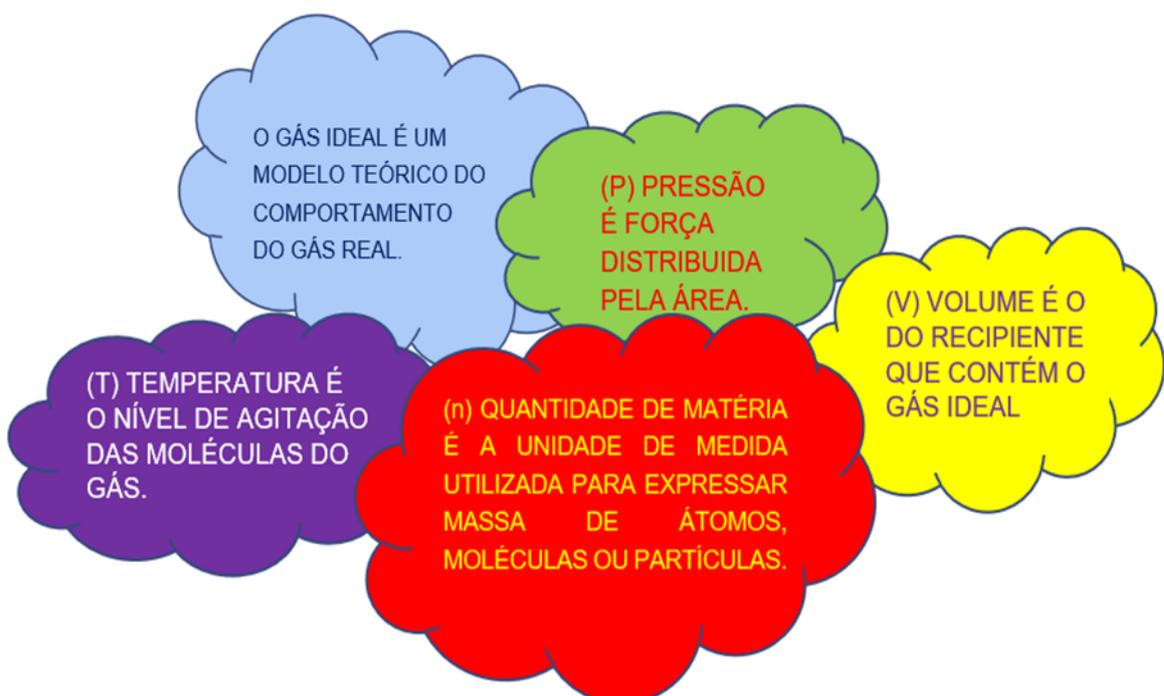


Figura 30 – Gráfico da Transformação Isovolumétrica
Fonte: Autor, 2021.

- Essa equação mostra que, conforme a temperatura aumenta, a pressão do gás aumenta proporcionalmente. Da mesma forma, conforme a temperatura diminui, a pressão do gás também diminui.

9.4 Gases Ideais



As substâncias podem se transformar em estado de gás. Ao alcançar esse comportamento, os átomos e moléculas ficam em movimentos livres, facilitando a variação de pressão, temperatura e volume. Para facilitar os trabalhos com essas variáveis, idealizou-se um modelo de gás, chamado de gases perfeitos ou gases ideais. Lembrando que não são todos os gases com comportamentos que podem ser aproximados por ideais, mas sim reais. É importante ressaltar que as três leis dos gases citadas acima expõem o comportamento dos gases perfeitos, na medida em que uma das grandezas (pressão ou temperatura ou volume) seja constante, as outras duas são variáveis.

Juntando as grandezas, fica:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Para que um gás seja classificado como ideal, são necessárias que as seguintes hipóteses sejam verdadeiras:

- As partículas movimentam-se desordenadamente em todas as direções, sem interações entre as moléculas (obedecem às leis de Newton);
- Colisão das moléculas dos gases entre si e com as paredes do recipiente são elásticas (conserva energia cinética) e exercem uma pressão;
- Ausência de forças de atração ou repulsão entre as moléculas;
- As partículas são de volumes desprezíveis e baixa densidade;
- O tamanho das partículas é desprezível em relação as suas distâncias.

9.5 Equação de Clapeyron

As variáveis de um gás mantêm uma relação sempre constante, em condições normais de temperatura (273 K) e pressão (1 atm.), a um volume de 22,4 litros, a cada mol do gás, de acordo com a Lei de Avogadro.

$$\frac{P.V}{T} = \text{constante}$$

$$\frac{1 \cdot 22,4}{273} = 0,082$$

$$\frac{1 \cdot 22,4}{273} = 2 \cdot 0,082 \quad \text{Para 1 mol}$$

$$\frac{1 \cdot 22,4}{273} = n \cdot 0,082 \quad \text{Para enes mol}$$

A Equação de Clapeyron (Benoit Paul Émile Clapeyron 1799 - 1864 - físico-químico) consiste na união das três leis dos gases e da lei de Avogadro, a qual relaciona as propriedades dos gases, quais sejam: volume, pressão e temperatura absoluta. (M. Da Silva et al 2018)

$$\frac{P.V}{T} = n.R$$

ou

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Onde,

P: pressão (atm)

V: volume (L)

n: número de mols (mol)

T: Temperatura (Kelvin)

R: constante universal dos gases

perfeitos: 0,082 atm.L/mol.k

Enfim, em uma análise da equação de Clapeyron, percebemos que, quanto maior for a temperatura, maior será a pressão, o que classificamos como grandezas diretamente proporcionais. Por outro lado, o aumento do volume é dependente do aumento da temperatura e da quantidade de matéria, concluímos que a temperatura e a quantidade de matéria são diretamente proporcionais ao volume do gás. Já a pressão e o volume são inversamente proporcionais, quando um aumenta, o outro diminui.

9.6 Exercícios de fixação de uso da Lei de Clapeyron

1. Calcule a temperatura do Planeta Vênus, usando os dados do site da NASA (Nasa, 2022), de acordo com a tabela abaixo e os exemplos no cálculo da temperatura de nosso Planeta Terra. (OBS: USE A EQUAÇÃO DOS GASES IDEAIS)

EXEMPLO DO CÁLCULO DA TEMPERATURA DO PLANETA TERRA USANDO A EQUAÇÃO DE CLAPEYRON:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$T = \frac{P \cdot V}{n \cdot R}$$

Pressão de superfície na Terra: ~ 1 atm:

$$T = \frac{1 \cdot V}{n \cdot R}$$

Agora o volume:

Massa total da atmosfera da Terra: ~ 5,1 . 10¹⁸ kg ou 51 . 10¹⁷ kg

Densidade de superfície da Terra: ~ 1,2 kg/m³ ou 12 . 10⁻¹ kg/m³

Então, fica fácil para calcular o VOLUME da atmosfera da Terra, usando a equação da densidade.

$$d = \frac{m}{V} \text{ ou } V = \frac{m}{d}$$

$$V = \frac{51 \cdot 10^{17}}{12 \cdot 10^{-1}} \text{ ou } V = 4,25 \cdot 10^{17+1}$$

$$V = 4,25 \cdot 10^{18} \text{ m}^3 \text{ ou } V \cong 425 \cdot 10^{16} \text{ m}^3$$

Ou ainda transformando de m^3 para litros:

$$425 \cdot 10^{16} \cdot 1000 \text{ L} \gg 425 \cdot 10^{16} \cdot 10^3 \gg 425 \cdot 10^{16+3} \gg 425 \cdot 10^{19} \text{ L}$$

Agora achamos o volume:

$$T = \frac{1 \cdot V}{n \cdot R}$$

$$T = \frac{1 \cdot 425 \cdot 10^{19}}{n \cdot R}$$

ou

$$T = \frac{425 \cdot 10^{19}}{n \cdot R}$$

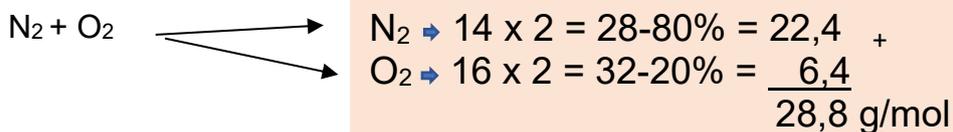
Agora, calculamos o número de mols (n), mas antes a massa molar (M)

Composição de gás na atmosférica (perto da superfície, em volume) na Terra:

Maior: 78% de gás nitrogênio (N_2), e 21% de gás oxigênio (O_2)

Então calculamos a massa molar!

A massa molar é a soma do peso dos átomos!



Agora, o número de mol!

Dividindo a massa da atmosfera gasosa (m), pela massa molar (M).

Massa total da atmosfera da Terra: $\sim 5,1 \cdot 10^{18} \text{ kg}$ ou $51 \cdot 10^{17} \text{ kg}$

Transformando kg em gramas multiplicando por mil:

$$51 \cdot 10^{17} \text{ kg} \cdot 10^3 = 51 \cdot 10^{17+3} = 51 \cdot 10^{20} \text{ g}$$

$$n = \frac{51 \cdot 10^{20}}{29} \text{ ou } n \cong 1,76 \cdot 10^{20} \text{ mols}$$

Substituindo na equação dos gases ideais:

$$T = \frac{425 \cdot 10^{19}}{n \cdot R}$$

$$T = \frac{425 \cdot 10^{19}}{1,76 \cdot 10^{20} \cdot R}$$

Agora, falta a constante dos gases perfeitos:

$$R \cong 0,082 \text{ ou } 8,2 \cdot 10^{-2} \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$T = \frac{425 \cdot 10^{19}}{1,76 \cdot 10^{20} \cdot R}$$

$$T = \frac{425 \cdot 10^{19}}{1,76 \cdot 10^{20} \cdot 8,2 \cdot 10^{-2}}$$

$$T = \frac{425 \cdot 10^{19}}{1,76 \cdot 8,2 \cdot 10^{20-2}}$$

$$T = \frac{425 \cdot 10^{19}}{14,4 \cdot 10^{18}}$$

$$T = 29,51 \cdot 10^{19-18}$$

$$T \cong 29,51 \cdot 10^1 \text{ K ou } T = 295,1 \text{ K}$$

Agora, transformando em graus Celsius:

$$T_C = T_K - 273$$

$$T_C = 295 - 273$$

$$T_C = 22 \text{ }^\circ\text{C}$$

ESSA É A TEMPERATURA DO PLANETA TERRA EM MÉDIA!

10 PRESSÃO ATMOSFÉRICA

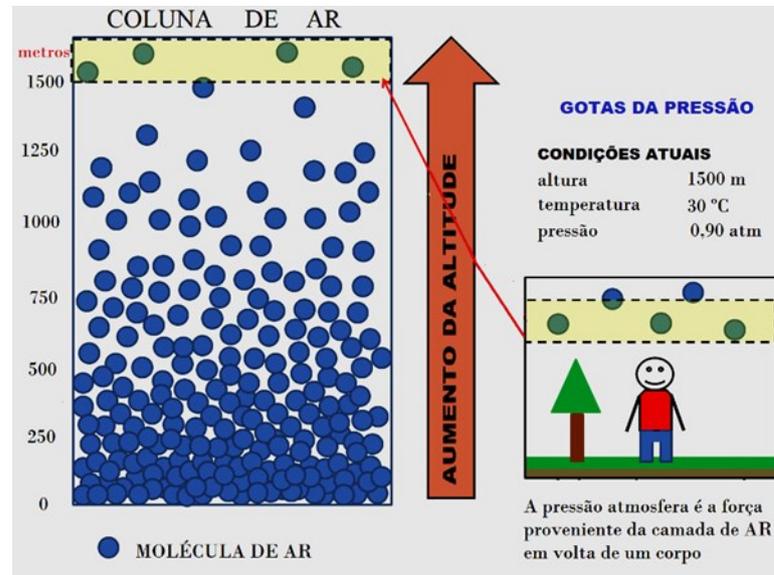


Figura 31 – modelo prático da pressão em relação à altura
 Fonte: <https://www.gratispng.com/png-bimqag/>, editado pelo Autor, 2021.

A camada de ar sobre as nossas cabeças é a responsável pela pressão atmosférica, gerando, então, uma força por unidade de área. A pressão atmosférica pode ser dada em diversas unidades, sendo as mais comuns, atmosférica (atm) e pascal (Pa). Podemos evidenciar, experimentalmente, que $1 \text{ atm} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, e, assim, trabalharmos com atm ou Pa de acordo com a igualdade acima. As colisões moleculares dos gases que fazem parte da atmosfera também contribuem na existência dessa grandeza escalar (a pressão).

10.1 Pressão Atmosférica e Temperatura

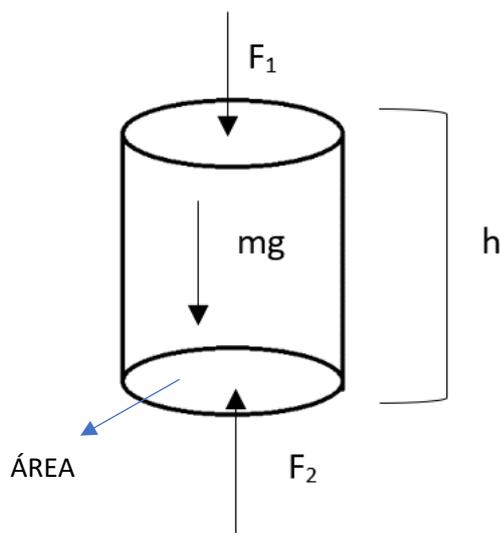
Partindo das transformações gasosas isovolumétricas sofridas por gases perfeitos, que obedecem a lei de Gay-Lussac, percebemos que as grandezas temperatura e pressão são diretamente proporcionais. Consequentemente, sempre que houver diminuição da pressão, diminuirá também a temperatura. Isso é o que justifica o gelo, ou frio, nas cristas das montanhas.



Figura 32 – Barômetro.

Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Unidades_de_pressão

A pressão exercida por um fluido, como o ar atmosférico, pode ser calculada por meio da seguinte equação:



$\Sigma \vec{F} = 0$ somatória das forças
 $m = dv$ equação da densidade
 $v = Ah$ volume do cilindro

$$F_1 + \text{peso} = F_2$$

$$F_1 + mg = F_2$$

$$F_2 - F_1 = mg$$

$$F_2 - F_1 = dv g$$

$$P = \frac{F}{A}$$

$$F_1 = P_1 \cdot A$$

$$F_2 = P_2 \cdot A$$

$$P = d \cdot g \cdot h$$

$$P_2 \cdot A - P_1 \cdot A = dv g$$

$$P_2 \cdot \vec{A} - P_1 \cdot \vec{A} = d \vec{A} h g$$

$$P_2 - P_1 = dhg$$

$$P_2 - 0 = dhg$$

Onde:

P – Pressão (Pa)

d – Densidade (kg/m³)

g – Gravidade (m/s²)

h – Altura (m)

As evidências da pressão atmosférica são averiguadas de diversas formas, tais como:

- Quando tomamos um refrigerante usando um canudinho, começamos a sugar o ar dentro do canudo, criando um vácuo. Isso diminuindo a pressão interior do canudo, e como a pressão externa continua a mesma, impulsiona o refrigerante para dentro do canudo subindo até a boca.
- Outro exemplo é quando abrimos a válvula de um colchão de ar, ele murcha rapidamente devido à força da pressão atmosférica.

10.2 Pressão Atmosférica e Altitude

ALTITUDE (km)	PRESSÃO ATMOSFÉRICA (atm)
0	1,000
1	0,886
2	0,784
3	0,692
4	0,610
5	0,534
6	0,466
7	0,405
8	0,351
9	0,302
10	0,261

Figura 33 – Tabela Pressão versus altitude
Fonte: Engineering ToolBox, (2003).

A equação que pode calcular a pressão em relação a altitude $P = d \cdot g \cdot h$, mas a limitação pode ser a densidade do ar atmosférico. Contudo são usados balões meteorológicos para garantir dados precisos de pressão, temperatura e densidade do ar, diante disso, segue um trecho de um site onde explica a coleta de dados atmosféricos:

Lançadas do solo, as radiossondas são dispositivos meteorológicos usados para medir temperatura, umidade, pressão, velocidade do vento e direção na atmosfera superior. Um balão meteorológico cheio de hidrogênio ou gás de hélio leva a radiossonda para a atmosfera superior. Dependendo do tamanho do balão, a expansão que ocorre quando ele se eleva a uma pressão mais baixa faz com que dispare e o instrumento retornará à Terra, onde você o encontrou neste caso. Durante o voo da radiossonda, ela transmite constantemente dados atmosféricos de temperatura, umidade e pressão para equipamento terrestre de recepção automatizado. Este equipamento, denominado sistema de medição das condições atmosféricas, processa e converte os dados em mensagens meteorológicas que são enviadas para a rede climática global (rede GTS da WMO). (vaisala, 2022)

A atmosfera pode ser compreendida como um fluido (que ocorre ou se expande como líquido). Pela tabela da figura 33, percebe-se a diminuição da pressão na medida em que vamos saindo da terra para o espaço. A partir disso e tomando como referência o espaço sideral, enquanto vamos adentrando nas profundezas de uma atmosfera, a pressão exercida sobre os corpos ali presentes é bem maior nas proximidades do nível do mar. Em outras palavras, quanto maior for a altitude, menor será o módulo da pressão atmosférica, já que, em regiões mais altas, o ar torna-se rarefeito em decorrência de sua menor densidade. O valor da pressão atmosférica ao nível do mar é definido como 1 atm (1 atmosfera). Esse valor, como foi dito anteriormente, é equivalente a 101 325 Pa (Pascal), unidade utilizada para pressões no Sistema Internacional de Unidades (SI). O pascal é o mesmo que Newton por metro quadrado (N/m²). A força é dividida por área.

Podemos dizer, portanto, que a pressão atmosférica ao nível do mar é equivalente a uma força de 101 325 N, a cada metro quadrado de superfície. Considerando a força da gravidade aqui no Planeta Terra de, aproximadamente, 10 m/s², a força da pressão exercida pela atmosfera terrestre seria o equivalente a uma massa próxima de 10 132,5 kg de ar a cada m².

Da segunda lei de Newton, temos:

$$|\vec{F}| = m \cdot |\vec{a}|$$

$$\frac{F}{a} = m$$

$$m = \frac{101\,325}{10}$$

Podemos calcular a pressão em diferentes altitudes em relação ao nível do mar, esse fato é possível nos dias atuais, graças às observações do físico e matemático Evangelista Torricelli (15/10/1608 a 26/10/1647), dentre outros.

Segue a equação barométrica:

$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{M \cdot g}{R \cdot T} \cdot h}$$

Onde:

P – é a pressão do gás na altitude em questão;

P₀ – é a pressão do gás em um nível de referência com altitude adotada como zero, ao nível do mar:

g – é a aceleração da gravidade;

R – é a constante dos gases ideais;

M - é a massa molar do gás;

T – é a temperatura; (Lente, et al. 2020)

10.3 Fatores de Conversão e Unidades - Pressão

Sabemos que a pressão atmosférica é a força dividida por unidade de área, resultante da camada de ar atmosférico acima de nossas cabeças. Também pode ser detectada pelo resultado da sequência incessante de colisões de suas moléculas com as paredes do recipiente. Exemplo: câmara de ar ou pneu sem câmara. O aparelho usado para medir a pressão de um gás é o barômetro.

Unidade: SI (Sistema internacional) Pa (Pascal)

1 Pa	1 N/m ²	1 J/m ³
1 atm	760 Torr	760 mmHg
1 atm	101,325 . 10 ³ Pa	101,325 KPa

Figura 34 – algumas unidades de Pressão
Fonte: Autor 2021

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$R = \frac{P \cdot V}{n \cdot T}$$

$$R = \frac{1 \cdot 22,4}{1 \cdot 273}$$

$$R = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$$

Figura 35 – Cálculo da Constante Universal dos Gases.
Fonte: Autor 2021

R	P	V	n	T
0,082	Atm	Litro	<u>g-mol</u>	⁰ K
62,36	mmHg	Litro	<u>g-mol</u>	⁰ K
0,083	Bar	Litro	<u>g-mol</u>	⁰ K
8,205	J/m ³	m ³	<u>g-mol</u>	⁰ K
8,314	Pa	m ³	<u>g-mol</u>	⁰ K

Figura 36 – A constante dos Gases e algumas unidades de Pressão e Volume
Fonte: Autor, 2021.

Analisando apenas a grandeza P.V, temos dimensão de energia.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{N}{m^2}$$

$$\frac{F}{A} \cdot V = \frac{N}{m^2} \cdot m^3 = \frac{N \cdot m}{m^2} \cdot m^2$$

$$\frac{F}{A} \cdot V = \text{Joule}$$

Joule = N.m

atm . L = J ou seja, energia

$$1 \text{ atm} \cdot \text{L} = 101,325 \text{ J}$$

Figura 37 – Transformação de unidade pressão e volume em energia
Fonte: Autor, 2021.

10.4 O Volume

É uma grandeza tridimensional resultante da combinação entre; o comprimento, a largura e a altura. Portanto, o espaço ocupado pelo corpo ou substancia é o volume do mesmo. No caso dos gases, o volume de uma amostra é igual ao do recipiente que o contém.

Unidade: SI (SISTEMA INTERNACIONAL) M³

1 L	1 dm ³	1 . 10 ⁻³ m ³
1 L	1 . 10 ³ cm ³	1 . 10 ⁶ mm ³
1 L	1 . 10 ² cL	1 . 10 ³ mL

Figura 38 – Algumas Unidades de Volume
Fonte: Autor, 2021.

10.5 A Temperatura

É uma grandeza física que mede a energia cinética média de cada grau de liberdade de cada uma das partículas de um sistema em equilíbrio térmico (WIKIPEDIA, 2020). Se o movimento das moléculas estagnar, dizemos que a temperatura chegou no zero absoluto de temperatura:

$$\begin{aligned} T &= 0 \text{ K} \\ &\text{É} \\ T &= - 273 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Unidade: SI (sistema internacional) k (kelvin)

10.6 Lei de Distribuição Barométrica

Como já mencionado nesse capítulo a pressão é uma força que se exerce sobre uma área. A pressão de uma atmosfera planetária dependerá de várias variáveis como a altura, a pressão inicial, a gravidade e a temperatura. O propósito da distribuição barométrica é aferir a dependência dessas variáveis. Essa relação permite prever a temperatura de um planeta a partir dos gases componentes de sua atmosfera e da pressão que esses gases exercem na superfície do planeta conforme a equação na seção “10.2 Pressão Atmosférica e Altitude”, logo acima.

Para estimar a pressão em determinada altitude precisamos conhecer a pressão inicial (P_0) que é a pressão na superfície do planeta. A massa molar M que depende do tipo de molécula que compõe a atmosfera. A gravidade g que depende da massa do planeta e da altitude em relação ao solo do planeta. A equação é derivada da equação dos gases ideais e, portanto, padece das mesmas limitações físico-matemáticas. Isso significa que os gases são descritos como gases ideais não interativos.

Os exercícios listados abaixo exemplificam a aplicação da equação da distribuição barométrica.

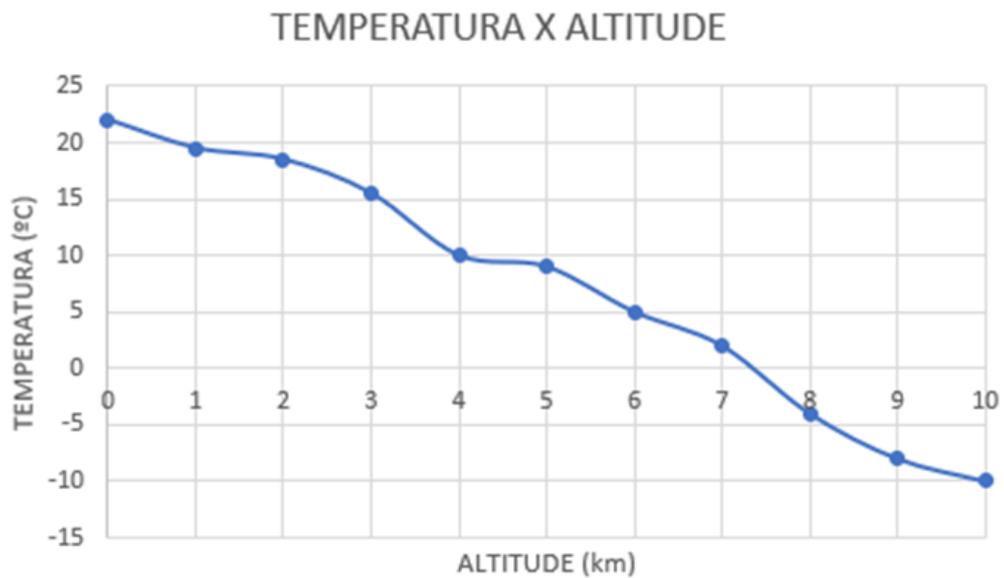


Figura 39 – Gráfico de Temperatura x Altitude da Atmosfera Terrestre
 Fonte: Autor, uso da equação barométrica, 2021.

Exemplo: A pressão atmosférica ao nível do mar no Planeta Terra é 1 atm. Qual é a temperatura a 1 quilômetro de altitude, sabendo-se que a pressão é 0,886 atm e a gravidade no local é 9,812 m/s²?

(Dados: no SI, a massa molar do gás nitrogênio mais a do gás oxigênio, em média, aproximadamente, é $30 \cdot 10^{-3}$ Kg/mol, supracitado no calculado da seção 9.6 Exercícios de fixação de uso da Lei de Clapeyron)

CALCULANDO A TEMPERATURA COM A ALTITUDE

$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{M \cdot g \cdot h}{R \cdot T}}$$

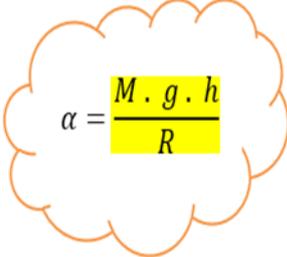
$$\frac{P}{P_0} = e^{-\frac{M \cdot g \cdot h}{R \cdot T}}$$

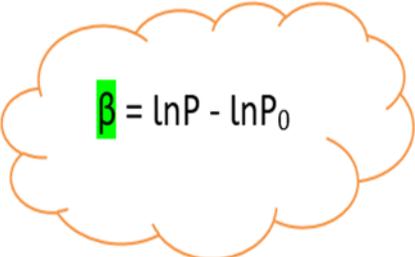
$$\frac{P}{P_0} = e^{-\frac{\alpha}{T}}$$

$$\ln \frac{P}{P_0} = -\frac{\alpha}{T}$$

$$T = -\frac{\alpha}{\ln \frac{P}{P_0}}$$

$$T = -\frac{\alpha}{\beta}$$


$$\alpha = \frac{M \cdot g \cdot h}{R}$$


$$\beta = \ln P - \ln P_0$$

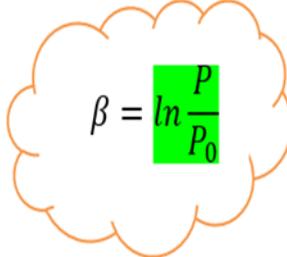

$$\beta = \ln \frac{P}{P_0}$$

TABELA ATMOSFÉRICA DA TERRA

ALTITUDE (km)	ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE (m/s ²)	PRESSÃO ATMOSFÉRICA (atm)
0	9,82012	1,000
1	9,81703	0,886
2	9,81395	0,784
3	9,81087	0,692
4	9,80780	0,610
5	9,80472	0,534
6	9,80164	0,466
7	9,79857	0,405
8	9,79550	0,351
9	9,79243	0,302
10	9,78936	0,261

Figura 40 – Aceleração da força gravitacional em relação a altitude e pressão atmosférica terrestre
Fonte: Autor, uso da Lei da Gravitação Universal, 2021.

Os dados de força da gravidade citado na figura 40 foram calculados com a equação da Lei da Gravitação Universal de Isaac Newton (1643-1727), como segue:

$$F = P \quad P = mg$$

$$F = \frac{GMm}{R^2}$$

$$\frac{GMm}{R^2} = mg$$

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

Como queremos a força da gravidade em relação à altura, acrescenta o h de altura na equação.

$$g = \frac{GM}{(R + h)^2}$$

Onde:

g é a gravidade no local

G é a constante gravitacional universal

M é a massa do planeta ou corpo

R é o raio da Terra

h é a altitude em relação ao mar. (ufrgs, 2022)

10.7 Exercícios da Lei de Distribuição Barométrica

- Esboce um gráfico de Altitude versus Temperatura da troposfera do Planeta Terra, de acordo com a tabela de gravidade e pressão da figura 40, sendo a unidade de altitude em quilômetros e de temperatura em graus Celsius. Use a equação barométrica como no exemplo abaixo. (Obs. use o exemplo abaixo para continuar até uma altitude de 10 km)

	1	9,812	0,886
--	---	-------	-------

$T_k = ? \text{ k}$ $P_0 = 1 \text{ atm}$ $P = 0,886 \text{ atm}$ $M = 30 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ $G = 9,81703 \text{ m/s}^2$ $h = 1 \cdot 10^3 \text{ m}$ $= 8,314 \text{ J.k}^{-1}.\text{mol}^{-1}$	$\beta = \ln P - \ln P_0$ $\beta = \ln 0,886 - \ln 1$ $\beta = -0,121 - 0$ $\beta = -0,121$ <hr style="width: 50%; margin: 10px auto;"/> $\alpha = \frac{M \cdot G \cdot h}{R}$ $\alpha = \frac{30 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81703 \cdot 1 \cdot 10^3}{8,314}$ $\alpha = \frac{294,51 \cdot 10^{-3+3}}{8,314}$ $\alpha = 35,4$	$T = -\frac{\alpha}{\beta}$ $T = -\frac{35,4}{-0,121}$ $T = 292,56 \text{ K}$
$T_C = T_k - 273$ $T_C = 292,56 - 273$ $T_C = 19,5 \text{ }^\circ\text{C}$		

Os gases da atmosfera se estendem da superfície da Terra a alturas de centenas de quilômetros, eventualmente se fundindo com o vento solar – um fluxo de partículas carregadas que flui para fora das regiões mais externas do Sol. A composição da atmosfera é mais ou menos constante com altura até uma altitude de cerca de 100 km (60 milhas), com exceções a atmosfera é comumente descrita em termos de camadas ou regiões distintas. O comportamento dos gases nessa camada é controlado por convecção. Esse processo envolve os movimentos turbulentos e de reviravolta resultantes da flutuação do ar próximo à superfície que é aquecida pelo Sol. A convecção mantém um gradiente de temperatura vertical decrescente - ou seja, um declínio de temperatura com a altitude - de aproximadamente 6 °C (10,8 °F) por km através da troposfera. No topo da troposfera, que é chamado de tropopausa, as temperaturas caem para cerca de -80 °C (-112 °F). Os discentes devem executar os cálculos relativos à distribuição barométrica para a atmosfera terrestre. A ideia principal é correlacionar a variação da temperatura com a altura. Os cálculos realizados pelos discentes se concentraram na troposfera.

TABELA ATMOSFÉRICA DE VÊNUS

ALTITUDE (km)	ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE (m/s ²)	PRESSÃO ATMOSFÉRICA (atm)
0	8,87	92,1
5	8,40	66,65
10	8,25	47,39
15	7,85	33,04
20	7,70	22,52
25	7,28	14,93
30	7,00	9,851
35	6,70	5,917
40	6,41	3,501
45	6,20	1,979
50	5,90	1,066

Figura 41 – Aceleração da força gravitacional em relação a altitude e pressão atmosférica venusiano
 Fonte: Autor, uso da Lei da Gravitação Universal com dados da NASA, 2021.

2. Esboce um gráfico de Altitude versus Temperatura da troposfera do Planeta Vênus, de acordo com os dados da tabela da figura 41, sendo a unidade da altitude em quilômetros e a temperatura em graus Celsius. Use a equação barométrica como no exemplo abaixo. (Obs.: use o exemplo abaixo para continuar até uma altitude de 50 km)

5	8,40	66,65
---	------	-------

$$T_k = ? \text{ k}$$

$$P_0 = 92,1 \text{ atm}$$

$$P = 66,65 \text{ atm}$$

$$M = 44 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$G = 8,40 \text{ m/s}^2$$

$$h = 5 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$R = 8,314 \text{ J.k}^{-1}.\text{mol}^{-1}$$

$$\beta = \ln P - \ln P_0$$

$$\beta = \ln 66,65 - \ln 92,1$$

$$\beta = 4,2 - 4,5$$

$$\beta = -0,3$$

$$\alpha = \frac{M \cdot G \cdot h}{R}$$

$$\alpha = \frac{44 \cdot 10^{-3} \cdot 8,4 \cdot 5 \cdot 10^3}{8,314}$$

$$\alpha = \frac{1848 \cdot 10^{-3+3}}{8,314}$$

$$\alpha = 222,3$$

$$T = -\frac{\alpha}{\beta}$$

$$T = -\frac{222,3}{-0,3}$$

$$T = 741 \text{ K}$$

$$T_C = T_K - 273$$

$$T_C = 741 - 273$$

$$T_C = 468 \text{ }^\circ\text{C}$$

Atmosfera do planeta Vênus

A finalidade do trabalho foi a descrição do comportamento de uma atmosfera planetária para fins comparativos com dados experimentais. Os discentes, a partir da leitura do produto, podem entender a origem da temperatura do planeta Vênus a partir da composição química do mesmo. Todavia, é importante destacar a escolha do planeta Vênus para essa empreitada pedagógica.

A lei de distribuição barométrica usada neste trabalho parte do pressuposto de que os gases se comportam idealmente. Essa suposição distancia a equação de boa parte dos fenômenos atmosféricos conhecidos. No entanto, os cálculos que irão fazer mostraram que próximo da superfície venusiana, a equação de distribuição barométrica apresenta boa correlação com os dados experimentais. Notadamente com o aumento da altura em relação ao solo, temos a diminuição da temperatura dos gases. Se considerarmos a energia interna das moléculas dos gases como o somatório da energia de movimento mais a energia potencial gravitacional, temos para o caso específico uma perda da energia cinética com a diminuição da temperatura. Como consequência, as moléculas do gás passam a interagir de maneira mais efetiva, se distanciando do comportamento da idealidade. Essa suposição resultará em um

distanciamento dos resultados teóricos da equação em relação aos dados experimentais da atmosfera de Vênus. Nos demais planetas, esse distanciamento entre teoria e realidade é ainda mais proeminente devido as baixas temperaturas encontradas nessas atmosferas.

Diferença entre a atmosfera venusiana e terrestre

Findado o uso dos cálculos de distribuição barométrica, cabe a discussão acerca da diferença de temperatura entre a Terra e Vênus. Notadamente, a atmosfera de Vênus é muito mais densa que aquela da Terra (Nasa, 2020). Na superfície, a pressão atmosférica de Vênus é noventa vezes maior que aquela da Terra. Não obstante, a diferença de densidade entre as duas atmosferas se concentra na composição química das duas massas de ar. Em Vênus, a atmosfera é predominantemente composta de dióxido de carbono. Na Terra, a maior composição é de nitrogênio (Nasa, 2020). O elemento molecular também entra no cômputo da temperatura do planeta. Durante as aulas pode ser trabalhado o tema do efeito estufa na Terra através da saturação de dióxido de carbono na atmosfera. Não deixam de ser importantes as implicações de um efeito estufa global presente no planeta Vênus. Dessa forma, o tema de densidade dos gases e o efeito estufa também pode ser trabalhado dentro dos resultados da equação barométrica.

11 PLANETAS DO SISTEMAS SOLAR

11.1 Mercúrio

11.1.1 Atmosfera de Mercúrio

Sendo o menor planeta do nosso sistema solar e mais próximo do Sol, Mercúrio, é apenas um pouco maior que a Lua da Terra. Da superfície de Mercúrio, o Sol pareceria três vezes maior do que quando visto da Terra, e a luz do sol seria sete vezes mais brilhante. Apesar de sua proximidade com o Sol, Mercúrio não é o planeta mais quente do nosso sistema solar - esse título pertence à Vênus, nas proximidades, graças à sua atmosfera densa. Mas Mercúrio é o planeta mais rápido, circulando o Sol a cada 88 dias terrestres (Nasa, 2020).

A atmosfera de Mercúrio é extremamente rarefeita e variável, sendo chamada tecnicamente de exosfera, isso acontece principalmente por dois fatores: 1. sua pequena massa, e seu raio, que acabam por resultar em uma baixa atração gravitacional superficial e, portanto, uma baixa velocidade de escape (4,3 km/s) (enquanto na Terra é de 11,2 km/s); 2. e também sua proximidade com o Sol e suas altas temperaturas. Combinando esses dois fatores, temos que nas regiões mais quentes a velocidade do gás ultrapassa facilmente a velocidade de escape e é dissipada. Em algumas partes do planeta ela é retida por um tempo um pouco maior, mas também logo é esquentada e se dissipa. Isso acaba gerando uma atmosfera bastante volátil e de baixa densidade, que se forma e se dissipa constantemente. A atmosfera de Mercúrio foi bastante estudada pela sonda MESSENGER, que incluía, entre seus componentes, um espectrômetro (MASCS – Mercury Atmospheric and Surface Composition Spectrometer) feito para coletar dados a respeito da composição química de sua superfície e atmosfera (Teixeira, et al. 2013).

11.1.2 Composição da atmosfera de Mercúrio (Exosfera)

Pressão superficial	$< \sim 5 \cdot 10^{-15}$ bar ou $5 \cdot 10^{-15}$ atm
Densidade de superfície	~ 0

Massa total da atmosfera	$< \sim 1 \cdot 10^4$ kg
Temperatura média	440 K (167 °C)
Hélio (He)	~42% acessado no (http://astro.if.ufrgs.br/solar/mercury.htm) 10/08/2020
Sódio (Na)	~42 % (if.ufrgs)
Oxigênio (O ₂)	~1% (if.ufrgs)

Densidade atmosférica, como é considerada uma exosfera, os dados são insignificantes.
Fonte: Dados NASA, 2020.

11.1.3 Algumas medidas de Mercúrio

Raio	2 440 km
Distância média do Sol	57 909 227 km ou $\sim 5,8 \cdot 10^7$ km
Velocidade média da órbita	170 503 km/h.
Circunferência equatorial	15 329,1 km
Volume	60 827 208 742 km ³ ou $\sim 6,1 \cdot 10^{10}$ km ³
Massa	330 104 000 000 000 000 000 000 kg ou $\sim 3,3 \cdot 10^{23}$ kg.
Área de superfície	74 797 000 km ² , ou $\sim 7,5 \cdot 10^7$ km ²
Gravidade da superfície	3,7 m/s ²

Fonte: Dados NASA, 2020.

11.1.4 Distância entre o Sol e Mercúrio

A uma distância média de 58 milhões de quilômetros, Mercúrio está a 0,4 unidades astronômicas do Sol. Uma unidade astronômica (abreviada como AU) é a distância do Sol à Terra. A essa distância, a luz do sol leva 3,2 minutos para viajar do Sol até Mercúrio (Nasa, 2020).

11.1.5 As Temperaturas de Mercúrio

As temperaturas da superfície de Mercúrio variam entre extremos quentes e frias. Como o planeta está tão perto do Sol, as temperaturas diurnas podem atingir elevações de 800° F (430° C). Sem uma atmosfera para reter esse calor à noite, as temperaturas podem cair até -280° F (-180° C) (NASA, 2020).

11.2 Vênus

11.2.1 Atmosfera de Vênus

A atmosfera de Vênus consiste principalmente de dióxido de carbono, com nuvens de gotículas de ácido sulfúrico. A atmosfera espessa retém o calor do Sol, resultando em temperaturas de superfície superiores a 470 graus Celsius. A atmosfera tem muitas camadas com temperaturas diferentes. No nível em que as nuvens estão, a cerca de 48 quilômetros da superfície, é mais ou menos a mesma temperatura da superfície da Terra.

À medida que Vênus avança em sua órbita solar, enquanto gira lentamente para trás em seu eixo, o nível mais alto de nuvens se aproxima do planeta a cada quatro dias na Terra, impulsionado por ventos de força de furacão que viajam acerca de 360 quilômetros por hora. As explosões atmosféricas iluminam essas nuvens velozes. As velocidades das nuvens diminuem com a altura das nuvens e estima-se que a superfície seja de apenas alguns quilômetros por hora.

No chão, pareceria um dia muito nublado na Terra. Já a atmosfera, é tão pesada, que parece que você está a 1,6 km de profundidade debaixo d'água.

11.2.2 Composição da atmosfera de Vênus

Pressão superficial	92 bar = ~92 atm
Densidade de superfície	~ 65 kg / m ³
Massa total da atmosfera	~ 4,8 . 10 ²⁰ kg
Temperatura média	737 K (464°C)
dióxido de carbono (CO ₂),	~96,5%
nitrogênio (N ₂)	~3,5 %

Fonte: Dados NASA, 2020.

11.2.3 Algumas medidas de Vênus

Raio	6 052 km
Distância média do Sol	108 209 475 km ou ~ 1,1 10 ⁸ km
Velocidade média da órbita	126 074 km/h.
Circunferência equatorial	38 024,6 km
Volume	928 415 345 893 km ³ ou ~ 9,3 . 10 ¹¹ km ³
Massa	4 867 320 000 000 000 000 000 000kg ou ~4,9.10 ²⁴ kg.
Área de superfície	460 234 317 km ² , ou ~4,6 . 10 ⁸ km ²
Gravidade da superfície	8,87 m/s ²

Fonte: Dados NASA, 2020.

11.2.4 Distância entre o sol e Vênus

A uma distância média de 108 milhões de quilômetros, Vênus está a 0,7 unidades astronômicas do Sol. Uma unidade astronômica (abreviada como AU) é a distância do Sol à Terra. A luz do sol leva 6 minutos para viajar do Sol até Vênus.

11.2.5 As Temperaturas de Vênus

Mesmo que Vênus não seja o planeta mais próximo do Sol, ainda é o mais quente. A atmosfera retém o calor e mantém Vênus bem quente. É tão quente em Vênus que metais como o chumbo seriam poças de líquido derretido. Como o planeta é mais perto do sol que a Terra e devido a sua atmosfera, as temperaturas diurnas podem atingir elevações de 700° F (452° C).

11.3 Terra

11.3.1 Atmosfera da Terra

Como Marte e Vênus, a Terra tem vulcões, montanhas e vales. A litosfera terrestre, que inclui a crosta (continental e oceânica) e o manto superior, é dividida em grandes placas que se movem constantemente. Por exemplo, a placa norte-americana move-se para oeste sobre a bacia do Oceano Pacífico, aproximadamente a uma taxa igual ao crescimento de nossas unhas. Terremotos ocorrem quando as placas se chocam, sobem umas sobre as outras, colidem para formar montanhas ou se dividem e se separam (NASA, 2020).

O oceano global da Terra, que cobre quase 70% da superfície do planeta, tem uma profundidade média de cerca de 2,5 milhas (4 quilômetros) e contém 97% da água da Terra. Quase todos os vulcões da Terra estão escondidos sob esses oceanos. O vulcão Mauna Kea, do Havaí, é mais alto, da base ao cume, do que o Monte Everest, mas a maior parte dele está debaixo d'água. A cadeia de montanhas mais longa da Terra também está submersa, no fundo dos oceanos Ártico e Atlântico. É quatro vezes mais longa que os Andes, as Montanhas Rochosas e o Himalaia juntos (NASA, 2020).

A atmosfera afeta o clima de longo prazo da Terra e o clima local de curto prazo, e nos protege de grande parte da radiação prejudicial que vem do sol. Ele também nos protege de meteoroides, muitos dos quais queimam na atmosfera, vistos como meteoros no céu noturno (estrela cadente), antes que possam atingir a superfície como meteoritos (NASA, 2020).

11.3.2 Composição da atmosfera da Terra

Pressão superficial	1,015 bar ou 1 atm
Densidade de superfície	1,217 kg / m ³
Massa total da atmosfera	~ 5,1 . 10 ¹⁸ kg
Temperatura média	288 K (15°C)
nitrogênio (N ₂)	~78 %
Oxigênio	~21%

Fonte: Dados NASA, 2020.

11.3.3 Algumas medidas da Terra

Raio	6 371 km
Distância média do Sol	150 000 000 km ou ~ 1,5 10 ⁸ km
Velocidade média da órbita	107 218 km / h
Circunferência equatorial	40.030,26 km
Volume	1 083 206 916 846 km ³ ou ~ 1,1 . 10 ¹² km ³
Massa	5 972 190 000 000 000 000 000 000 kg ou ~6 . 10 ²⁴ kg.
Área de superfície	510 064 472 km ² ou ~5,1 .10 ⁸ km ²
Gravidade da superfície	8,87 m/s ²

Fonte: Dados NASA, 2020.

11.3.4 Distância entre o Sol e a Terra

Com um raio de 3.959 milhas (6.371 quilômetros), a Terra é o maior dos planetas rochosos e o quinto maior planeta em geral. De uma distância média de 93 milhões de milhas (150 milhões de quilômetros), a Terra está exatamente a uma unidade astronômica do Sol porque uma unidade astronômica é a distância do Sol à Terra. Essa unidade oferece uma maneira fácil de comparar rapidamente as distâncias entre os planetas e o sol.

11.3.5 As Temperaturas da Terra

A atmosfera da Terra é constituída de gases que permitem a passagem da radiação solar, e absorvem grande parte do calor (a radiação infravermelha térmica), emitida pela superfície aquecida da Terra. Essa propriedade é conhecida como efeito estufa. Graças a ela, a temperatura média da superfície do planeta mantém-se em cerca de 15°C. Sem o efeito estufa, a temperatura média da Terra seria de 18°C abaixo de zero, ou seja, ele é responsável por um aumento de 33°C. Portanto, é benefício ao planeta, pois cria condições para a existência de vida.

Quando se alerta para riscos relacionados ao efeito estufa, o que está em foco é a sua possível intensificação, causada pela ação do homem, e a consequência dessa intensificação para o clima da Terra. A hipótese da intensificação do fenômeno é muito simples, do ponto de vista da Física: quanto maior for a concentração de gases, maior será o aprisionamento do calor e, conseqüentemente, mais alta será a temperatura média do globo terrestre (IAG-USP, 2020).

11.4 Marte

11.4.1 Atmosfera de Marte

Marte tem uma fina atmosfera composta principalmente por gases de dióxido de carbono, nitrogênio e argônio. Aos nossos olhos, o céu estaria enevoado e vermelho por causa da poeira suspensa, em vez da tonalidade azul familiar que vemos na Terra. A atmosfera esparsa de Marte não oferece muita proteção contra impactos de objetos como meteoritos, asteroides e cometas.

A temperatura em Marte pode ser tão alta quanto 294,261 K (20 graus Celsius) ou tão baixa quanto cerca de -225 graus Fahrenheit (-153 °C). Isso porque a atmosfera é tão fina, que o calor do Sol escapa facilmente desse planeta. Se você estivesse na superfície de Marte no equador e ao meio-dia, seria como a primavera em seus pés (75 graus Fahrenheit ou 24 graus Celsius) e o inverno em sua cabeça (32 graus Fahrenheit ou 0 graus Celsius).

Ocasionalmente, os ventos em Marte são fortes o suficiente para criar tempestades de poeira que cobrem grande parte do planeta. Após essas tempestades, pode levar meses até que toda a poeira abaixe (NASA, 2020).

11.4.2 Composição da atmosfera da Marte

Pressão superficial	0,007 bar ou $\sim 0,007 \text{ atm} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ atm}$
Densidade de superfície	$\sim 0,02 \text{ kg / m}^3$
Massa total da atmosfera	$\sim 2,5 \times 10^{16} \text{ kg}$
Temperatura média	$\sim 210 \text{ K} (-63^\circ\text{C})$
Gás carbônico (CO ₂)	$\sim 95 \%$
nitrogênio (N ₂)	$\sim 2,5 \%$
Argônio (Ar)	$\sim 2 \%$

Fonte: Dados NASA, 2020.

11.4.3 Algumas medidas de Marte

Raio	$\sim 3\,400 \text{ km}$
Distância média do Sol	$228\,000\,000 \text{ km}$ ou $\sim 2,3 \cdot 10^8 \text{ km}$
Velocidade média da órbita	$86\,677 \text{ km / h}$
Circunferência equatorial	$21\,296,9 \text{ km}$
Volume	$163\,115\,609\,799 \text{ km}^3$ ou $\sim 1,63 \cdot 10^{11} \text{ km}^3$
Massa	$641\,693\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ kg}$ ou $\sim 6,4 \cdot 10^{23} \text{ kg}$.
Área de superfície	$144\,371\,391 \text{ km}^2$ ou $\sim 1,44 \cdot 10^8 \text{ km}^2$
Gravidade da superfície	$3,71 \text{ m/s}^2$

Fonte: Dados NASA, 2020.

11.4.4 Distância entre o Sol e Marte

Com um raio de 2.106 milhas (3.390 quilômetros), Marte tem cerca de metade do tamanho da Terra. Se a Terra fosse do tamanho de um moeda, Marte seria quase tão grande quanto uma framboesa.

De uma distância média de 142 milhões de milhas (228 milhões de quilômetros), Marte está a 1,5 unidades astronômicas de distância do sol. Dessa distância, a luz do sol leva 13 minutos para viajar do Sol a Marte (NASA, 2020).

11.4.5 As Temperaturas de Marte

Diferentes valores têm sido estipulados para a temperatura de Marte, sendo o valor comum $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperaturas superficiais têm sido estimadas pela Viking Orbiter Infrared Thermal Mapper, que oscilam entre o máximo de $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-143\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante o inverno polar. Medições atuais de temperatura dos robôs Viking variam de $-17.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-107\text{ }^{\circ}\text{C}$.

De acordo com os dados relativos à temperatura do ar à noite, todas as primaveras e inícios de verões já observados eram idênticos, dentro da margem de erro do experimento (de $\pm 1\text{ K}$) mas que os dados relativos ao período diurno, entretanto, sugerem uma história um tanto diferente, com temperaturas variando de ano a ano mais de 6 K nessa estação. Essa discrepância entre dia e noite é inesperada e ainda não compreendida. As variações dos verões e das primaveras do hemisfério sul são dominadas pelas tempestades, que podem gerar aumentos de temperatura de até $30\text{ }^{\circ}\text{C}$; serão necessários mais anos de observação (atualmente 5 anos marcianos é o possível) antes que estatísticas melhores possam ser feitas (WIKIPEDIA, 2020).

11.5 Júpiter

11.5.1 Atmosfera de Júpiter

Júpiter é composto principalmente por gás hélio e gás hidrogênio semelhante à composição da nossa Estrela, o Sol. Onde encontra o maior oceano do sistema solar formado por gás hidrogênio na fase líquida, consequência da poderosa pressão e altas temperatura das profundezas da atmosfera joviana. Ainda não sabem se no fundo de Júpiter tem um núcleo central de material sólido ou se pode ser uma sopa espessa.

Como um gigante gasoso, Júpiter não tem uma superfície verdadeira. O planeta é composto principalmente por gases e líquidos em turbilhão. Enquanto uma espaçonave não teria onde pousar em Júpiter, ela também não seria capaz de voar

ileza. As pressões e temperaturas extremas no interior do planeta esmagam, derretem e vaporizam as espaçonaves que tentam voar para dentro do planeta.

A aparência de Júpiter é uma tapeçaria de faixas e manchas coloridas de nuvens. O planeta gasoso provavelmente tem três camadas distintas de nuvens em seus "céus" que, juntas, abrangem cerca de 44 milhas (71 quilômetros) (Myubi.tv, 2020). A nuvem superior é provavelmente feita de gelo de amônia, enquanto a camada do meio é provavelmente feita de cristais de hidrossulfeto de amônio. A camada mais interna pode ser feita de gelo e vapor de água.

As cores vivas que você vê em faixas grossas em Júpiter podem ser nuvens de enxofre e gases contendo fósforo, subindo do interior mais quente do planeta. A rotação rápida de Júpiter - girando uma vez a cada 10 horas - cria fortes correntes de jato, separando suas nuvens em cinturões escuros e zonas brilhantes em longos trechos.

Sem uma superfície sólida para retardá-los, as manchas de Júpiter podem persistir por muitos anos (Galileu, 2020). O tempestuoso Júpiter é varrido por mais de uma dúzia de ventos predominantes, alguns alcançando até 335 milhas por hora (539 quilômetros por hora) no equador. A Grande Mancha Vermelha, um redemoinho oval de nuvens com o dobro da largura da Terra, foi observada no planeta gigante por mais de 300 anos. Mais recentemente, três formas ovais menores se fundiram para formar a Mancha Vermelha, com cerca de metade do tamanho de seu primo maior. Os cientistas ainda não sabem se essas ovais e faixas que circundam o planeta são superficiais, ou profundamente enraizadas no interior (NASA, 2020).

11.5.2 Composição da atmosfera de Júpiter

Pressão superficial	>> 1000 bar ou >>1000 atm = $1 \cdot 10^3$ atm
Densidade de superfície	~ 0,16 kg / m ³ a 1 atm
Massa total da atmosfera	~ $1,9 \times 10^{27}$ kg
Temperatura média	~165 K (-108°C) a 1 atm
Hidrogênio (H)	~90 %
Hélio (He)	~10 %

Fonte: Dados NASA, 2020.

11.5.3 Algumas medidas de Júpiter

Raio médio volumétrico	~70 000 km
Distância média do Sol	778 000 000 km ou $\sim 7,8 \cdot 10^8$ km
Velocidade média da órbita	47 002 km / h
Circunferência equatorial	~440 000 km
Volume	1 431 281 810 739 360 km ³ ou $\sim 1,4 \cdot 10^{15}$ km ³
Massa	1 898 130 000 000 000 000 000 000 000 kg ou $\sim 1,9 \cdot 10^{27}$ kg
Área de superfície	61 418 738 571 km ² ou $\sim 6,14 \cdot 10^{10}$ km ²
Gravidade da superfície	24,79 m/s ²

Fonte: Dados NASA, 2020.

11.5.4 Distância entre o Sol e Júpiter

Com um raio de 43.440,7 milhas (69.911 quilômetros), Júpiter é 11 vezes mais largo que a Terra. Se a Terra fosse do tamanho de um níquel, Júpiter seria quase do tamanho de uma bola de basquete.

De uma distância média de 484 milhões de milhas (778 milhões de quilômetros), Júpiter está a 5,2 unidades astronômicas de distância do sol. Dessa distância, a luz solar leva 43 minutos para viajar do Sol a Júpiter (NASA, 2020).

11.5.5 As Temperaturas de Júpiter

Júpiter irradia duas vezes mais calor do que recebe do Sol, isso ocorre porque o planeta ainda está se resfriando, e o calor remanescente da energia gasta na contração gravitacional que formou o planeta ainda é transferido para fora desse. As temperaturas em Júpiter ficam em torno de -150 °C.

11.6 Saturno

11.6.1 Atmosfera de Saturno

Como um gigante gasoso, Saturno não possui uma superfície verdadeira. O planeta é composto principalmente por gases e líquidos rodopiando mais profundamente. Embora uma espaçonave não tivesse onde pousar em Saturno, mas não haveria possibilidade de voar pelas grandes temperaturas e pressão.

Saturno é coberto por nuvens que aparecem como listras fracas, correntes de jato e tempestades. O planeta tem muitos tons diferentes de amarelo, marrom e cinza.

Os ventos na atmosfera superior chegam a 1 600 pés por segundo (500 m/s) na região equatorial. Em contraste, os ventos com força de furacão mais forte na Terra chegam a cerca de 360 pés por segundo (110 m/s). E a pressão - o mesmo tipo que você sente quando mergulha fundo na água - é tão forte que espreme o gás em líquido.

O polo norte de Saturno tem uma característica atmosférica interessante - uma corrente de jato de seis lados. Esse padrão, em forma de hexágono, foi notado pela primeira vez em imagens da espaçonave Voyager I e foi observado mais de perto pela nave Cassini, desde então. Abrangendo cerca de 20 000 milhas (30 000 quilômetros) de diâmetro, o hexágono é uma corrente de jato ondulada de ventos de 200 milhas por hora (cerca de 322 km/h) com uma grande tempestade em rotação no centro. Não existe uma característica meteorológica como essa em qualquer outro lugar do sistema solar (NASA, 2020).

11.6.2 Composição da atmosfera de Saturno

Pressão superficial	>> 1000 bar ou >>1000 atm = $1 \cdot 10^3$ atm
Densidade de superfície	~ 0,19 kg / m ³ a 1 atm
Massa total da atmosfera	~ $5,7 \cdot 10^{27}$ kg
Temperatura média	~134 K (-139°C)
Hidrogênio (H ₂)	~96 %
Hélio (He)	~3 %

Fonte: Dados NASA, 2020.

11.6.3 Algumas medidas de Saturno

Raio	58 232 km
Distância média do Sol	1 400 000 000 km ou $\sim 1,4 \cdot 10^9$ km
Velocidade média da órbita	34 701 km / h
Circunferência equatorial	365 882,4 km
Volume	827 129 915 150 897 km ³ ou $\sim 8,3 \cdot 10^{14}$ km ³
Massa	568 319 000 000 000 000 000 000 000 kg ou $\sim 5,7 \cdot 10^{26}$ kg.
Área de superfície	42 612 133 285 km ² ou $\sim 4,3 \cdot 10^{10}$ km ²
Gravidade da superfície	10,4 m/s ²

Fonte: Dados NASA, 2020.

11.6.4 Distância entre o Sol e Saturno

Com um raio de 36.183,7 milhas (58.232 quilômetros), Saturno é 9 vezes mais largo que a Terra. Se a Terra fosse do tamanho de um níquel, Saturno seria quase tão grande quanto uma bola de vôlei.

De uma distância média de 886 milhões de milhas (1,4 bilhões de quilômetros), Saturno está a 9,5 unidades astronômicas de distância do sol. Dessa distância, a luz do sol leva 80 minutos para viajar do Sol a Saturno (NASA, 2020).

11.6.5 As Temperaturas de Saturno

A composição de Saturno é parecida com a do Sol e também Júpiter, mas suas faixas têm contrastes mais atenuados do que esse. Isso se deve, principalmente, às temperaturas mais baixas em sua atmosfera.

Em Saturno, os movimentos atmosféricos são bem rápidos e os ventos atingem a velocidade de 1800 km/h.

Nuvens de Amônia congelada proporcionam o tom esbranquiçado predominante em sua atmosfera. As colorações marrons podem ser nuvens de hidrosulfeto de amônia (NH_4HS) e os pouquíssimos locais azulados são cristais de gelo.

“A estrutura interna de Saturno também é parecida com a de Júpiter, porém, supõe-se que seu núcleo seja composto de óxido de magnésio, óxido de silício, sulfeto e óxido de ferro, onde está 25% da massa total (que é de 95 vezes a terrestre), mas ocupando apenas 20% do raio planetário” (Apolo 11, 2020).

A parte compreendida entre 20% e 50% desse raio supõe-se ser ocupada por hidrogênio líquido metálico a uma temperatura entre 20 mil e 40 mil graus Kelvin. Acima disso está o invólucro de hélio e hidrogênio, ainda em estado líquido, podendo chegar à superfície do planeta ainda nesse estado, daí por diante ao estado gasoso, formando a atmosfera.

11.7 Urano

11.7.1 Atmosfera de Urano

Como um gigante de gelo, Urano não possui uma superfície verdadeira. O planeta é formado principalmente por fluidos em turbilhão. Também sua pressão atmosférica e temperatura, são elevadíssima.

A atmosfera de Urano é composta principalmente de hidrogênio e hélio, com uma pequena quantidade de metano e vestígios de água e amônia. O metano dá a Urano sua cor azul característica.

Enquanto a Voyager 2 viu apenas algumas nuvens discretas, uma grande mancha escura e uma pequena mancha escura, durante seu sobrevoo, em 1986 (Netuno. if.ufrgs, 2020), observações mais recentes revelam que Urano exhibe nuvens dinâmicas conforme se aproxima do equinócio, incluindo características brilhantes que mudam rapidamente.

A atmosfera de Urano, com uma temperatura mínima de 49 K (-224,2° C), torna-o ainda mais frio do que Netuno em alguns lugares.

As velocidades do vento podem atingir até 560 milhas por hora (900 quilômetros por hora) em Urano. Os ventos são retrógrados no equador, soprando na

direção reversa da rotação do planeta. Porém, mais perto dos polos, os ventos mudam para uma direção progressiva, fluindo com a rotação de Urano (NASA,2020).

11.7.2 Composição da atmosfera de Urano

Pressão superficial	>> 1000 bar ou >>1000 atm = $1 \cdot 10^3$ atm
Densidade de superfície	~ 0,42 kg / m ³ a 1 atm
Massa total da atmosfera	~ 8,6 81 . 10 ²⁵ kg
Temperatura média	~76 K (-197°C)
Hidrogênio (H ₂)	~82 %
Hélio (He)	~15 %
Metano (CH ₄)	~2 %

Fonte: Dados NASA, 2020.

11.7.3 Algumas medidas de Urano

Raio	25 362 km
Distância média do Sol	2 900 000 000 km ou $2,9 \cdot 10^9$ km
Velocidade média da órbita	24 477 km / h
Circunferência equatorial	159 354,1 km
Volume	68 334 355 695 584 km ³ ou $\sim 6,83 \cdot 10^{13}$ km ³
Massa	86 810 300 000 000 000 000 000 000 kg ou $\sim 8,7 \cdot 10^{25}$ kg.
Área de superfície	8 083 079 690 km ² ou $\sim 8,1 \cdot 10^9$ km ²
Gravidade da superfície	8,87 m/s ²

Fonte: Dados NASA, 2020.

11.7.4 Distância entre o Sol e Urano

Com um raio de 15 759,2 milhas (25 362 quilômetros), Urano é 4 vezes mais largo que a Terra. Se a Terra fosse do tamanho de um níquel, Urano seria quase tão grande quanto uma bola de softball.

De uma distância média de 1,8 bilhões de milhas (2,9 bilhões de quilômetros), Urano está a 19,8 unidades astronômicas de distância do sol. Dessa distância, a luz do sol leva 2 horas e 40 minutos para viajar do Sol a Urano (NASA, 2020).

11.7.5 As Temperaturas de Urano

Urano tem uma composição similar à de Netuno, e ambos possuem uma composição química diferente da dos maiores gigantes gasosos, Júpiter e Saturno. Como tal, os astrônomos algumas vezes os colocam em uma categoria separada, os "gigantes gelados". A atmosfera de Urano, embora similar à de Júpiter e Saturno em sua composição primária de hidrogênio e hélio, contém mais "gelos" tais como água, amônia e metano, assim como traços de hidrocarbonetos. É a mais fria atmosfera planetária no Sistema Solar, com uma temperatura mínima de 49 K (−224 °C). Tem uma complexa estrutura de nuvens em camadas, onde acredita-se que a água forma as nuvens mais baixas e o metano as mais exteriores. Em contraste, seu interior é formado principalmente por gelo e rochas (wiki/Urano, 2020).

11.8 Netuno

11.8.1 Atmosfera de Netuno

Netuno não tem uma superfície sólida. Sua atmosfera (composta principalmente de hidrogênio, hélio e metano) se estende a grandes profundidades, gradualmente se fundindo com a água e outros gelos derretidos sobre um núcleo sólido mais pesado, com aproximadamente a mesma massa da Terra.

A atmosfera de Netuno é composta principalmente por hidrogênio e hélio com apenas um pouco de metano. O vizinho de Netuno, Urano, tem uma cor azul-esverdeada devido ao metano atmosférico, mas Netuno é um azul mais vívido, mais

brilhante, então deve haver um componente desconhecido que causa a cor mais intensa.

Netuno é o mundo mais ventoso do nosso sistema solar. Apesar de sua grande distância e baixa entrada de energia do Sol, os ventos de Netuno podem ser três vezes mais fortes que os de Júpiter e nove vezes mais fortes que os da Terra. Esses ventos açoitam nuvens de metano congelado em todo o planeta, a velocidades de mais de 1.200 milhas por hora (2.000 km/h). Mesmo os ventos mais poderosos da Terra atingem apenas cerca de 250 milhas por hora (400 km/h).

Em 1989, uma grande tempestade em formato oval, no hemisfério sul de Netuno, chamada de "Grande Mancha Escura", era grande o suficiente para conter toda a Terra. Essa tempestade já desapareceu, mas novas surgiram em diferentes partes do planeta (NASA, 2020).

11.8.2 Composição da atmosfera de Netuno

Pressão superficial	>> 1000 bar ou >>1000 atm = $1 \cdot 10^3$ atm
Densidade de superfície	~ 0,45 kg / m ³ a 1 atm
Massa total da atmosfera	~ $1,02 \cdot 10^{26}$ kg
Temperatura média	~72 K (- 201°C)
Hidrogênio (H ₂)	~80 %
Hélio (He)	~18 %
Metano (CH ₄)	~1,5 %

Fonte: Dados NASA, 2020.

11.8.3 Algumas medidas de Netuno

Raio	24 622 km
Distância média do Sol	4 500 000 000 km ou $4,5 \cdot 10^9$ km

Velocidade média da órbita	19 566 km / h
Circunferência equatorial	154 704,6 km
Volume	62 525 703 987 421 km ³ ou $\sim 6,25 \cdot 10^{13}$ km ³
Massa	102 410 000 000 000 000 000 000 000 kg ou $\sim 1,02 \cdot 10^{26}$ kg.
Área de superfície	7 618 272 763 km ² ou $\sim 7,6 \cdot 10^9$ km ²
Gravidade da superfície	11,15 m/s ²

Fonte: Dados NASA, 2020.

11.8.4 Distância entre o Sol e Netuno

Com um raio de 15.299,4 milhas (24.622 quilômetros), Netuno é cerca de quatro vezes mais largo que a Terra. Se a Terra fosse do tamanho de um níquel, Netuno seria quase tão grande quanto uma bola de beisebol.

De uma distância média de 2,8 bilhões de milhas (4,5 bilhões de quilômetros), Netuno está a 30 unidades astronômicas de distância do sol. Dessa distância, a luz do sol leva 4 horas para viajar do Sol a Netuno.

11.8.5 As Temperaturas de Netuno

A temperatura da atmosfera netuniana varia conforme a altitude. Na altitude cuja pressão equivale a 0,1 bar, a temperatura chega ao mínimo de 50 K (-223 °C), e sobe conforme a pressão diminui, ou seja, conforme a altitude aumenta, atingindo até 327 °C, a uma pressão de centenas de bilionésimos de bar, o que equivale a uma altitude de 2 200 quilômetros acima do nível de referência de 1 bar. Abaixo do nível de pressão de 0,1 bar, a temperatura aumenta conforme a pressão aumenta. No nível de referência de 1 bar, a temperatura média é de 74 K (-199,15 °C). A alta temperatura da camada superior da atmosfera, embora seja comum em todos os outros planetas gigantes, ainda permanece um mistério, pois não pode ser provocada pela radiação

ultravioleta solar, devido à grande distância do Sol. Possivelmente, isso está relacionado ao comportamento do campo magnético do planeta (WIKIPEDIA, 2020).

Sequência Didática para a aplicação do Produto Educacional

O produto educacional é um livro que traz uma sequência didática para alunos de 2ª série do ensino médio, com o objetivo fomentar uma aprendizagem significativa baseada na Instrução Conceitual Orientada para Mudanças (ICOM) e nas teorias de David Ausubel. O educador orienta os educandos a estudarem o conteúdo da aula seguinte para desenvolver conceitos sobre os assuntos científicos, e na sala de aula esses conceitos serão substituídos por conceitos científicos geram um subsunçor. Os primeiros conceitos adquiridos podem ser científicos ou não, eles influenciam o aprendizado, dando novas concepções científicas.

Medidas local da atmosfera de Vênus foram feitas pela Venera 4, 5, 6 e pela Mariner flyby. Essas missões forneceram informações novas e confiáveis e devem contribuir para nossa compreensão do planeta mais quente. A composição das moléculas da atmosfera e a temperatura foram obtidas pela primeira vez pela espaçonave Venera. Os dados mostraram que a atmosfera é composta de gás de carbônico (CO₂) em mais de 90%. Na ausência de outros mecanismos, a principal entrada de CO₂ na atmosfera venusiana é via emissão vulcânica. Na região de pouso da Venera, a temperatura e a pressão demonstraram ser 747 K e 90 kg/cm².

- 1- Cada capítulo deve ser estudado ao longo de três aulas.
- 2- A primeira aula fica para apresentação do material e metodologia de ensino
- 3- O material deve ser distribuído ao discente para leitura inicial
- 4- Os capítulos devem ser seguidos de maneira ordenada para a compreensão do conteúdo que está disposto ordenadamente de acordo com os pré-requisitos necessários para cada assunto.
- 5- Aos discentes deve ser dado um tempo de leitura do material desenvolvido.
- 6- Após leitura do material, os discentes respondem as questões colocadas ao final de cada capítulo.
- 7- O processo de aprendizagem significativa é aplicado com a avaliação das respostas por parte dos discentes.
- 8- O professor deve intervir no processo de ensino e aprendizagem para atualizar os alunos dos conceitos anteriores
- 9- Em uma nova avaliação deve-se verificar se houve o aprendizado concreto dos conceitos desenvolvidos em sala de aula por parte do professor.

- 10- O sucesso do produto é a capacidade dos discentes em construir o gráfico da distribuição barométrica que correlaciona a temperatura com a altura do planeta em questão.
- 11- Ao longo da aplicação do produto o professor pode discutir temas transversais como o aquecimento global e outros temas persistentes.

12 REFERÊNCIAS

AYDENIZ, Mehmet et al. **Exploring the impact of argumentation on college students' conceptual understanding of the properties and behavior of gases.** 2011.

BERG, K. C.; TREGUST, D. F. **The presentation of gas properties in chemistry textbooks and as reported by science teachers.** JRST. Volume 30, Issue. 1993.

Cálculo da intensidade do campo gravitacional (g). ufrgs, 2022. Disponível em: <https://ppgenfis.if.ufrgs.br/mef008/mef008_02/Paulo/Trabalho/campo.html> Acessado em: 20 de out. de 2022.

Calorimetria no Enem: conceitos, fórmulas e questões resolvidas. PUC Goiás, Goiânia, 26 de jan. de 2022. EAD Puc Goiás Enem. Disponível em: <<https://ead.pucgoias.edu.br/blog/calorimetria>>. Acesso em: 10, set. de 2022.

CARDOSO, João Michels. **Proposta didática para o ensino das variáveis de estado de um gás ideal com uso do arduino.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade do Federal de Santa Catarina no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), 2019.

CETIN, Pinar et al. Facilitating Conceptual Change in Gases Concepts. **Journal of Science Education and Technology.** 2008. 18. 130-137. 10.1007/s10956-008-9138-y.

CONTEÚDO aberto. In: Encyclopædia Britannica: Desenvolvimento da teoria atômica: A filosofia atômica dos primeiros gregos. Ed. Única. Chicago, EUA: 2022. Disponível em: <<https://www.britannica.com/science/atom/Development-of-atomic-theory>>

CONTEÚDO aberto. In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Buckminsterfullerene>. Acesso em: 8 out. 2020.

CONTEÚDO aberto. In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Temperatura#Refer%C3%A2ncias>. Acesso em: 8 out. 2020.

Covley, Margaret T.; Nypaver C.; Rogers K. A; Lang, N. P. and Thomson, B. J. VENUS Mercyhurst University. V. 49, 2016. THE CONTRIBUTION OF SMALL SHIELD VOLCANOES TO THE VOLCANIC RESURFACING OF THE MAHUEA THOLUS QUADRANGLE.

CRISTINA, Neres da Silva, et al. **Ensinando a Química do Efeito Estufa no Ensino Médio.** 2009

Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Urano_\(planeta\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Urano_(planeta))>

Engineering ToolBox, (2003). Air - Density and Specific Volume vs. Altitude. [online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/air-altitude-density-volume-d_195.html [Accessed 20, oct. De 2020]

ESPAÇO, Profundidade da Grande Mancha Vermelha de Júpiter é medida pela 1ª vez. Revista Galileu, 2021 Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Espaco/noticia/2021/10/profundidade-da-grande-mancha-vermelha-de-jupiter-e-medida-pela-1-vez.html>> Acessado em: 20 de nov. de 2021

Fogaça, Jennifer Rocha Vargas. "Propriedades Gerais e Específicas"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/propriedades-gerais-especificas.htm>. Acesso em 12 de outubro de 2020

GASES. Phet interactive simulations. 2020. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro_pt_BR.html> Acesso em: maio 2020.

Herrick, R. R. Resurfacing history of Venus Geology, V. 22, ed. 22, p. 703, agosto de 1994. Disponível em: [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1994\)022<0703:RHOV>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1994)022<0703:RHOV>2.3.CO;2)

Hewson, Peter. (1992). Conceptual change in science teaching and teacher education.

how to draw jupiter the planet. Myubi.tv, 2020. Disponível em: <<https://pt.myubi.tv/16902-how-to-draw-jupiter-the-planet>> Acessado em: 20 de jan. de 2020

Já encontrou um balão meteorológico? Vaisala, 2022. Disponível em: <<https://www.vaisala.com/pt/have-you-found-weather-balloon>>. Acessado em: 20 de out. de 2022.

Lente, G., Ósz, K. Barometric formulas: various derivations and comparisons to environmentally relevant observations. ChemTexts 6, 13 (2020). Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40828-020-01111-6>> Acesso em: 20 de jan. 2021.

Luiz, Robson. "Notação científica"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/matematica/notacao-cientifica.htm>. Acesso em 12 de outubro de 2020.

M. Da Silva, Leonardo e H. de Castro, Arthur. REVISITING IDEAL GASES AND PROPOSAL OF A SIMPLE EXPERIMENT FOR DETERMINING ATMOSPHERIC PRESSURE IN THE LABORATORY, Química Nova. (Diamantina-Mg) Vol. 41, Nº. 7, p. (818-824), março, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170221>. Acesso em: maio 2022.

Magalhães, Welington Ferreira de, Fernandes Nelson Gonçalves, Ferreira Amary Cesar. FÍSICO-QUÍMICA I, Termodinâmica do Equilíbrio: Gases Ideais. Maio 2013. Aula 05. Notas de Aula. Universidade Federal De Minas Gerais, Departamento de Química, ICEx. Setor De Físico-Química. Disponível em: https://www2.ufjf.br/quimica/ead/wp-content/uploads/sites/224/2013/05/Aula5_FQI.Pdf. Acesso em: maio 2022.

Magalhães, Welington Ferreira de, Fernandes Nelson Gonçalves, Ferreira Amary Cesar. FÍSICO-QUÍMICA I, Termodinâmica do Equilíbrio: Gases Ideais. Maio 2013. Aula 05. Notas de Aula. Universidade Federal De Minas Gerais, Departamento de

Química, ICEx. Setor De Físico-Química. Disponível em: https://www2.uff.br/quimicaead/wp-content/uploads/sites/224/2013/05/Aula5_FQI.Pdf. Acesso em: maio 2022.

MEC, **Estratégia para o Ensino de Ciências**. Site acessado em 06 de junho de 2019.

Meteorologia, EFEITO ESTUFA. Usp, 2020. Disponível em: <https://www.iag.usp.br/siae97/meteo/met_estu.htm> Acessado em: 20 de jan. de 2020.

MÉTODO CIENTÍFICO. In: DICIO, Dicionário Online de Português. Porto: 7 Graus, 2020. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/metodo-cientifico/>. Acesso em: 10/02/2020.

MOL. In: DICIO, Dicionário Online de Português. Porto: 7 Graus, 2020. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/mol/>. Acesso em: 16/10/2020.

Nasa, 2022; The Atmosphere: Earth's Security Blanket; Laboratório de Propulsão a Jato da NASA / Instituto de Tecnologia da Califórnia; 02 de Oct de 2019; Disponível em: < <https://climate.nasa.gov/news/2914/the-atmosphere-earths-security-blanket/> > Acesso em: 10 de dez. de 2019.

NASA, **NASA Missions**. Site <https://www.nasa.gov/missions>. Acessado em 06 de agosto de 2019 e 2020.

National Geographic Society; Atmosphere; National Geographic Headquarters, 1145 17th Street NW, Washington, DC 20036; 20 de maio de 2022; Disponível em: < <https://education.nationalgeographic.org/resource/atmosphere> > Acesso em: 15 de out. de 2022

Netuno. if.ufrgs, 2020. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/ast/solar/portug/neptune.htm>> Acessado em: 20 de nov. de 2020.

PLANETA SATURNO. Apolo 11, 2020, Disponível em: < https://www.apolo11.com/tema_astronomia_saturno.php#:~:text=A%20estrutura%20interna%20de%20Saturno,apenas%2020%25%20do%20raio%20planet%C3%A1rio. > Acessado em: 20 de nov. de 2020.

Press, Frank e Siever, Raymond e Grotzinger, Jonh e Jordan, Thomas H. Para entender a Terra: 4. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

Romeo I. and Turcotte D. L. The frequency-area distribution of volcanic units on Venus: Implications for planetary resurfacing Icarus, V. 203, ed. 1, p. 13–9, setembro 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2009.03.036>

Taylor, FW (1997). Vênus: Atmosfera. In: Enciclopédia da Ciência Planetária. Enciclopédia de Ciências da Terra. Springer, Dordrecht. Disponível em: https://doi.org/10.1007/1-4020-4520-4_437

TEIXEIRA, Francimar. Scientific literacy: questions for reflection. **Ciência & Educação (Bauru)**. 2012. 19. 795-809. 10.1590/S1516-73132013000400002.

Urano (planeta). [wiki/Urano](https://pt.wikipedia.org/wiki/Urano), 2020. Acessado em: 20 de nov. de 2020.

Vandaele A C 2020. Composition and Chemistry of the Neutral Atmosphere of Venus. Oxford Research Encyclopedia of Planetary Science

ZHOUHAO Bao. **The Relationship Between the Volume and Pressure in Ideal Gas**. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 493 (2019)