



GOVERNO DO
ESTADO DO PARÁ

CORREÇÃO DE FLUXO

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS



ENSINO MÉDIO

1º BIMESTRE

CLAUDETH DE SOUZA PINTO
ALEX CORRÊA DA SILVA

CADERNO DO ESTUDANTE





Helder Zahluth Barbalho
Governador do Estado do Pará

Hanna Ghassan Tuma
Vice-governadora do Estado do Pará

Ricardo Nasser Sefer
Secretário de Estado da Educação

Júlio César Meireles de Freitas
Secretário Adjunto de Educação Básica - SAEB

Silvaney Fonseca Ferreira Seabra
Diretoria de Ensino Fundamental II, Ensino Médio e Profissional

Higor Kyuzo da Silva Okada
Coordenador de Ensino Médio

EQUIPE TÉCNICA COEM

CARLA ROSSY FREITAS MONTEIRO | Assistente Administrativo
MARIA REGINA PEREIRA XAVIER | Assistente Administrativo
TATIANE MORAES DOS SANTOS ALMEIDA | Assistente Administrativo

ALEX CORREA DA SILVA | Licenciado em Biologia
CLAUDETH DE SOUZA PINTO | Licenciada em Biologia
ELIAS JORGE BECHARA JUNIOR | Licenciado em Matemática
GLEIDSON DIEGO DOS REIS MONTEIRO | Licenciado em Matemática
GUILHERME PASTANA FONSECA DE OLIVEIRA | Licenciado em Língua Portuguesa/Língua inglesa
RITA DE CÁSSIA DO NASCIMENTO PAULA | Licenciada em Geografia

ALESSANDRA BARBOSA SEIXAS | Especialista em Educação
FANEIDE PINTO FRANÇA BITENCOURT | Especialista em Educação
HILDA CAROLINA DE SOUZA CUNHA | Especialista em Educação
JAIME ROBERTO SILVA RAMOS | Especialista em Educação
JUCILENE PEREIRA DA SILVA | Especialista em Educação
MARILÉIA CORRÊA LIMA | Especialista em Educação
OLÍVIA DE NAZARÉ MIRANDA DIAS | Especialista em Educação
SOLANGE DA SILVA BEZERRA | Especialista em Educação
SORAYA PAULA FRACINETH SOUZA COUTINHO | Especialista em Educação

REALIZAÇÃO:

Coordenação de Ensino Médio (COEM)/ Diretoria de Ensino Fundamental II, Médio (DIEFEM)/ Secretaria Adjunta de Educação Básica (SAEB)/ Secretaria de Estado de Educação do Pará (SEDUC/PA).

ELABORAÇÃO DE CONTEÚDO:

ALEX CORRÊA DA SILVA – COEM/SEDUC/PA
CLAUDETH DE SOUZA PINTO – COEM/SEDUC/PA

FICHA CATALOGRÁFICA

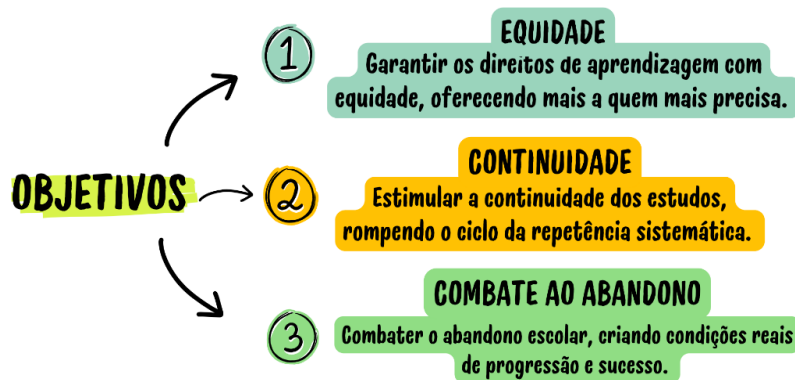
PARÁ. Secretaria de Estado de Educação. Correção de Fluxo – Ciências da Natureza e Suas Tecnologias - Ensino Médio - Caderno do Aluno. Secretaria de Estado de Educação: Belém, 2026.

O PROGRAMA DE CORREÇÃO DE FLUXO

O programa de Correção de Fluxo é destinado a enfrentar o desafio da distorção idade/ano na rede pública estadual de ensino. O programa, alinha-se com os objetivos do Pacto pela Recomposição das Aprendizagens, política pública elaborada pelo Ministério da Educação (MEC), em colaboração com outros entes como Conselho Nacional de Secretários de Educação (CONSED) e pela União Nacional dos Dirigentes Municipais de Educação (UNDIME) para que estados e municípios implementem ações e programas voltados para a melhoria dos índices de aprendizagem da Educação Básica.

As turmas de Correção de Fluxo possuem uma proposta de organização curricular própria através da qual os estudantes que estão em distorção de idade-série em relação ao ano de escolaridade podem desenvolver competências e habilidades essenciais. Para garantir que os estudantes progridam e concluam a educação básica no tempo previsto, as turmas atendidas pelo programa devem apresentar estratégias e atendimento diferenciado que propiciem aos estudantes progressão eficiente.

O programa surgiu com objetivos alinhados às premissas da educação como direito, a saber:



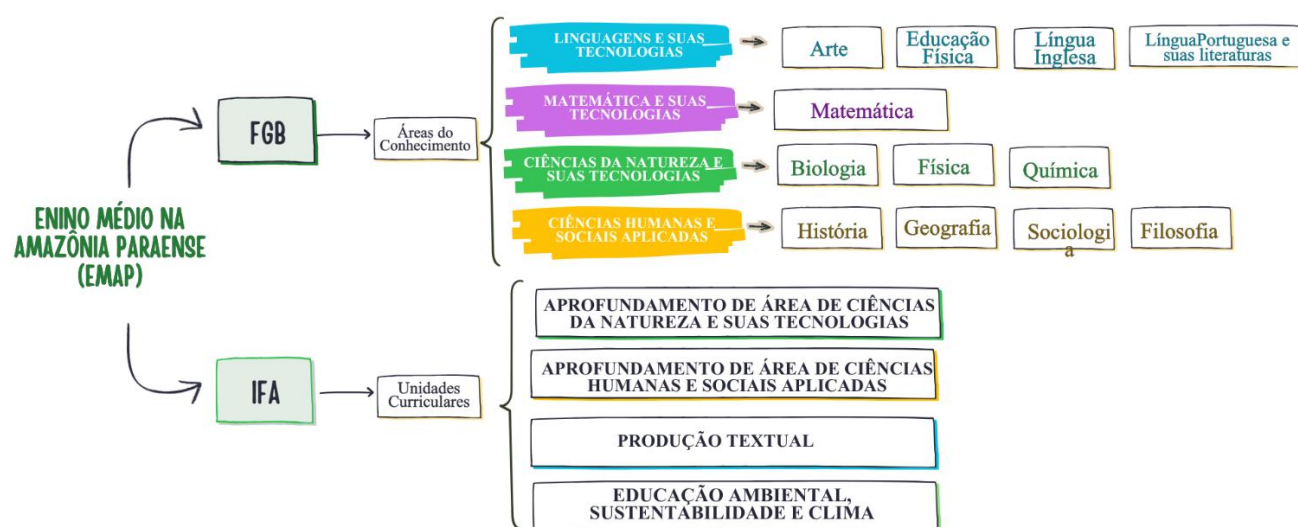
O programa Correção de Fluxo, fundamenta-se na premissa de que todos os estudantes são capazes de aprender.



MATRIZ CURRICULAR DO PROGRAMA DE CORREÇÃO DE FLUXO

A matriz curricular do Ensino Médio do Programa de Correção de Fluxo, é organizada em duas nucleações:

- Formação Geral Básica (FGB) - parte fixa do currículo, alinhada à Base Nacional Comum Curricular (BNCC), organizada por área do conhecimento, cada área com seus respectivos componentes curriculares.
- Itinerário Formativo de Aprofundamento (IFA): parte flexível do currículo, composta por suas unidades curriculares - Aprofundamento de Área (AA) de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, Aprofundamento de Área (AA) de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, Produção Textual (PT), e Educação Ambiental, Sustentabilidade e Clima (EASC).



Este caderno foi elaborado para atender as ações e atividades do 1º bimestre do Programa de Correção de Fluxo (PCF) do Ensino Médio na Amazônia Paraense (EMAP) na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (CNT). A obra proporciona uma viagem pelo conhecimento na FGB, a nucleação rígida do currículo.

Na FGB os componentes curriculares biologia, física e química, abordam objetos do conhecimento que mobilizam habilidades essenciais que permitem ao estudante desenvolver as competências necessárias à construção do seu projeto de vida. O caderno apresenta três unidades, uma para componente curricular

A unidade I (Origem e Evolução) do componente curricular biologia é composta por dois capítulos. O capítulo 1 (Origem da Vida) aborda as origens do universo, do sistema solar e da vida. O Capítulo 2 (Evolução) trata da evolução dos seres vivos, das teorias evolucionistas inclusive com uma abordagem voltada para evolução dos primatas.

A unidade I (Termometria, Calorimetria e Termodinâmica) do componente curricular física é composta por três capítulos. O capítulo 1 (Termometria) aborda o conceito de temperatura e às formas de medi-la. O Capítulo 2 (Calorimetria) trata das trocas de calor entre os corpos e as transformações

térmicas resultantes delas. O Capítulo 3 (Termodinâmica) trata das trocas de energia em sistemas termodinâmicos e as interações com o meio.

A unidade I (Soluções Químicas e Termoquímica) do componente curricular química é composta por dois capítulos. O capítulo 1 (Soluções Químicas) aborda diversos tipos de soluções e a forma como são expressas. O Capítulo 2 (Termoquímica) trata da quantidade de energia envolvidas nas reações químicas.

SUMÁRIO

BIOLOGIA	10
UNIDADE I. ORIGEM E EVOLUÇÃO	11
CAPÍTULO 01. ORIGEM DA VIDA	12
1. ORIGEM DO UNIVERSO.....	13
1.1 Teoria do Big Bang ou Teoria da Grande explosão	13
2. ORIGEM DO SISTEMA SOLAR	14
3. ORIGEM DA VIDA NA TERRA	15
3.1 Teoria da Geração espontânea ou Abiogênese	15
3.2 Teoria da Biogênese	15
3.3 A Terra primitiva e a origem dos primeiros seres vivos	17
3.3.1 Hipóteses sobre a origem da vida na Terra.....	18
3.4 Outras explicações para as origens da vida	21
ATIVIDADE	23
REFERÊNCIAS	26
CAPÍTULO 02. EVOLUÇÃO.....	27
1. PENSAMENTO EVOLUCIONISTA.....	28
1.1 Ideias evolucionista de Lamarck	28
1.2 Ideias evolucionista de Darwin	29
1.3 Ideias evolucionista de Wallace	30
2. TEORIA SINTÉTICA DA EVOLUÇÃO	32
3. MECANISMOS DA EVOLUÇÃO	32
4. EVIDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO	33
4.1 Registro Fóssil.....	33
4.2 Anatomia Comparada.....	34
4.2.1 Estruturas homólogas	34
4.2.2 Estruturas análogas.....	35
4.2.3 Estruturas vestigiais	36
4.3 Embriologia Comparada	36
4.4 Biologia Molecular	37
5. ISOLAMENTO REPRODUTIVO	37
5.1 Barreiras Pré-zigóticas.....	37
5.2 Barreiras Pós-zigóticas.....	37
6. ESPECIAÇÃO.....	38
6.1 Tipos de especiação	38
6.1.1 Especiação Alopátrica	38
6.1.2 Especiação Simpátrica	38
6.1.3 Especiação Parapátrica	39
7 EVOLUÇÃO HUMANA	39
7.1 Super família Hominoidea.....	40
7.2 Evolução dos Hominídeos	41
ATIVIDADE	44
REFERÊNCIAS	50

FÍSICA	52
UNIDADE I: TERMOMETRIA, CALORIMETRIA E TERMODINÂMICA	53
CAPÍTULO 01. TERMOMETRIA	54
1. INTRODUÇÃO	55
2. TEMPERATURA.....	55
3. TERMÔMETRO	56
4. ESCALAS TERMOMÉTRICAS.....	56
4.1 Escala Celsius (°C).....	56
4.2 Escala Fahrenheit (°F)	57
4.3 Escala Kelvin (K).....	57
5. CONVERSÃO ENTRE ESCALAS TERMOMÉTRICAS	58
5.1 Conversão entre as escalas Celsius e Kelvin	58
5.2 Conversão entre as escalas Celsius e Fahrenheit	58
5.3 Conversão entre as escalas Kelvin e Fahrenheit.....	59
ATIVIDADE	61
REFERÊNCIAS	63
CAPÍTULO 02. CALORIMETRIA.....	64
1. INTRODUÇÃO	65
2. CALOR	65
3. TROCAS DE CALOR	65
4. CAPACIDADE TÉRMICA.....	67
5. FLUXO DE CALOR.....	67
6. PROPAGAÇÃO DO CALOR.....	68
6.1 Condução térmica.....	69
6.2 Convecção térmica	69
6.3 Irradiação térmica.....	71
ATIVIDADE	72
REFERÊNCIAS	74
CAPÍTULO 03. TERMODINÂMICA	75
1. INTRODUÇÃO	76
2. SISTEMAS TERMODINÂMICOS.....	76
3. ESTADO TERMODINÂMICO	77
4. EQUILÍBRIO TERMODINÂMICO.....	77
5. TRABALHO TERMODINÂMICO	77
6. ENERGIA INTERNA	77
7. ESTUDO DOS GASES	78
7.1 Transformação isotérmica.....	80
7.2 Transformação isobárica	81
7.3 Transformação isométrica.....	83
8. PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA	84
9. SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA	85
9.1 Enunciados da segunda Lei da Termodinâmica.....	85
9.2 Máquinas térmicas	86
9.2.1 Rendimento de máquinas térmicas.....	87
9.2.2 Ciclos termodinâmicos das máquinas térmicas	87
ATIVIDADE	93
REFERÊNCIAS	95
QUESTÕES ENEM	96

QUÍMICA	103
UNIDADE I. SOLUÇÕES QUÍMICAS E TERMOQUÍMICA.	104
CAPÍTULO 01. SOLUÇÕES QUÍMICAS	105
1. INTRODUÇÃO	106
2. COMPONENTES DE UMA SOLUÇÃO	106
2.1 Sóluto	106
2.2 Solvente	106
3. GRANDEZAS FÍSICAS DA SOLUÇÃO	106
4. CLASSIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES	107
4.1 Quanto ao estado físico	107
4.2 Quanto à quantidade de soluto.....	109
4.3 Quanto à solubilidade	109
5. CURVA DE SOLUBILIDADE	109
6. FATORES QUE INFLUENCIAM NA SOLUBILIDADE.....	111
7. CONCENTRAÇÃO DE SOLUÇÕES	112
7.1 Concentração comum.....	112
7.2 Concentração molar ou Molaridade.....	113
7.3 Molalidade.....	118
7.4 Título	119
7.4.1 Título em massa	119
7.4.2 Título em volume.....	119
8. DILUIÇÃO DE SOLUÇÕES	123
ATIVIDADE	124
REFERÊNCIAS	126
CAPÍTULO 02. TERMOQUÍMICA	127
1. INTRODUÇÃO	128
2. SISTEMA E VIZINHANÇA	128
2.1 Sistema.....	128
2.2 Vizinhança.....	128
3. ENTALPIA	128
3.1 Variação de entalpia.....	128
3.2 Tipos de entalpia	129
4. TIPOS DE REAÇÕES QUANTO AO CALOR.....	130
4.1 Reação exotérmica.....	130
4.2 Reação endotérmica	131
5. DIAGRAMAS DE ENERGIA.....	132
6. LEI DE HESS	133
7. ENTALPIA DE LIGAÇÃO QUÍMICA	135
ATIVIDADE	137
REFERÊNCIAS	140
QUESTÕES ENEM	141

BIOLOGIA



Formação Geral Básica

UNIDADE I

Origem e Evolução



Nesta unidade, serão estudados os principais conceitos relacionados à origem do Universo, do Sistema Solar, da Terra e da vida, com o objetivo de compreender os processos físicos, químicos e biológicos que possibilitaram o surgimento dos primeiros seres vivos. Serão analisadas as condições da Terra primitiva e as diferentes explicações para a origem da vida, como as teorias da abiogênese e biogênese, além das hipóteses autotrófica, heterotrófica, da panspermia e da evolução química. A teoria criacionista também será abordada, permitindo a comparação entre explicações científicas e não científicas.

Em seguida, a unidade abordará a evolução biológica, discutindo as teorias que explicam as transformações pelas quais os seres vivos passaram ao longo do tempo. Serão estudadas as contribuições de Lamarck, Darwin e da Teoria Sintética da Evolução, bem como os principais mecanismos evolutivos, como mutações, recombinação genética, seleção natural, deriva genética e fluxo gênico. Serão analisadas ainda as evidências científicas que sustentam a teoria da evolução, incluindo o registro fóssil, a anatomia comparada, a embriologia e a biologia molecular.

Ao longo da unidade, exercícios, desafios e questões de vestibulares contribuem para a consolidação dos conhecimentos e para o desenvolvimento do pensamento científico e crítico dos estudantes.

CAPÍTULO 01. ORIGEM DA VIDA

Neste capítulo, serão abordados os principais conceitos e teorias relacionados à origem do Universo, do Sistema Solar, da Terra e da vida, contextualizando os processos físicos, químicos e biológicos que possibilitaram o surgimento dos primeiros seres vivos. Inicialmente, será discutida a origem do Universo e a formação do Sistema Solar, com destaque para as condições que levaram ao aparecimento da Terra primitiva. Em seguida, o capítulo explora as diferentes explicações científicas para a origem da vida na Terra, analisando teorias como a abiogênese e a biogênese, bem como as hipóteses autotrófica, heterotrófica, da panspermia e da evolução química. Também será apresentada a teoria criacionista, permitindo uma reflexão comparativa entre perspectivas científicas e não científicas. Por fim, os conteúdos serão consolidados por meio de exercícios, desafios e questões de vestibulares, favorecendo a fixação do conhecimento e o desenvolvimento do pensamento crítico.

Expectativas de Aprendizagem

Ao final do estudo, espera-se que os estudantes sejam capazes de:

- Analisar as teorias científicas sobre a origem do cosmos e da vida, comparando-as com outras cosmovisões.
- Identificar os componentes do sistema solar.
- Analisar as interações químicas e físicas essenciais para o surgimento da vida na Terra.
- Identificar as biomoléculas associadas ao surgimento da vida na Terra.
- Discutir as teorias sobre a origem da vida em diferentes contextos históricos e culturais.
- Reconhecer a importância dos experimentos de Redi, Pasteur, Miller-Urey na formulação de explicações sobre a origem da vida.
- Diferenciar as hipóteses sobre a origem da vida.

Habilidades da FGB

(EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.

(EM13CNT208) Aplicar os princípios da evolução biológica para analisar a história humana, considerando sua origem, diversificação, dispersão pelo planeta e diferentes formas de interação com a natureza, valorizando e respeitando a diversidade étnica e cultural humana.

(EM13CNT209) Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).

Habilidades do ENEM

(ENEM_C8_H28) Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

(ENEM_C4_H16) Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

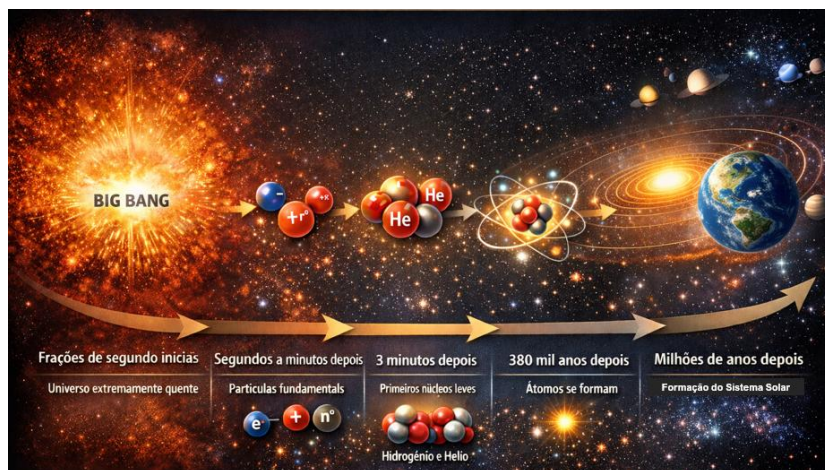
1. ORIGEM DO UNIVERSO

Desde os tempos mais remotos, os seres humanos buscam explicar as origens do Universo, da Terra e da Vida. Durante muito tempo, as explicações estiveram associadas a mitos e crenças religiosas (**Cosmogonia**). Com o avanço da ciência, surgiram teorias baseadas na observação, na experimentação e no uso da matemática (**Cosmologia**).

1.1 Teoria do Big Bang ou Teoria da Grande explosão

Segundo a Teoria do Big Bang, o Universo surgiu há aproximadamente 13,8 bilhões de anos a partir de um ponto extremamente quente, denso e concentrado. Nesse início, toda a matéria, energia, espaço e tempo estavam reunidos em uma condição primordial. Com o passar do tempo, esse estado inicial começou a se expandir (Figura 1.1), dando origem ao espaço, às partículas subatômicas, aos **átomos**, às estrelas, às galáxias e a todas as estruturas que observamos hoje.

Figura 1.1. Cronologia da expansão do Universo.



Fonte: Elaborada pelos autores. Imagem ilustrativa produzido por IA. ChatGPT (OpenAI) (2026).



Cosmologia x Cosmogonia

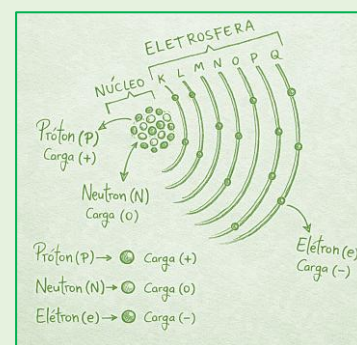
A cosmologia utiliza a ciência para explicar a origem do Universo, valendo-se de comprovações lógicas fundamentadas em leis universais. Ela não se ocupa de quem criou o Universo, mas de como ele surgiu e evoluiu ao longo do tempo.

A cosmogonia, por sua vez, utiliza mitos cosmogônicos, baseados na simbologia, na fé e nas tradições culturais dos povos, para explicar as origens do Universo. Sua explicação está centrada no sobrenatural e na atuação de deuses ou entidades criadoras. A verdade cosmogônica fundamenta-se na tradição e na cultura de um povo, não buscando explicar os processos científicos da criação do Universo, mas sim quem foi responsável por sua criação.



Átomo

É a menor unidade da matéria que conserva as propriedades de um elemento químico. Ele é formado por duas regiões principais: o núcleo e a eletrosfera. No núcleo encontram-se os prótons, de carga positiva, e os nêutrons, sem carga elétrica. Ao redor do núcleo está a eletrosfera, onde ficam os elétrons, partículas de carga negativa distribuídas em níveis de energia.



A Teoria do Big Bang, teoria mais aceita para explicar a origem do universo, é sustentada por várias evidências observacionais, conforme listadas a seguir:

a) Expansão do Universo - As galáxias estão se afastando umas das outras. Isso foi observado por Edwin Hubble, que percebeu que quanto mais distante uma galáxia está, mais rapidamente ela se afasta. Isso indica que o Universo ainda está em expansão.

b) Radiação Cósmica de Fundo - Trata-se de uma radiação detectada em todas as direções do espaço, considerada um “eco” do Universo jovem, quando ele começou a esfriar. Essa radiação é uma das provas mais fortes da teoria.

c) Abundância dos elementos químicos - As proporções de hidrogênio e hélio observadas no Universo correspondem às previsões feitas pelos modelos do Big Bang.

A teoria do Big Bang explica como o Universo evoluiu a partir de seus primeiros instantes, mas **não explica** o que causou o Big Bang. Questões como “o que havia antes?” ou “por que o Big Bang ocorreu?” ainda são objeto de investigação científica e filosófica.

Importância da Teoria do Big Bang:

- Explica a origem e a evolução do Universo;
- Integra conhecimentos da Física, Astronomia e Química;
- Demonstra como a ciência constrói explicações a partir de evidências;
- Reforça a ideia de que o conhecimento científico é provisório e revisável.

2 ORIGEM DO SISTEMA SOLAR

A formação do Sistema Solar resultou de um longo processo de organização da matéria, explicada segundo a **Teoria da Nebulosa Solar**. Conforme essa teoria, o Sistema Solar começou a se formar há 4,6 bilhões de anos, a partir de uma grande nuvem de gás e poeira interestelar, chamada nebulosa. Essa nuvem era composta por hidrogênio e hélio, além de pequenas quantidades de outros elementos químicos.

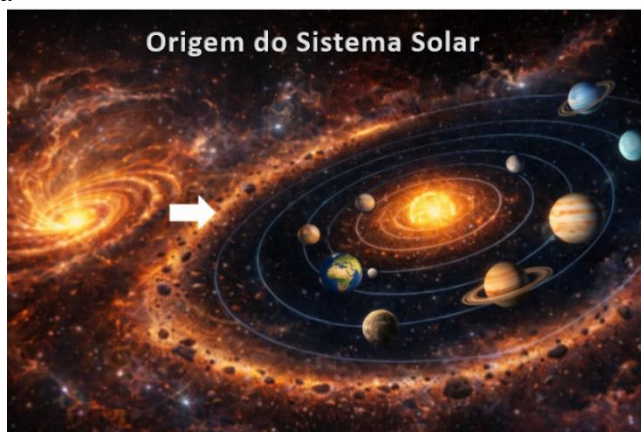
Sob a ação da gravidade, a nebulosa começou a se contrair e a girar mais rapidamente, transformando-se em um disco achatado. No centro desse disco, concentrou-se a maior parte da matéria, dando origem ao Sol, cuja elevada temperatura e pressão iniciaram reações nucleares responsáveis pela produção de energia. Ao redor do Sol, o material restante do disco formou pequenos aglomerados de partículas, chamados planetesimais.

Com o passar do tempo, os planetesimais se chocaram e se uniram, originando corpos cada vez maiores, os protoplanetas, que deram origem aos planetas atuais. Nas regiões mais próximas ao Sol, onde as temperaturas eram mais altas, formaram-se os planetas rochosos — Mercúrio, Vênus, Terra e Marte. Já nas regiões mais distantes, onde as temperaturas eram mais baixas, foi possível a formação dos planetas gasosos e gelados, como Júpiter, Saturno, Urano e Netuno.

Além dos planetas, outros corpos celestes também se formaram a partir do material remanescente da nebulosa, como asteroides, cometas e satélites naturais. Muitos desses corpos preservam características do início do Sistema Solar, sendo importantes fontes de informação para o estudo de sua origem e evolução.



Sugestão de Vídeo: A formação do Sistema Solar
<https://www.youtube.com/watch?v=SmH-BY4bstM>



Fonte: Adaptado de TREFIL & HAZEN, 2010. *Imagem ilustrativa produzido por IA. ChatGPT (OpenAI) (2026).*

3 ORIGEM DA VIDA NA TERRA

Assim como ocorre com o Universo, a origem da vida é discutida a partir de diferentes explicações, **teorias** e **hipóteses** científicas construídas ao longo da história.

3.1 Teoria da Geração espontânea ou Abiogênese

Ideia antiga de que a vida poderia surgir espontaneamente a partir da matéria não viva sob ação de um princípio vital para que a matéria inanimada se tornasse viva. Essa concepção teve entre os seus defensores o filósofo grego Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), o médico e alquimista belga Jan Baptista van Helmont (1580 - 1644) e o médico e naturalista Félix Archimède Pouchet (1800-1876).



O que são teorias?

São explicações abrangentes e fundamentadas que descrevem fenômenos relacionados. São baseadas em observações e testes sistemáticos de hipóteses capazes de prever resultados futuros, contudo, não são infalíveis e nem verdades absolutas, logo, podem ser refutadas.

O que é uma hipótese?

Corresponde ao ponto de partida para uma investigação científica. Traz uma sugestão inicial, porém, testável sobre um fenômeno.

van Helmont afirmava que ratos poderiam se formar espontaneamente quando roupas sujas eram colocadas junto a grãos de trigo, após cerca de 21 dias. Atualmente, sabe-se que essa ideia estava incorreta, pois os ratos apenas entravam no local atraídos pelo alimento. O experimento é importante por representar uma etapa histórica no desenvolvimento do pensamento científico e do método experimental.



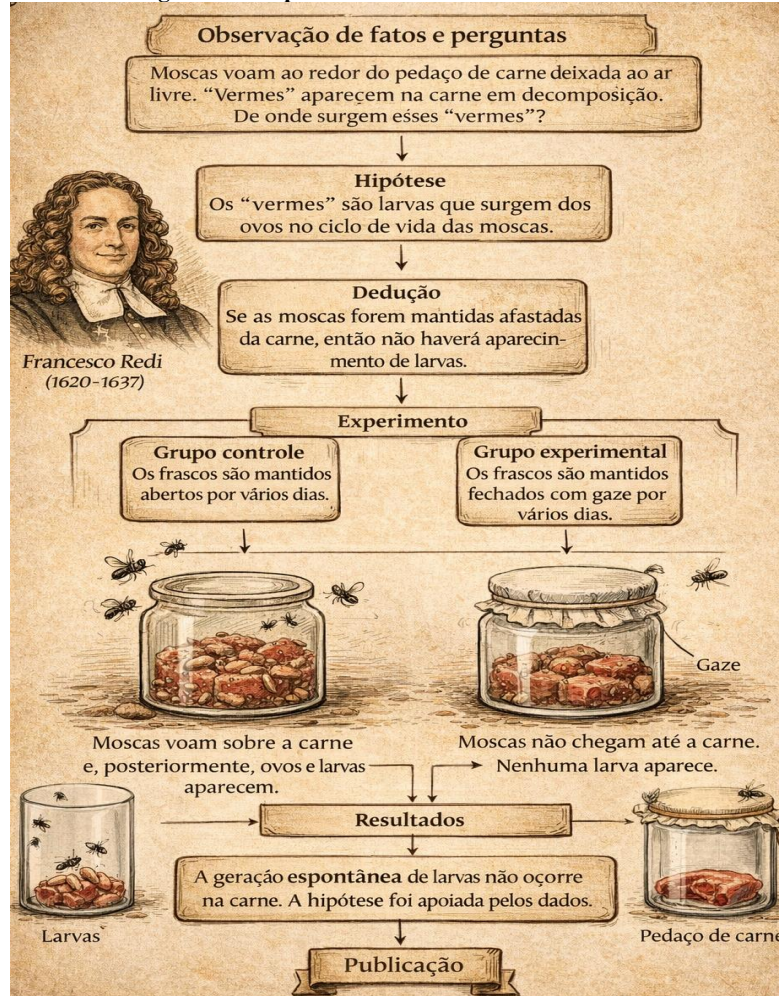
Fonte: Elaborada pelos autores. Imagem ilustrativa produzido por IA. ChatGPT (OpenAI) (2026).

A teoria da Geração espontânea foi amplamente aceita até ser questionada por outros experimentos científicos.

3.2 Teoria da biogênese

A Teoria da Biogênese (do grego *bios*, “vida”, e *genesis*, “origem”) afirma que todo ser vivo surge, por reprodução, de outro ser vivo preexistente. Experimentos de cientistas como Francesco Redi (1626 - 1668) (Figura 1.2), John Needham (1713 - 1781), Lazzaro Spallanzani (1729 - 1799) e Louis Pasteur (1822 - 1895) são apresentados como fundamentais para comprovar essa teoria e refutar a geração espontânea.

Figura 1.2: Experimento de Francesco Redi.



Fonte: Adaptado de TORTORA et al., 2017. Imagem ilustrativa produzido por IA. ChatGPT (OpenAI) (2026).

O experimento conduzido por Redi gerou um sério abalo na credibilidade das explicações para origem da vida a partir de um princípio vital. O confronto entre os abiogenistas e os biogênistas perdurou por séculos. E em um novo capítulo dessa longa disputa o naturalista francês Félix-Archimède Pouchet (1800–1872), um dos mais proeminentes defensores da geração espontânea, elaborou e conduziu um experimento que trouxe de volta a credibilidade dos abiogênistas (Figura 1.3).

Figura 1.3: Experimento de Pouchet

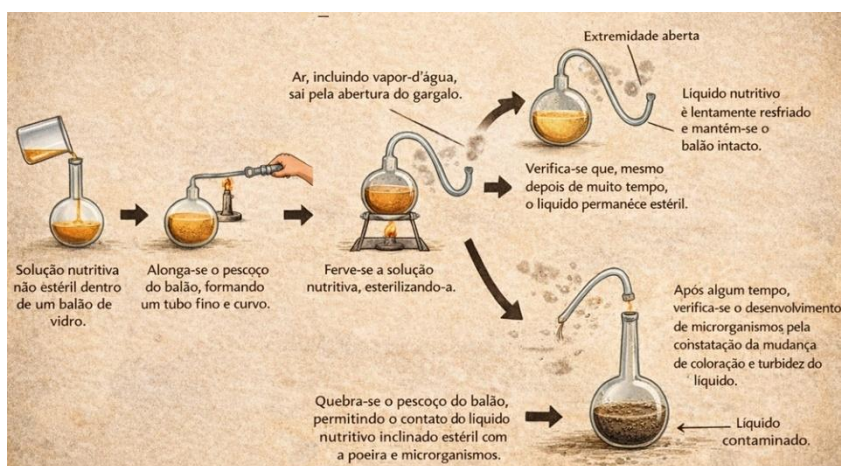


Fonte: Elaborada pelos autores. Imagem ilustrativa produzido por IA. ChatGPT (OpenAI) (2026).

O desfecho do confronto entre os defensores das duas teorias, abiogênese e biogênese, só ocorreu quando a Academia de Ciências da França ofereceu um prêmio a quem realizasse experimentos que esclarecesse de uma vez por todas a questão.

O químico e microbiologista francês Louis Pasteur (1822–1895) conduziu seu experimento (Figura 1.4), que consistia na utilização de frascos com gargalos curvos ("pescoço de cisne") com caldo nutritivo fervido para provar a biogênese. A curvatura nos gargalos dos frascos impedia microrganismos de entrar, mantendo assim o caldo estéril, mas ao quebrar o gargalo, micróbios (microrganismo) surgiam. Desta forma Pasteur conseguiu provar que a vida só pode surgir de outra vida preexistente, colocando fim a séculos de discussão.

Figura 1.4: Experimento de Louis Pasteur



Fonte: Adaptado de MADIGAN, *et al.*, 2016; TORTORA *et al.*, 2017. Imagem ilustrativa produzido por IA. ChatGPT (OpenAI) (2026).

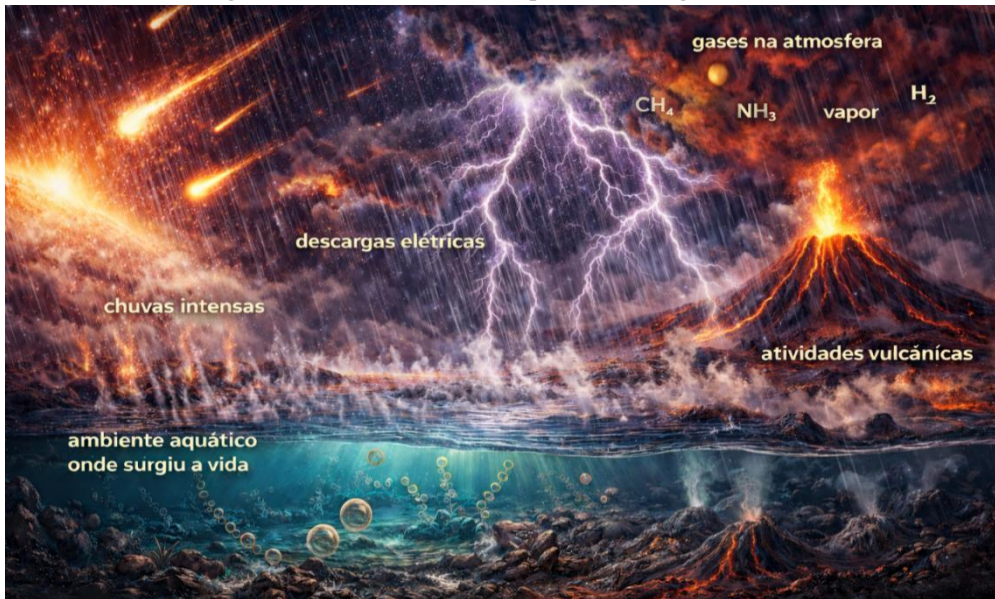
Como vimos, o experimento conduzido por Pasteur pôs fim à discussão entre abiogênistas e biogênistas. Ficou provado que a vida só pode existir a partir de vida preexistente. Contudo isso gerou um novo questionamento no mundo científico a respeito das origens da vida. Se a vida só pode ser gerada de outra vida, quando surgiu o primeiro ser vivo?

Para responder a esse questionamento é necessário voltarmos aos primórdios do surgimento do nosso planeta, um período da história da terra em que as condições eram totalmente diferentes daquelas que conhecemos atualmente.

3.3 A Terra primitiva e a origem dos primeiros seres vivos

A Terra primitiva corresponde ao período inicial da história do planeta, iniciado há cerca de 4,6 bilhões de anos, logo após sua formação. Nesse estágio, a Terra apresentava condições extremas, muito diferentes das atuais. As temperaturas eram extremamente altas e resultavam da recente formação do planeta, intensa atividade vulcânica e frequentes impactos de meteoritos. O vulcanismo intenso liberava grandes quantidades de gases para a atmosfera. A atmosfera nesse período não tinha oxigênio livre e era composta principalmente por metano (CH₄), amônia (NH₃), hidrogênio (H₂), vapor d'água e gás carbônico (CO₂). A ausência de camada de ozônio permitia a incidência direta de frequentes descargas elétricas e forte radiação ultravioleta (Figura 1.5).

Figura 1.5: Condições da Terra primitiva e origem da vida.



Fonte: Adaptado de Amabis & Martho, 2024. Imagem ilustrativa produzido por IA. ChatGPT (OpenAI) (2026).

Como se pode observar, as condições da terra logo após sua origem não lhe permitiam abrigar a vida. Contudo o seu resfriamento gradual permitiu a condensação do vapor d'água e a formação dos primeiros corpos d'água. O surgimento de ambientes aquáticos favoreceu a ocorrência de reações químicas que originaram moléculas que antecederam as primeiras formas de vida.

Nos oceanos primitivos, ocorreram intensas reações químicas envolvendo substâncias simples dissolvidas na água, como metano, amônia, hidrogênio e gás carbônico. A energia proveniente das descargas elétricas, do calor vulcânico e da radiação ultravioleta favoreceu a transformação dessas substâncias em moléculas orgânicas simples, como aminoácidos, açúcares e bases nitrogenadas, que se acumularam na chamada "sopa primordial". Com o tempo, essas moléculas passaram a interagir e a se organizar em estruturas mais complexas. Entre elas destacam-se os coacervados, agregados de moléculas orgânicas envoltos por uma espécie de membrana rudimentar, capazes de manter um ambiente interno diferente do externo. Embora não fossem seres vivos, os coacervados representaram um passo importante na origem da vida, pois possibilitaram a concentração de substâncias químicas e a realização de reações metabólicas simples, abrindo caminho para o surgimento das primeiras células.

3.3.1 Hipóteses sobre a origem da vida na Terra

- **Hipótese Heterotrófica:** A hipótese heterotrófica afirma que as primeiras formas de vida na Terra eram organismos simples, unicelulares e heterótrofos, ou seja, não produziam seu próprio alimento. Esses seres obtinham energia e matéria a partir de substâncias orgânicas já existentes no ambiente. Segundo essa hipótese, na Terra primitiva havia grande quantidade de moléculas orgânicas acumuladas nos oceanos, formando a chamada sopa primordial, resultado da evolução química. Os primeiros seres vivos utilizavam essas moléculas como fonte de energia por meio de processos metabólicos simples, como a fermentação, já que a atmosfera primitiva não possuía oxigênio livre e, portanto, não permitiria que os primeiros seres usassem a respiração como forma de obter energia.

- **Hipótese Autotrófica:** A hipótese autotrófica propõe que as primeiras formas de vida na Terra eram organismos autótrofos, capazes de produzir seu próprio alimento a partir de substâncias

inorgânicas do ambiente, sem depender de matéria orgânica previamente existente. Para essa hipótese, os primeiros seres vivos utilizavam fontes de energia disponíveis na Terra primitiva, como a energia química liberada em reações entre substâncias inorgânicas (quimiossíntese), especialmente em ambientes como fontes hidrotermais. Alguns autores também consideram que, posteriormente, teria surgido a fotossíntese, processo de obtenção de energia que utiliza a radiação solar. A vantagem dos organismos autotróficos em relação aos organismos heterotróficos seria a independência alimentar. O surgimento de organismos fotossintetizantes contribuiu para o aumento gradual do oxigênio na atmosfera, modificando profundamente o planeta. Embora menos aceita que a hipótese heterotrófica, a hipótese autotrófica é importante para compreender possíveis caminhos evolutivos iniciais da vida na Terra.

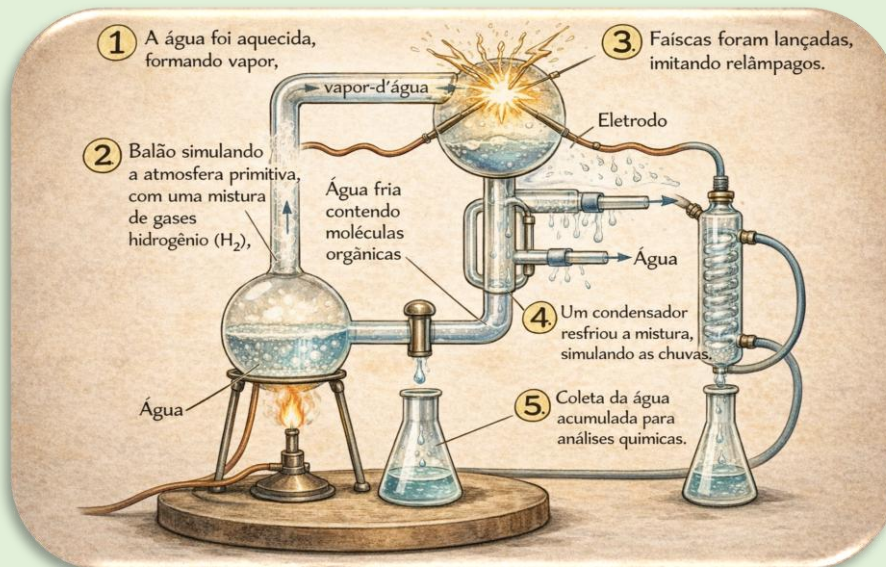
- **Hipótese da Panspermia cósmica:** A panspermia cósmica é a hipótese que propõe que a vida não se originou na Terra, mas teria chegado ao planeta vinda do espaço. Segundo essa ideia, microrganismos ou moléculas orgânicas capazes de originar a vida teriam sido transportados por meteoritos, cometas ou poeira cósmica, alcançando a Terra primitiva. Esses organismos ou compostos teriam resistido às condições extremas do espaço, como baixas temperaturas e radiação, e, ao atingirem a Terra, encontraram um ambiente favorável para se desenvolver. A panspermia não explica como a vida surgiu originalmente, apenas sugere sua disseminação pelo universo. Essa hipótese é apoiada pela descoberta de moléculas orgânicas em corpos celestes, como meteoritos e nuvens interestelares, mas ainda não há evidências diretas de que formas de vida tenham realmente chegado à Terra dessa maneira.

- **Hipótese da Evolução Química:** Proposta por Aleksandr I. Oparin (1894–1980) e John Burdon S. Haldane (1892–1964), essa hipótese sugere que a vida surgiu a partir de reações químicas ocorridas na Terra primitiva. Para eles, a Terra primitiva era composta por vapor-d'água e pelos gases amônia, hidrogênio e metano que, a partir da energia proveniente da radiação ultravioleta e de descargas elétricas, reagiram quimicamente, originando moléculas orgânicas simples. Essas moléculas foram transportadas pela chuva para os mares rasos e quentes, formando a chamada “sopa nutritiva”. Posteriormente, as moléculas orgânicas simples se combinaram, dando origem a moléculas orgânicas mais complexas, que se organizaram em sistemas semi-isolados do meio, denominados **coacervados**.

A hipótese de Oparin e Haldane foi testada pelos químicos Stanley Miller e Harold Urey em 1953. No experimento, Miller e Urey simularam as condições da Terra primitiva, demonstrando a possível formação de aminoácidos a partir de substâncias simples.

O experimento de Miller e Urey

Miller e Urey desenvolveram um aparato experimental para reproduzir as condições existentes na Terra primitiva. Em um sistema fechado, a água contida em um frasco era aquecida, produzindo vapor, o qual promovia a circulação contínua no interior do equipamento. Durante esse percurso, o vapor atravessava um compartimento no qual eram introduzidos os gases propostos por Oparin e Haldane para representar a atmosfera primitiva. Nesse ambiente, eram geradas descargas elétricas, simulando os raios que provavelmente ocorriam com frequência naquele período. Posteriormente, a mistura gasosa passava por um processo de resfriamento, representando a condensação nas camadas mais altas da atmosfera e a consequente formação das chuvas. A água líquida resultante acumulava-se na parte inferior do sistema, simulando os mares primitivos. Ao analisarem amostras dessa água, Miller e Urey constataram a formação de moléculas orgânicas, como alguns aminoácidos, componentes fundamentais das proteínas.



Fonte: Adaptado de REECE, J. B. *et al.*, 2015. Imagem ilustrativa produzido por IA. ChatGPT (OpenAI) (2026).

3.4 Outras explicações para as origens da vida

• Criacionismo

Explicação de natureza religiosa para a origem da vida, segundo a qual o universo, o planeta terra e todos seres vivos teriam sido criados por uma divindade dotada de poder supremo.

CRISTIANISMO

Se baseia: Na crença em Jesus Cristo como forma de alcançar a salvação.

Divindade: Deus

Livro sagrado: Bíblia

Origem da Vida: Criação de Adão e Eva

ISLAMISMO

Se baseia: Na crença em Maomé como forma de alcançar o paraíso.

Divindade: Allah

Livro sagrado: Alcorão

Origem da Vida: Criação de Adão e Eva

BUDISMO

Se baseia: Na crença na iluminação individual através da sabedoria

Divindade: Não a um Deus criador

Livro sagrado: Tripitaka

Origem da Vida: Reencarnação



Povos indígenas como o povo Yanomami atribuem a criação e organização do mundo e de tudo que nele existe a Omama a entidade que criou a terra, as árvores, os rios, as montanhas e o homem.

Para o povo Tukano o mundo foi construído por Yepa-oãku e Yepalio, filhos de Buho uma divindade que vivia para além do domínio da matéria.

Para Saber Mais!



ASTROBIOLOGIA: DO CAOS PRIMORDIAL AO PLANETA EM ACELERADO AQUECIMENTO

Ao estudar como a vida surgiu em um planeta jovem, quente e instável, a astrobiologia não olha apenas para o passado distante ou para mundos alienígenas. Ela também lança luz sobre o futuro da própria Terra.

A astrobiologia é o campo científico dedicado a compreender a origem, a evolução e a possibilidade de existência da vida no Universo. Reunindo biologia, química, física, astronomia e geologia, essa área investiga desde os primeiros passos da vida na Terra até a busca por organismos em outros planetas. No entanto, um aspecto cada vez mais relevante da astrobiologia é a conexão entre as condições da Terra primitiva e os cenários futuros previstos para o nosso planeta diante do aquecimento global.

A Terra primitiva, há cerca de 4 bilhões de anos, apresentava condições extremamente diferentes das atuais. A atmosfera era rica em gases como metano, amônia, hidrogênio e vapor d'água, com pouquíssimo oxigênio livre. A atividade vulcânica intensa, as altas temperaturas e a constante incidência de radiação solar e descargas elétricas criavam um ambiente energeticamente ativo. Paradoxalmente, foi nesse cenário hostil que surgiram as primeiras moléculas orgânicas e, posteriormente, as primeiras formas de vida.

Ao reconstruir esse passado, a astrobiologia fornece um modelo natural de como sistemas biológicos podem emergir e persistir em ambientes instáveis. Esse conhecimento torna-se especialmente relevante quando se observa o atual processo de aquecimento global. O aumento acelerado da temperatura média do planeta, impulsionado pela intensificação do efeito estufa, vem alterando a composição da atmosfera, os ciclos biogeoquímicos e a estabilidade dos ecossistemas — fatores que lembram, em certa medida, a dinâmica turbulenta da Terra primitiva.

As previsões científicas indicam que o aquecimento global pode levar a um planeta mais quente, com eventos climáticos extremos, elevação do nível dos oceanos e alterações químicas na atmosfera e nos oceanos. Embora essas mudanças ocorram em um contexto completamente diferente daquele que deu origem à vida, elas levantam questões centrais para a astrobiologia: até que ponto a vida é resiliente às transformações ambientais? Quais limites podem ser ultrapassados antes que a habitabilidade de um planeta seja comprometida?

Estudos com organismos extremófilos — capazes de sobreviver em altas temperaturas, ambientes ácidos ou com baixo oxigênio — sugerem que a vida pode persistir mesmo sob condições severas, assim como ocorreu nos primórdios da Terra. No entanto, a astrobiologia também alerta que a adaptação biológica não acontece na mesma velocidade das mudanças climáticas atuais, o que pode resultar em extinções em larga escala, mesmo que a vida, em um sentido amplo, continue existindo.

Ao observar outros planetas e luas, os astrobiólogos aprendem que a habitabilidade não é um estado permanente, mas um equilíbrio delicado entre fatores físicos, químicos e biológicos. Essa perspectiva reforça uma lição fundamental: a Terra, assim como qualquer outro planeta habitável, pode perder suas condições favoráveis à vida complexa se esse equilíbrio for rompido.

Dessa forma, a astrobiologia ultrapassa a busca por vida extraterrestre e se torna uma ferramenta poderosa para compreender o destino do nosso próprio planeta. Ao comparar o passado remoto da Terra com os possíveis cenários futuros moldados pelo aquecimento global, essa ciência nos lembra que a vida é resiliente — mas não indestrutível — e que a manutenção da habitabilidade terrestre depende, cada vez mais, das escolhas feitas pela humanidade no presente.

Estudar a vida no Universo é, em última análise, estudar os limites e as possibilidades da vida na Terra.

EXERCÍCIO

- 1- Porque o texto afirma que a astrobiologia vai além da busca por vida extraterrestre?
- 2- Porque a habitabilidade de um planeta não pode ser considerada um estado permanente?
- 3- Segundo o texto, por que a existência de organismos extremófilos é relevante para as reflexões da astrobiologia sobre o aquecimento global?

DESAFIO

Discorra sobre as semelhanças e diferenças existentes entre as condições da Terra primitiva e o cenário atual de aquecimento global, avalie até que ponto a resiliência da vida pode garantir sua continuidade diante das rápidas transformações ambientais pelas quais o planeta vem passando ultimamente.

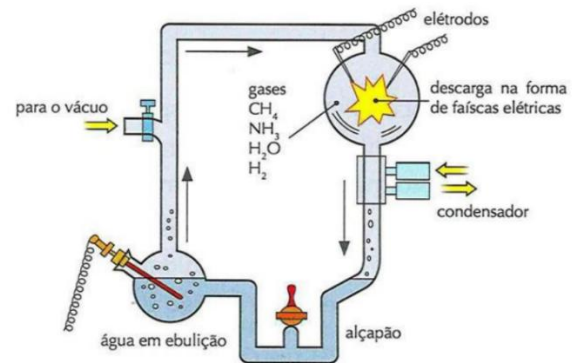
ATIVIDADE

Questão 1 (UEA 2016). No século XVII, o cientista italiano Francesco Redi questionou se organismos vivos poderiam se originar da matéria inanimada ou apenas de outros organismos vivos. Em busca de uma resposta, realizou um experimento que consistiu em colocar pedaços de carne fresca em três frascos de vidro. Um dos vidros foi imediatamente vedado com uma tampa, o outro foi imediatamente coberto com gaze, e o outro permaneceu aberto. Em pouco tempo, moscas aproximaram-se dos vidros, mas só conseguiram pousar na carne do vidro que ficou aberto. Após alguns dias, a carne deste vidro estava repleta de larvas.

Considerando as etapas do método científico, é correto afirmar que este experimento

- não permitiu resultados conclusivos, pois dois dos frascos permaneceram fechados.
- permitiu concluir que o ar é necessário para o crescimento das larvas de moscas.
- fortaleceu a teoria da abiogênese.
- comprovou que pedaços de carne mantidos em frascos cobertos não se deterioram.
- usou um dos frascos como controle para testar uma hipótese.

Questão 2 (PUCSP). Na figura abaixo, temos representado um aparelho projetado por Stanley Miller, no início da década de 1950. Por esse aparelho circulavam metano, amônia, vapor de água e hidrogênio e, através de energia fornecida por descarga elétrica, produtos de reações químicas como aminoácidos, carboidratos e ácidos graxos eram coletados no alçapão.



Através desse experimento, Miller testou a hipótese de que, na atmosfera primitiva pela ação de raios,

- compostos orgânicos puderam se formar a partir de moléculas simples.
- compostos inorgânicos puderam se formar a partir de moléculas orgânicas.
- compostos inorgânicos e orgânicos puderam originar os primeiros seres vivos.
- macromoléculas puderam se formar a partir de moléculas orgânicas simples.
- coacervados puderam se formar a partir de moléculas inorgânicas.

Questão 3 (Udesc 2018). Assim como nos séculos passados, também hoje, o ser humano busca o autoconhecimento para compreender sua relação com a natureza e com a sociedade. Nesse sentido, surgem algumas perguntas como “Quem somos nós?”, “De onde viemos?”, “Para onde iremos?”. Na tentativa de responder a essas perguntas, e explicar como teria surgido a vida em nosso planeta, várias hipóteses foram formuladas por filósofos e cientistas, ao longo dos séculos.

Assinale a alternativa correta em relação às principais hipóteses sobre a origem da vida.

- A hipótese do Fixismo não acompanha as narrações religiosas sobre a criação da vida na Terra e tem como princípio a geração espontânea.

b) Em 1936, Alexander Oparin propõe uma explicação para a origem da vida sobre determinadas condições da atmosfera primitiva que propiciou o desenvolvimento de uma “sopa de proteínas” no ambiente aquático, dando origem aos coacervados, caracterizados como “células primitivas”.

c) A hipótese da geração espontânea propôs que os seres vivos teriam surgido nas profundezas do mar, na ausência de luz e oxigênio.

d) A Cosmogonia é a hipótese que admite que a vida foi “implantada” na terra por motivações de seres extraterrestres.

e) Alexander Oparin comprovou sua hipótese da origem da vida simulando a formação de coacervados por meio de experimentos controlados em laboratório e, por isso, esta hipótese é amplamente aceita pela comunidade científica.

Questão 4 (Uece 2018). De acordo com as teorias sobre a origem da vida, é correto afirmar que

a) a biogênese representa as teorias que consideravam possível o surgimento da vida a partir de compostos inorgânicos e de outros mecanismos que não sejam a reprodução.

b) a teoria da geração espontânea ou abiogênese considera que os seres vivos surgem somente pela reprodução, indiferente das espécies envolvidas nesse evento.

c) segundo a panspermia, a vida teve origem a partir de seres vivos oriundos de outros locais do cosmo: essa é a teoria mais aceita até hoje em função das comprovadas atividades extraterrestres na Terra.

d) para a teoria da evolução molecular, a vida é resultado da combinação de compostos inorgânicos em moléculas orgânicas simples que se complexaram até atingirem a capacidade de autoduplicação e metabolismo.

Questão 5 (Prof. Romeu). Durante uma aula de Ciências, o professor explicava à turma o conteúdo sobre as teorias da origem da vida. O professor pediu aos estudantes para prestarem bastante atenção na seguinte situação:

“Certa vez fui regar as plantas que tenho em minha residência. Deixei um pouco de água em um vaso próximo das plantas e alguns dias depois surgiram na água, muitas larvas do mosquito *Aedes aegypti*, transmissor de doenças, entre elas a dengue”.

Em seguida, o professor escreveu na lousa as questões a seguir. Responda as questões, baseando-se nas teorias apresentadas.

a) Como a teoria da Abiogênese explicaria a situação contada pelo professor?

b) Como a teoria da Biogênese explicaria a situação contada pelo professor?

Questão 6 UFRGS (2020). Cientistas encontraram compostos de ferro, cianeto e monóxido de carbono em meteoritos que bombardearam a Terra durante sua formação, o que pode fornecer pistas sobre a origem da vida no planeta. Essa composição assemelha-se à hidrogenase, enzima que quebra o hidrogênio: “É possível que esses complexos de cianeto, ferro e monóxido de carbono tenham sido precursores para as ações das enzimas e depois incorporados a proteínas”, acredita Karen Smith, pesquisadora sênior de Boise.

Adaptado de: Redação Galileu, 27/06/2019. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Espaco/noticia/2019/06/venenoem-meteoritos-fornece-pistas-sobre-origem-da-vida-na-terra.html>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

Em relação às teorias de origem da vida no planeta Terra, é correto afirmar que

- a) a notícia reforça a possibilidade da vinda de seres vivos de outros planetas, tal como postulado por Pasteur em 1860.
- b) a teoria da biogênese argumenta que os primeiros seres vivos surgiram a partir da matéria inanimada.
- c) os primeiros seres vivos que surgiram na Terra foram os coacervatos, formados por um agregado de moléculas inorgânicas.
- d) a teoria da geração espontânea sustenta que os seres vivos surgiram a partir de moléculas orgânicas da atmosfera primitiva.
- e) os experimentos de Redi com pedaços de carne, no século XVII, corroboram a teoria da biogênese.

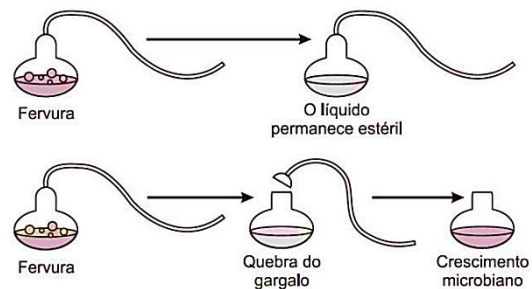
Questão 7 (UFMG) Observe a figura



É CORRETO afirmar que a presença de lagartas em espigas de milho se deve:

- a) ao processo de geração espontânea comum aos invertebrados.
- b) à transformação dos grãos em lagartas.
- c) ao desenvolvimento de ovos depositados por borboletas.
- d) ao apodrecimento do sabugo e dos grãos.
- e) ao princípio ativo presente no milho.

Questão 8 (UPE – PE). O experimento, utilizando-se de frascos de vidro, com o formato de “pescoço de cisne”, contendo um “caldo nutritivo” e submetido primeiramente ao isolamento e posteriormente à exposição ao ar, conforme figura abaixo foi usado para se provar a origem da vida.



O autor e a teoria por ele provada foram, respectivamente:

- a) Charles Darwin e Teoria da Evolução.
- b) Francesco Redi e Teoria da Abiogênese.
- c) Aristóteles e Teoria da Geração Espontânea.
- d) Louis Pasteur e Teoria da Biogênese.
- e) Louis Joblot e Teoria da Seleção Natural.

Questão 9 (UEA 2024). Stanley Miller e Harold Urey construíram um aparelho para testar a hipótese de Oparin e Haldane sobre a origem das primeiras moléculas orgânicas. Nesse aparelho foi inserida uma mistura de substâncias (gás hidrogênio, amônia, metano, vapor d’água) e descargas elétricas.

Após um tempo ligado, foram detectadas, em um reservatório desse aparelho, moléculas orgânicas simples de

- a) polissacarídeos.
- b) polipeptídeos.
- c) ácidos nucleicos.
- d) glicerídeos.
- e) aminoácidos.

Questão 10 (PUCRS). Recentes descobertas sobre Marte, feitas pela NASA, sugerem que o Planeta Vermelho pode ter tido vida no passado. Esta hipótese está baseada em indícios

- a) da existência de esporos no subsolo marciano.
- b) da presença de uma grande quantidade de oxigênio em sua atmosfera.
- c) de marcas deixadas na areia por seres vivos.
- d) da existência de água líquida no passado.
- e) de sinais de rádio oriundos do planeta.

REFERÊNCIAS

- AMABIS, J. M. & MARTHO, G. R. **Moderna Plus Biologia** .1. ed. -- São Paulo: Moderna, 2024.
- AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. **Moderna Plus Biologia Amabis & Martho**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2024.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.
- BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). **Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM 1998**. Brasília: INEP, 1998.
- GEWANDSZNAJDER, F.; PACCA, H. **Identidade Saraiva: Biologia: área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. volume único. Ensino médio. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2024.
- LOPES, S; ROSSO, S. *Moderna Superação! Biologia*. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2024.
- MADIGAN, M. T., MARTINLKO, J. M., BENDER, K. S., BUCKLEY, D. H., STAHL, D. A., FONSECA, F. G. **Microbiologia de Brock**. 14. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. p. 16.
- OPENAI. **ChatGPT**. Imagem ilustrativa produzida por inteligência artificial para fins didáticos. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 29 jan. 2026.
- REECE, J. B.; WASSERMAN, S.A.; URRY, L.A.; CAIN, M. L.; MINORSKY, P. V.; JACKSON, R. B.; MACHADO, D. C.; RENARD, G.; OLIVEIRA, P. L. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.
- TORTORA, Gerard J.; FUNKE, Berdell R.; CASE, Christine L. **Microbiologia**. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TREFIL, J.; HAZEN, R. **The sciences: an integrated approach**. 6. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.

CAPÍTULO 02. EVOLUÇÃO

Neste capítulo, serão abordadas as principais teorias evolutivas construídas historicamente, desde as concepções fixistas até as contribuições de Lamarck, Darwin e da Teoria Sintética da Evolução (neodarwinismo). O capítulo também discutirá os mecanismos responsáveis pela evolução das espécies, como mutações, recombinação genética, seleção natural, deriva genética e fluxo gênico. Além disso, serão analisadas as principais evidências científicas que sustentam a teoria da evolução, incluindo o registro fóssil, a anatomia comparada, a embriologia e a biologia molecular.

Expectativas de Aprendizagem

Ao final do estudo, espera-se que os estudantes sejam capazes de:

- Reconhecer o tempo e o espaço como elementos das transformações da vida.
- Relacionar a evolução dos seres vivos à adaptação em diferentes ambientes.
- Diferenciar as teorias que explicam a evolução dos seres vivos.
- Reconhecer as principais evidências que sustentam a teoria da evolução.
- Reconhecer os fatores naturais como elementos essenciais para os processos de especiação, crescimento e distribuição das diversas formas de vida.
- Distinguir os fatores evolutivos que influenciam o aumento e a diminuição da variabilidade genética.
- Relacionar as variações climáticas à seleção natural.
- Conceituar espécie biológica.
- Identificar os principais grupos de primatas e suas características comuns com os seres humanos.

Habilidades da FGB

(EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.

(EM13CNT208) Aplicar os princípios da evolução biológica para analisar a história humana, considerando sua origem, diversificação, dispersão pelo planeta e diferentes formas de interação com a natureza, valorizando e respeitando a diversidade étnica e cultural humana.

Habilidades ENEM

(ENEM_C4_H13) Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

(ENEM_C4_H16) Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

(ENEM_C6_H22) Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

(ENEM_C8_H28) Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

1. PENSAMENTO EVOLUCIONISTA

A compreensão de que as populações de seres vivos se transformam ao longo do tempo foi construída a partir de um longo processo de debates científicos e sociais. A aceitação das ideias evolutivas não ocorreu de forma simples ou consensual, sendo marcada por intensas controvérsias entre pesquisadores, instituições e diferentes setores da sociedade. Essas discussões envolveram não apenas aspectos científicos, mas também questões filosóficas, religiosas e culturais.

Existem correntes de pensamento que defendem que a origem dos seres vivos está associada à ação de um poder supremo, responsável pela criação de todas as formas de vida, inclusive do ser humano, conforme descrito em diferentes tradições e textos religiosos. Essa perspectiva é conhecida como **criacionismo** e sustenta que a complexidade e a organização observadas nos organismos vivos seriam evidências de uma criação intencional realizada por uma divindade. Associada ao criacionismo está a concepção fixista, segundo a qual as espécies permanecem essencialmente imutáveis ao longo do tempo, sem sofrer transformações significativas em suas características biológicas.

Entre os principais defensores do fixismo destacou-se o naturalista Carl von Linné (Lineu), criador do sistema de classificação dos seres vivos. Embora Lineu tenha organizado os organismos de acordo com suas semelhanças, ele acreditava que as espécies haviam sido criadas de forma definitiva e não poderiam se modificar.

Entretanto, no decorrer da história da ciência, diferentes propostas foram elaboradas para explicar a evolução dos organismos.

ASSISTA O VÍDEO

Sugestão de Vídeo: **TEORIAS EVOLUCIONISTAS: Entenda as Bases da Evolução!**
<https://www.youtube.com/watch?v=4oURe4cXEwk>
(Canal Ciência). Duração: 6'23''

1.1 Ideias evolucionista de Lamarck

A teoria de Lamarck ou Lamarckismo foi proposta no início do século XIX pelo naturalista francês **Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet**, que defendia a ideia de que as espécies não eram fixas, mas se modificavam gradualmente em resposta às condições do ambiente. Sua teoria baseava-se em dois princípios:

- **Lei do uso e desuso:** segundo esse princípio, o uso frequente de uma estrutura do corpo poderia aumentar a capacidade, o tamanho ou a aptidão de tal estrutura. O desuso, ao contrário, poderia causar uma diminuição de sua capacidade ou de seu tamanho e mesmo provocar o desaparecimento da estrutura ou do órgão (Figura 2.1).
- **Lei herança dos caracteres adquiridos:** de acordo com esse princípio, as características que os indivíduos adquirem em sua vida são transmitidas aos descendentes (Figura 2.1).

Embora incorreta para a atualidade em seus mecanismos, a teoria de Lamarck foi importante por introduzir a época a ideia de que as espécies se adaptam ao ambiente ao longo do tempo.

Fenocópia

É o fenômeno em que um organismo manifesta uma característica (fenótipo) semelhante ao de uma mutação genética, porém sem que ocorra alteração em seu material genético. Essa característica surge devido à ação de fatores ambientais, como temperatura, alimentação ou agentes químicos, e não é transmitida aos descendentes, pois não envolve mudanças no DNA.

Figura 2.1: A evolução do focinho do tamanduá segundo Lamarck.



Fonte: Elaborada pelos autores. Imagem ilustrativa produzido por IA. ChatGPT (OpenAI) (2026).

1.2 Ideias evolucionista de Darwin



Fonte: <https://www.todamateria.com.br/darwinismo/>

Charles Darwin inicialmente acreditava que as espécies eram imutáveis. No entanto, passou a questionar essa concepção durante uma viagem de cinco anos (1831–1836) ao redor do mundo, na qual atuou como naturalista a bordo do navio inglês *H.M.S. Beagle*. Durante a expedição, Darwin conheceu diversas regiões, coletou espécimes e realizou observações fundamentais para o desenvolvimento do que viria a ser sua teoria da evolução biológica.



Sugestão de Vídeo: O que é a teoria da evolução de Charles Darwin e o que inspirou suas ideias revolucionárias

<https://www.youtube.com/watch?v=ambANBihjCI>
(BBC NEWS). Duração: 5'52"

A bordo do *Beagle*, Darwin chegou ao arquipélago de **Galápagos**, onde observou que a flora e a fauna diferiam ligeiramente entre as ilhas. Um exemplo foram os tentilhões, aves que encontrou no arquipélago. Darwin notou que os tentilhões apresentavam diferenças no tamanho e na forma dos bicos e associou essas variações ao tipo de alimento disponível em cada ilha (Figura 2.2).

Ao retornar da expedição, em 1836, Darwin recebeu contribuições importantes de John Gould, ornitólogo que identificou os tentilhões das ilhas Galápagos como espécies do mesmo gênero, sugerindo a existência de um ancestral comum. Essas observações reforçaram a ideia de que novas espécies poderiam surgir a partir de ancestrais compartilhados.

Em 1838, Charles Darwin estudou o livro *Ensaio sobre o princípio da população humana*, de Thomas Malthus, no qual se defendia que as populações crescem mais rapidamente do que a produção de alimentos. A partir dessa ideia, Darwin estendeu o raciocínio de Malthus às demais espécies de seres vivos observadas durante sua expedição a bordo do *Beagle*, propondo, então, sua teoria evolucionista que aborda a **seleção natural**, segundo a qual:

- Os indivíduos apresentam variações;
- Algumas variações aumentam as chances de sobrevivência e reprodução;
- Os indivíduos mais adaptados tendem a deixar mais descendentes;
- As características vantajosas, ao longo do tempo, tornam-se mais frequentes na população.

1.3 Ideias evolucionista de Wallace

Alfred Russel Wallace foi um importante naturalista britânico do século XIX e teve papel fundamental na consolidação da teoria darwinista da evolução. De forma independente a Charles Darwin, Wallace chegou a conclusões semelhantes sobre o mecanismo da seleção natural, a partir de observações realizadas durante extensas expedições científicas, especialmente na Amazônia e no arquipélago Malaio.

Ao analisar a distribuição geográfica dos seres vivos e as variações existentes entre indivíduos de uma mesma espécie, Wallace percebeu que o ambiente atua como um fator decisivo na sobrevivência dos organismos. Indivíduos portadores de características mais adequadas às condições ambientais tendem a sobreviver e se reproduzir com maior sucesso, transmitindo essas características às gerações seguintes. Esse processo explicaria, ao longo do tempo, a adaptação das espécies e o surgimento de novas formas de vida.

Em 1858, Wallace enviou a Darwin um manuscrito no qual apresentava suas ideias sobre a evolução por seleção natural. Ao reconhecer a semelhança entre essas ideias e suas próprias conclusões, Darwin, juntamente com Wallace, apresentou os trabalhos à Sociedade Lineana de Londres. Esse episódio marcou oficialmente o surgimento da teoria da evolução por seleção natural e impulsionou Darwin a publicar, no ano seguinte, a obra *A origem das espécies*.

Figura 2.2: Tentilhões de Darwin.



Fonte: <https://www.todamateria.com.br/darwinismo/>

Além de sua contribuição direta à teoria evolutiva, Wallace destacou-se como um dos fundadores da **biogeografia**, ao demonstrar que a distribuição das espécies está relacionada a fatores ambientais, geográficos e históricos. Suas observações fortaleceram e complementaram o pensamento darwinista, sendo essenciais para a aceitação da evolução como um dos princípios centrais da Biologia moderna.



Biogeografia

É o ramo da Biologia que estuda a distribuição dos seres vivos no espaço e no tempo, buscando compreender por que determinadas espécies ocorrem em certas regiões e não em outras. Ela analisa a influência de fatores como clima, relevo, solo, história geológica e barreiras naturais além de processos evolutivos, como dispersão, especiação e extinção. É fundamental para entender a biodiversidade e a evolução das espécies.

Para Saber Mais!



DARWINISMO SOCIAL

O darwinismo social foi uma corrente de pensamento surgida no século XIX que buscou aplicar, de forma indevida, os princípios da teoria da evolução por seleção natural, proposta por Charles Darwin, às relações sociais humanas. Ao defender que a sociedade funcionaria como a natureza, essa visão passou a sustentar a ideia de que alguns indivíduos ou grupos seriam naturalmente superiores a outros, legitimando desigualdades sociais profundas.

Nesse contexto, o darwinismo social contribuiu diretamente para a construção e manutenção do **racismo estrutural**. Ao associar características biológicas a capacidades intelectuais, morais e sociais, essa teoria reforçou a falsa crença de hierarquias raciais, colocando populações brancas europeias como superiores e povos negros, indígenas e outros grupos como inferiores. Dessa forma, a pobreza, a exclusão social e a marginalização desses grupos passaram a ser vistas como consequências "naturais", e não como resultados de processos históricos de exploração, escravidão, colonização e desigualdade de oportunidades.

O racismo estrutural se manifesta justamente quando essas ideias se incorporam às instituições sociais, políticas e econômicas, influenciando o acesso desigual à educação, ao mercado de trabalho, à saúde e à justiça. O darwinismo social serviu, historicamente, como base ideológica para justificar o colonialismo, a escravidão, a segregação racial e políticas eugênicas, reforçando a exclusão sistemática de grupos racializados e perpetuando desigualdades ao longo do tempo.

É fundamental destacar que a teoria da evolução de Darwin não sustenta o racismo nem a superioridade de qualquer grupo humano. A ciência contemporânea demonstra que a espécie humana apresenta grande diversidade genética, sem divisões raciais biológicas. O racismo, portanto, é uma construção social e histórica, e não um fenômeno natural.

Assim, ao analisar o darwinismo social em diálogo com o racismo estrutural, torna-se evidente como interpretações pseudocientíficas foram utilizadas para legitimar desigualdades e violências. Compreender essa relação é essencial para promover o pensamento crítico, combater o racismo e fortalecer ações voltadas à equidade, à justiça social e ao respeito à dignidade humana.

EXERCÍCIO

- 1- Explique o que foi o darwinismo social e por que sua aplicação às relações sociais humanas é considerada indevida,
- 2- De que maneira o darwinismo social contribuiu para a construção e manutenção do racismo estrutural?

DESAFIO

O racismo não pode ser explicado a partir do Darwinismo. Relacione essa afirmação com os conhecimentos atuais sobre a diversidade genética humana.

2. TEORIA SINTÉTICA DA EVOLUÇÃO

A Teoria Sintética da Evolução, também conhecida como Neodarwinismo, surgiu na primeira metade do século XX a partir da integração das ideias de Charles Darwin sobre a seleção natural com os avanços da Genética, especialmente as leis de Mendel. Essa teoria explica a evolução como o resultado de mudanças nas frequências gênicas das populações ao longo do tempo, enfatizando que a evolução ocorre em populações, e não em indivíduos.

A teoria sintética da evolução considera a ação de três fatores evolutivos principais: Mutação gênica; recombinação gênica; e seleção natural.

A mutação gênica e a recombinação gênica promovem o aumento da variabilidade genética que proporcionam o surgimento de novas características entre os indivíduos de uma população. Já a seleção natural é responsável por selecionar os caracteres entre os indivíduos da população que conferem melhor adaptabilidade e reprodutibilidade no ambiente onde estão inseridos.

3. MECANISMOS DA EVOLUÇÃO

Denomina-se mecanismo de evolução todo processo biológico responsável por promover mudanças genéticas nas populações ao longo das gerações, culminando na diversidade e na adaptação dos seres vivos ao ambiente. Entre os principais mecanismos evolutivos destacam-se:

- **Mutação:** Consiste em alterações aleatórias no material genético (**DNA**) de um organismo, podendo ocorrer de forma espontânea ou induzida por agentes físicos, químicos ou biológicos. As mutações são a fonte primária da variabilidade genética, pois originam novos **genes** que podem ser transmitidos às gerações seguintes através de **células germinativas**. As mutações podem ser de três tipos: benéficas, neutras e deletérias. As mutações neutras são aquelas que não têm efeitos significativos sobre o organismo. As benéficas conferem vantagem adaptativa à espécie, aumentando suas chances de sobrevivência e reprodução. Já as deletérias reduzem a adaptabilidade dos seres e podem comprometer sua sobrevivência.



DNA

O ácido desoxirribonucleico (DNA) é a molécula responsável por armazenar e transmitir as informações genéticas dos seres vivos. Ela é formada por duas cadeias de nucleotídeos organizadas em uma dupla hélice. Cada nucleotídeo é constituído por três partes: uma pentose (desoxirribose), um grupo fosfato e uma base nitrogenada. As bases nitrogenadas do DNA são adenina (A), timina (T), citosina (C) e guanina (G). O DNA tem dois estágios morfológicos distintos a cromatina e o cromossomo.

Genes

São segmentos do DNA que contêm as informações necessárias para a produção de proteínas, responsáveis pelas características e funcionamento dos organismos. Eles determinam características hereditárias, como cor dos olhos, tipo sanguíneo e diversas funções metabólicas. São transmitidos dos pais para os filhos durante a reprodução e sua expressão pode variar de acordo com o ambiente e a regulação celular.

Células Germinativas

São células especiais responsáveis pela reprodução dos seres vivos. Elas dão origem aos gametas masculinos (Espermatozoides) e femininos (Ovócitos). Essas células são formadas nas gônadas dos machos (testículos) e das fêmeas (ovários) pela divisão celular meiótica.

• **Recombinação gênica:** mistura de genes durante a reprodução sexuada. Ocorre durante a meiose, especialmente nos processos de permutação (**crossing-over**) e na segregação independente dos cromossomos, além da fecundação. Esse mecanismo promove novas combinações de alelos já existentes, aumentando a diversidade genética dentro das populações, sem criar novos genes. A recombinação é fundamental para a variabilidade sobre a qual a seleção natural atua.

• **Seleção natural:** Ocorre quando indivíduos com características mais favoráveis ao ambiente apresentam maior sobrevivência e sucesso reprodutivo. Esses indivíduos tendem a deixar mais descendentes, e suas características tornam-se mais frequentes nas gerações seguintes.

• **Deriva genética:** mudanças aleatórias nas frequências gênicas de uma população, sendo mais intensa em populações pequenas. Esse mecanismo pode levar à fixação ou à perda de alelos independentemente de seu valor adaptativo. Fenômenos como o **efeito do fundador** e o efeito gargalo são exemplos clássicos de deriva genética, pois reduzem a variabilidade genética populacional.



Efeito do fundador

O efeito do fundador ocorre quando uma nova população se forma a partir de poucos indivíduos, resultando em baixa diversidade genética e diferenças nas frequências gênicas em relação à população original. Em ambientes urbanos, a fragmentação de habitats isola populações em pequenos fragmentos, favorecendo esse efeito e reduzindo o fluxo gênico. Com o isolamento, a deriva genética se intensifica, podendo levar à diferenciação genética entre populações e, ao longo do tempo, contribuir para processos de especiação. Esses fenômenos evidenciam como a urbanização interfere na biodiversidade e nos processos evolutivos naturais.



Crossing-over

É o processo de troca de segmentos de DNA entre cromátides não-irmãs de cromossomos homólogos, que ocorre durante a prófase I da meiose, especificamente na subfase paquíteno. A troca ocorre após o emparelhamento dos cromossomos homólogos (sinapse) e resulta na recombinação genética, formando cromossomos com novas combinações de genes. O crossing-over aumenta a variabilidade genética dos gametas e dos descendentes e desempenha um papel fundamental na diversidade biológica e na evolução das espécies.

O fluxo gênico ocorre através da troca de genes entre diferentes populações. Essa permuta contribui para o aumento da diversidade genética das populações cruzantes e reduz diferenças genéticas entre os grupos, influenciando assim o processo evolutivo por meio da introdução de novos alelos ou pela modificação de frequência.

Em conjunto, esses mecanismos atuam de forma integrada, promovendo a variabilidade genética e direcionando a evolução das populações ao longo do tempo, explicando a diversidade biológica observada na natureza.

4. EVIDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO

4.1 Registro Fóssil

São restos ou vestígios de organismos que viveram no passado e ficaram preservados ao longo do tempo. Esses vestígios podem incluir ossos, dentes, pegadas registradas em rochas, fezes fossilizadas, animais preservados no gelo, troncos de árvores petrificados, entre outros exemplos. A análise dos fósseis permite aos cientistas inferir características como o tamanho, a forma e o modo de vida dos organismos antigos, possibilitando a reconstrução aproximada de como eram esses seres quando estavam vivos, revelando as transformações das espécies (Figura 2.3).

4.2 Anatomia Comparada

A anatomia comparada analisa semelhanças e diferenças entre estruturas corporais de diferentes organismos.

4.2.1 Estruturas homólogas

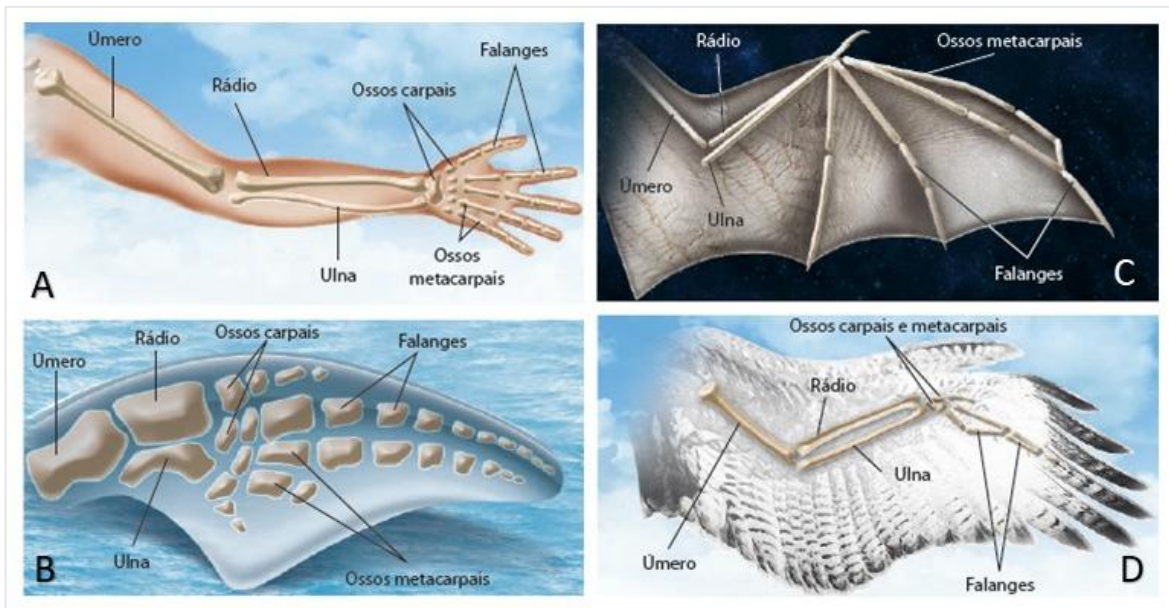
As estruturas homólogas (Figura 2.4) são aquelas que apresentam a mesma origem embrionária e um plano anatômico semelhante, indicando a existência de um ancestral comum. Embora tenham essa origem compartilhada, tais estruturas podem desempenhar funções diferentes ao longo da evolução. Exemplos clássicos são o braço humano, adaptado para manipulação, a asa do morcego, utilizada para o voo, a nadadeira da baleia, especializada para a natação, e a pata do cavalo, adaptada para a corrida. Todas essas estruturas derivam de um mesmo modelo ósseo ancestral, que foi modificado conforme as necessidades de cada espécie.

Figura 2.3: Fóssil de *Archaeopteryx*. Descoberta de restos de criatura torna estudo da linha evolutiva das aves mais simples.



Fonte: AMOS (2013)

Figura 2.4: Estruturas homólogas. A – Braço humano; B – Nadadeira de boto; C – Asa de morcego; D – Asa de ave.



Fonte: Adaptado de REECE (2015).

Essas modificações estão diretamente relacionadas à irradiação adaptativa (Figura 2.5), um processo evolutivo no qual espécies descendentes de um ancestral comum se diversificam para ocupar diferentes habitats e explorar distintos nichos ecológicos. Para isso, as populações desenvolvem adaptações específicas, resultando na especialização de estruturas originalmente semelhantes, o que explica o surgimento de diferentes estruturas homólogas com funções variadas.

Esse conjunto de transformações caracteriza a evolução divergente, processo pelo qual espécies originadas de um mesmo ancestral tornam-se progressivamente diferentes ao longo do tempo devido

à adaptação a ambientes ou nichos ecológicos distintos. Como consequência, surgem diferenças morfológicas, fisiológicas e comportamentais entre as espécies, sendo a presença de estruturas homólogas uma das principais evidências desse tipo de evolução.

4.2.2 Estruturas análogas

As estruturas análogas são aquelas que desempenham funções semelhantes, mas possuem origens embrionárias e estruturas anatômicas diferentes, indicando que evoluíram a partir de ancestrais distintos. Mesmo com essas diferenças estruturais, tais órgãos realizam tarefas parecidas devido às mesmas necessidades funcionais. Exemplos clássicos são as asas de aves e insetos, utilizadas para o voo, e as nadadeiras de tubarões e botos, adaptadas à locomoção no ambiente aquático, apesar de se originarem de tecidos embrionários diferentes (Figura 2.6).

Figura 2.5: Irradiação adaptativa.

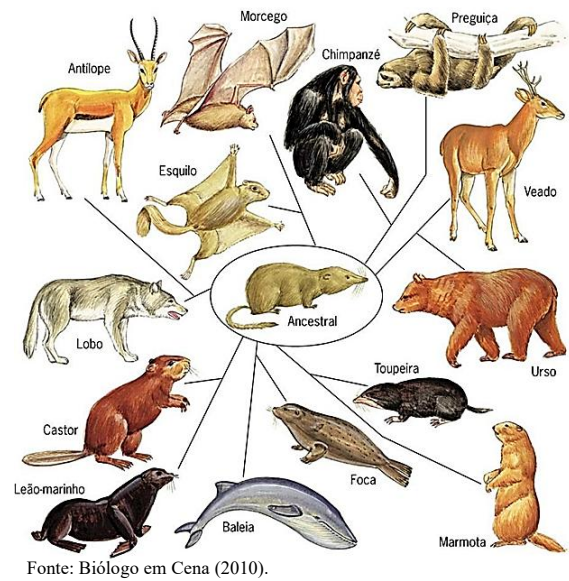
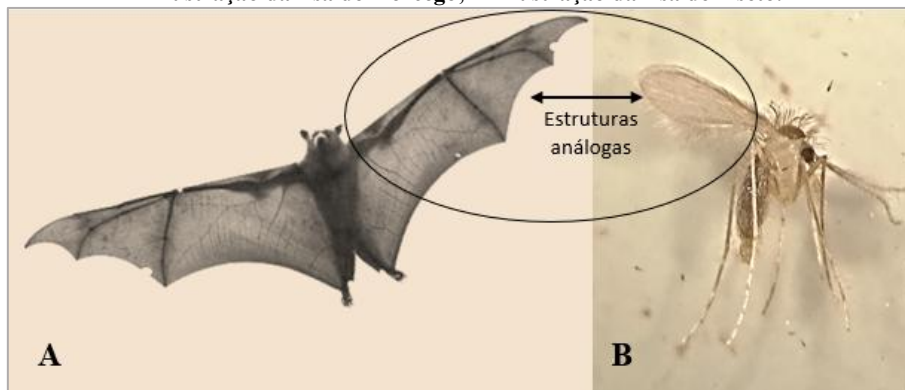


Figura 2.6: Estruturas análogas.

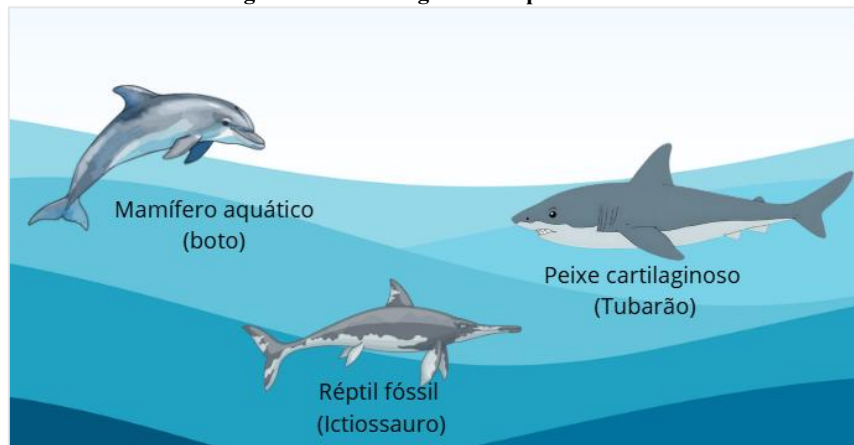
A- Ilustração da Asa de morcego; B- Ilustração da Asa de inseto.



Fonte: Romero H., (2023) (Imagem A). Os autores (Imagem B).

O surgimento dessas estruturas está relacionado à convergência adaptativa, processo evolutivo no qual organismos de linhagens distintas, sem parentesco próximo, desenvolvem características morfológicas, fisiológicas ou comportamentais semelhantes (Figura 2.7). Isso ocorre porque esses organismos enfrentam ambientes semelhantes ou pressões seletivas equivalentes, levando à seleção de soluções adaptativas parecidas, mesmo partindo de bases evolutivas diferentes.

Figura 2.7: Convergência adaptativa



Fonte: os autores.

Esse fenômeno caracteriza a evolução convergente, observado quando espécies distintas desenvolvem, de forma independente, estruturas análogas em resposta à ocupação de nichos ecológicos semelhantes. Assim, a evolução convergente evidencia que ambientes parecidos podem moldar organismos diferentes de maneira semelhante.

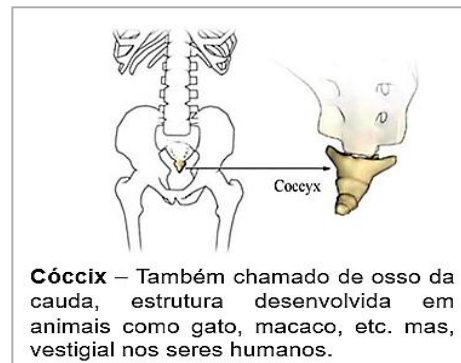
4.2.3 Estruturas vestigiais

São estruturas pouco desenvolvidas ou sem função aparente, como o apêndice humano, sugerindo herança de ancestrais nos quais essas estruturas tinham função (Figura 2.8).

4.3 Embriologia Comparada

O estudo do desenvolvimento embrionário mostra que embriões de diferentes espécies apresentam semelhanças nas fases iniciais do desenvolvimento (Figura 2.9). Essas semelhanças indicam que os organismos compartilham ancestrais comuns, reforçando a ideia de evolução.

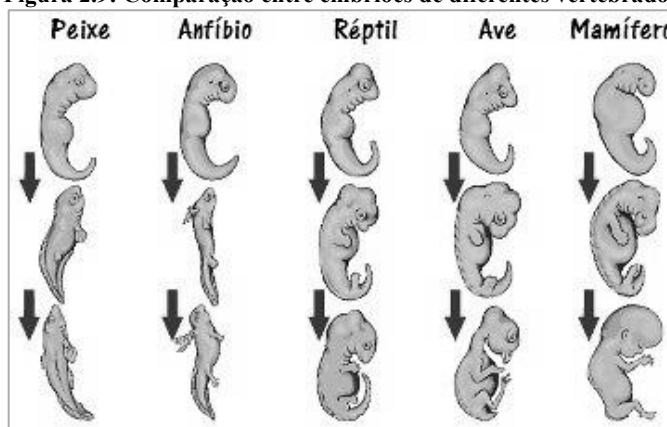
Figura 2.8: Exemplo de estrutura vestigial.



Cóccix – Também chamado de osso da cauda, estrutura desenvolvida em animais como gato, macaco, etc. mas, vestigial nos seres humanos.

Fonte: Adaptado de Marques (2018).

Figura 2.9: Comparação entre embriões de diferentes vertebrados.



Fonte: Adaptado de BiologiaNet (2026).

4.4 Biologia Molecular

Os avanços da Biologia Molecular têm permitido comparar a sequência de nucleotídeos presentes nas moléculas de DNA de diferentes espécies, revelando o grau de semelhança de seus genes e a relação de parentesco evolutivo. Esses estudos complementam-se às semelhanças anatômicas e embrionárias e confirmam a relação de parentesco entre as espécies.

5. ISOLAMENTO REPRODUTIVO

Os mecanismos de isolamento reprodutivo podem atuar impedindo a formação do zigoto (mecanismo pré-zigótico) ou após o processo de concepção, quando o zigoto já foi formado (mecanismo pós-zigótico). Nos dois tipos de mecanismo o intuito é o mesmo, impedir o fluxo gênico entre populações e levar à formação de uma nova espécie.

5.1 Barreiras Pré-zigóticas

São barreiras reprodutivas que atuam impedindo que o processo de fecundação ocorra.

- **Isolamento Ecológico/Habitat:** Espécies vivem em habitats diferentes, mesmo habitando a mesma região.

- **Isolamento Sazonal/Temporal:** Acasalamento ou floração ocorrem em épocas ou estações diferentes.

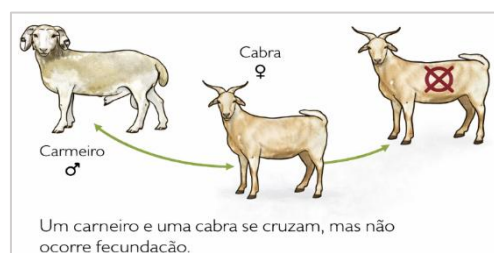
- **Isolamento Etológico/Comportamental:** Diferenças em rituais de acasalamento, cantos ou feromônios impedem o reconhecimento entre espécies.

- **Isolamento Mecânico:** Incompatibilidade física dos órgãos reprodutores.

- **Isolamento Gamético:** Incompatibilidade química ou molecular entre gametas (espermatozoides e ovócitos) (Figura 2.10).

- **Isolamento por Polinizadores:** Plantas atraem polinizadores diferentes.

Figura 2.10: Mecanismo de isolamento pré-



Um carneiro e uma cabra se cruzam, mas não ocorre fecundação.

Fonte: Adaptado de Terceiro biologia (2016).

5.2 Barreiras Pós-zigóticas

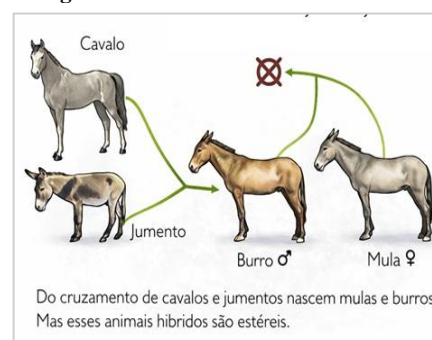
São barreiras reprodutivas que surgem após o processo de fecundação.

- **Inviabilidade do Híbrido:** O zigoto híbrido não se desenvolve ou é inviável.

- **Esterilidade do Híbrido:** O híbrido sobrevive, mas é estéril (Figura 2.11).

- **Desmoronamento/Declínio do Híbrido:** Híbridos de primeira geração podem ser férteis, mas a prole da segunda geração é fraca ou estéril.

Figura 2.11: Mecanismo de isolamento



Do cruzamento de cavalos e jumentos nascem mulas e burros. Mas esses animais híbridos são estéreis.

Fonte: Adaptado de Terceiro biologia (2016).

6 ESPECIAÇÃO

Especiação é o processo evolutivo que envolve o surgimento de nova **espécie**, devido a ocorrência de isolamento reprodutivo (os grupos deixam de cruzar entre si).



Espécie

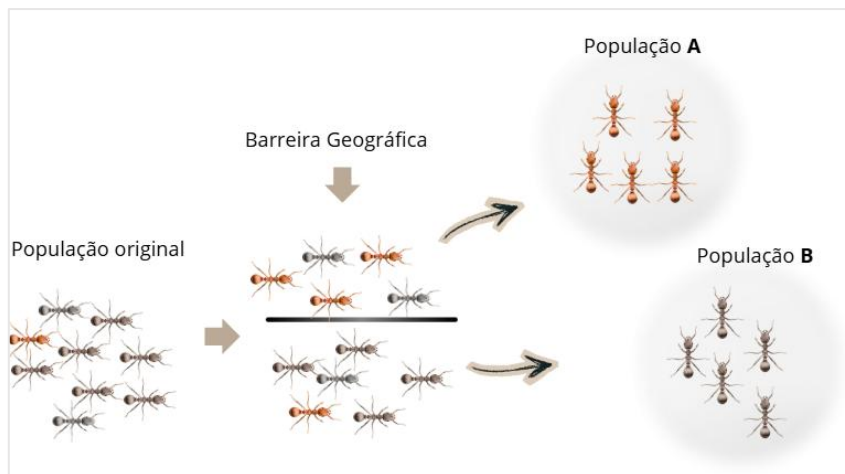
Grupo de indivíduos semelhantes entre si, capazes de cruzar e gerar descendentes férteis.

6.1 Tipos de especiação

6.1.1 Especiação Alopátrica

Ocorre quando há isolamento geográfico, uma população é separada geograficamente por rios, montanhas, ou ilhas, as populações assim separadas vão acumulando diferenças ao longo do tempo, evoluem separadamente até não conseguirem mais se reproduzir entre si, ocorrendo, portanto, o denominado isolamento reprodutivo (Figura 2.12).

Figura 2.12: Exemplo de especiação alopátrica.



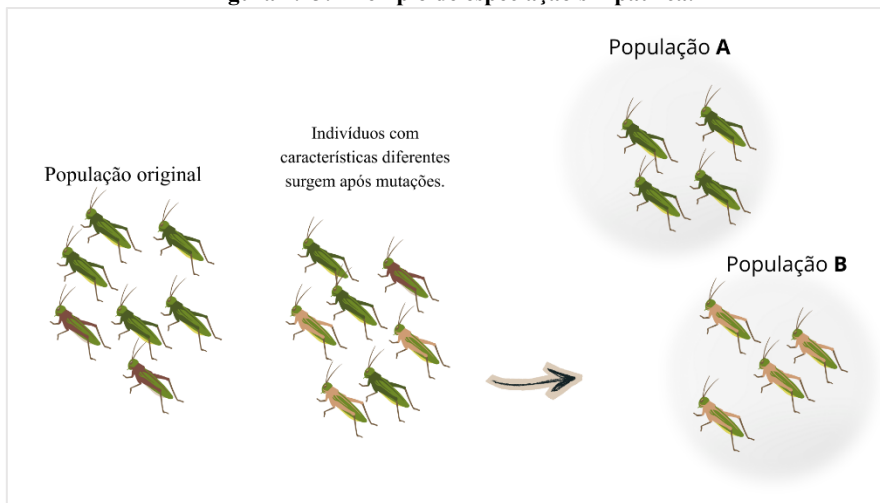
Fonte: os autores.

Os tentilhões observados por Darwin, nas ilhas do arquipélago de Galápagos é um exemplo desse tipo de especiação.

6.1.2 Especiação Simpátrica

Esse tipo de especiação ocorre sem separação geográfica, o isolamento é ecológico, comportamental ou genético. Em uma mesma população, podem surgir mutações gênicas ou modificações no comportamento que podem levar ao isolamento reprodutivo, formando novas espécies (Figura 2.13).

Figura 2.13: Exemplo de especiação simpátrica.

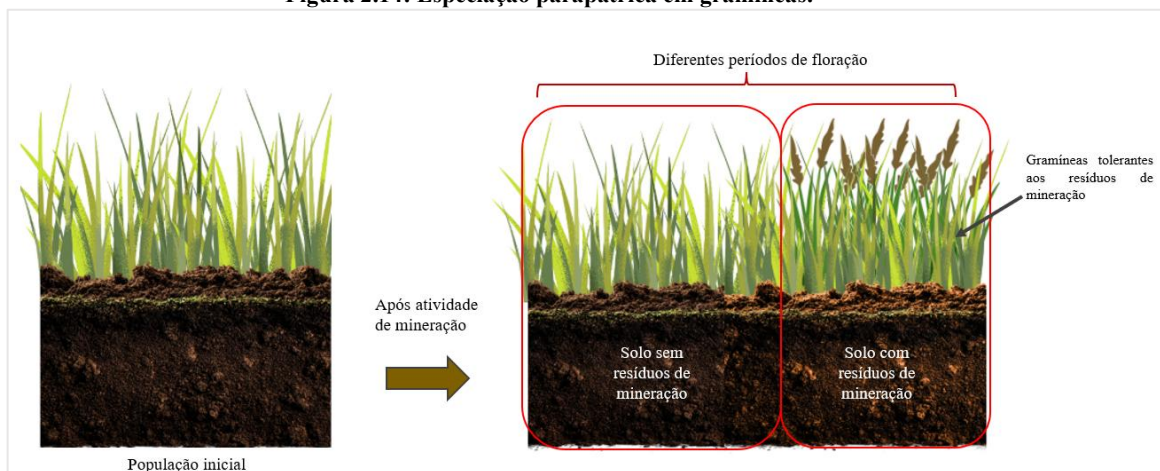


Fonte: os autores.

6.1.3 Especiação Parapátrica

Ocorre quando uma nova espécie evolui de uma população continuamente distribuída (populações vizinhas), sem barreira geográfica física, mas com populações ocupando nichos ecológicos adjacentes (Figura 2.14).

Figura 2.14: Especiação parapátrica em gramíneas.



Fonte: Os autores.

7 EVOLUÇÃO HUMANA

A história evolutiva dos mamíferos está atrelada a pequenos animais semelhantes a musaranhos, que viveram há dezenas de milhões de anos. Esses pequenos mamíferos, de hábitos simples e tamanho reduzido, deram origem a diferentes linhagens, entre elas a dos primatas, grupo ao qual os seres humanos pertencem.

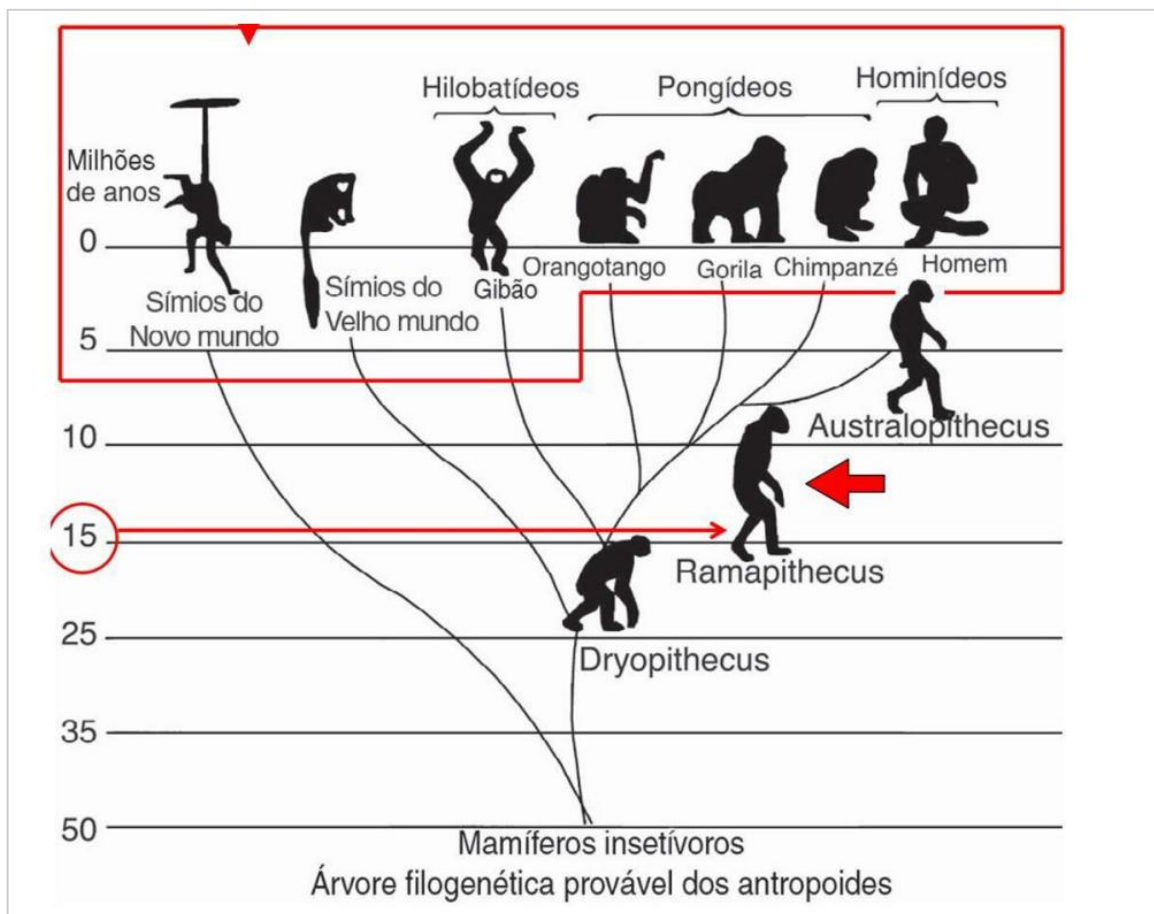


Sugestão de Vídeo: 4,6 Bilhões de anos em 50 minutos: A história da evolução!

<https://www.youtube.com/watch?v=ls8AvlyzR9A>
(ABC Terra). Duração: 50'58"

Filogeneticamente, os primatas são divididos em dois grandes grupos. Estrepsirrinos, que inclui lêmures, lóris e gálagos, considerados mais próximos das formas primitivas de primatas. E haplorrinos, onde estão inclusos társsios, macacos, grandes símios e humanos. Os haplorrinos se dividem em platirrinos (macacos do Novo Mundo) encontrados principalmente nas Américas e os catarrinos (macacos do Velho Mundo), onde estão os grandes símios e os humanos. Entre os catarrinos, destacam-se os hominóides, grupo que inclui os grandes símios (orangotangos, gorilas e chimpanzés) e o ser humano (Figura 2.15).

Figura 2.15: Árvore filogenética provável dos antropóides.

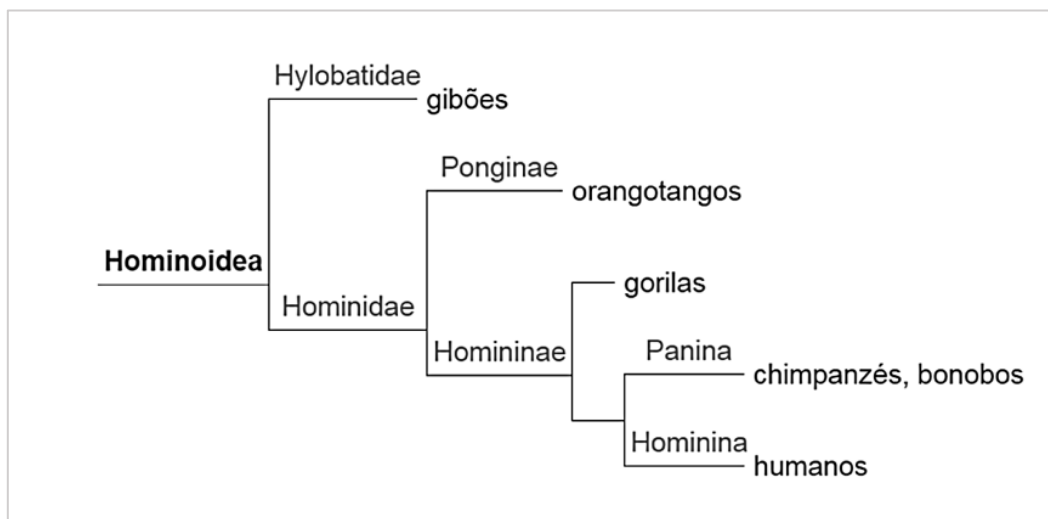


Fonte: ENEM (1998).

7.1 Super família Hominoidea

Os membros da superfamília Hominoidea são comumente chamados de hominóides. Dentro da família hominidae existem duas subfamílias Ponginae e Homininae. Ponginae é formada por um único gênero, Pongo (Orangotangos); enquanto Homininae é subdividida em duas tribos Gorillini e Hominini. Gorillini abriga apenas um gênero, Gorilla (gorilas), já Hominini é composta por dois gêneros Pan (chimpanzés) e Homo (humanos) (Figura 2.16).

Figura 2.16. Relação filogenética da superfamília Hominoidea.



Fonte: Os autores.

7.2 Evolução dos Hominídeos

Entre 17 e 15 milhões de anos atrás, durante o Mioceno médio, os continentes já apresentavam uma configuração próxima à atual. O clima global era predominantemente quente, o polo Norte ainda não possuía calotas de gelo permanentes e a Antártida encontrava-se em processo de congelamento parcial. O nível dos oceanos era significativamente mais alto, o que influenciava a distribuição dos continentes e das populações de hominídeos. Nesse período, acredita-se que os ancestrais dos hominídeos ocupavam o leste da África, o entorno do Mediterrâneo, o Oriente Médio e parte do subcontinente indiano. Ao final desse intervalo temporal ocorre a separação da linhagem que dará origem aos **pongíneos**, ancestrais dos orangotangos.

Entre 15 e 12 milhões de anos, a Antártida completa seu congelamento, ocasionando a redução gradual do nível dos oceanos. Surgem os **Driopitécínios** (Figura 2.17), hominídeos que se espalham pela Ásia e pelo sul da Europa. Nesse contexto, as linhagens dos **pongíneos** se diversificam no continente asiático, enquanto os continentes mantêm sua configuração geográfica relativamente estável.

No intervalo entre 12 e 8 milhões de anos, o planeta permanece quente, embora em processo de resfriamento gradual. Ocorre a crise Vallesiana, responsável pela extinção de diversos mamíferos terrestres na Europa. Nesse período surge o gênero *Ouranopithecus*, nos Balcãs, considerado ancestral dos Gorillini (gorilas) e dos Hominini (hominínios), grupo que inclui os humanos. Paralelamente, na Ásia, consolida-se a linhagem dos *Sivapithecus*, relacionada aos orangotangos.

Entre 8 e 7 milhões de anos, os ramos europeus dos *Driopitécínios* entram em extinção. Os hominínios iniciam um processo de retorno à África, um pouco mais tardio que o dos gorilíneos. Na Ásia, surgem os *Indopithecus*, derivados dos *Sivapitécíneos*.

Figura 2.17: *Dryopithecus*



Fonte: Atlas virtual da pré-história (2026).

No período de 7 a 6 milhões de anos, os hominídeos ficam praticamente restritos ao continente africano. Surge o *Sahelanthropus tchadensis* (Figura 2.18), no atual Chade, apresentando características intermediárias entre gorilas, chimpanzés e humanos, sendo considerado um forte candidato a ancestral comum de humanos e chimpanzés.

Entre 6 e 5,33 milhões de anos, importantes transformações ambientais ocorrem, como a Crise Salina Messiniana, quando o Mar Mediterrâneo quase seca completamente. Intensifica-se a formação do Rift Africano, resultando em cadeias montanhosas e grandes lagos. A progressiva desertificação do Saara promove a separação dos hominídeos em dois grandes grupos:

- Hominina, a leste do Rift, em ambientes de savana;
- Panina, a oeste, nas florestas do Congo, originando chimpanzés e bonobos.

Nesse contexto surge o Orrorin, com indícios claros de bipedalismo.

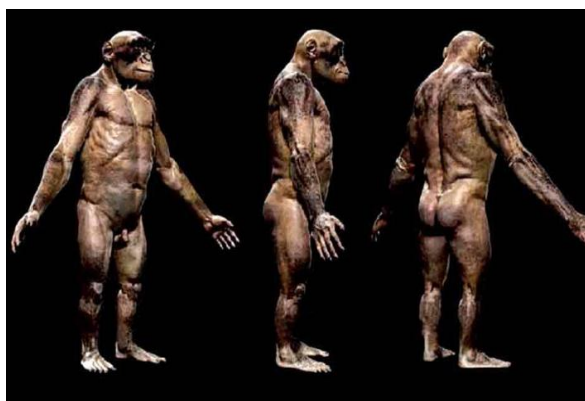
Entre 5,33 e 4 milhões de anos, já no Plioceno, surge o *Ardipithecus* (Figura 2.19), na Etiópia. Esse hominídeo apresentava postura ereta parcial, cérebro pequeno e características que lembravam chimpanzés bípedes.

De 4 a 3,6 milhões de anos, surgem os primeiros *Australopithecus* (Figura 2.20), hominídeos pequenos, bípedes, com locomoção ainda pouco eficiente. Espécies como *Australopithecus afarensis* mantinham características arborícolas, enquanto formas mais recentes apresentavam membros mais semelhantes aos humanos.

Entre 3,6 e 2,6 milhões de anos, os australopitecíneos coexistem com outras linhagens de hominídeos. Nesse período, surgem os *Kenyanthropus* (Figura 2.21). É desse período também as evidências que indicam o uso inicial de ferramentas de pedra, o que antecipa o início do período Paleolítico.

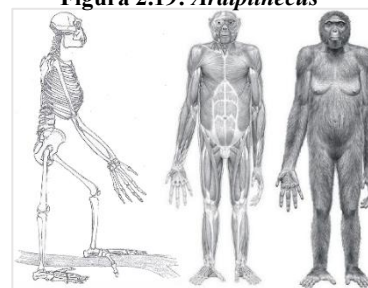
Com o início do Pleistoceno (2,6 milhões de anos), ocorre a diversificação do gênero *Homo*. O *Homo habilis* apresenta aumento significativo da capacidade craniana e domínio mais sistemático de ferramentas. Posteriormente, surge o *Homo erectus*, com proporções corporais semelhantes às humanas atuais, ampla dispersão geográfica e uso controlado do fogo (Figura 2.22).

Figura 2.18: *Sahelanthropus tchadensis*



Fonte: TIBURCIO (2021).

Figura 2.19: *Ardipithecus*



Fonte: BRADSHAW FOUNDATION (2026).

Figura 2.20: *Australopithecus*



Fonte: Atlas virtual da pré-história (2026).

Figura 2.21: *Kenyanthropus*



Fonte: Atlas virtual da pré-história (2026).

Figura 2. 22: A. *Homo habilis*; B. *Homo erectus*.



Fonte: Atlas virtual da pré-história (2026).

Entre 800 e 600 mil anos, evolui o *Homo heidelbergensis*, caracterizado por maior inteligência e fabricação de machadinhas. Essa espécie origina três importantes linhagens (Figura 2.23):

- *Homo neanderthalensis*, na Europa;
- *Homo denisova*, na Ásia;
- *Homo sapiens*, na África.

Figura 2.23: A. *Homo heidelbergensis*. B. *Homo neanderthalensis*; C. *Homo Denisova*; D. *Homo sapiens*



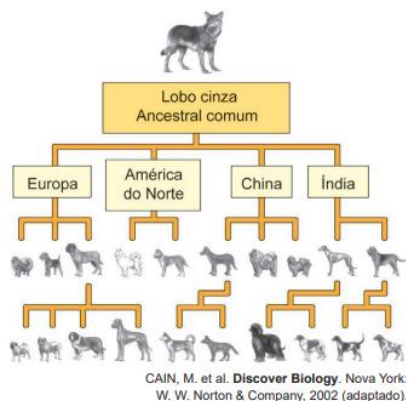
Fonte: Atlas virtual da pré-história (2026) (Imagem A e D); Kolbert, (2011) (Imagem B); Brito (2019) (imagem C).

Os neandertais destacam-se pela grande capacidade craniana e adaptação a climas frios. Os denisovanos são conhecidos principalmente por registros genéticos. Já o *Homo sapiens*, surgido entre 330 e 230 mil anos, passa por fases arcaicas até o surgimento do *Homo sapiens sapiens*, ancestral comum de todos os humanos atuais.

Como pode ser observado a evolução humana foi um processo gradual, ramificado e fortemente influenciado por mudanças ambientais, no qual diferentes espécies humanas coexistiram e, em alguns casos, cruzaram entre si, contribuindo para a diversidade genética da humanidade atual.

ATIVIDADE

Questão 1. (ENEM 2024) A evolução das populações envolve processos de variação e adaptação ao longo do tempo, podendo desencadear o surgimento de novas raças ou espécies a partir de uma preexistente. A grande diversidade de organismos presentes em nosso planeta pode ser explicada pela moderna teoria evolucionista, que associa o darwinismo aos



conceitos de genética. Com base nesses conhecimentos, é possível realizar a reprodução diferencial de genótipos e a formação de raças com diferentes fenótipos, como representado na figura.

A formação dessas raças deve-se ao processo de

- a) deriva genética.
- b) seleção artificial.
- c) formação de híbridos.
- d) especiação alopátrica.
- e) divergência adaptativa.

Questão 2. (ENEM 2021) Nas últimas décadas vários países, inclusive o Brasil, têm testemunhado uma grande proliferação de bactérias patogênicas, envolvidas em uma variedade de doenças e que apresentam resistência a múltiplos antibióticos. Atualmente têm se destacado as superbactérias que acumularam vários genes determinantes de resistência, a ponto de se tornarem resistentes a praticamente todos os antimicrobianos

FERREIRA, F. A.; CRUZ, R. S.; FIGUEIREDO, A. M. S. O problema da resistência a antibióticos. *Ciência Hoje*, v.48, n.287, 2011 (adaptado).

Essa resistência tem ocorrido porque os(as)

- a) bactérias patogênicas se multiplicam de maneira acelerada.
- b) antibióticos são utilizados pela população de maneira indiscriminada.
- c) bactérias possuem plasmídeos que contêm genes relacionados à virulência.
- d) bactérias podem ser transmitidas para um indivíduo utilizando várias estratégias.
- e) serviços de saúde precários constituem importantes focos de bactérias patogênicas.

Questão 3. (ENEM 2019) A principal explicação para a grande variedade de espécies na Amazônia é a teoria do refúgio. Nos últimos 100.000 anos, o planeta sofreu vários períodos de glaciação, em que as florestas enfrentaram fases de seca. Dessa forma, as matas expandiram-se e depois reduziram-se. Nos períodos de seca prolongados, cada núcleo de floresta ficava isolado do outro. Então, os grupos de animais dessas áreas isoladas passaram por processos de diferenciação genética, muitas vezes se transformando em espécies ou subespécies diferentes das originais e das que ficaram em outros refúgios.

Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br>.

Acesso em: 22 abr. 2015.

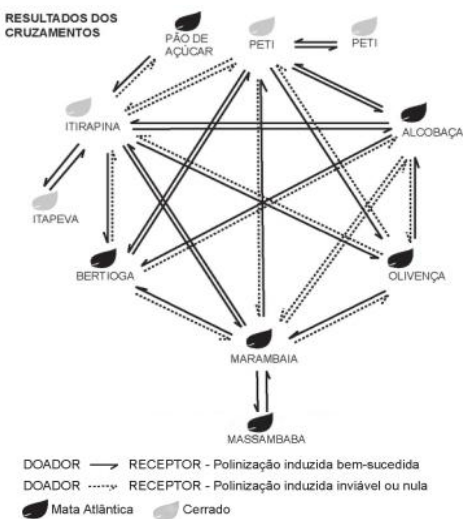
O principal processo evolutivo relacionado ao texto é a

- a) anagênese.
- b) coevolução.
- c) evolução alopátrica.
- d) evolução simpátrica.
- e) convergência adaptativa.

Questão 4. (ENEM 2018) O processo de formação de novas espécies é lento e repleto de nuances e estágios intermediários, havendo uma diminuição da viabilidade entre cruzamentos. Assim, plantas originalmente de uma mesma espécie que não cruzam mais entre si podem ser consideradas como uma espécie se

diferenciando. Um pesquisador realizou cruzamentos entre nove populações — denominadas de acordo com a localização onde são encontradas — de uma espécie de orquídea (*Epidendrum denticulatum*).

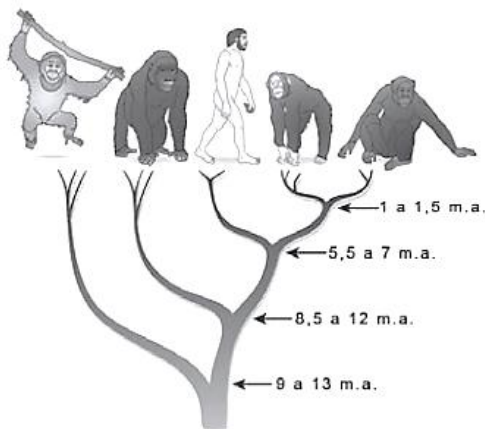
No diagrama estão os resultados dos cruzamentos entre as populações. Considere que o doador fornece o pólen para o receptor.



Em populações de quais localidades se observa um processo de especiação evidente?

- Bertioga e Marambaia; Alcobaca e Olivença.
- Itirapina e Itapeva; Marambaia e Massambaba.
- Itirapina e Marambaia; Alcobaca e Itirapina.
- Itirapina e Peti; Alcobaca e Marambaia.
- Itirapina e Olivença; Marambaia e Peti.

Questão 5. (ENEM 2017)



A árvore filogenética representa uma hipótese evolutiva para a família Hominidae, na qual a

sigla “m.a.” significa “milhões de anos atrás”. As ilustrações representam, da esquerda para a direita, o orangotango, o gorila, o ser humano, o chimpanzé e o bonobo.

Disponível em: www.nature.com. Acesso em: 6 dez. 2012 (adaptado).

Considerando a filogenia representada, a maior similaridade genética será encontrada entre os seres humanos e:

- Gorila e bonobo
- Gorila e chimpanzé.
- Gorila e orangotango.
- Chimpanzé e bonobo.
- Bonobo e orangotango.

Questão 6. (ENEM 2015) Algumas raças de cães domésticos não conseguem copular entre si devido à grande diferença em seus tamanhos corporais. Ainda assim, tal dificuldade reprodutiva não ocasiona a formação de novas espécies (especiação).

Essa especiação não ocorre devido ao(à)

- oscilação genética das raças.
- convergência adaptativa das raças.
- isolamento geográfico entre as raças.
- seleção natural que ocorre entre as raças.
- manutenção do fluxo gênico entre as raças.

Questão 7. (UNIFESP/2004) Leia os trechos seguintes, extraídos de um texto sobre a cor de pele humana.

“A pele de povos que habitaram certas áreas durante milênios **adaptou-se** para permitir a produção de vitamina D.”

“À medida que os seres humanos começaram a se movimentar pelo Velho Mundo há cerca de 100 mil anos, sua pele foi **se adaptando** às condições ambientais das diferentes regiões. A cor da pele das populações nativas da África foi a que teve mais tempo para se adaptar porque os primeiros seres humanos surgiram ali.

(Scientific American Brasil, vol.6, novembro de 2002).

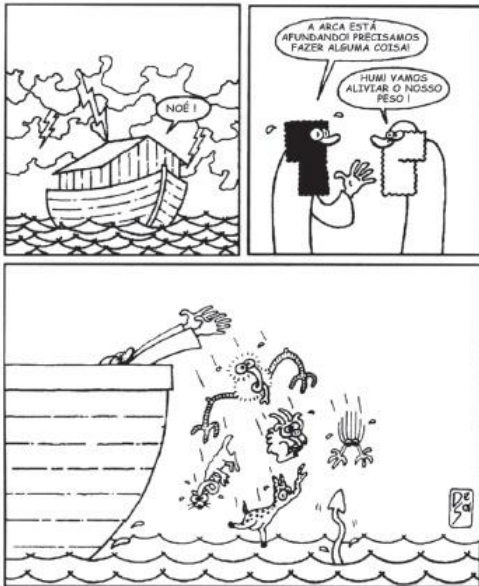
Nesses dois trechos, encontram-se subjacentes ideias:

- da Teoria Sintética da Evolução.
- darwinistas.
- neodarwinistas.
- lamarckistas.
- sobre especiação.

Questão 8. (ENEM 2011)

BANZÉ NA ARCA DE NOÉ

De Sá



Revista Mad. Nº 68, 1980.

O ser humano é responsável pela seleção de características, por exemplo, tipo e cor da pelagem dos animais domésticos, muitas das quais não eram observadas nos indivíduos selvagens das espécies. Cientistas das universidades de Uppsala (Suécia) e Durham (Reino Unido) explicam que o homem selecionou de forma ativa e proposital os animais domésticos com pelagens curiosas.

Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br>. Acesso em: 7 abr. 2010 (adaptado).

A partir de suportes diferentes, os quadrinhos e o texto apresentado abordam o mesmo tema, que se refere à seleção

- natural.
- direcional.
- artificial.
- estabilizadora.
- cromatográfica.

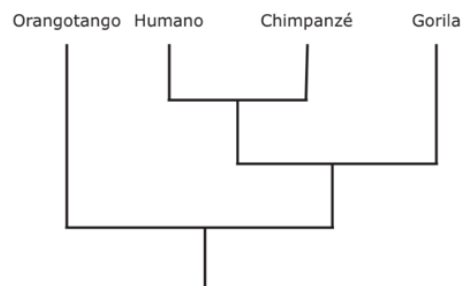
Questão 9. (ENEM 2020) Os frutos da pupunha têm cerca de 1 g em populações silvestres no Acre, mas chegam a 70 g em plantas domesticadas por populações indígenas. No princípio, porém, a domesticação não era intencional. Os grupos humanos apenas identificavam vegetais mais saborosos ou úteis, e sua propagação se dava pelo descarte de sementes para perto dos sítios habitados.

DÓRIA, C. A.; VIEIRA, I. C. G. Iguarias da floresta. *Ciência Hoje*, n. 310, dez. 2013.

A mudança de fenótipo (tamanho dos frutos) nas populações domesticadas de pupunha deu-se porque houve

- introdução de novos genes.
- redução da pressão de mutação.
- diminuição da uniformidade genética.
- aumento da frequência de alelos de interesse.
- expressão de genes de resistência a patógenos.

Questão 10. (UFSM 2024) Os seres humanos e os macacos antropóides, também chamados de “grandes macacos”, pertencem à ordem dos primatas. Os estudos de Dian Fossey (1932-1985) sobre gorilas, e de Jane Goodall (1935-), sobre chimpanzês, permitiram compreender vários aspectos do comportamento e evolução dessas espécies, além de contribuir para a sua conservação. A figura abaixo apresenta as relações evolutivas entre humanos e grandes macacos.



Sobre essas relações, é correto afirmar que

- seres humanos evoluíram a partir de chimpanzês.
- seres humanos e chimpanzês evoluíram a partir de gorilas.

- c) seres humanos e chimpanzés compartilham um ancestral comum.
- d) chimpanzés e gorilas são mais próximos entre si do que qualquer um deles com seres humanos.
- e) seres humanos não apresentam parentesco evolutivo com outros macacos antropóides.

Questão 11. (UFES/2004) Os pesquisadores Robert Simmons e Lue Scheepers questionaram a visão tradicional de como a girafa desenvolveu o pescoço comprido. Observações feitas na África demonstraram que as girafas que atingem alturas de 4 a 5 metros, geralmente se alimentam de folhas a 3 metros do solo. O pescoço comprido é usado como uma arma nos combates corpo a corpo pelos machos na disputa por fêmeas. As fêmeas também preferem acasalar com machos de pescoço grande. Esses pesquisadores argumentam que o pescoço da girafa ficou grande devido à seleção sexual; machos com pescoços mais compridos deixavam mais descendentes do que machos com pescoços mais curtos.

(Simmons and Scheepers, 1996. *American Naturalist* Vol. 148: pp. 771-786. Adaptado).

Sobre a visão tradicional de como a girafa desenvolve um pescoço comprido, é **CORRETO** afirmar que:

- a) na visão tradicional baseada em Darwin, a girafa adquire o pescoço comprido pela lei de uso e desuso. As girafas que esticam seus pescoços geram uma prole que já nasce com pescoço mais comprido e, cumulativamente, através das gerações, o pescoço, em média, aumenta de tamanho.
- b) na visão tradicional baseada em Lamarck, a girafa adquire o pescoço comprido com a sobrevivência diferencial de girafas. Aquelas com pescoço comprido conseguem se alimentar de folhas inacessíveis às outras e deixam, portanto, mais descendentes.
- c) na visão tradicional baseada em Lamarck, a girafa adquire o pescoço comprido pela lei do uso e desuso. Aquelas com pescoço comprido conseguem se alimentar de folhas inacessíveis às outras, e deixam, portanto, mais descendentes.
- d) na visão tradicional baseada em Darwin, a girafa adquire o pescoço comprido com a sobrevivência diferencial de girafas. Aquelas com pescoço comprido conseguem se alimentar de folhas inacessíveis às outras, e deixam, portanto, mais descendentes.
- e) na visão tradicional baseada em Darwin, a girafa adquire o pescoço comprido com a sobrevivência diferencial de girafas. As girafas que esticam seus pescoços geram uma prole que já nasce com pescoço mais comprido e, cumulativamente, através das gerações, o pescoço, em média, aumenta de tamanho.

Questão 12. (UFPR) “O hábito de colocar argolas no pescoço, por parte das mulheres de algumas tribos asiáticas, promove o crescimento desta estrutura, representando nestas comunidades um sinal de beleza. Desta forma temos que as crianças, filhos destas mulheres já nasceriam com pescoço maior, visto que esta é uma tradição secular.”

A afirmação acima pode ser considerada como defensora de qual teoria evolucionista:

- a) Teoria de Lamarck
- b) Teoria de Malthus
- c) Teoria de Wallace
- d) Teoria de Darwin
- e) Teoria de Mendel

Questão 13. (UFC/2004) “O ambiente afeta a forma e a organização dos animais, isto é, quando o ambiente se torna muito diferente, **produz** ao longo do tempo **modificações** correspondentes na forma e organização dos animais... As cobras adotaram o hábito de se arrastar no solo e se esconder na grama; de tal maneira que seus corpos, como resultados de

esforços repetidos de se alongar; adquiriram comprimento considerável...”.

O trecho citado foi transcrito da obra *Filosofia Zoológica* de um famoso cientista evolucionista.

Assinale a alternativa que contém, respectivamente, a ideia transmitida pelo texto e o nome do seu autor.

- a) Seleção natural – Charles Darwin.
- b) Herança dos caracteres adquiridos – Jean Lamarck.
- c) Lei do transformismo – Jean Lamarck.
- d) Seleção artificial – Charles Darwin.
- e) Herança das características dominantes – Alfred Wallace.

Questão 14. (Enem 2020) Acredita-se que os olhos evoluíram de órgãos sensores de luz para versões que formam imagens. O olho humano atua como uma câmera, coletando, focando e convertendo a luz em sinal elétrico, que é traduzido em imagens pelo cérebro. Mas em vez de um filme fotográfico, é uma retina que detecta e processa os sinais, utilizando células especializadas. Moluscos cefalópodes (como as lulas) possuem olhos semelhantes aos dos humanos, apesar da distância filogenética.

LAMB, T. D. A fascinante evolução do olho: cientistas já têm uma visão clara de como surgiram nossos olhos tão complexos. *Scientific American Brasil*, ed. 111, ago. 2011 (adaptado).

A comparação dos olhos mencionada representa que tipo de evolução?

- a) Aleatória
- b) Homóloga
- c) Divergente
- d) Progressiva
- e) Convergente

Questão 15. (Enem 2014) Embora seja um conceito fundamental para a biologia, o termo “evolução” pode adquirir significados diferentes no senso comum. A ideia de que a espécie humana é o ápice do processo evolutivo

é amplamente difundida, mas não é compartilhada por muitos cientistas.

Para esses cientistas, a compreensão do processo citado baseia-se na ideia de que os seres vivos, ao longo do tempo, passam por

- a) modificação de características.
- b) incremento no tamanho corporal.
- c) complexificação de seus sistemas.
- d) melhoria de processos e estruturas.
- e) especialização para uma determinada finalidade.

Questão 16. (Enem 2019) Um herbicida de largo espectro foi desenvolvido para utilização em lavouras. Esse herbicida atua inibindo a atividade de uma enzima dos vegetais envolvida na biossíntese de aminoácidos essenciais. Atualmente ele é bastante utilizado em plantações de soja, podendo inclusive inibir a germinação ou o crescimento das plantas cultivadas.

De que forma é desenvolvida a resistência da soja ao herbicida?

- a) Expondo frequentemente uma espécie de soja a altas concentrações do herbicida, levando ao desenvolvimento de resistência.
- b) Cultivando a soja com elevadas concentrações de aminoácidos, induzindo a formação de moléculas relacionadas à resistência.
- c) Empregando raios X para estimular mutações em uma variedade de soja, produzindo a enzima-alvo resistente ao herbicida.
- d) Introduzindo na soja um gene específico de outra espécie, possibilitando a produção da enzima de resistência ao herbicida.
- e) Administrando a enzima-alvo nos fertilizantes utilizados na lavoura, promovendo sua absorção pela espécie cultivada.

Questão 17. (UFU 2019) O combate ao mosquito transmissor do vírus da dengue é um problema de saúde pública no Brasil. O uso de

inseticidas em larga escala é discutido com cautela pelos cientistas, no que se refere às questões biológicas.

Essa cautela se justifica porque o uso de inseticidas

- a) elimina o mosquito, e o vírus busca outro transmissor.
- b) induz mutações no vírus e gera resistência a medicamentos.
- c) seleciona mosquitos resistentes e torna esse combate ineficiente.
- d) aumenta a intensidade da infecção viral e agrava o quadro dos doentes.
- e) causará a mutação dos insetos-vetores.

Questão 18. (FPS-PE 2018) A evolução, em geral, é um processo lento e gradual. Assim, a origem de novas espécies pode ser explicada quando uma determinada população sofre alterações bruscas, tornando o território inadequado. Acerca do processo evolutivo das espécies, assinale a alternativa correta.

- a) Quando as barreiras geográficas são pequenas e as áreas de sobrevivência são grandes, essas áreas recebem o nome de refúgio.
- b) Quando o isolamento geográfico impede o cruzamento entre os indivíduos de duas populações, as espécies não são consideradas distintas.
- c) As barreiras geográficas podem promover mecanismos de isolamento reprodutivo.
- d) Barreiras ecológicas não promovem especiação.
- e) Os mecanismos de isolamento reprodutivo pré-zigótico impedem a fecundação.

REFERÊNCIAS

AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. **Moderna Plus Biologia Amabis & Martho**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2024.

AMOS, J. **Fóssil achado na China pode ser mais antiga ave do mundo**. BBC News, 30 maio 2013. Atualizado em 31 maio 2013. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/05/130530_fossil_ave_china_jp>. Acesso em: 30 Jan 2026.

ATLAS VIRTUAL DA PRÉ-HISTÓRIA. (s.d.). **Dryopithecus**. Disponível em: <<https://www.atlasvirtual.com.br/dryopithecus.htm>>. Acesso em: 03 fev 2026.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). **Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM 1998**. Brasília: INEP, 1998.

BIOLOGIANET. (s.d.). **Órgãos análogos e órgãos homólogos** [Imagem]. BiologiaNet. Disponível em: <<https://www.biologianet.com/evolucao/orgaos-analogos-homologos.htm>>. Acesso em: 31 Jan 2026.

BIOLOGO EM CENA. (s.d.). **Irradiação adaptativa dos mamíferos** [2010]. Disponível em: <[https://biologoemcena.blogspot.com/2010/12/topicos-sobre-evolucao-parte-iv.html?view=timeslide&_escaped_fragment_="](https://biologoemcena.blogspot.com/2010/12/topicos-sobre-evolucao-parte-iv.html?view=timeslide&_escaped_fragment_=)>. Acesso em: 02 fev 2026.

BRADSHAW FOUNDATION. **Ardipithecus ramidus**. Disponível em: <https://www.bradshawfoundation.com/origins/ardipithecus_ramidus.php>. Acesso em: 03 fev. 2026.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). **Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM 1998**. Brasília: INEP, 1998.

BRITO, S. Como foi feito o retrato de um Hominídeo de Denisova. **Rev. Veja**. 20 set 2019. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/ciencia/hominideos-denisova-fossil/>>. Acesso em 03 fev 2026.

GEWANDSZNAJDER, F.; PACCA, H. **Identidade Saraiva: Biologia: área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. volume único. Ensino médio. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2024.

KOLBERT, L. Sleeping with the Enemy. **Annals of Evolution**, 8 Ago. 2011. Disponível em: <<https://www.newyorker.com/magazine/2011/08/15/sleeping-with-the-enemy>>. Acesso em 03 fev 2026.

LOPES, S; ROSSO, S. **Moderna Superação! Biologia**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2024.

MARQUES, V. **Órgãos vestigiais: Para entender um pouco sobre evolução**. Conversando com a ciência, 13 junho 2018. Disponível em: <<https://conversandocomacie.wixsite.com/ciencias/post/%C3%B3rg%C3%A3os-vestigiais-para-entender-um-pouco-sobre-evolu%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 30 Jan 2026.

OPENAI. **ChatGPT**. Imagem ilustrativa produzida por inteligência artificial para fins didáticos. Disponível em: <<https://chat.openai.com>>. Acesso em: 29 jan. 2026.

REECE, J. B.; WASSERMAN, S.A.; URRY, L.A.; CAIN, M. L.; MINORSKY, P. V.; JACKSON, R. B.; MACHADO, D. C.; RENARD, G.; OLIVEIRA, P. L. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

ROMERO H, N. A. **Morcego é mamífero ou ave?**.2023. (fotografia). Disponível em: <<https://www.peritoanimal.com.br/morcego-e-mamifero-ou-ave-24690.html>>. Acesso em: 30 Jan 2026.

TERCERO BIOLOGIA. (s.d.). **Isolamento reprodutivo** [2016]. Disponível em: https://terceirobbiologia.blogspot.com/2016/10/isolamento-reprodutivo_25.html. Acesso em: 02 fev 2026.

TIBURCIO, L. A **História dentro da História: Primatas Simios**. 2021. Disponível em: <<https://ahistoriadentrodahistoria.com.br/materia/70>>. Acesso em 03 fev 2026.

TODAMATERIA.COM. **Darwinismo**. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/darwinismo/>>. Acesso em: 02 fev 2026.

FÍSICA

Formação Geral Básica



UNIDADE I

TERMOMETRIA, CALORIMETRIA E TERMODINÂMICA

Nesta unidade, iniciaremos o estudo da Termologia, ramo da Física responsável por compreender os fenômenos relacionados ao calor, à temperatura e às transformações de energia térmica. Esses conceitos estão presentes em diversas situações do cotidiano, como a sensação térmica, o funcionamento de eletrodomésticos, a previsão do tempo e os processos naturais que ocorrem no ambiente.

O estudo da Termometria permitirá compreender o conceito de temperatura, as escalas termométricas e os instrumentos utilizados para medi-la, além de analisar como os corpos entram em equilíbrio térmico. Em seguida, a Calorimetria abordará as trocas de calor entre os sistemas, explicando fenômenos como aquecimento, resfriamento e mudanças de estado físico da matéria.

Por fim, a Termodinâmica aprofundará a relação entre calor, trabalho e energia, por meio do estudo das transformações energéticas e das leis que regem esses processos. Essa área é fundamental para entender o funcionamento de motores, geladeiras, sistemas de refrigeração e até mesmo fenômenos climáticos globais.

Ao longo desta unidade, os conceitos serão apresentados de forma integrada, relacionando teoria e prática, ciência e cotidiano, favorecendo uma compreensão crítica dos fenômenos térmicos e de sua importância para o desenvolvimento tecnológico e para a sustentabilidade do planeta.

CAPÍTULO 01. TERMOMETRIA

Neste capítulo, iniciaremos o estudo da Termometria, ramo da Termologia dedicada à compreensão do conceito de temperatura e às formas de medi-la. A temperatura é uma grandeza física fundamental para descrever o estado térmico dos corpos e está presente em diversas situações do cotidiano, como na previsão do tempo, na conservação de alimentos, na prática de atividades físicas e no funcionamento de inúmeros aparelhos tecnológicos.

Ao longo deste capítulo, serão abordados os princípios que permitem a medição da temperatura, destacando o equilíbrio térmico e o funcionamento dos termômetros. Também serão estudadas as escalas termométricas, como Celsius, Fahrenheit e Kelvin, além das relações de conversão entre elas, essenciais para a compreensão de fenômenos científicos e aplicações tecnológicas.

Este capítulo fornece as bases necessárias para a compreensão de áreas da termologia como Calorimetria e a Termodinâmica.

Expectativas de Aprendizagem

Ao final do estudo, espera-se que os estudantes sejam capazes de:

- Identificar situações em que se estabelece o equilíbrio térmico.
- Identificar grandezas termométricas.
- Reconhecer a importância de calibrar ou graduar um termômetro.
- Conhecer o funcionamento de um termômetro.
- Estabelecer relações entre escalas termométricas.

Habilidades da FGB

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

(EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental.

(EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

Habilidades do ENEM

(ENEM_C5_H17) Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

1. INTRODUÇÃO

A Termometria é o ramo da termologia que estuda a medição da temperatura, os instrumentos utilizados para essa medição e as escalas termométricas. Sendo fundamental para compreender fenômenos térmicos do cotidiano.

2. TEMPERATURA

No cotidiano, costumamos identificar a temperatura dos objetos apenas pelo contato físico, usando o tato para dizer se algo está quente ou frio. Porém, essa percepção não é confiável, pois depende da sensibilidade de cada pessoa e das características do material tocado. Um exemplo comum acontece quando encostamos na superfície de uma panela de alumínio e, depois em uma estrutura de madeira, o metal parece mais frio, mesmo estando na mesma temperatura do ambiente que está a madeira. Isso mostra que nossos sentidos podem nos enganar. Por essa razão, para conhecer corretamente a temperatura de um corpo ou de um ambiente, é necessário recorrer a medições feitas com instrumentos adequados, como o termômetro.

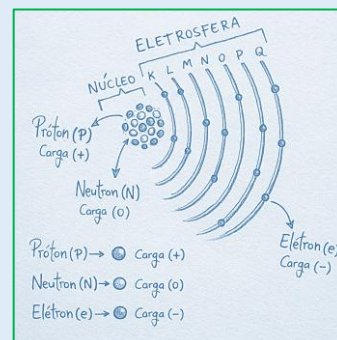
A temperatura é a grandeza física que indica o grau de agitação das partículas, como **átomos** ou **moléculas**, que constituem um **corpo**. Quanto maior a agitação das partículas, maior será a temperatura.

- Temperatura alta → partículas se movem mais rapidamente.
- Temperatura baixa → partículas se movem mais lentamente.



Átomo

É a menor unidade da matéria que conserva as propriedades de um elemento químico. Ele é formado por duas regiões principais: o núcleo e a eletrosfera. No núcleo encontram-se os prótons, de carga positiva, e os nêutrons, sem carga elétrica. Ao redor do núcleo está a eletrosfera, onde ficam os elétrons, partículas de carga negativa distribuídas em níveis de energia.



Molécula

É o conjunto de dois ou mais átomos ligados quimicamente, podem ser formadas por átomos do mesmo elemento químico (O_2) ou de elementos diferentes (H_2O).

Corpo

É qualquer porção limitada da matéria, que possui forma e volume definidos. Um corpo pode ser um objeto natural ou artificial, como uma pedra, um copo ou uma cadeira.

Por exemplo: A água fervente tem temperatura maior que a água fria porque as moléculas da água quente se movem com mais intensidade. Já no congelador, as partículas se movimentam menos, indicando uma temperatura mais baixa.



ATENÇÃO: temperatura não é sinônimo de calor.

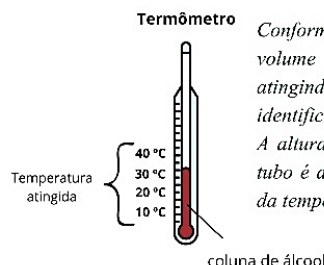
Calor é a energia térmica em trânsito, que se transfere de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura, ou seja, calor não é algo que o corpo "tem", mas algo que está sendo transferido.

3. TERMÔMETRO

O termômetro é o instrumento utilizado para medir a temperatura de um corpo ou sistema. Seu funcionamento baseia-se na variação de uma **grandeza física** ou **termométrica** que se altera quando o sistema troca energia com outro, em função da agitação térmica de suas partículas.

São exemplos de grandezas termométricas:

- O comprimento de um líquido
- O volume de um líquido ou gás
- A pressão de um gás a volume constante
- A resistência elétrica
- A diferença de potencial elétrico (tensão)



Conforme a temperatura aumenta, o volume do álcool também aumenta atingindo diferentes alturas, identificadas pelas marcações do tubo. A altura da coluna de álcool dentro do tubo é a grandeza associada à variação da temperatura.

A substância utilizada no termômetro para indicar a variação em uma grandeza termométrica é denominada substância termométrica.



Curiosidades da física

O primeiro instrumento criado para observar variações de temperatura foi o termoscópio, desenvolvido por Galileu Galilei em 1592. Diferente dos termômetros atuais, ele não possuía escala numérica, portanto não media a temperatura com precisão. Sua função era apenas indicar se a temperatura estava aumentando ou diminuindo. O funcionamento do termoscópio baseava-se na dilatação do ar: quando a temperatura aumentava, o ar dentro do tubo se expandia, empurrando o líquido para baixo; quando a temperatura diminuía, o ar se contraía e o líquido subia. Assim, era possível perceber mudanças térmicas no ambiente, embora sem valores exatos, introduzindo a ideia de relacionar a temperatura a uma grandeza física variável. A partir dele, cientistas passaram a desenvolver instrumentos mais precisos, com substâncias adequadas e escalas padronizadas, dando início ao que hoje conhecemos como Termometria.

4. ESCALAS TERMOMÉTRICAS

Para medir a temperatura, ou seja, a energia cinética associada à movimentação das moléculas, é preciso utilizar um sistema de referência. No caso da temperatura, esse sistema recebe o nome de escala termométrica. Em um termômetro, cada variação da grandeza termométrica corresponde a um número indicado na escala, que representa a temperatura do corpo ou do sistema naquele estado térmico.

Atualmente, as escalas termométricas mais utilizadas são: a Celsius (°C), a Fahrenheit (°F) e a escala absoluta Kelvin (K).

4.1 Escala Celsius (°C)

A escala Celsius (°C) é uma das escalas de temperatura mais utilizadas no mundo, especialmente em países como o Brasil. Ela foi proposta pelo astrônomo sueco Anders Celsius, no século XVIII, com base em fenômenos naturais facilmente observáveis.

Nessa escala, foram definidos dois pontos de referência: o ponto de **fusão** do gelo (a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$), e o ponto de **ebulição** da água (a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$), ambos considerados à pressão atmosférica normal. O intervalo entre esses dois pontos foi dividido em 100 partes iguais, chamadas de graus Celsius (Figura 1.1).

Embora seja bastante prática, a escala Celsius não é considerada absoluta, pois admite valores negativos. Ainda assim, é muito usada no cotidiano, em termômetros clínicos, meteorológicos e domésticos, pois apresenta valores que se relacionam diretamente com as sensações térmicas comuns, como frio, temperatura ambiente e calor intenso.

4.2 Escala Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$)

A escala Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) é uma escala de temperatura criada pelo físico Daniel Gabriel Fahrenheit. Atualmente, ela é utilizada principalmente nos Estados Unidos e em alguns poucos países.

Nessa escala, os pontos de referência foram definidos de forma diferente da escala Celsius. O ponto de fusão da água corresponde a $32\text{ }^{\circ}\text{F}$, enquanto o ponto de ebulição da água corresponde a $212\text{ }^{\circ}\text{F}$, considerando pressão atmosférica normal (Figura 1.1). Entre esses dois pontos existem 180 divisões iguais, o que torna a escala mais detalhada que a Celsius.

Assim como a escala Celsius, a escala Fahrenheit não é absoluta, pois admite valores negativos. Por isso, seu uso é mais comum no cotidiano do que em aplicações científicas.

Nos países que a adotam, essa escala é usada para informar a temperatura do ar, previsões meteorológicas e controle de temperatura em ambientes domésticos.


4.3 Escala Kelvin (K)

A escala Kelvin (K) é a escala oficial do Sistema Internacional de Unidades (SI) e é amplamente utilizada em estudos científicos. Diferentemente das escalas Celsius e Fahrenheit, a escala Kelvin é considerada uma escala absoluta, pois se baseia no zero absoluto.

O zero absoluto (0 K) corresponde à menor temperatura teoricamente possível, na qual a agitação térmica das partículas é mínima. Esse valor equivale a aproximadamente $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$. A partir desse ponto, todas as temperaturas na escala Kelvin são positivas, ou seja, não existem valores negativos nessa escala.

Uma característica da escala Kelvin é que ela possui o mesmo tamanho de intervalo da escala Celsius. Isso significa que uma variação de 1 kelvin equivale a uma variação de 1 grau Celsius.

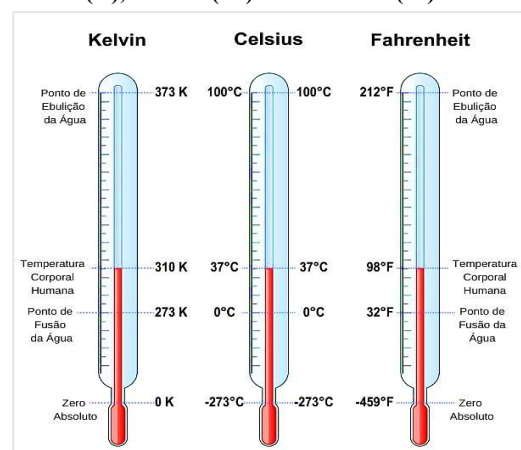
A escala Kelvin é muito utilizada em áreas como Física, Química, Astronomia e Engenharia, pois facilita a descrição de fenômenos térmicos e o uso de fórmulas científicas, especialmente aquelas relacionadas às leis da Termodinâmica.



Fusão
Mudança de estado físico em que uma substância passa do estado sólido para o líquido, devido ao aumento da temperatura.

Ebulição
Mudança de estado físico do líquido para o gasoso que ocorre quando o líquido atinge uma temperatura específica, chamada temperatura de ebulição, passando a formar bolhas de vapor em toda a sua massa.

Figura 1.1: Escalas termométricas de Kelvin (K), Celsius ($^{\circ}\text{C}$) e Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$).



Fonte: MELO (2026).

A Figura 1.1 relaciona os pontos fixos de referência das três escalas termométricas.

5. CONVERSÃO ENTRE ESCALAS TERMOMÉTRICAS

Como observado anteriormente, cada escala termométrica possui valores de referência distintos, por isso, quando comparamos temperaturas expressas em escalas diferentes é necessário que os valores de temperatura sejam convertidos de uma escala para outra por meio de proporcionalidades que originam as chamadas **equações termométricas**.

5.1 Conversão entre as escalas Celsius e Kelvin

A escala Kelvin possui o mesmo intervalo da escala Celsius, porém seu zero corresponde ao zero absoluto.

A conversão de Kelvin para Celsius é dada pela equação:

$$T_C = T_K - 273$$

A conversão de Celsius para Kelvin é dada pela equação:

$$T_K = T_C + 273$$



Exemplo: se uma temperatura é de 25 °C, em Kelvin, será:

$$T_C = T_K - 273$$

$$25 = T_K - 273$$

$$25 + 273 = T_K$$

$$298 = T_K$$

$$T_K = 298 \text{ K}$$

5.2 Conversão entre as escalas Celsius e Fahrenheit

A escala Fahrenheit possui divisões diferentes da escala Celsius. Por isso, a conversão exige uma relação matemática específica.

A conversão de Celsius para Fahrenheit é dada pela equação:

$$\frac{T_C - 0}{100 - 0} = \frac{T_F - 32}{212 - 32}$$

$$\frac{T_C}{100} = \frac{T_F - 32}{180}$$

$$100 \cdot (T_F - 32) = 180 T_C$$

$$T_F - 32 = \frac{180 T_C}{100}$$

$$T_F - 32 = \frac{9 T_C}{5}$$

$$T_F - 32 = 1,8 T_C$$

$$T_F = 1,8 T_C + 32$$



Exemplo: se uma temperatura é 20 °C, em graus Fahrenheit, será:

$$\begin{aligned}T_F &= 1,8 T_C + 32 \\T_F &= (1,8 \times 20) + 32 \\T_F &= 36 + 32 \\T_F &= 68 \text{ }^\circ\text{F}\end{aligned}$$

Para a conversão de Fahrenheit para Celsius usa-se a equação:

$$T_C = \frac{(T_F - 32)}{1,8}$$

5.3 Conversão entre as escalas Kelvin e Fahrenheit

Para realizar a conversão da escala Kelvin para a escala Fahrenheit, é necessário antes realizar a conversão da escala Celsius para a escala Fahrenheit.

A Conversão da escala Celsius para Fahrenheit é dada pela equação:

$$\begin{aligned}\frac{T_C - 0}{100 - 0} &= \frac{T_F - 32}{212 - 32} \\ \frac{T_C}{100} &= \frac{T_F - 32}{180} \\ 100 \cdot (T_F - 32) &= 180^\circ\text{C} \\ T_F - 32 &= \frac{180T_C}{100} \\ T_F - 32 &= \frac{9T_C}{5} \\ T_F - 32 &= 1,8T_C \\ \mathbf{T_F} &= \mathbf{1,8T_C + 32}\end{aligned}$$

Considerando que $T_C = T_K - 273$, temos:

$$\begin{aligned}\mathbf{T_F} &= \mathbf{1,8T_C + 32} \\ T_F &= 1,8(T_K - 273) + 32 \\ \mathbf{T_F} &= \mathbf{(T_K - 273) \times 1,8 + 32}\end{aligned}$$



Exemplo: se uma temperatura é 300 k, em graus Fahrenheit, será:

$$\begin{aligned}T_F &= (T_K - 273) \times 1,8 + 32 \\ T_F &= (300 - 273) \times 1,8 + 32 \\ T_F &= 80,6 \text{ }^\circ\text{F}\end{aligned}$$

Para a conversão de Fahrenheit para Kelvin, usa-se a fórmula:

$$T_K = \frac{(T_F - 32) + 273}{1,8}$$



O calor de rachar não impede de beber tacacá

O calor de rachar não impede de beber tacacá
No verão da Amazônia paraense,
Quando a temperatura da superfície
Parece a temperatura do manto
E é calor, calor pra todo canto

Quando o sol derrete a moleira da gente
E suor deixa a gente todo breado
O natural seria beber algo gelado
Em outras partes do mundo, talvez,
mas no Pará a coisa é diferente,
aqui no inverno ou no verão
o que se toma é o tacacá bem quente
Herança dos nossos ancestrais
deixada pra toda nossa gente

Em outras terras quando chega o calor
As pessoas correm em busca do ar,
Mas aqui na terra do tacacá
O paraense faz amizade com o calor de atordoar

A tarde sob o sol escaldante
Nas ruas do centro ou da periferia
As tacacazeiras montam suas barracas
E as panelas no fogo em ebulição
fazem um convite silencioso à população
O cheiro da bebida paira pelo ar
E todo mundo já sabe que é a hora de se aproximar

O tacacá sai da panela direto pra cuia
De tão quente que é
Devia se tomar de bubuia,
Mas isso não dá pra fazer
A menos que se queira adoecer ou quem sabe até...
Pois todo paraense que se preze sabe
Que não se junta coisa quente com água molhada,
A não ser que a pessoa queira ficar toda encarangada

A cada gole do tacacá a temperatura aumenta
E suor começa a escorrer pelas ventas
A goma e o tucupi fumegante
Se juntam a pimenta picante
O camarão comprado ao amanhecer
Se junta ao jambu que faz a língua adormecer

Quem não é daqui talvez não entenda
Mas o tacacá não é só culinária regional
É forma de resistir às investidas
Contra nosso saber ancestral
Por isso o IPHAM já reconheceu
O nosso tacacá como patrimônio nacional

DESAFIO

Baseado nas vivências que você tem do seu território, elabore um texto em prosa ou em verso que demonstre a presença dos saberes ancestrais em práticas cotidianas que contribuem para a manutenção da cultura da Amazônia paraense.

ATIVIDADE

Questão 1. Um estudante mede a temperatura de um ambiente e obtém o valor de $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Essa temperatura, expressa na escala Kelvin, corresponde a:

- a) 246 K
- b) 254 K
- c) 273 K
- d) 300 K
- e) 327 K

Questão 2. A escala Fahrenheit é utilizada em alguns países. Sabendo que $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ correspondem a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $212\text{ }^{\circ}\text{F}$ correspondem a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, uma temperatura de $68\text{ }^{\circ}\text{F}$ equivale, na escala Celsius, a:

- a) $10\text{ }^{\circ}\text{C}$
- b) $15\text{ }^{\circ}\text{C}$
- c) $20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- d) $25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- e) $30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Questão 3. A escala Kelvin é considerada uma escala absoluta de temperatura porque:

- a) possui valores negativos
- b) é baseada na dilatação dos sólidos
- c) tem como referência o corpo humano
- d) utiliza o ponto de ebulição da água como zero
- e) tem como zero o menor estado de agitação térmica possível

Questão 4. (ENEM 2010) A temperatura de um corpo é medida em diferentes escalas termométricas. A relação entre as escalas Celsius e Kelvin permite afirmar que uma variação de temperatura de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ corresponde a uma variação de:

- a) 0 K
- b) 1 K
- c) 10 K
- d) 100 K

e) 273 K

Questão 5. Em regiões muito frias, os termômetros costumam utilizar álcool em vez de mercúrio. Isso ocorre porque o álcool:

- a) dilata-se menos que o mercúrio
- b) possui maior densidade
- c) tem menor ponto de fusão
- d) tem maior ponto de ebulição
- e) conduz melhor o calor

Questão 6. (Senac) A chegada do homem à lua aconteceu em 1969. A estrutura da lua é rochosa e praticamente não possui atmosfera, o que faz com que durante o dia a temperatura chegue a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ e à noite caia para $-155\text{ }^{\circ}\text{C}$. Essa variação térmica, medida na escala Fahrenheit de temperatura, vale:

- A) 50.
- B) 90.
- C) 292.
- D) 468.
- E) 472.

Questão 7. (ENEM 2024) A tirinha ilustra esquimós dentro de um iglu, habitação de formato hemisférico construída durante o inverno a partir de neve ou blocos de gelo. Essa estrutura de construção se justifica pelo fato de esse povo habitar as regiões mais setentrionais da Groenlândia, Canadá e Alasca.



LAERTE. Disponível em: <https://artedafisicapibid.blogspot.com>. Acesso em: 4 dez. 2021 (adaptado).

Na tirinha, a geladeira é necessária para fazer gelo porque

- a) a temperatura interna do iglu é maior que a de solidificação da água.
- b) a umidade dentro do iglu dificulta o processo de mudança de fase da água.
- c) o ar dentro do iglu é isolante térmico, dificultando a perda de calor pela água.
- d) a temperatura uniforme no interior do iglu impede as correntes de convecção.

Questão 8. (UERJ - 2013) Observe na tabela os valores das temperaturas dos pontos críticos de fusão e de ebulição, respectivamente, do gelo e da água, à pressão de 1 atm, nas escalas Celsius e Kelvin.

Pontos críticos	Temperatura	
	°C	K
fusão	0	273
ebulição	100	373

Considere que, no intervalo de temperatura entre os pontos críticos do gelo e da água, o mercúrio em um termômetro apresenta uma dilatação linear.

Nesse termômetro, o valor na escala Celsius correspondente à temperatura de 313 K é igual a:

- a) 20
- b) 30
- c) 40
- d) 60

REFERÊNCIAS

- AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R.; FERRARO, N. G.; PENTEADO, P. C. M.; TORRES, C. M. A.; SOARES, J.; CANTO, E. L.; LEITE, L. C. C. **Moderna Plus: ciências da natureza e suas tecnologias**: manual do professor. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.
- BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). **Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM 1998**. Brasília: INEP, 1998.
- BASSALO José M. F. Curiosidades da Física. Disponível em: <https://seara.ufc.br/wp-content/uploads/2019/03/folclore281.pdf>
- BONJORNO, J. R. **Identidade Saraiva: Física**. Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. volume único: ensino médio. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2024.
- DOCA, R. H.; FOGO, R. **Moderna Superação! Física**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2024.
- FERRARO, N. G.; TORRES, C. M. A.; PENTEADO, P. C. M. **Moderna Plus Física**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2024.
- MELO, P. R. **Escalas termométricas**. Mundo Educação. Disponível em: Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/escalas-termometricas.htm>>. Acesso em: 05 fev. 2026.

CAPÍTULO 02. CALORIMETRIA

Neste capítulo, daremos continuidade ao estudo da Termologia por meio da Calorimetria, ramo da Física que investiga as trocas de calor entre os corpos e as transformações térmicas decorrentes dessas trocas.

No capítulo são apresentados conceitos fundamentais como calor sensível, calor latente, capacidade térmica e calor específico, indispensáveis para explicar o aquecimento e o resfriamento dos corpos, as mudanças de estado físico e diversos fenômenos do cotidiano, como o aquecimento da água, o derretimento do gelo e o funcionamento de sistemas de refrigeração.

Neste capítulo também é abordada a análise quantitativa das trocas de calor, por meio de equações que relacionam massa, variação de temperatura e propriedades dos materiais. O fluxo de calor é abordado a partir da lei de Fourier.

Os conceitos abordados na termometria são ampliados na calorimetria e criam uma base necessária ao estudo da termodinâmica.

Expectativas de Aprendizagem

Ao final do estudo, espera-se que os estudantes sejam capazes de:

- Diferenciar as grandezas calor e temperatura.
- Diferenciar calor sensível de calor latente.
- Calcular o calor sensível.
- Reconhecer a capacidade térmica como grandeza física característica de cada corpo.
- Relacionar a razão entre calor e temperatura à capacidade térmica de um corpo.
- Associar calor específico e capacidade térmica a fenômenos naturais e situações cotidianas.
- Identificar fenômenos naturais relacionados aos processos de propagação de calor.
- Diferenciar calor latente de calor sensível.
- Explicar como as variações de temperatura provocam mudanças no estado físico de um corpo.
- Compreender a importância do calor específico para a preparação de pratos típicos da culinária na Amazônia paraense.

Habilidades da FGB

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

(EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.

(EM13CNT309) Analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos de motores e processos de produção de novos materiais.

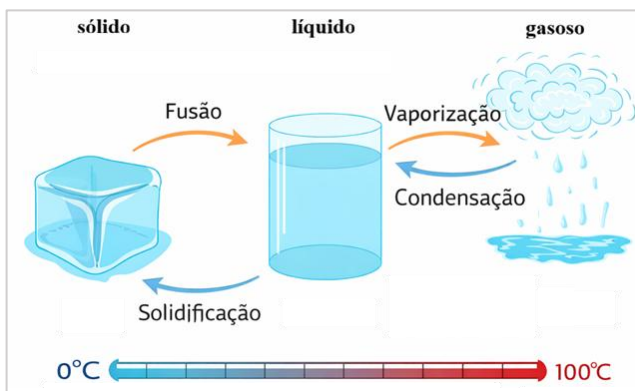
Habilidades do ENEM

(ENEM_C5_H17) Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

1. INTRODUÇÃO

A calorimetria (do latim, “calor” e do grego “metro”, medida) é a parte da Física que estuda as trocas de calor entre os corpos e as transformações que ocorrem devido a essas trocas. O estudo da calorimetria é fundamental para compreender fenômenos como o aquecimento da água (Figura 2.1), o funcionamento de geladeiras, a sensação térmica, além de outros processos naturais e tecnológicos.

Figura 2.1: Mudança de estado físico da água em função do aumento ou diminuição da temperatura.



Fonte: Elaborada pelos autores. Imagem ilustrativa produzido por IA. ChatGPT (OpenAI) (2026).


2. CALOR

O calor é uma forma de energia em trânsito, que se transfere de um corpo para outro devido à diferença de temperatura entre eles. O conceito de calor só foi explicado e entendido no século XIX, a partir dos experimentos do físico britânico James Prescott Joule (1818-1889), demonstrando que calor é uma forma de energia.

Com esse tipo de energia podemos preparar alimentos, fundir metais, construir máquinas, movimentar veículos, nos aquecer. Além disso, o calor influencia no clima, na formação dos ventos e nas correntes marítimas.

É importante lembrar que um corpo não possui calor, ele possui energia interna. O calor é a troca de energia entre os corpos. Portanto, só faz sentido falar em calor quando essa energia está sendo transmitida.

A grandeza que define essa energia térmica em trânsito é chamada de **quantidade de calor** (Q). No Sistema Internacional (SI), o calor é medido em joules (J). Outra unidade bastante utilizada é a caloria (cal), sendo: $1 \text{ cal} \approx 4,18 \text{ J}$.



Para lembrar!

Temperatura: indica o estado térmico de um corpo

Calor: é energia transferida de um sistema para outro devido à diferença de temperatura.

3. TROCAS DE CALOR

As trocas de calor ocorrem quando dois ou mais corpos, com temperaturas diferentes, entram em contato térmico.

Em um sistema isolado, ou seja, sem perdas de calor para o ambiente, a soma das quantidades de calor trocadas é nula.

Isso significa que:


- O corpo mais quente cede calor.
- O corpo mais frio recebe calor.

Matematicamente: $Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0$

Onde:


$Q > 0 \rightarrow$ calor recebido

$Q < 0 \rightarrow$ calor cedido



Para lembrar!

A quantidade de calor, representada pela letra Q , é a medida da quantidade de energia térmica trocada entre os corpos.



Para lembrar!

$Q > 0 \rightarrow$ calor recebido \rightarrow **umenta a temperatura.**

$Q < 0 \rightarrow$ calor cedido \rightarrow **diminui a temperatura.**

No momento em que os corpos atingem a mesma temperatura, interrompendo as trocas de calor, dizemos que estão em **equilíbrio térmico** (Figura 2.2).

Quando a transferência de energia na forma de calor provoca em um corpo uma variação de temperatura, esse processo é denominado **calor sensível** (Figura 2.3). A quantidade de calor sensível recebida ou cedida por um corpo pode ser calculada através da fórmula:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Onde:

Q : quantidade de calor sensível (J ou cal)

m : massa do corpo (kg ou g)

c : calor específico (J/kg.°C ou cal/g.°C)

ΔT : variação de temperatura (°C).

$\Delta T = T_f - T_i$ (T_f é a temperatura final; e T_i corresponde a temperatura inicial)

Quando a transferência de energia na forma de calor provoca, em um corpo, uma mudança em seu estado físico, esse processo é denominado calor latente (L) (Figura 2.3). O calor latente depende da natureza da substância, de sua massa (quantidade de matéria) e do tipo de mudança de estado físico que ocorre. A temperatura na qual ocorre a mudança de estado físico é característica de cada material e depende da pressão à qual ele está submetido

A relação entre a quantidade de calor recebido ou cedido Q e o calor específico latente L é dada pela equação:

$$L = \frac{Q}{m}$$

ou

$$Q = m \cdot L$$

Onde:

L = calor específico latente (J/kg ou cal/g)

m = quantidade de calor por unidade de massa.

Q = relação entre a quantidade de calor recebido ou cedido.

Figura 2.2: Representação do equilíbrio térmico.



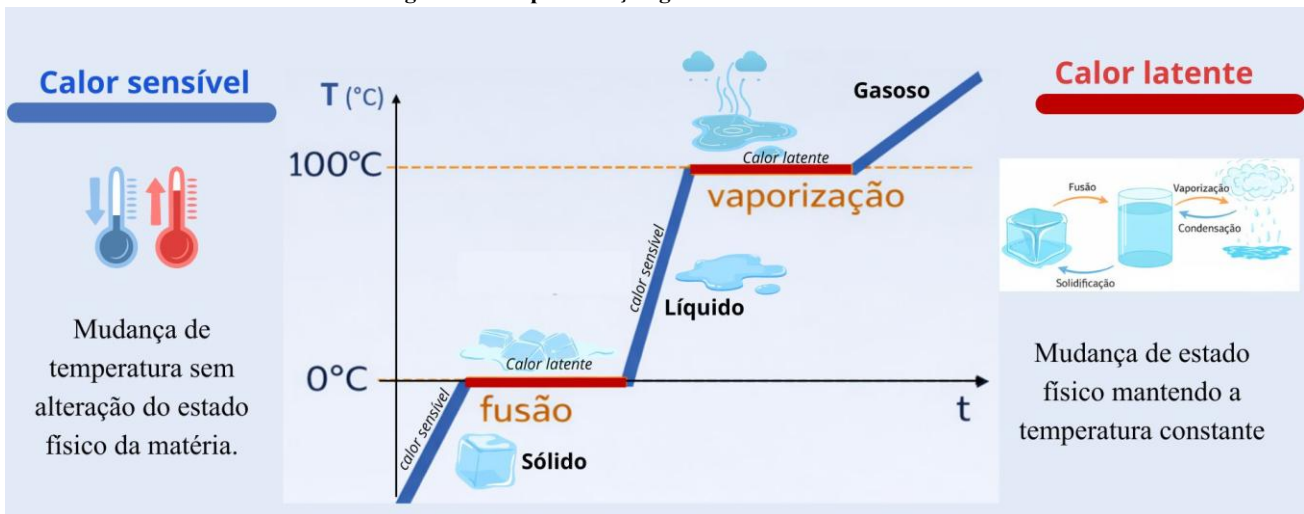
Fonte: Os autores.



Para saber!

A Lei Zero da termodinâmica estabelece que se dois sistemas (A e B) estão em equilíbrio térmico com um terceiro sistema (C), então A e B estão em equilíbrio térmico entre si.

Figura 2.3: Representação gráfica do calor sensível e latente.



Fonte: Os autores.

4. CAPACIDADE TÉRMICA

A capacidade térmica (C) é definida como a quantidade de calor necessária para provocar uma variação de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ou 1 K) na temperatura de um corpo. Depende da massa do corpo e do tipo de material que esse corpo é constituído

Podemos calcular a capacidade térmica de um corpo, através da fórmula:

$$C = m \cdot c$$

Onde:

C : capacidade térmica ($\text{J}/^{\circ}\text{C}$ ou $\text{cal}/^{\circ}\text{C}$)

m : massa (kg ou g)

c : calor específico ($\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ ou $\text{cal}/\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}$)

Quanto maior a capacidade térmica de um corpo, mais calor é necessário para que o corpo varie sua temperatura, conseqüentemente esse corpo aquece e resfria mais lentamente. Por outro lado, quanto menor a capacidade térmica de um corpo, menos calor é necessário para que ele sofra variações em sua temperatura, logo, ele aquece ou resfria rapidamente.

5. FLUXO DE CALOR

O **fluxo de calor** (Φ) é a transferência de energia térmica que ocorre espontaneamente de um corpo ou região de maior temperatura para outro de menor temperatura, até que se atinja o equilíbrio térmico (Figura 2.4). É determinado pela equação:

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

Onde:

Φ : fluxo de calor, medido em Watt (W) ou joule por segundo (J/s).

Q : quantidade de calor, medida em Joule (J).

Δt : variação do tempo de transmissão, medida em segundos (s).

A lei que define o processo de transmissão de calor é conhecida como **Lei de Fourier** ou **Lei da condução térmica**. Determinada experimentalmente pelo matemático francês Jean-Baptiste Fourier (1768-1830), representa o processo de condução de calor através de um material sólido homogêneo que está sujeito a uma diferença de temperatura. Fourier percebeu que a quantidade de calor transferida em um intervalo de tempo é:

- proporcional à diferença de temperatura (ΔT), pois a quantidade de calor transferida por unidade de tempo aumenta quando aumenta a diferença de temperatura entre as faces;
- inversamente proporcional à espessura do objeto (l), pois quanto maior a espessura do material, mais difícil é a passagem do calor, logo o fluxo diminui;
- proporcional à área (A) da superfície do objeto que sofreu o aumento de temperatura, pois quanto maior a área transversal do material, maior a quantidade de calor transferida por unidade de tempo.

Fourier deduziu que a condução de calor pode ser dada pela expressão:

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{l}$$

Como sabemos que $\frac{Q}{\Delta t}$ é igual a Φ , a equação fica:

$$\Phi = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{l}$$

Onde:

Φ : fluxo de calor (taxa de transferência de calor).

K : coeficiente de condutibilidade térmica do material.

A : área de contato.

ΔT : diferença de temperatura entre as faces

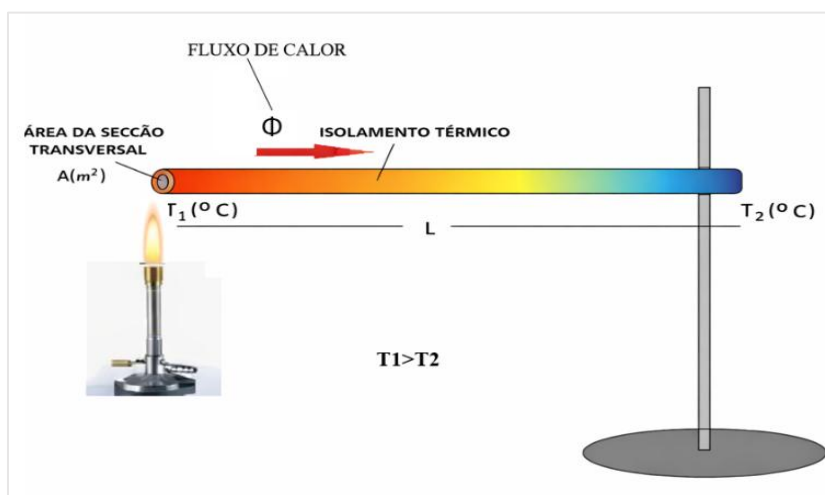
($\Delta T = T_f - T_i$).

l : espessura do material.

6. PROPAGAÇÃO DO CALOR

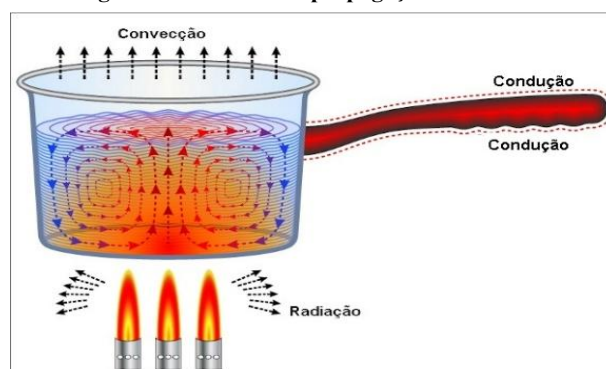
A propagação do calor é o modo como o calor se transfere de um ponto a outro. Existem três formas principais de propagação do calor: condução, convecção e radiação (Figura 2.5).

Figura 2.4: Ilustração do fluxo de calor.



Fonte: Adaptado de Bernardo (2026).

Figura 2.5: Formas de propagação de calor.

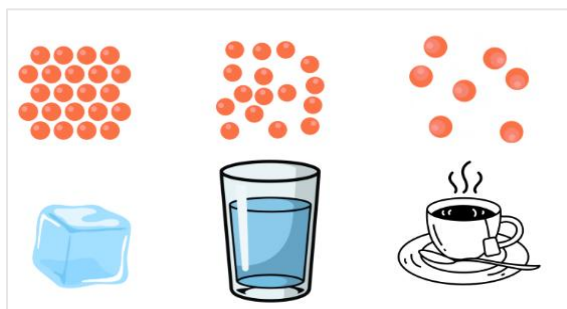


Fonte: PrePara Enem (2026).

6.1 Condução térmica

Na condução, a energia térmica se propaga de uma partícula para outra do meio material. Ocorre sem o transporte de matéria, apenas pela vibração das partículas (Figura 2.5). Essa forma de propagação de calor, ocorre principalmente em sólidos, devido ao arranjo dos átomos (Figura 2.6).

Figura 2.6: Arranjo dos átomos nos estados, sólido, líquido e gasoso, da matéria.



Fonte: Os autores.

De acordo com a capacidade de condução térmica, os materiais podem ser classificados em **condutores** ou **isolantes**.

Durante a condução, uma quantidade de calor (Q) atravessa o objeto em determinado intervalo de tempo.



Condutores térmicos

São materiais que permitem a passagem do calor com facilidade. Eles transferem energia térmica rapidamente de uma região mais quente para outra mais fria. Ex.: Cobre, alumínio, ferro, prata

Isolantes térmicos

São materiais que dificultam a transferência de calor entre corpos ou entre um corpo e o ambiente. Ex.: Madeira, plástico, borracha, lã, isopor.

6.2 Convecção térmica

A convecção térmica é o processo de propagação de calor que permite às moléculas de fluidos (líquidos e gases) em desequilíbrio térmico ascenderem ou descenderem (Figura 2.5). Tal movimentação é possível graças a **densidade** das moléculas que compõem o fluido e determina o surgimento de fenômenos como as **correntes de convecção**.



Densidade

Grandeza física que expressa o grau de concentração de matéria em um corpo. Indica quanta massa existe em um determinado volume.

A densidade é calculada pela fórmula $d = \frac{m}{V}$, onde: d = densidade; m = massa; V = volume

Correntes de Convecção

São movimentos que ocorrem em líquidos e gases devido às diferenças de temperatura e densidade. Quando uma região do fluido é aquecida, ela se torna menos densa e sobe; ao esfriar, torna-se mais densa e desce. Esse movimento contínuo forma as correntes de convecção, que são responsáveis por fenômenos como as brisas litorâneas.

ASSISTA O VÍDEO



Sugestão de Vídeo: Propagação de calor - CONDUÇÃO, CONVECÇÃO E IRRADIAÇÃO

<https://www.youtube.com/watch?v=8iNNercle9U>

(Com Ciência). Duração: 05'25"



Quando o calor vira vento

São ventos locais formados pelas diferenças de aquecimento entre o continente e o oceano, estando diretamente relacionadas às correntes de convecção do ar. Durante o dia, a superfície terrestre aquece mais rapidamente do que a água do mar. O ar sobre a terra fica mais quente, menos denso e sobe, criando uma região de baixa pressão. Com isso, o ar mais frio e mais denso que está sobre o mar se desloca em direção ao continente, originando a brisa marítima, que sopra do mar para a terra.

À noite, ocorre o processo inverso. A terra perde calor mais rapidamente do que o mar, fazendo com que o ar sobre o continente fique mais frio e mais denso. Esse ar desce e se desloca em direção ao mar, enquanto o ar mais quente sobre o oceano sobe. Forma-se, então, a brisa terrestre, que sopra da terra para o mar.

Esses ventos são fundamentais para a propulsão das embarcações a vela utilizadas por pescadores artesanais. Tradicionalmente, os pescadores aproveitam a brisa terrestre, que ocorre à noite ou no início da manhã, para se deslocarem da costa em direção ao alto-mar, facilitando a saída para a pesca. Após o período de trabalho, durante o dia, a brisa marítima entra em ação, soprando do mar para o continente, auxiliando o retorno das embarcações para a costa.

O conhecimento das brisas marítimas é essencial para a navegação tradicional, permitindo que os pescadores utilizem a energia dos ventos de forma eficiente, econômica e sustentável, sem a necessidade de motores a combustão.



EXERCÍCIO

- 1- Explique como as diferenças de temperatura e densidade nos fluidos dão origem às correntes de convecção, conforme descrito no texto e representado na imagem.
- 2- Utilizando o esquema da imagem, descreva o processo de formação da brisa marítima durante o dia, indicando o sentido do movimento do ar e sua relação com o aquecimento do continente e do oceano.
- 3- Por que a brisa terrestre ocorre principalmente à noite? Explique esse fenômeno com base na perda de calor da terra e do mar e nas correntes de convecção do ar.

DESAFIO

Explique a importância das brisas marítimas e terrestres para a navegação das embarcações a vela utilizadas por pescadores artesanais, destacando os benefícios econômicos e ambientais desse tipo de propulsão.

6.3 Irradiação térmica

A propagação de calor por irradiação ocorre por meio de ondas eletromagnéticas, principalmente na forma de radiação infravermelha, não necessitando de um meio material para se propagar (Figura 2.5). É por esse processo que o calor do Sol chega até a Terra, atravessando o vácuo do espaço. Ao atingir a superfície terrestre, essa energia é absorvida e transformada em calor, aquecendo o solo, a água e o ar.



Do Sol à Terra: Irradiação e Efeito Estufa

A energia que mantém a Terra aquecida e possibilita a existência da vida tem origem no Sol. Essa energia chega ao nosso planeta por meio da irradiação, um processo de propagação do calor que ocorre através de ondas eletromagnéticas, principalmente na forma de radiação infravermelha, e que não necessita de um meio material para se propagar. Dessa forma, o calor solar consegue atravessar o vácuo do espaço e alcançar a superfície terrestre.

Ao atingir a Terra, parte da radiação solar é refletida de volta para o espaço, enquanto outra parte é absorvida pelo solo, pela água e pela atmosfera, sendo transformada em calor. Esse aquecimento faz com que a superfície terrestre emita radiação infravermelha de volta para a atmosfera. É nesse momento que ocorre o efeito estufa, um fenômeno natural e essencial para a manutenção do equilíbrio térmico do planeta.

O efeito estufa acontece devido à presença de gases na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o vapor d'água. Esses gases absorvem parte da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre e a reemitem em diferentes direções, inclusive de volta para o solo. Esse processo reduz a perda de calor para o espaço e mantém a temperatura média da Terra em níveis adequados para a sobrevivência dos seres vivos.

No entanto, as atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento e práticas agropecuárias intensivas, têm aumentado significativamente a concentração de gases do efeito estufa na atmosfera. Esse aumento intensifica o efeito estufa natural, provocando o aquecimento global, caracterizado pela elevação gradual da temperatura média do planeta.

O aquecimento global está diretamente relacionado às emergências climáticas observadas nas últimas décadas. Entre suas consequências estão o aumento da frequência e da intensidade de eventos extremos, como ondas de calor, secas prolongadas, enchentes, tempestades intensas, elevação do nível do mar e alterações nos regimes de chuva. Esses fenômenos afetam ecossistemas naturais, a produção de alimentos, a disponibilidade de água e a qualidade de vida das populações humanas.

Compreender o caminho da energia solar, desde sua emissão até sua interação com a atmosfera terrestre, é fundamental para entender o funcionamento do efeito estufa e os desafios impostos pelas mudanças climáticas. Esse conhecimento reforça a importância da adoção de práticas sustentáveis e da redução da emissão de gases poluentes, visando à preservação do equilíbrio climático e da vida no planeta.

DESAFIO

1. Explique por que o efeito estufa é considerado um fenômeno essencial à vida na Terra e em que momento ele passa a se tornar um problema ambiental.

ATIVIDADE

Questão 1. Dois corpos, inicialmente a temperaturas diferentes, são colocados em contato térmico dentro de um recipiente isolado. Após certo tempo, ambos atingem a mesma temperatura. Esse fenômeno é explicado pelo princípio do:

- a) isolamento térmico
- b) equilíbrio térmico
- c) trabalho mecânico
- d) rendimento térmico
- e) calor específico

Questão 2. Ao aquecer uma substância pura no estado sólido, observa-se que sua temperatura permanece constante durante certo intervalo de tempo, mesmo com fornecimento contínuo de calor. Esse intervalo corresponde ao processo de:

- a) vaporização
- b) ebulição
- c) solidificação
- d) fusão
- e) condensação

Questão 3. Dois corpos de materiais diferentes, porém com a mesma massa, recebem a mesma quantidade de calor. O corpo que apresenta maior variação de temperatura é aquele que possui:

- a) maior densidade
- b) menor calor específico
- c) maior calor específico
- d) maior volume
- e) menor massa

Questão 4. Em um dia frio, uma pessoa toca uma barra metálica e um pedaço de madeira, ambos à mesma temperatura ambiente. A sensação de que o metal está mais frio ocorre porque o metal:

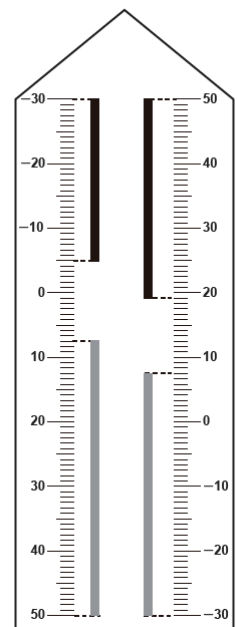
- a) possui menor temperatura

- b) tem maior densidade
- c) absorve mais calor do corpo
- d) conduz melhor o calor
- e) reflete menos calor

Questão 5. (ENEM Digital 2020) Um fabricante orienta que o termômetro de mercúrio deve ficar 3 min em contato com o corpo para aferir a temperatura porque é necessário que:

- a) o termômetro e o corpo tenham a mesma energia interna
- b) a temperatura do corpo passe para o termômetro
- c) o equilíbrio térmico seja atingido
- d) a quantidade de calor dos corpos seja a mesma
- e) o termômetro forneça calor ao corpo

Questão 6. (ENEM 2017) Nesse modelo de termômetro, os filetes na cor preta registram as temperaturas mínima e máxima do dia anterior, e os filetes na cor cinza registram a temperatura ambiente atual, ou seja, no momento da leitura do termômetro. Por isso ele tem duas colunas. Na da esquerda, os números estão em ordem crescente, de cima para baixo, de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na coluna da direita, os números estão ordenados de forma crescente, de baixo para cima, de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.



A leitura é feita da seguinte maneira:

- a temperatura mínima é indicada pelo nível inferior do filete preto na coluna da esquerda;

- a temperatura máxima é indicada pelo nível inferior do filete preto na coluna da direita;
- a temperatura atual é indicada pelo nível superior dos filetes cinza nas duas colunas.

Disponível em: www.if.ufrgs.br. Acesso em: 28 ago. 2014 (adaptado).

Qual é a temperatura máxima mais aproximada registrada nesse termômetro?

- a) 5 °C
- b) 7 °C
- c) 13 °C
- d) 15 °C
- e) 19 °C

Questão 7. (ENEM 2016) Uma pessoa, em um ambiente frio, toca simultaneamente um objeto metálico e um objeto de madeira, ambos à mesma temperatura. A sensação de que o metal está mais frio ocorre porque ele:

- a) está a uma temperatura menor
- b) possui maior densidade
- c) absorve menos calor da mão
- d) conduz calor mais rapidamente
- e) reflete a energia térmica do corpo

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). **Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM 1998**. Brasília: INEP, 1998.

BERNARDO, N. **Fluxo de calor e a Lei de Fourier**. Vamos Estudar Física. Disponível em: <<https://vamosestudarfisica.com/fluxo-de-calor-e-a-lei-de-fourier/>>. Acesso em: 11 fev. 2026.

BONJORNO, J. R. **Identidade Saraiva: Física**. Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. volume único: ensino médio. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2024.

DOCA, R. H.; FOGO, R. **Moderna Superação! Física**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2024.

FERRARO, N. G.; TORRES, C. M. A.; PENTEADO, P. C. M. **Moderna Plus Física**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2024.

PREPARA ENEM. **Condução térmica**. Disponível em: <<https://www.preparaenem.com/fisica/conducao-termica.htm>>. Acesso em: 05 fev. 2026.

CAPÍTULO 03. TERMODINÂMICA

Neste capítulo, serão abordados conceitos da Termodinâmica, ramo da Termologia que estuda as trocas de energia na forma de calor, trabalho e transformações de variáveis.

Inicialmente, serão apresentados os tipos de sistemas termodinâmicos e as interações com o meio que provocam transformações isobárica, isovolumétrica e isotérmica. Posteriormente, será analisada a primeira lei da termodinâmica, que aplica o princípio da conservação da energia aos sistemas térmicos. Na sequência, será estudada a segunda lei da termodinâmica e o conceito de entropia, fundamentais para compreender o funcionamento dos sistemas termodinâmicos e a direção natural dos processos físicos. O capítulo também abordará as máquinas térmicas, dispositivos que convertem energia térmica em trabalho mecânico. Abordará ainda os principais ciclos termodinâmicos utilizados para analisar o rendimento e a eficiência dessas máquinas.

Por fim, os objetos do conhecimento serão consolidados por meio de exercícios, desafios e questões de vestibulares, favorecendo a fixação do conhecimento e o desenvolvimento do pensamento crítico.

Expectativas de Aprendizagem

Ao final do estudo, espera-se que os estudantes sejam capazes de:

- Associar a 1ª Lei da termodinâmica à conservação da energia.
- Aplicar a 2ª Lei da termodinâmica ao funcionamento de máquinas térmicas.
- Relacionar o ciclo de Carnot ao rendimento ou eficiência de máquinas térmicas.
- Associar a eficiência de um refrigerador ao rendimento de um motor térmico.
- Relacionar a entropia à 2ª Lei da Termodinâmica.
- Diferenciar gás e vapor de uma dada substância observando seu ponto crítico.
- Identificar as variáveis que definem o estado de um gás.
- Diferenciar as transformações gasosas reversíveis e irreversíveis.
- Associar a lei geral dos gases às grandezas físicas pressão, temperatura e volume.
- Relacionar a equação de Clapeyron à lei geral dos gases.

Habilidades da FGB

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

(EM13CNT106) Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais.

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

(EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental.

Habilidades do ENEM

(ENEM_C5_H17) Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

(ENEM_C6_H21) Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo.

1. INTRODUÇÃO

Termodinâmica (do grego *thermos*, “calor”, e *dynamis*, “poder”) é um ramo da termologia que estuda as relações entre calor, trabalho e energia, analisando como a energia é transferida e transformada nos sistemas físicos. Ela investiga as trocas de energia entre um sistema e suas vizinhanças, bem como as leis que regem essas transformações, especialmente por meio de grandezas como temperatura, pressão, volume e energia interna.

Desde seu desenvolvimento no século XIX, a Termodinâmica tem desempenhado papel fundamental no avanço científico e tecnológico da humanidade. Durante a Revolução Industrial, seus princípios foram aplicados na construção e no aperfeiçoamento das máquinas a vapor, que impulsionaram locomotivas, navios e fábricas, transformando os sistemas de produção e transporte.

No final do século XIX e início do século XX, a Termodinâmica tornou-se essencial para o desenvolvimento dos motores de combustão interna, utilizados em automóveis e aviões. Nesse mesmo período, seus fundamentos permitiram a criação de geladeiras e sistemas de refrigeração, baseados nos ciclos térmicos de compressão e expansão de gases.

Ao longo do século XX, a Termodinâmica passou a ser aplicada em usinas termelétricas e nucleares, na geração de energia elétrica, além de contribuir para o avanço da indústria química, especialmente no estudo de reações, equilíbrio químico e espontaneidade dos processos.

Mais recentemente, seus princípios são fundamentais em áreas como engenharia térmica, climatização, produção de energia renovável, tecnologia espacial e bioenergética, auxiliando na compreensão do metabolismo dos seres vivos e no desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e sustentáveis.



A Termodinâmica é física, mas também é química

Na física, a termodinâmica fornece ferramentas para analisar máquinas, motores, troca de calor, expansão de gases e comportamento de sistemas em equilíbrio. Conceitos como trabalho e energia interna são fundamentais nessa perspectiva física.

Na química, a termodinâmica explica por que determinadas reações ocorrem e outras não. Explica ainda, qual é o valor da entalpia ou da energia de ligação, o papel da entropia na espontaneidade e qual o equilíbrio de fase ou de reação.

2. SISTEMAS TERMODINÂMICOS

Os sistemas termodinâmicos são regiões distinguíveis de suas vizinhanças por causa de alguma característica específica. Essas regiões são delimitadas por fronteiras, que podem ser reais ou imaginárias, como paredes, membranas ou superfícies de separação.



Exemplo: O gás no interior de um balão.

O gás e o balão formam um sistema termodinâmico, enquanto o ar externo que circunda o balão constitui a vizinhança.

A fronteira que separa o sistema do meio externo determina o tipo de troca que pode ocorrer entre eles. De acordo com essa interação, os sistemas termodinâmicos são classificados em três tipos (Figura 3.1):

Sistema aberto: realiza trocas de matéria e energia com o meio externo.

Sistema fechado: troca apenas energia (na forma de calor e/ou trabalho), mas não troca matéria.

Sistema isolado ou adiabático: não realiza trocas nem de matéria nem de energia com o meio externo.

A definição e a classificação dos sistemas são fundamentais para o estudo da Termodinâmica, pois permitem analisar como ocorrem as transformações energéticas e as interações entre o sistema e sua vizinhança.

Figura 3.1: Tipos de sistemas termodinâmicos.



Fonte: Os autores.

3. ESTADO TERMODINÂMICO

O estado termodinâmico refere-se ao conjunto de variáveis que podem descrever as condições de um sistema em determinado momento. Sua condição é representada por meio de variáveis como pressão, volume e temperatura. Alterações nessas variáveis provocam mudanças no estado termodinâmico do sistema, gerando transformações. Essas transformações podem ocorrer por aquecimento, compressão ou expansão.

4. EQUILÍBRIO TERMODINÂMICO

O equilíbrio termodinâmico é a condição em que um sistema não apresenta propensão a sofrer mudanças espontâneas em seu estado. Um sistema em equilíbrio termodinâmico não altera seu estado por conta própria, a menos que haja alguma interação ou influência proveniente de suas vizinhanças. Enquanto o sistema está em equilíbrio, variáveis macroscópicas como pressão, volume e temperatura permanecem constantes ao longo do tempo.

5. TRABALHO TERMODINÂMICO


O Trabalho termodinâmico é a forma de transferência de energia que ocorre entre um sistema e o meio externo quando há movimentação de suas fronteiras. Ele é realizado quando há mudança no estado do sistema, isto é, quando variáveis macroscópicas como pressão, volume ou temperatura são alteradas.

6. ENERGIA INTERNA

A energia interna (U), corresponde à soma das energias microscópicas das partículas que constituem um sistema. Ela inclui a energia cinética, associada ao movimento de átomos e moléculas, e a energia potencial, relacionada às interações entre essas partículas. Trata-se de uma grandeza microscópica que explica o comportamento térmico observado em nível macroscópico.

A energia interna é uma função de estado, ou seja, seu valor depende apenas do estado atual do sistema, determinado por variáveis como pressão, volume e **temperatura**, e não do caminho percorrido até este estado. Quando ocorre uma transformação termodinâmica, analisamos a variação da energia interna (ΔU). Essa variação demonstra que se o sistema recebe mais calor do que realiza trabalho, sua energia interna aumenta. Ao contrário, se realiza mais trabalho do que recebe calor, sua energia interna diminui.

No caso dos gases ideais, a energia interna depende exclusivamente da temperatura. Assim, um aumento de temperatura implica aumento da energia interna, enquanto uma diminuição da temperatura provoca sua redução.



TEMPERATURA ≠ CALOR

Temperatura: grandeza física que indica o grau de agitação das partículas (átomos e moléculas)

Calor: É a energia transferida devido à diferença de temperatura.

7. ESTUDO DOS GASES

Os gases são fluidos que, diferentemente dos sólidos e dos líquidos, não possuem forma nem volume definidos, adaptando-se completamente ao recipiente que os contém.

Devido a sua capacidade de expansão e compressão, os gases sempre ocupam todo o espaço disponível, assumindo a forma interna do recipiente. Isso significa que o volume de um gás pode variar significativamente quando ocorrem mudanças na pressão e na temperatura, o que explica muitos fenômenos observados no dia a dia, como a variação da pressão dos pneus ou o aumento do volume de um balão quando aquecido.

Para estudar o comportamento dos gases é importante compreender as suas variáveis, grandezas físicas que descrevem o **estado termodinâmico** do gás em determinado momento, sendo elas:

Pressão (p): A pressão de um gás é resultante das inúmeras colisões das moléculas contra as paredes do recipiente. Quanto mais intensas e frequentes as colisões, maior a pressão.

A pressão de um gás pode ser calculada pela fórmula:

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

Onde:

p = pressão. No Sistema Internacional (SI), a unidade de pressão é o pascal (Pa).

n = número de mols

R = constante universal dos gases

T = temperatura

V = volume

Volume (V): É o espaço ocupado pelo gás. Como os gases não têm volume próprio, eles ocupam todo o volume do recipiente devido ao movimento das moléculas gasosas. Se o recipiente muda de tamanho, o volume do gás muda.

A quantidade de moléculas de um gás é determinada pelo número de *mols* ($1 \text{ mol} = 6,022 \times 10^{23}$ átomos ou moléculas).

O volume de um gás pode ser calculado pela fórmula:

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

Onde:

V = volume

n = número de mols

R = constante universal dos gases

T = temperatura

p = pressão

Temperatura (T): Está relacionada ao grau de agitação das partículas do gás. Quanto maior a temperatura, maior a velocidade média das partículas. No estudo dos gases, conforme o Sistema Internacional de Unidades (SI), a temperatura é expressa na escala Kelvin (K).

A temperatura de um gás pode ser calculada pela fórmula:

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

Onde:

T = temperatura

p = pressão

V = volume

n = número de mols

R = constante universal dos gases



Para lembrar!

A conversão entre graus Celsius e kelvin é dada pela equação:

$$T_k = T_c + 273$$

K: temperatura em Kelvin

°C = temperatura em Celsius

Quando uma ou mais variáveis de estado de um gás sofrem alteração em seus valores, dizemos que o gás passou por uma transformação. Essas transformações podem ser classificadas como isotérmica, isobárica ou isométrica, dependendo da grandeza que permanece constante durante o processo.

Para facilitar o estudo do comportamento dos gases, utiliza-se o modelo de **gás ideal** (ou gás perfeito). Nesse modelo, admite-se que:

- as moléculas possuem dimensões desprezíveis em comparação com o volume do recipiente;
- as colisões entre as moléculas e entre elas e as paredes do recipiente são perfeitamente elásticas;
- não existem forças de atração ou repulsão entre as moléculas.

Com base nesse modelo, é possível descrever matematicamente as variáveis de estado dos gases por meio de equações simples.

A relação entre a quantidade de um gás ideal é denominada equação de estado do gás ideal, também conhecida como **equação de Clapeyron**, em homenagem ao físico francês Paul-Émile Clapeyron (1799–1864). Com base em leis experimentais, as grandezas, pressão, volume e temperatura relacionam-se pela equação de Clapeyron:

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

Onde:

p = pressão

V = volume

n = número de mols

R = constante universal dos gases

T = temperatura absoluta (em Kelvin)

7.1 Transformação isotérmica

A transformação isotérmica (do grego *isos*, igual, e *thermos*, calor) foi observada por Robert Boyle (1627-1691) e Edme Mariotte (1620-1684). Nessa transformação, a temperatura do gás permanece constante durante toda a transformação, mesmo que ocorram variações de pressão e volume.

$$p \cdot V = T_{\text{constante}}$$

p : pressão (Pa)

V : volume (m^3)

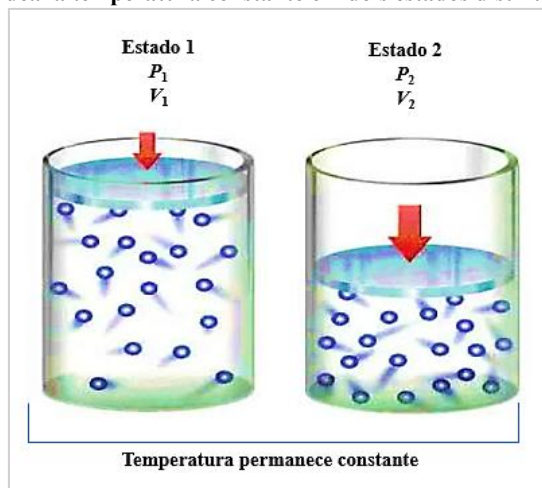
T : Temperatura

Isso indica que a pressão (p) e o volume (V) da amostra variam de maneira inversamente proporcional, enquanto a temperatura se mantém constante:

- Se o volume dobra, a pressão cai pela metade;
- Se o volume é reduzido à metade, a pressão dobra.

A Figura 3.2 ilustra dois estados distintos (estado 1 e estado 2) de um gás ideal, durante uma transformação isotérmica.

Figura 3.2: Representação da transformação de um gás ideal à temperatura constante em dois estados distintos.



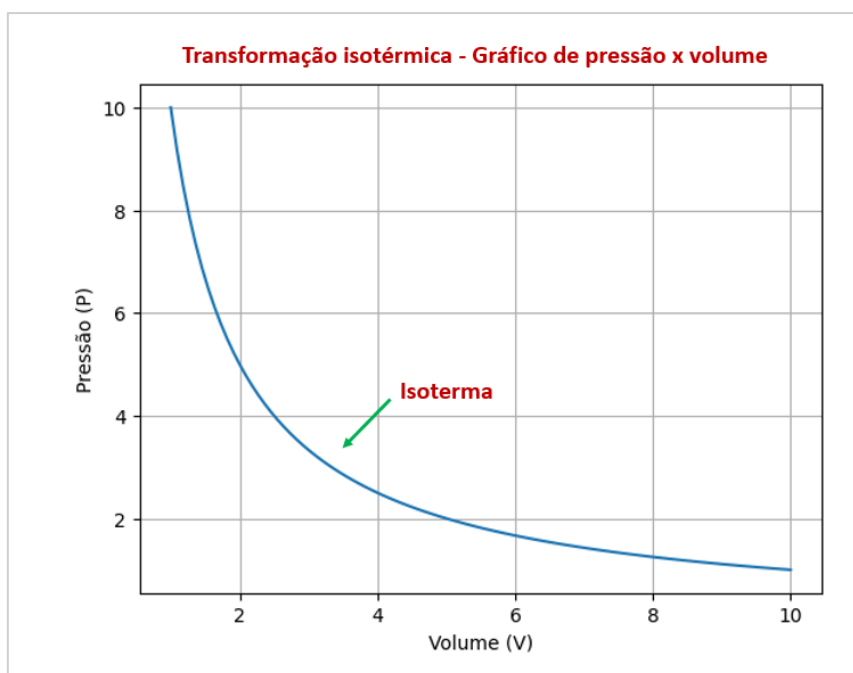
Fonte: Os autores. Imagem ilustrativa.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Essa relação de proporção é denominada lei de Boyle ou lei de Boyle-Mariotte.

Podemos representar a transformação isotérmica sofrida pelo gás por meio de um gráfico da pressão em função do volume. A curva obtida é chamada de **isoterma** e representa o comportamento do volume e da pressão do gás em uma dada temperatura (Figura 3.3).

Figura 3.3: Gráfico da transformação isotérmica sofrida por um gás ideal.



Fonte: Adaptado de Gouveia (2026).

O gráfico demonstra que as grandezas físicas pressão e volume em uma transformação isotérmica atuam de forma inversamente proporcional, pois o aumento da pressão automaticamente acarreta a diminuição do volume e vice-versa. Enquanto isso a temperatura se mantém inalterada.

7.2 Transformação isobárica

Na transformação isobárica (do grego *isos*, igual, e *baros*, pressão), a pressão do gás permanece constante, enquanto o volume varia de acordo com a temperatura. O físico francês Jacques Charles (1746–1823) observou a relação de dependência entre o volume e a temperatura em transformações gasosas realizadas à pressão constante. Essa relação foi posteriormente confirmada experimentalmente pelo físico e químico francês Joseph-Louis Gay-Lussac (1778–1850), no século XIX. Charles e Gay-Lussac verificaram que o volume ocupado por um gás é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta, desde que a pressão se mantenha constante.

$$\frac{V}{T} = P_{\text{constante}}$$

Onde:

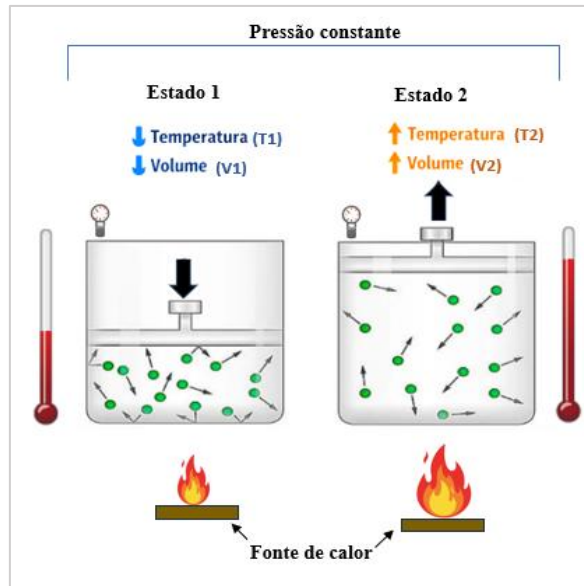
V : volume (m^3)

T : Temperatura (em Kelvin K)

p : Pressão

Ao ser considerado dois estados distintos (estado 1 e estado 2) de um gás ideal, durante uma transformação isobárica, observa-se que quando a pressão de uma massa fixa do gás é constante, seu volume é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta (Figura 3.4).

Figura 3.4: Representação da transformação de um gás ideal à pressão constante em dois estados distintos.



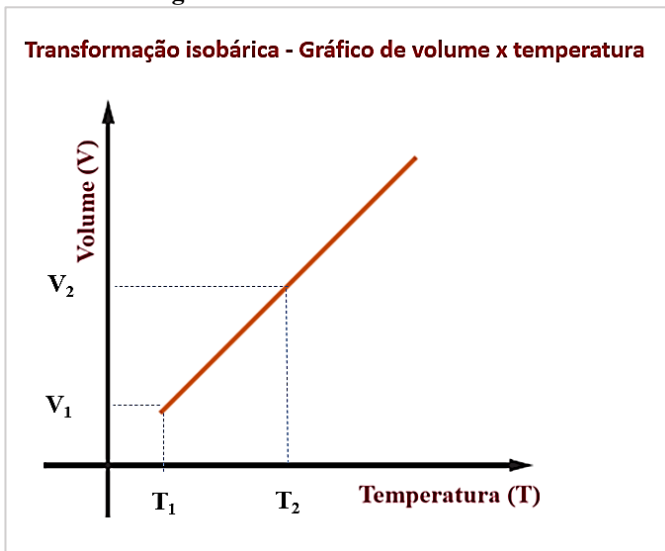
Fonte: Os autores. Imagem ilustrativa.

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

Essa relação de proporção é denominada **lei de Charles** ou **1ª lei de Charles e Gay-Lussac**, em homenagem aos cientistas que estudaram este tipo de transformação.

A transformação isobárica pode ser representada graficamente por uma reta (Figura 3.5):

Figura 3.5: Gráfico da transformação isobárica sofrida por um gás ideal em dois estados distintos.



Fonte: Os autores.



Para lembrar!

FUNÇÃO AFIM ou do 1º GRAU

A função afim é toda função matemática definida por uma expressão do tipo:

$$f(x)=ax+b$$

Onde:

a: é o coeficiente angular (inclinação da reta). $a \neq 0$

b: é o coeficiente linear (valor inicial da função)

O gráfico de uma função afim, é sempre uma reta e pode ser:

Crescente: Quando o coeficiente angular (a) é maior que zero. ($a > 0$)

Decrescente: Quando o coeficiente angular (a) é menor que zero ($a < 0$)

Intersecção: O coeficiente linear (b) indica onde a reta corta o eixo y.

7.3 Transformação isométrica

A transformação isométrica (do grego *isos*, igual, e *metron*, medida), também denominada isovolumétrica ou isocórica, é aquela em que o volume do gás permanece constante, enquanto a pressão e a temperatura variam.

Assim como na transformação isobárica, essa relação foi investigada por Jacques Charles e Joseph-Louis Gay-Lussac, que constataram que, mantendo-se o volume constante, a pressão de um gás é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta.

$$\frac{p}{T} = V_{\text{constante}}$$

Onde:

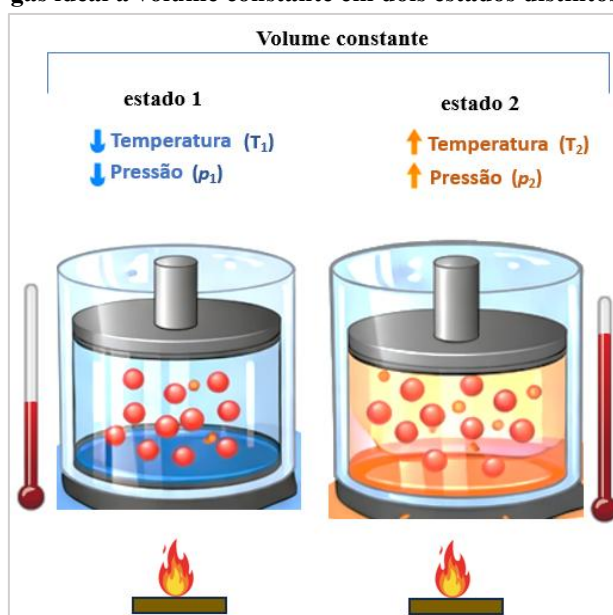
p : Pressão (Pa)

T : Temperatura (em Kelvin K)

V : Volume

Ao ser considerado dois estados distintos (estado 1 e estado 2) de um gás ideal, durante uma transformação isométrica, observa-se que quando o volume do recipiente que contém o gás é constante, alterando-se a temperatura, a pressão varia na mesma proporção (Figura 3.6).

Figura 3.6: Representação da transformação de um gás ideal à volume constante em dois estados distintos.



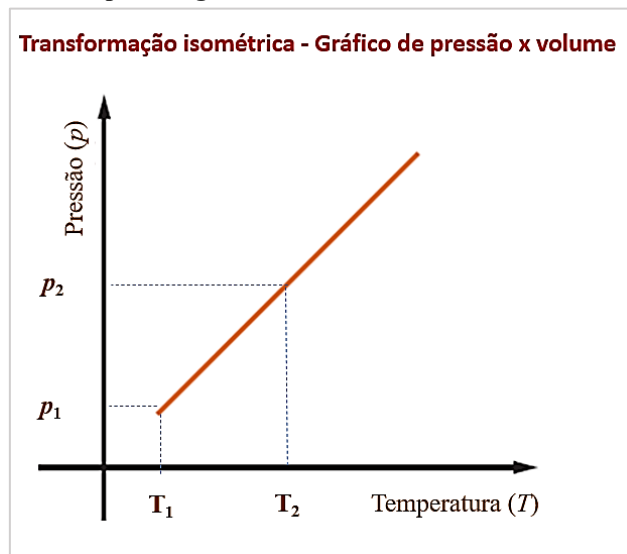
Fonte: Os autores. Imagem ilustrativa.

A relação de proporcionalidade direta entre as grandezas p e T nas transformações isométricas é chamada **lei de Charles** ou **2ª Lei de Charles e Gay-Lussac**, em homenagem ao cientista Jacques Alexandre Charles.

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

A transformação isométrica pode ser representada graficamente por uma reta (Figura 3.7):

Figura 3.7: Gráfico da transformação isométrica sofrida por um gás ideal em dois estados distintos.



Fonte: Os autores.

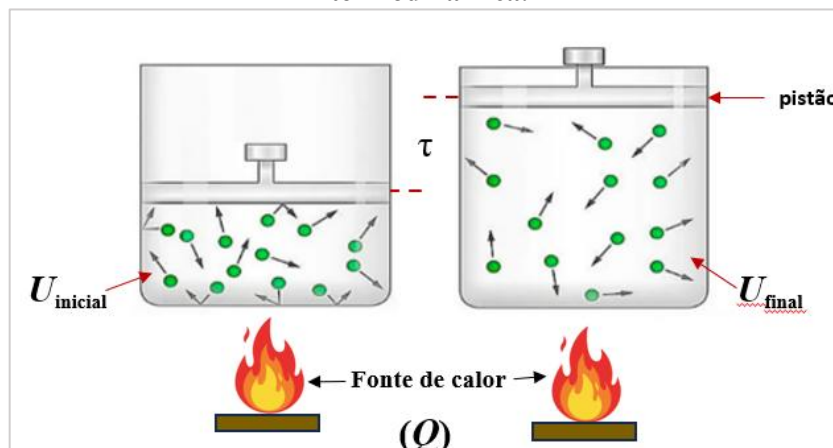
8. PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

A Primeira Lei da Termodinâmica expressa a aplicação do princípio da conservação da energia aos sistemas térmicos, estabelecendo que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada.

Nos sistemas termodinâmicos, parte da energia recebida na forma de calor (Q) é utilizada para aumentar a energia interna do gás (ΔU), associada à energia cinética média de suas partículas, enquanto outra parte é empregada na realização de trabalho (τ) (Figura 3.8). Essa relação energética, conhecida como primeira lei da termodinâmica, estabelece que a variação da energia interna ($\Delta U = U_{\text{final}} - U_{\text{inicial}}$) de um sistema é igual à diferença entre a quantidade de calor (Q) trocada com o meio externo e o trabalho (τ) realizado durante a transformação.

Nas transformações gasosas, há realização de trabalho sempre que ocorre variação do volume do sistema, como nos processos de expansão ou compressão do gás.

Figura 3.8: Representação esquemática da aplicação da primeira lei da termodinâmica.



Fonte: Adaptado de Bonjorno (2024).

A primeira lei da termodinâmica pode ser expressa pela equação:

$$\Delta U = Q - \tau$$

Onde:

ΔU : variação da energia interna ($\Delta U = U_{\text{final}} - U_{\text{inicial}}$);

Q : calor trocado;

τ : trabalho realizado.

9. SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

Antes de tratarmos da segunda lei da termodinâmica, precisamos lembrar que a primeira lei da termodinâmica apresenta a definição de energia interna (U) de um sistema termodinâmico e, portanto, está vinculada à lei da conservação de energia. Para a primeira lei os sistemas não gastam nem consomem energia, já que a energia não pode ser criada nem tão pouco destruída. A energia só pode ser convertida de uma forma para outra.

Já a segunda lei da termodinâmica trata da direção em que os processos naturais ocorrem. Para esta lei um processo natural só pode ocorrer em um único sentido, sendo, portanto, irreversível. O estado natural de um sistema pode até sofrer reversão, mas isso acarretará aumento na entropia do entorno do sistema, já que não é possível reverter totalmente ao mesmo tempo o estado do sistema e o estado do seu entorno sem que ocorra a destruição da entropia.

Para compreendermos como a segunda lei da termodinâmica atua, imagine a seguinte situação. Em uma tarde chuvosa de inverno na Amazônia paraense, você decide fazer chá de canela para se aquecer. Após o chá preparado você enche sua xícara e vai para o seu quarto, onde está estudando termodinâmica. Como a bebida está fumegando, você decide fazer uma questão do ENEM enquanto o chá esfria um pouco. Mas acabou se empolgando e em vez de uma acabou fazendo cinco questões. Nesse intervalo o chá esfriou completamente. Está é uma típica situação de aplicação da segunda lei da termodinâmica, pois o calor perdido pela bebida para o ambiente não pode ser recuperado naturalmente, o chá não pode esquentar sozinho retirando exatamente a mesma quantidade de calor que perdeu para o ambiente.

9.1 Enunciados da segunda Lei da Termodinâmica

• Enunciado de Clausius

O cientista alemão Rudolf Clausius lançou as bases para a criação da segunda lei da termodinâmica em 1850 ao examinar a relação entre transferência de calor e trabalho. Sua proposição para a segunda lei ficou conhecida como “a declaração de Clausius”. Ela enuncia que:

O calor nunca pode passar a partir de um corpo mais frio para um corpo mais quente sem que alguma outra mudança, relacionada a ele, ocorra ao mesmo tempo.

Em aparelhos refrigeradores como freezers e geladeiras o calor é transferido da porção fria (parte interna) para a porção quente (parte externa), o que torna isso possível é o sistema de refrigeração presente nestes equipamentos, já que naturalmente o calor não pode ser transferido de regiões frias para regiões quentes sem que trabalho externo seja realizado no sistema.

• Enunciado de Kelvin

Para o cientista inglês William Thomson (Lorde Kelvin) a interpretação da segunda lei da termodinâmica está relacionada à explicação de processos irreversíveis. Ele observou que se a entropia sempre aumenta, então o universo tenderia a um estado de temperatura uniforme e entropia máxima no qual seria impossível a realização de qualquer trabalho. Kelvin denominou isso de morte térmica do universo.

É impossível, por meio de agência material inanimada, derivar efeito mecânico a partir de qualquer porção da matéria, resfriando-a abaixo da temperatura do mais frio dos objetos circundantes.

• Proposição de Planck

Algumas literaturas didáticas as vezes tratam a proposição do cientista alemão Max Karl Ernst Ludwig Planck como sua declaração da segunda lei, no entanto sua declaração deve ser entendida como um ponto de partida para a derivação da segunda lei da termodinâmica.

É impossível construir um motor que funcione em um ciclo completo e não produza nenhum efeito, exceto a produção de trabalho e o resfriamento de um reservatório de calor.

Relação entre a declaração de Kelvin e a proposição de Planck

É impossível conceber um dispositivo de operação cíclica, cujo único efeito seja absorver energia na forma de calor a partir de um único reservatório térmico e fornecer uma quantidade equivalente de trabalho.

Ao afirmar que é impossível a construção de uma máquina que, operando em um ciclo termodinâmico, converta toda a quantidade de calor recebido em trabalho. A relação de Kelvin-Planck da segunda lei da termodinâmica estabelece as bases para o funcionamento das máquinas térmicas.

9.2 Máquinas térmicas

As máquinas térmicas são dispositivos que transformam parte do calor recebido em trabalho mecânico. Elas estão presentes em diversas aplicações do cotidiano, como nos motores de automóveis, nas turbinas das usinas termelétricas e em equipamentos industriais. Seu funcionamento está diretamente relacionado às leis da Termodinâmica, especialmente à Segunda Lei.

Uma máquina térmica opera realizando um ciclo termodinâmico, ou seja, após completar uma sequência de transformações, retorna ao seu estado inicial e pode reiniciar o processo. Para funcionar, ela precisa de duas fontes térmicas: uma fonte quente, de onde retira calor, e uma fonte fria, para onde rejeita parte desse calor.

Durante o funcionamento, a máquina absorve uma quantidade de calor (Q_q) da fonte quente. Uma parte dessa energia é convertida em trabalho mecânico (τ), enquanto outra parte é necessariamente liberada para a fonte fria na forma de calor Q_f . Essa relação pode ser expressa pela equação:

$$Q_q = \tau + Q_f$$

Onde:

Q_q : calor da fonte quente

τ : trabalho realizado.

Q_f : Calor da fonte fria

Isso mostra que nem todo o calor recebido pode ser transformado em trabalho. Sempre há uma parcela de energia que não pode ser aproveitada.

9.2.1 Rendimento de máquinas térmicas

O desempenho da máquina é medido pelo rendimento, representado por:

$$\eta = \frac{\tau}{Q_q}$$

onde:

η : rendimento

τ : trabalho realizado.

Q_q = calor da fonte quente

Como sempre existe calor rejeitado, o rendimento é sempre menor que 100%. Essa limitação não depende da tecnologia empregada, mas é uma consequência natural da segunda lei da termodinâmica.

Para que a máquina funcione, é indispensável que exista uma diferença de temperatura entre as duas fontes térmicas. Se não houver essa diferença, não haverá fluxo de calor e, portanto, não será possível produzir trabalho.

9.2.2 Ciclos termodinâmicos das máquinas térmicas

Os ciclos termodinâmicos são sequências de transformações físicas sofridas por um sistema nas quais, ao final do processo, o sistema retorna ao seu estado inicial. Ao completar um ciclo, grandezas como pressão, volume e temperatura retomam seus valores originais. Como consequência, a variação da energia interna do sistema ao final do ciclo é nula ($\Delta U = 0$).

O principal objetivo de um ciclo termodinâmico em uma máquina térmica é transformar parte do calor recebido de uma fonte quente em trabalho mecânico. Os ciclos costumam ser representados em diagramas de pressão \times volume ($p \times V$). Nesse tipo de gráfico a área interna da figura corresponde ao trabalho líquido realizado pela máquina durante o ciclo. As máquinas térmicas realizam o ciclo no sentido horário, enquanto os refrigeradores realizam o ciclo no sentido anti-horário.

• Ciclo de Carnot

É um modelo teórico ideal que apresenta o maior rendimento possível entre duas temperaturas. Ele é composto por duas transformações isotérmicas e duas adiabáticas. Embora não seja aplicado

literalmente, o ciclo de Carnot orienta a criação de projeto de motores térmicos, estudo de turbinas, análise de usinas termoeletricas, desenvolvimento de sistemas de refrigeração entre outros.

O ciclo de Carnot é composto por quatro etapas principais (Figura 3.9):

Etapa 1: Expansão isotérmica (T_1 constante)

O gás ideal, em contato com uma fonte de calor à temperatura elevada (T_1), absorve calor da fonte quente (Q_q). Como consequência, o gás se expande, empurrando as paredes do recipiente e realizando trabalho, enquanto sua temperatura permanece constante.

Etapa 2: Expansão adiabática

Nesta etapa, o gás encontra-se termicamente isolado, não havendo troca de calor com o meio externo ($Q = 0$). Mesmo assim, ele continua a se expandir, realizando trabalho à custa de sua própria energia interna. Como consequência, sua pressão e sua temperatura diminuem, ocorrendo uma queda de temperatura de T_1 para T_2 , enquanto o volume aumenta.

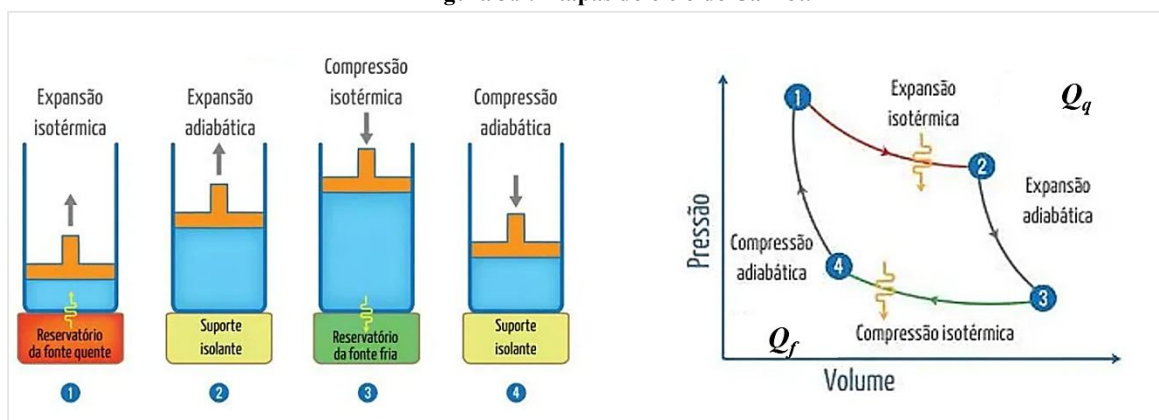
Etapa 3: Compressão isotérmica

O gás é colocado em contato com o reservatório da fonte fria, à temperatura T_2 , e passa a ser comprimido. Durante esse processo, ele libera calor para a fonte fria, mantendo sua temperatura constante. Como consequência, sua energia interna é reduzida, o volume diminui e a pressão aumenta levemente.

Etapa 4: Compressão adiabática

O afastamento do gás da fonte fria nesta etapa provoca o aumento da temperatura e também do volume, uma vez que não há troca de calor com o meio. Como consequência, a energia interna do gás é conservada e a pressão é reduzida.

Figura 3.9: Etapas do ciclo de Carnot.



Fonte: Adaptado de CAMPOS (2026).

O ciclo reverso de Carnot é usado como modelo ideal para criar geladeiras e ar-condicionado.

ASSISTA O VÍDEO  **Sugestão de Vídeo: Ciclo de Carnot. Por que ele é tão bom?**
<https://www.youtube.com/watch?v=4sHhdF9yaEI>
(Física com Douglas). Duração: 29'40"

•Ciclo Otto

É o modelo termodinâmico ideal que descreve o funcionamento dos motores a gasolina, também chamados de motores de ignição por centelha. Ele representa o comportamento do gás dentro do cilindro do motor durante um ciclo completo de funcionamento.

O ciclo Otto é composto por quatro etapas principais (Figuras 3.10 e 3.11).

1ª Etapa: Aspiração da mistura ar-combustível (Válvula de admissão)

Nessa etapa ocorre a entrada da mistura ar-combustível no interior da câmara de combustão. A passagem da mistura ocorre através da abertura da válvula de admissão.

2ª Etapa: Compressão adiabática da mistura ar-combustível (Pistão)

Nessa etapa ocorre a compressão adiabática, é o momento no qual o pistão comprime a mistura de ar-combustível no interior da câmara de combustão. Durante essa etapa, o volume da mistura diminui e a pressão aumenta, sem troca de calor com o meio externo.

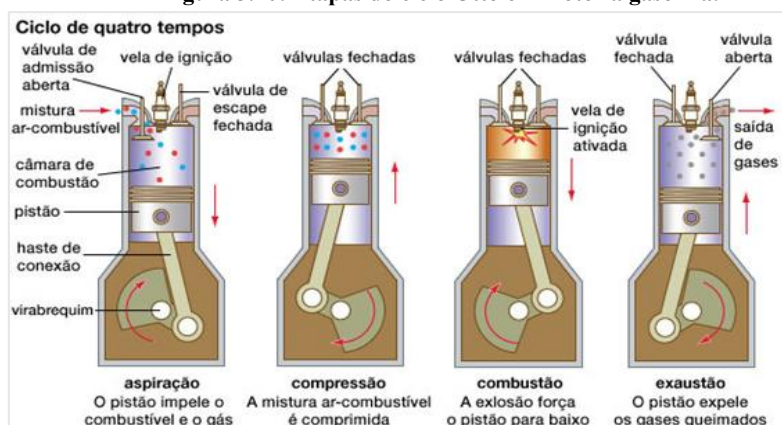
3ª Etapa: Combustão por centelha da mistura ar-combustível (Vela)

Nessa etapa ocorre a combustão isovolumétrica, explosão da mistura ar-combustível provocada pela vela de ignição. Nesse momento o volume permanece constante, mas a pressão aumenta rapidamente devido à entrada de energia na forma de calor. A explosão dos gases pressiona o pistão para baixo.

4ª Etapa: Exaustão dos gases da combustão (Válvula de escape)

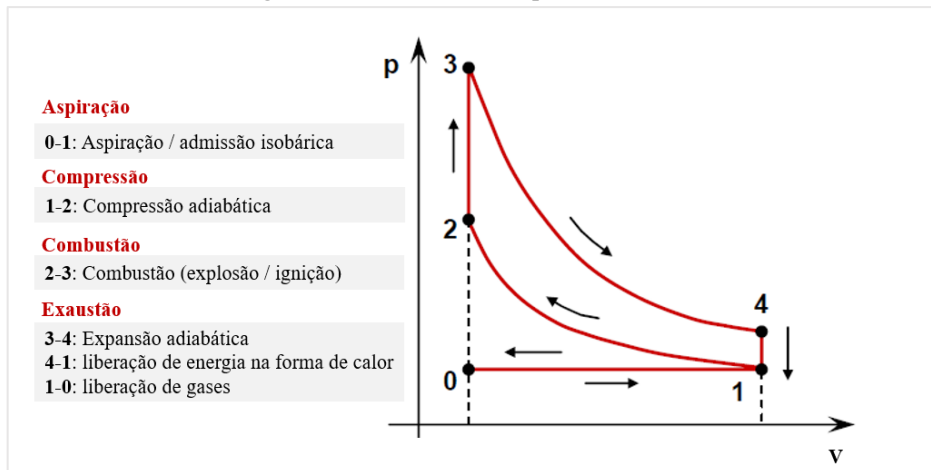
Nessa etapa ocorre a saída dos gases resultantes da combustão da mistura ar-combustível presentes do interior da câmara de combustão para o meio externo. A passagem dos gases ocorre através da abertura da válvula de escape. A abertura da válvula diminui a pressão no interior da câmara de combustão fazendo o pistão retornar à posição inicial e liberação de calor para o meio provoca o resfriamento do sistema completando assim o ciclo.

Figura 3.10: Etapas do ciclo Otto em motor a gasolina.



Fonte: ALUGAGERA (2017).

Figura 3.11: Gráfico das Etapas do ciclo Otto.



Fonte: Adaptado de MAKINANDO (2017).

Como o rendimento do Ciclo Otto depende da taxa de compressão do motor, quanto maior for a compressão, maior será o rendimento térmico.

ASSISTA O VÍDEO

Sugestão de Vídeo: Física do motor a gasolina: ciclo Otto
<https://www.youtube.com/watch?v=K5kAAhyHzlk>
(Física com Douglas). Duração: 24'14"

• Ciclo Diesel

É o modelo termodinâmico ideal que descreve o funcionamento dos motores movidos a óleo diesel. Esse tipo de motor é amplamente utilizado em caminhões, ônibus, tratores, locomotivas, navios e geradores de energia, devido à sua maior eficiência energética em comparação com os motores a gasolina.

Os motores que operam em ciclo Diesel não utilizam vela de ignição. A combustão ocorre por autoignição, isto é, o combustível inflama espontaneamente devido à alta temperatura do ar comprimido no interior do cilindro. Isso acontece porque o motor Diesel trabalha com uma taxa de compressão mais elevada.

Assim como o ciclo Otto, o ciclo diesel é composto por quatro etapas principais: Aspiração ou admissão, compressão, combustão e exaustão (Figuras 3.10 e 3.11).

• Ciclo Rankine

É o modelo termodinâmico que descreve o funcionamento das usinas termoeletricas a vapor. Ele é amplamente utilizado na geração de energia elétrica em usinas que utilizam carvão, gás natural, biomassa e até energia nuclear como fonte de calor. Seu princípio básico consiste em transformar energia térmica em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica.

O fluido de trabalho do ciclo é geralmente a água, que circula em um sistema fechado, passando por transformações físicas (mudança de fase entre líquido e vapor) ao longo do processo.

O ciclo Rankine é composto por quatro etapas principais (Figura 3.12):

1ª Etapa: Compressão - Bomba

Nesta etapa, a água no estado líquido é enviada para uma bomba. A bomba aumenta a pressão da água pressurizando-a e preparando-a para receber calor na etapa seguinte. Esse processo consome uma pequena quantidade de energia.

2ª Etapa: aquecimento - Caldeira

Etapa na qual a água pressurizada entra na caldeira, onde recebe calor de uma fonte externa. Esse calor pode vir da queima de combustíveis ou de reações nucleares. Ao absorver energia térmica, a água aquece até se transformar em vapor. Esse processo ocorre, idealmente, sob pressão constante.

3ª Etapa: Expansão - Turbina

Etapa na qual o vapor sob alta pressão é direcionado para a turbina. Ao se expandir dentro da turbina, o vapor realiza trabalho mecânico, fazendo girar as hélices. Esse movimento é utilizado para acionar um gerador elétrico, produzindo eletricidade. Durante essa expansão, a pressão e a temperatura do vapor diminuem.

4ª Etapa: Condensação - Condensador

Etapa na qual o vapor que sai da turbina é conduzido ao condensador. Nesse equipamento, o vapor libera calor para o meio externo e retorna ao estado líquido. Após a condensação, a água retorna à bomba, reiniciando o ciclo.

Figura 3.12: Etapas do ciclo Rankine.



Fonte: Os autores. *Imagem ilustrativa produzido por IA. ChatGPT (OpenAI) (2026).*

O rendimento do Ciclo Rankine depende principalmente da temperatura da fonte quente e da eficiência dos componentes do sistema.



Da evaporação à chuva: a termodinâmica dos rios voadores

Os chamados rios voadores são enormes fluxos de vapor d'água que se formam sobre a floresta e são transportados pelos ventos em direção às regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do continente. Esse processo pode ser entendido a partir de três pilares da termodinâmica: absorção de energia, mudança de fase da água e transferência de calor.

Tudo começa com a radiação solar. A superfície da floresta absorve energia e se aquece. Parte dessa energia é usada para aquecer o ar e outra parte é utilizada para promover a evaporação da água presente nos rios, no solo e, principalmente, nas folhas das árvores. A floresta atua como uma grande bomba de umidade, liberando vapor por meio da evapotranspiração. Cada árvore participa diretamente desse processo de troca de energia com a atmosfera. Do ponto de vista termodinâmico, ocorre um fenômeno central: a água líquida, ao evaporar, absorve energia na forma de calor latente, ou seja, o sistema retira energia da superfície e a armazena na própria água em forma de vapor.

Quando esse vapor é transportado pelos ventos, ele não carrega apenas água, mas também energia. Por isso, os rios voadores são, ao mesmo tempo, rios de umidade e rios de energia térmica. Esse transporte ocorre principalmente na baixa atmosfera e pode se estender por milhares de quilômetros, inclusive em direção à Cordilheira dos Andes, que funciona como uma barreira natural, desviando os fluxos de ar para o interior do continente.

Ao subir ou ao encontrar massas de ar mais frias, o vapor d'água se condensa e forma nuvens. Nesse processo ocorre a transformação inversa da evaporação: a água passa do estado gasoso para o líquido e o calor latente armazenado é liberado para o ar. Esse aquecimento da atmosfera durante a condensação aumenta a instabilidade do ar e favorece a formação de nuvens profundas, as chuvas intensas e a circulação vertical do ar. Assim, a chuva associada aos rios voadores não é apenas resultado do transporte de umidade, mas também da liberação da energia térmica acumulada durante a evaporação na floresta.

Esses processos demonstram a existência de um ciclo termodinâmico acoplado à floresta: a floresta recebe energia solar; a água evapora e absorve calor; o vapor é transportado pelos ventos; o vapor se condensa; o calor é devolvido à atmosfera; a circulação do ar se intensifica; e novas chuvas se formam. Esse acoplamento entre floresta, atmosfera e energia é um dos principais responsáveis pela estabilidade climática regional.

Quando a cobertura florestal é reduzida, ocorre uma mudança direta na termodinâmica do sistema: diminui a evapotranspiração, diminui o transporte de calor latente, aumenta o aquecimento direto da superfície e o ar se torna mais seco e mais quente. Na prática, a floresta deixa de converter parte da energia solar em vapor d'água e passa a transformar mais energia em aquecimento sensível do ar, o que enfraquece os rios voadores.

A Amazônia não é apenas um grande reservatório de água, mas um sistema termodinâmico ativo de redistribuição de energia no continente. A floresta transforma energia solar em evaporação, transporta energia na forma de vapor, devolve essa energia para a atmosfera durante a formação das chuvas e mantém a circulação atmosférica regional. Compreender a termodinâmica dos rios voadores é, portanto, compreender que o clima da América do Sul depende diretamente da capacidade da floresta de operar esse delicado ciclo de troca de calor e de água entre a superfície e a atmosfera.

EXERCÍCIO

1- Com base no texto explique, por que os rios voadores podem ser considerados rios de umidade e também rios de energia térmica.

2- Baseado no texto, explique como alterações nos rios voadores provocadas por alterações na floresta amazônica podem afetar o regime de chuvas em outras regiões do país.

DESAFIO

Com base no texto elabore um infográfico ou mapa mental que ilustre a termodinâmica dos rios voadores.

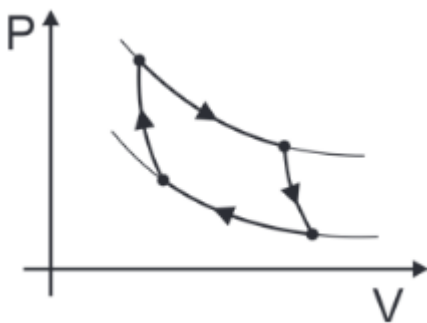
ATIVIDADE

Questão 1. A temperatura é uma grandeza física fundamental para o estudo dos fenômenos térmicos. Ao medir a temperatura de um corpo, o termômetro deve estar em equilíbrio térmico com ele. Esse princípio é conhecido como:

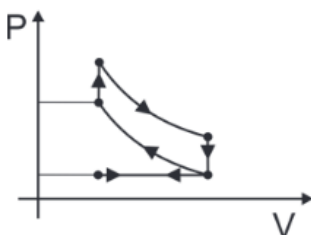
- A) Princípio da conservação de energia
- B) Primeira lei da Termodinâmica
- C) Lei zero da Termodinâmica
- D) Segunda lei da Termodinâmica
- E) Princípio da dilatação térmica

Questão 2 (Uel 2017) Atualmente, os combustíveis mais utilizados para o abastecimento dos carros de passeio, no Brasil, são o etanol e a gasolina. Essa utilização somente é possível porque os motores desses automóveis funcionam em ciclos termodinâmicos, recebendo combustível e convertendo-o em trabalho útil. Com base nos conhecimentos sobre ciclos termodinâmicos, assinale a alternativa que apresenta corretamente o diagrama da pressão (P) versus volume (V) de um motor a gasolina.

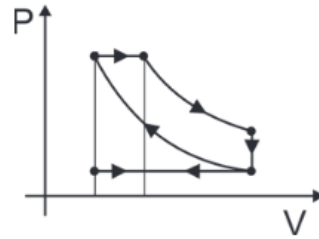
a)



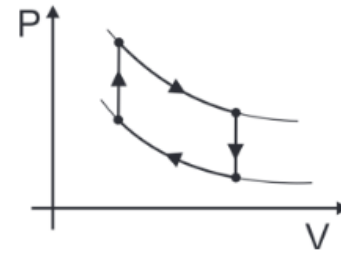
b)



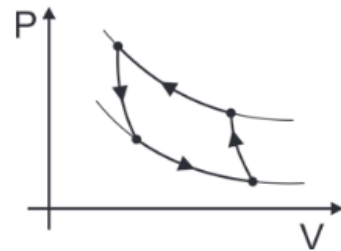
c)



d)



e)



Questão 3. (UFPR 2015) O estudo da calorimetria e das leis da termodinâmica nos dá explicações para vários fenômenos encontrados na natureza. Considere o seguinte texto que apresenta a explicação, do ponto de vista dessas áreas da Física, para a formação das nuvens: Quando uma porção de ar aquecido sobe, contendo água que acabou de _____ da superfície, passa a estar submetida a uma pressão cada vez _____. A rápida variação na pressão provoca uma rápida expansão do ar junto com uma redução de seu/sua _____. Essa rápida expansão é considerada _____, isto é, sem troca de calor com sua vizinhança, porque ocorre muito rapidamente. O gás em expansão _____ energia interna ao se expandir, e isso acarreta seu resfriamento até atingir uma temperatura na

qual a quantidade de vapor de água é suficiente para saturar o ar naquele ponto e assim formar as nuvens.

Assinale a alternativa que preenche as lacunas corretamente.

- a) evaporar, menor, temperatura, adiabática, perde.
- b) condensar, menor, volume, adiabática, ganha.
- c) evaporar, maior, temperatura, isotérmica, ganha.
- d) condensar, maior, volume, isobárica, perde.
- e) sublimar, menor, temperatura, isotérmica, ganha.

Questão 4. (ENEM 2012) Aumentar a eficiência na queima de combustível dos motores à combustão e reduzir suas emissões de poluentes são a meta de qualquer fabricante de motores. É também o foco de uma pesquisa brasileira que envolve experimentos com plasma, o quarto estado da matéria e que está presente no processo de ignição. A interação da faísca emitida pela vela de ignição com as moléculas de combustível gera o plasma que provoca a explosão liberadora de energia que, por sua vez, faz o motor funcionar.

Disponível em: www.inovacaotecnologica.com.br.
Acesso em: 22 jul. 2010 (adaptado).

No entanto, a busca da eficiência referenciada no texto apresenta como fator limitante

- a) o tipo de combustível, fóssil, que utilizam. Sendo um insumo não renovável, em algum momento estará esgotado.
- b) um dos princípios da termodinâmica, segundo o qual o rendimento de uma máquina térmica nunca atinge o ideal.
- c) o funcionamento cíclico de todos os motores. A repetição contínua dos movimentos exige que parte da energia seja transferida ao próximo ciclo.

d) as forças de atrito inevitável entre as peças. Tais forças provocam desgastes contínuos que com o tempo levam qualquer material à fadiga e ruptura.

e) a temperatura em que eles trabalham. Para atingir o plasma, é necessária uma temperatura maior que a de fusão do aço com que se fazem os motores.

REFERÊNCIAS

- ALUGAGERA. **Diferenças entre motores do ciclo Otto e ciclo Diesel**. [Imagem do ciclo Otto]. 2017. Disponível em: <<https://alugagera.com.br/noticias/diferencas-entre-motores-do-ciclo-otto-e-ciclo-diesel>>. Acesso em: 13 fev. 2026.
- AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R.; FERRARO, N. G.; PENTEADO, P. C. M.; TORRES, C. M. A.; SOARES, J.; CANTO, E. L.; LEITE, L. C. C.. **Moderna Plus: ciências da natureza e suas tecnologias**: manual do professor. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.
- BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). **Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM 1998**. Brasília: INEP, 1998.
- BONJORNO, J. R. **Identidade Saraiva: Física**. Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. volume único: ensino médio. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2024.
- CAMPOS, G. **Ciclo de Carnot**. Mundo Educação. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ciclo-carnot.htm>>. Acesso em: 13 fev. 2026.
- DOCA, R. H.; FOGO, R. **Moderna Superação! Física**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2024.
- FERRARO, N. G.; TORRES, C. M. A.; PENTEADO, P. C. M. **Moderna Plus Física**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2024.
- GOUVEIA, R. Lei de Boyle. **Toda Matéria**. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/lei-de-boyle/>>. Acesso em: 11 fev. 2026.
- MAKINANDO. **Diagrama PV de un motor de ciclo teórico Otto**. 12 nov. 2017. Disponível em: <<https://makinandovelez.wordpress.com/2017/11/12/diagrama-pv-de-un-motor-de-ciclo-teorico-otto/>>. Acesso em: 13 fev. 2026
- OPENAI. **ChatGPT**. Imagem ilustrativa produzida por inteligência artificial para fins didáticos. Disponível em: <<https://chat.openai.com>>. Acesso em: 13 jan. 2026.

QUESTÕES ENEM

Questão 1. (ENEM 2016) Nos dias frios, é comum ouvir expressões como: “Esta roupa é quentinha” ou então “Feche a janela para o frio não entrar”. As expressões do senso comum utilizadas estão em desacordo com o conceito de calor da termodinâmica. A roupa não é “quentinha”, muito menos o frio “entra” pela janela.

A utilização das expressões “roupa é quentinha” e “para o frio não entrar” é inadequada, pois o(a)

- a) roupa absorve a temperatura do corpo da pessoa, e o frio não entra pela janela, o calor é que sai por ela.
- b) roupa não fornece calor por ser um isolante térmico, e o frio não entra pela janela, pois é a temperatura da sala que sai por ela.
- c) roupa não é uma fonte de temperatura, e o frio não pode entrar pela janela, pois o calor está contido na sala, logo o calor é que sai por ela.
- d) calor não está contido num corpo, sendo uma forma de energia em trânsito de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura.
- e) calor está contido no corpo da pessoa, e não na roupa, sendo uma forma de temperatura em trânsito de um corpo mais quente para um corpo mais frio.

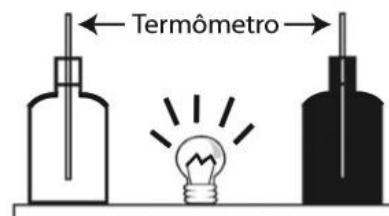
Questão 2. (ENEM 2016) Num experimento, um professor deixa duas bandejas de mesma massa, uma de plástico e outra de alumínio, sobre a mesa do laboratório. Após algumas horas, ele pede aos alunos que avaliem a temperatura das duas bandejas, usando para isso o tato. Seus alunos afirmam, categoricamente, que a bandeja de alumínio encontra-se numa temperatura mais baixa. Intrigado, ele propõe uma segunda atividade, em que coloca um cubo de gelo sobre cada uma das bandejas, que estão em equilíbrio térmico

com o ambiente, e os questiona em qual delas a taxa de derretimento do gelo será maior.

O aluno que responder corretamente ao questionamento do professor dirá que o derretimento ocorrerá

- a) mais rapidamente na bandeja de alumínio, pois ela tem uma maior condutividade térmica que a de plástico.
- b) mais rapidamente na bandeja de plástico, pois ela tem inicialmente uma temperatura mais alta que a de alumínio.
- c) mais rapidamente na bandeja de plástico, pois ela tem uma maior capacidade térmica que a de alumínio.
- d) mais rapidamente na bandeja de alumínio, pois ela tem um calor específico menor que a de plástico.
- e) com a mesma rapidez nas duas bandejas, pois apresentarão a mesma variação de temperatura.

Questão 3. (ENEM 2013) Em um experimento foram utilizadas duas garrafas PET, uma pintada de branco e a outra de preto, acopladas cada uma a um termômetro. No ponto médio da distância entre as garrafas, foi mantida acesa, durante alguns minutos, uma lâmpada incandescente. Em seguida a lâmpada foi desligada. Durante o experimento, foram monitoradas as temperaturas das garrafas: a) enquanto a lâmpada permaneceu acesa e b) após a lâmpada ser desligada e atingirem equilíbrio térmico com o ambiente.



Esquema que representa duas garrafas sendo aquecidas por uma lâmpada incandescente

A taxa de variação da temperatura da garrafa preta, em comparação à da branca, durante todo experimento, foi

- a) igual no aquecimento e igual no resfriamento.
- b) maior no aquecimento e igual no resfriamento.
- c) menor no aquecimento e igual no resfriamento.
- d) maior no aquecimento e menor no resfriamento.
- e) maior no aquecimento e maior no resfriamento.

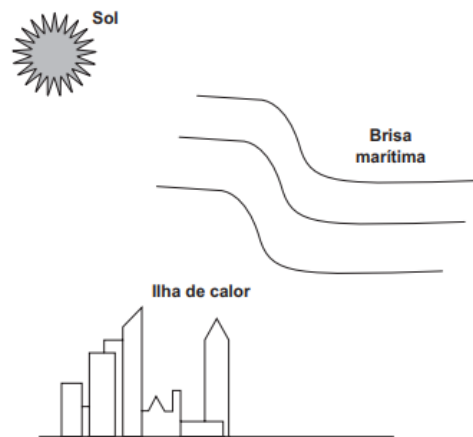
Questão 4. (ENEM/2017) Alguns fenômenos observados no cotidiano estão relacionados com as mudanças ocorridas no estado físico da matéria. Por exemplo, no sistema constituído por água em um recipiente de barro, a água mantém-se fresca mesmo em dias quentes.

A explicação para o fenômeno descrito é que, nas proximidades da superfície do recipiente, a

- a) condensação do líquido libera energia para o meio.
- b) solidificação do líquido libera energia para o meio.
- c) evaporação do líquido retira energia do sistema.
- d) sublimação do sólido retira energia do sistema.
- e) fusão do sólido retira energia do sistema.

Questão 5. (ENEM/2021) Na cidade de São Paulo, as ilhas de calor são responsáveis pela alteração da direção do fluxo da brisa marítima que deveria atingir a região de mananciais. Mas, ao cruzar a ilha de calor, a brisa marítima agora encontra um fluxo de ar vertical, que transfere para ela energia térmica absorvida das superfícies quentes da cidade, deslocando-a para altas altitudes. Dessa maneira, há condensação e chuvas fortes no centro da cidade, em vez de na região de mananciais. A

imagem apresenta os três subsistemas que trocam energia nesse fenômeno.



No processo de fortes chuvas no centro da cidade de São Paulo, há dois mecanismos dominantes de transferência de calor: entre o Sol e a ilha de calor, e entre a ilha de calor e a brisa marítima.

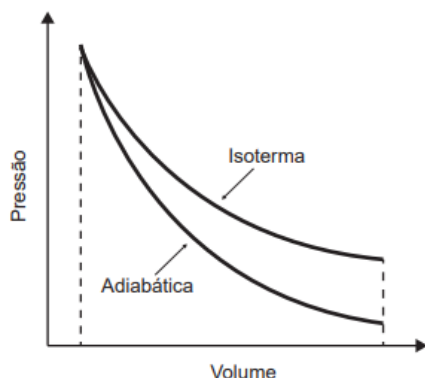
VIVEIROS, M. Ilhas de calor afastam chuvas de represas. Disponível em: www2.feis.unesp.br. Acesso em: 3 dez. 2019 (adaptado).

Esses mecanismos são, respectivamente,

- a) irradiação e convecção.
- b) irradiação e irradiação.
- c) condução e irradiação.
- d) convecção e irradiação.
- e) convecção e convecção.

Questão 6. (ENEM/2021) Tanto a conservação de materiais biológicos como o resfriamento de certos fotodetectores exigem baixas temperaturas que não são facilmente atingidas por refrigeradores. Uma prática comum para atingi-las é o uso de nitrogênio líquido, obtido pela expansão adiabática do gás N₂, contido em um recipiente acoplado a um êmbolo, que resulta no resfriamento em temperaturas que chegam até seu ponto de liquefação em -196 °C. A figura exhibe o esboço de curvas de pressão em função do volume ocupado por uma quantidade de gás para os processos isotérmico e adiabático. As diferenças entre esses processos podem ser identificadas com base na primeira lei da termodinâmica, que associa a variação de energia interna à diferença entre o

calor trocado com o meio exterior e o trabalho realizado no processo.



A expansão adiabática viabiliza o resfriamento do N₂ porque

- a) a entrada de calor que ocorre na expansão por causa do trabalho contribui para a diminuição da temperatura.
- b) a saída de calor que ocorre na expansão por causa do trabalho contribui para a diminuição da temperatura.
- c) a variação da energia interna é nula e o trabalho é associado diretamente ao fluxo de calor, que diminui a temperatura do sistema.
- d) a variação da energia interna é nula e o trabalho é associado diretamente à entrada de frio, que diminui a temperatura do sistema.
- e) o trabalho é associado diretamente à variação de energia interna e não há troca de calor entre o gás e o ambiente.

Questão 7. (ENEM/2021) Em um manual de instruções de uma geladeira, constam as seguintes recomendações:

- Mantenha a porta de seu refrigerador aberta apenas o tempo necessário;
- É importante não obstruir a circulação do ar com a má distribuição dos alimentos nas prateleiras;
- Deixe um espaço de, no mínimo, 5 cm entre a parte traseira do produto (dissipador serpentinado) e a parede.

Com base nos princípios da termodinâmica, as justificativas para essas recomendações são, respectivamente:

- Reduzir a saída de frio do refrigerador para o ambiente, garantir a transmissão do frio entre os alimentos na prateleira e permitir a troca de calor entre o dissipador de calor e o ambiente.
- Reduzir a saída de frio do refrigerador para o ambiente, garantir a convecção do ar interno, garantir o isolamento térmico entre a parte interna e a externa.
- Reduzir o fluxo de calor do ambiente para a parte interna do refrigerador, garantir a convecção do ar interno e permitir a troca de calor entre o dissipador e o ambiente.
- Reduzir o fluxo de calor do ambiente para a parte interna do refrigerador, garantir a transmissão do frio entre os alimentos na prateleira e permitir a troca de calor entre o dissipador e o ambiente.
- Reduzir o fluxo de calor do ambiente para a parte interna do refrigerador, garantir a convecção do ar interno e garantir o isolamento térmico entre as partes interna e externa.

Questão 8. (ENEM/2021) Os materiais são classificados pela sua natureza química e estrutural, e as diferentes aplicações requerem características específicas, como a condutibilidade térmica, quando são utilizados, por exemplo, em utensílios de cozinha. Assim, os alimentos são acondicionados em recipientes que podem manter a temperatura após o preparo. Considere a tabela, que apresenta a condutibilidade térmica (K) de diferentes materiais utilizados na confecção de painéis.

Condutibilidade térmica de materiais utilizados na confecção de painéis

	Material	K(kcal h ⁻¹ m ⁻¹ °C ⁻¹)
I	Cobre	332,0
II	Alumínio	175,0
III	Ferro	40,0
IV	Vidro	0,65
V	Cerâmica	0,40

Qual dos materiais é o recomendado para manter um alimento aquecido por um maior intervalo de tempo?

- I

- b) II
- c) III
- d) IV
- e) V

Questão 9. (ENEM/2021) O leite UHT (do inglês Ultra-High Temperature) é o leite tratado termicamente por um processo que recebe o nome de ultrapasteurização. Elevando sua temperatura homogeneamente a 135 °C por apenas 1 ou 2 segundos, o leite é esterilizado sem prejudicar significativamente seu sabor e aparência. Desse modo, ele pode ser armazenado, sem a necessidade de refrigeração, por meses. Para alcançar essa temperatura sem que a água que o compõe vaporize, o leite é aquecido em alta pressão. É necessário, entretanto, resfriar o leite rapidamente para evitar o seu cozimento. Para tanto, a pressão é reduzida subitamente, de modo que parte da água vaporize e a temperatura diminua.

O processo termodinâmico que explica essa redução súbita de temperatura é a

- a) convecção induzida pelo movimento de bolhas de vapor de água.
- b) emissão de radiação térmica durante a liberação de vapor de água.
- c) expansão livre do vapor de água liberado pelo leite no resfriamento.
- d) conversão de energia térmica em energia química pelas moléculas orgânicas.
- e) transferência de energia térmica durante a vaporização da água presente no leite.

Questão 10. (ENEM/2020) As panelas de pressão reduzem o tempo de cozimento dos alimentos por elevar a temperatura de ebulição da água. Os usuários conhecedores do utensílio normalmente abaixam a intensidade do fogo em panelas de pressão após estas iniciarem a saída dos vapores.

Ao abaixar o fogo, reduz-se a chama, pois assim evita-se o(a)

- a) aumento da pressão interna e os riscos de explosão.
- b) dilatação da panela e a desconexão com sua tampa.
- c) perda da qualidade nutritiva do alimento.
- d) deformação da borracha de vedação.
- e) consumo de gás desnecessário.

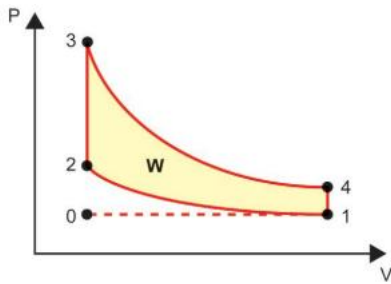
Questão 11. (ENEM 2011) Um motor só poderá realizar trabalho se receber uma quantidade de energia de outro sistema. No caso, a energia armazenada no combustível é, em parte, liberada durante a combustão para que o aparelho possa funcionar. Quando o motor funciona, parte da energia convertida ou transformada na combustão não pode ser utilizada para a realização de trabalho. Isso significa dizer que há vazamento da energia em outra forma.

CARVALHO, A. X. Z. Física Térmica. Belo Horizonte: Pax, 2009 (adaptado).

De acordo com o texto, as transformações de energia que ocorrem durante o funcionamento do motor são decorrentes de a

- a) liberação de calor dentro do motor ser impossível.
- b) realização de trabalho pelo motor ser incontrolável.
- c) conversão integral de calor em trabalho ser impossível.
- d) transformação de energia térmica em cinética ser impossível.
- E) utilização de energia potencial do combustível ser incontrolável.

Questão 12. (ENEM 2024) O diagrama P-V a seguir representa o ciclo de Otto para um motor de combustão interna, como os motores a gasolina ou a etanol, utilizados nos automóveis.



As etapas representadas no diagrama estão descritas no quadro.

Etapa	Processo	Descrição
I	0 a 1	Admissão isobárica da mistura ar-combustível no cilindro do motor.
II	1 a 2	Compressão adiabática da mistura.
III	2 a 3	Introdução de energia na forma de calor da combustão.
IV	3 a 4	Expansão adiabática.
V	4 a 1	Liberação de energia na forma de calor.
VI	1 a 0	Liberação dos gases resultantes da combustão.

Disponível em: www.mspsc.eng.br. Acesso em: 24 fev. 2013 (adaptado).

A transformação da energia térmica em energia útil ocorre na etapa

- II.
- III.
- IV.
- V.
- VI.

Questão 13. (ENEM 2016) Até 1824 acreditava-se que as máquinas térmicas, cujos exemplos são as máquinas a vapor e os atuais motores a combustão, poderiam ter um funcionamento ideal. Sadi Carnot demonstrou a impossibilidade de uma máquina térmica, funcionando em ciclos entre duas fontes térmicas (uma quente e outra fria), obter 100% de rendimento.

Tal limitação ocorre porque essas máquinas

- realizam trabalho mecânico.
- produzem aumento da entropia.
- utilizam transformações adiabáticas.
- contrariam a lei da conservação de energia.
- funcionam com temperatura igual à da fonte quente.

Questão 14. (ENEM 2021) Considere a tirinha, na situação em que a temperatura do ambiente é inferior à temperatura corporal dos personagens.



WATTERSON, B. Disponível em: <https://novascola.org.br>. Acesso em: 11 ago. 2014.

O incômodo mencionado pelo personagem da tirinha deve-se ao fato de que, em dias úmidos

- a temperatura do vapor d'água presente no ar é alta.
- o suor apresenta maior dificuldade para evaporar do corpo.
- a taxa de absorção de radiação pelo corpo torna-se maior.
- o ar torna-se mau condutor e dificulta o processo de liberação de calor.
- o vapor-d'água presente no ar condensa-se ao entrar em contato com a pele.

Questão 15. (ENEM 2022) Um menino está ajudando sua mãe na cozinha. Ela lhe pede que tire do fogo uma panela que já estava lá há bastante tempo, em fogo baixo, orientando-lhe que tome cuidado para não se queimar, buscando tocar apenas no cabo de madeira, e não na base de metal da panela.

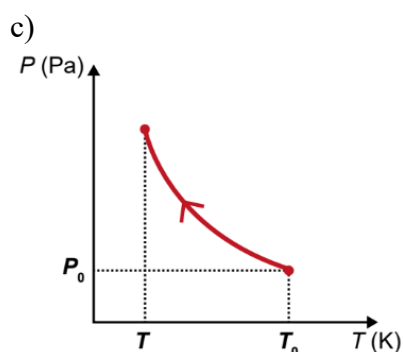
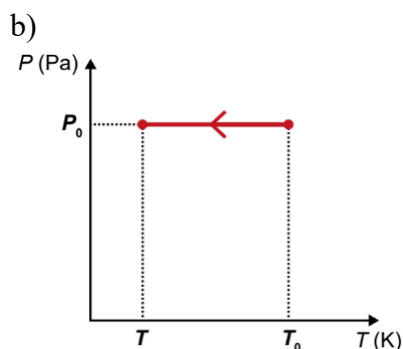
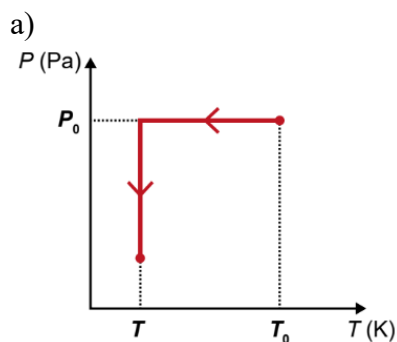
A mãe lhe fez essa recomendação porque o metal, em relação à madeira, apresenta maior

- calor específico.
- energia interna.
- temperatura.
- condutividade térmica.
- coeficiente de dilatação térmica.

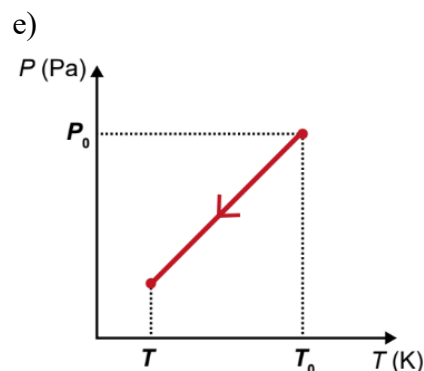
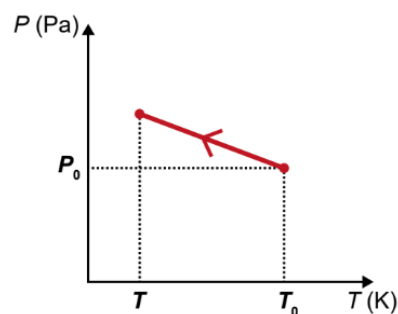
Questão 16. (ENEM 2023) O manual de um automóvel alerta sobre os cuidados em relação à pressão do ar no interior dos pneus. Recomenda-se que a pressão seja verificada com os pneus frios (à temperatura ambiente). Um motorista, desatento a essa informação,

realizou uma viagem longa sobre o asfalto quente e, em seguida, verificou que a pressão P_0 no interior dos pneus não era a recomendada pelo fabricante. Na ocasião, a temperatura dos pneus era T_0 . Após um longo período em repouso, os pneus do carro atingiram a temperatura ambiente T . Durante o resfriamento, não há alteração no volume dos pneus e na quantidade de ar no seu interior. Considere o ar dos pneus um gás perfeito (também denominado gás ideal).

Durante o processo de resfriamento, os valores de pressão em relação à temperatura ($P \times T$) são representados pelo gráfico:



d)



Questão 17. (ENEM 2020) Os manuais de refrigerador apresentam a recomendação de que o equipamento não deve ser instalado próximo a fontes de calor, como fogão e aquecedores, ou em local onde incida diretamente a luz do sol. A instalação em local inadequado prejudica o funcionamento do refrigerador e aumenta o consumo de energia. O não atendimento dessa recomendação resulta em aumento do consumo de energia porque

- o fluxo de calor por condução no condensador sofre considerável redução.
- a temperatura da substância refrigerante no condensador diminui mais rapidamente.
- o fluxo de calor promove significativa elevação da temperatura no interior do refrigerador.
- a liquefação da substância refrigerante no condensador exige mais trabalho do compressor.
- as correntes de convecção nas proximidades do condensador ocorrem com maior dificuldade.

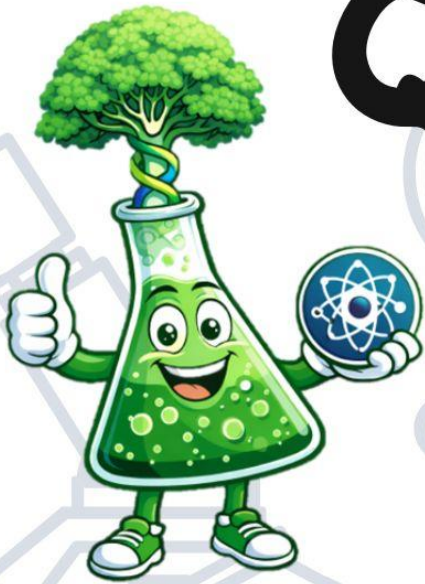
Questão 18. (ENEM 2020) Um fabricante de termômetros orienta em seu manual de instruções que o instrumento deve ficar três minutos em contato com o corpo para aferir a temperatura. Esses termômetros são feitos com o bulbo preenchido com mercúrio conectado a um tubo capilar de vidro.

De acordo com a termodinâmica, esse procedimento se justifica, pois é necessário que

- a) o termômetro e o corpo tenham a mesma energia interna.
- b) a temperatura do corpo passe para o termômetro.
- c) o equilíbrio térmico entre os corpos seja atingido.
- d) a quantidade de calor dos corpos seja a mesma.
- e) o calor do termômetro passe para o corpo.

QUÍMICA

Formação Geral Básica



UNIDADE I

SOLUÇÕES QUÍMICAS E TERMOQUÍMICA

Nesta unidade, serão apresentados os fundamentos que permitem compreender dois aspectos essenciais da Química: a composição das soluções e as transformações de energia envolvidas nas reações químicas.

No primeiro momento, serão estudados os conceitos de solução, soluto e solvente, indispensáveis para a compreensão dos processos de dissolução e da classificação das soluções quanto à quantidade de soluto dissolvido. Serão abordadas as principais formas de expressar a concentração das soluções, como concentração comum, concentração molar, normalidade, concentração molal e título, destacando-se sua aplicação na quantificação de substâncias em contextos laboratoriais, industriais e no cotidiano.

Em seguida, a unidade introduz o estudo da Termoquímica, área que investiga as trocas de energia na forma de calor durante as reações químicas. Serão apresentados os conceitos de entalpia (H) e variação de entalpia (ΔH), fundamentais para determinar se uma reação é exotérmica ou endotérmica. A análise será complementada por diagramas de energia, que permitem visualizar as diferenças energéticas entre reagentes e produtos, e pelo estudo da Lei de Hess, importante ferramenta para o cálculo da variação de entalpia em reações que ocorrem em etapas.

Ao longo dos capítulos, o texto é acompanhado de boxes explicativos, curiosidades, indicações de materiais complementares e exercícios contextualizados, incluindo questões de vestibulares e do ENEM.

CAPÍTULO 01. SOLUÇÕES QUÍMICAS

Neste capítulo, serão estudados os principais conceitos relacionados a solução, soluto e solvente, fundamentais para a compreensão dos fenômenos de dissolução, assim como a classificação das soluções.

Ao longo do capítulo, serão abordados os principais tipos de concentração, incluindo a concentração comum, a concentração molar, a normalidade, a concentração molal e o título.

O capítulo tratará ainda da forma de expressão das concentrações usadas para quantificar a concentração das soluções.

Ao longo de todo o capítulo são apresentados boxes com curiosidades da Química e informações necessárias à compreensão do tema, além de links que levam a vídeos sobre o que está sendo abordado.

Ao final do capítulo são encontradas questões de diversos vestibulares, inclusive do ENEM.

Expectativas de Aprendizagem

Ao final do estudo, espera-se que os estudantes sejam capazes de:

- Relacionar a concentração de uma solução a sua densidade.
- Calcular a concentração e a densidade de uma solução.
- Relacionar benefícios e impactos de substâncias e materiais às suas propriedades físico-químicas.
- Reconhecer os diferentes tipos de soluções.
- Relacionar os tipos de soluções ao grau de agregação molecular.
- Associar a solubilidade das substâncias a sua polaridade.
- Explicar os fatores que influenciam na solubilidade.
- Classificar as soluções quanto ao grau de saturação.
- Calcular diferentes tipos de concentração de soluções.

Habilidades da FGB

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT104) Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.

(EM13CNT105) Analisar os ciclos biogeoquímicos e interpretar os efeitos de fenômenos naturais e da interferência humana sobre esses ciclos, para promover ações individuais e/ou coletivas que minimizem consequências nocivas à vida.

(EM13CNT203) Avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da vida, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia, utilizando representações e simulações sobre tais fatores, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).

(EM13CNT205) Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.

(EM13CNT206) Discutir a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta.

Habilidades do ENEM

(ENEM_C5_H17) Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

1. INTRODUÇÃO

Soluções químicas são **misturas homogêneas** formada por duas ou mais substâncias, sendo um solvente - substância presente em maior quantidade - e pelo menos um soluto - substâncias dissolvidas no solvente, apresentando apenas uma fase visível. Os componentes de uma solução apresentam alto grau dispersão, e suas propriedades físico-químicas são as mesmas em toda a sua extensão. As soluções podem existir nos estados sólido, líquido ou gasoso.



Mistura homogênea x heterogênea

Mistura homogênea: apresenta apenas uma fase, ou seja, seus componentes estão uniformemente distribuídos e não podem ser distinguidos a olho nu ou mesmo com o uso de microscópio simples.

Mistura heterogênea: apresenta duas ou mais fases, ou seja, seus componentes não estão distribuídos de forma uniforme e podem ser observados ou diferenciados, a olho nu ou com o auxílio de instrumentos.

2. COMPONENTES DE UMA SOLUÇÃO

2.1 Soluto

É a substância presente em menor quantidade em uma solução e que é dissolvida pelo solvente. Ele pode ser sólido, líquido ou gasoso e fica distribuído de forma uniforme no solvente, formando uma mistura homogênea (Figura 1.1). O soluto é responsável por muitas das propriedades da solução, como sabor, cor e condutividade elétrica.

Figura 1.1: Formação de uma solução.



Fonte: Os autores

2.2 Solvente

É a substância presente em maior quantidade em uma solução e tem a função de dissolver o soluto (Figura 1.1). Ele influencia a solubilidade do soluto e determina o estado físico da solução. O solvente mais comum é a água, por isso muitas soluções são chamadas de soluções aquosas. Além disso, os solventes podem ser classificados, quanto à polaridade, em **polar** ou **apolar**.



Polaridade

A polaridade está relacionada à distribuição desigual de elétrons nas ligações químicas. Quando há diferença de eletronegatividade entre os átomos, surgimento de polos positivo (+) e negativo (-); quando essa diferença é muito pequena ou inexistente, a ligação é **apolar**.

A principal diferença entre substância polar e substância apolar está na existência ou não de polos elétricos resultantes em suas moléculas, o que determina o tipo de interação e a solubilidade dessas substâncias.

3. GRANDEZAS FÍSICAS DA SOLUÇÃO

Massa (m): Quantidade de matéria do soluto, do solvente ou da solução. Pode ser expressa em gramas (g) ou quilogramas (kg).

Volume (V): Espaço ocupado pela solução. Pode ser expresso em litros (L) ou mililitros (mL).

Quantidade de matéria (n_1): Quantidade de matéria que mede o número de mols do soluto.

Concentração (C): Relaciona duas ou mais grandezas físicas, indicando quanto de soluto existe em certa quantidade de solução ou solvente.

Densidade (d): Relaciona a massa e o volume da solução e varia conforme a concentração da solução.

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


Onde:

d = densidade (em g)

m = massa da solução (em g/L)

V = volume (em L)

ASSISTA O VÍDEO



Sugestão de Vídeo: DISPERSÕES - Misturas (soluções, colóides e suspensões)

<https://www.youtube.com/watch?v=qgMYuda63ml&list=PLJ352tslMn7zKy6-Eha0bRnTnRD-6Zlep>

(Quimicapontocom). Duração: 12'46"

4. CLASSIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES

4.1 Quanto ao estado físico

Soluções gasosas: As soluções gasosas são formadas pela mistura homogênea de gases, ou seja, nessa mistura tanto o soluto quanto o solvente encontram-se no estado gasoso.

Exemplo: No ar atmosférico os gases oxigênio, carbônico, além de outros gases são solutos enquanto o gás nitrogênio é o solvente da solução.

Soluções líquidas: São soluções em que o solvente é líquido. Podem ter soluto sólido, líquido ou gasoso.

Exemplo: Na composição do vinagre, o solvente é a água, enquanto o soluto principal é o ácido acético que está no estado líquido. Na água gaseificada, o solvente é a água, enquanto o soluto principal é o dióxido de carbono que está no estado gasoso.

Soluções sólidas: São soluções em que o solvente está no estado sólido. Geralmente ocorrem quando um sólido dissolve outro sólido

Nas ligas metálicas, a proporção entre soluto e solvente não é fixa, ela varia de acordo com a finalidade do material produzido (resistência, flexibilidade, durabilidade, etc.). Em soluções sólidas, o solvente (Matriz) é o metal em maior quantidade, é a base da liga, enquanto o soluto metal ou não-metal é adicionado em menor quantidade.

Exemplos:

Aço (Ferro + Carbono):

Solvente: Ferro (Fe) > 98%.

Soluto: Carbono (C) < 2% (geralmente bem menos, tipo 0,1% a 1%).

Aço Inoxidável (Fe + Cr + Ni):

Solvente: Ferro (Fe) > 80 a 90%.

Soluto: Cromo (10-20%) + Níquel (variável).

O soluto é alto para garantir resistência à ferrugem.



Para lembrar!

O estado físico da solução é sempre o mesmo do solvente.

Latão (Cobre + Zinco):

Solvente: Cobre (Cu) > 60 a 90%.

Soluto: Zinco (Zn) (variável, geralmente 10% a 40%).

Ouro 18K (Ouro + Cobre/Prata):

Solvente: Ouro (Au) = 75%.

Soluto: Cobre/Prata (Ag) = 25%.



CONHEÇA OS TIPOS DE OURO: 10K, 18K E 24K

19 de fevereiro de 2024

Como saber a diferença entre os tipos de ouro 10k, 18k e 24k? Há diversas formas de diferenciar esses tipos de ouro.

O ouro 10K, 18K e 24K são o que chamamos de ligas metálicas de ouro. A diferença entre eles está nas composições, em relação à quantidade de ouro e metais nobres utilizados para obter o resultado final.

Ouro 24k: ouro puro e a medida de pureza

Para entender a diferença entre o ouro 10K, 18K e 24K, primeiro precisamos falar sobre a medida utilizada para tratar da pureza do ouro, o Quilate (K), uma medida padrão que é dividida em 24 partes.

O ouro 24K (24 quilates) é o ouro puro, também chamado de ouro fino ou ouro mil, e é composto por 24 partes de ouro, de um total de 24 partes, o equivalente a 99,9% de ouro. Nessa composição, o ouro é usado principalmente como reserva de capital, na forma de lingotes e barras.

Apesar do ouro 24K ser puro, ele é inadequado para confecção de joias, por isso é usado somente como reserva de capital financeira.

Muitas pessoas acham, portanto, que pelo ouro 24k ser composto de ouro puro, ele seria o ideal para a produção de joias e outras peças. No entanto, em termos de usabilidade, o ouro mil é inferior ao ouro 18K.

O ouro puro na maior parte das vezes não é o mais considerado para a joalheria, pois trata-se de um material muito frágil e maleável. Peças fabricadas em ouro 24K podem ser facilmente dobradas, amassadas e distorcidas, algo que ninguém deseja que aconteça.

A solução, então, é combinar o ouro com outros metais nobres para formar ligas metálicas, de forma a garantir maior durabilidade e brilho às joias. É o caso do ouro 18K.

Ouro 18K Ou Ouro 750: ideal para joias

O ouro 18K (18 quilates) é o resultado da combinação de 18 partes de ouro e 6 partes de outros metais, como prata, cobre ou zinco, por exemplo. Também é conhecido como ouro 750, já que 75% de sua composição é ouro puro, e os outros 25% são formados pelas outras substâncias citadas.

A essa mistura, damos o nome de liga metálica, que apresenta maior durabilidade e resistência em relação ao ouro 24k. Logo, além de garantir maior resistência à joia, são justamente esses 25% de outros metais que determinam também qual será a coloração do ouro: amarelo, branco ou rosé.

Dessa maneira, o ouro 750 é o mais recomendado e também o mais utilizado na alta joalheria, principalmente para a confecção de peças delicadas como alianças de ouro, anéis de noivado feminino ou brincos de ouro feminino, por exemplo.

Essa peça é normalmente feita com 75% ouro mil, 12,5% de prata e 12,5% de cobre. Essa proporção pode variar de acordo com o modo de produção de cada joalheria e empresa. Nesse sentido, peças fabricadas a partir de uma menor quantidade de ouro puro, como as de 14K ou 10K, por exemplo, geralmente apresentam uma coloração mais clara e opaca.

Ouro 10K

O ouro 10K é uma liga metálica de ouro que contém pelo menos 10 partes de ouro puro, ou seja, o equivalente a 41,7%. O restante de sua composição (cerca de 58,3%) é formado por outros metais, como prata, níquel ou zinco.

Apesar de ser mais resistente a riscos, a quantidade de outros metais ligados às joias de 10k é superior à das joias de 18K, o que o torna esse tipo de joia menos preciosas. A coloração da peça também apresenta diferença quando comparada a itens com níveis mais altos de quilates de ouro, uma vez que, pode escurecer se não forem tomados cuidados específicos, como evitar o contato com produtos químicos.

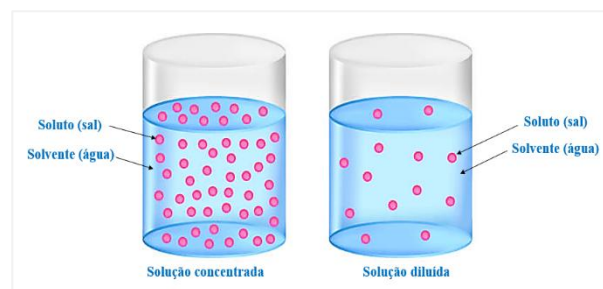
Fonte: Adaptado de SAYEG (2024)

4.2 Quanto à quantidade de soluto

Soluções diluídas: apresenta pequena quantidade de soluto em relação à quantidade de solvente, estando o soluto, em geral, bem abaixo do limite de solubilidade (Figura 1.2).

Soluções concentradas: apresenta grande quantidade de soluto dissolvida, estando mais próxima do limite máximo que o solvente consegue dissolver (Figura 1.2).

Figura 1.2: Representação esquemática de solução concentrada e diluída.



Fonte: Os autores.

É importante destacar que os termos diluída e concentrada são relativos. Uma solução só pode ser considerada diluída ou concentrada quando comparada a outra, não existindo um valor fixo que defina essas classificações.

4.3 Quanto à solubilidade

A classificação das soluções quanto à solubilidade é determinada por seu coeficiente de solubilidade, que faz referência ao limite de dissolução do soluto no solvente.

Coeficiente de Solubilidade (C_s)

Representa a quantidade de soluto dissolvido em comparação a quantidade máxima que um determinado solvente consegue dissolver a uma dada temperatura.

Com base no coeficiente de solubilidade as soluções são classificadas em:

Soluções insaturadas: contém uma quantidade de soluto inferior ao coeficiente de solubilidade, ou seja, ainda é possível dissolver mais soluto na solução.

Solução Insaturada: $C_s > \text{Solute}$

Soluções saturadas: apresenta a quantidade máxima de soluto que pode ser dissolvida pelo solvente naquela temperatura, caracterizando o equilíbrio entre o soluto dissolvido e o soluto não dissolvido.

Solução Saturada: $C_s = \text{Solute}$

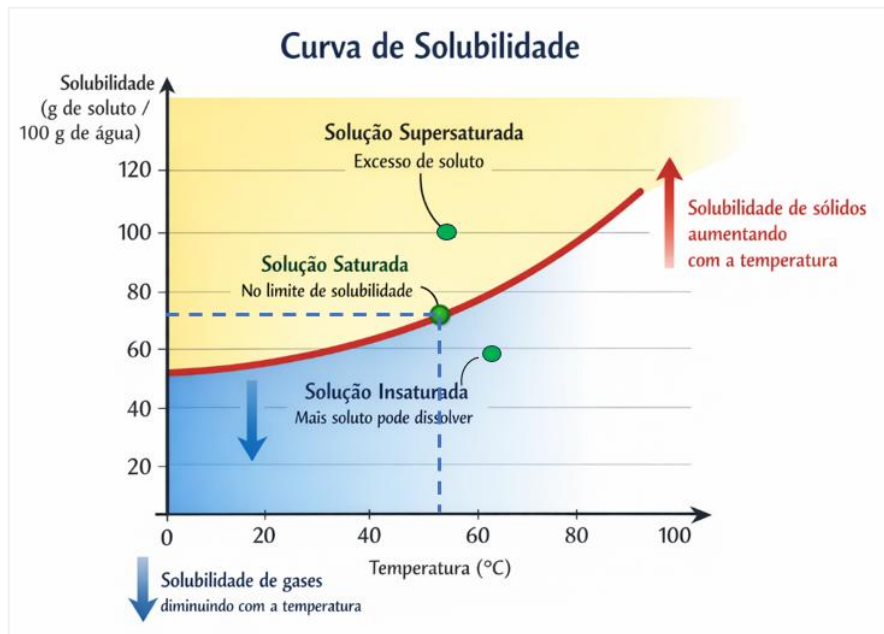
Soluções supersaturadas: possui uma quantidade de soluto maior do que o coeficiente de solubilidade, sendo uma solução instável, na qual o excesso de soluto pode se separar facilmente.

Solução Supersaturada: $C_s < \text{Solute}$

5. CURVA DE SOLUBILIDADE

As curvas de solubilidade são diagramas que indicam a variação na capacidade de solubilidade das substâncias em função da temperatura. Cada substância possui uma curva de solubilidade própria para um determinado solvente (Figura 1.3).

Figura1.3: Curva de solubilidade para um determinado soluto em função da temperatura em °C.



Fonte: Os autores.

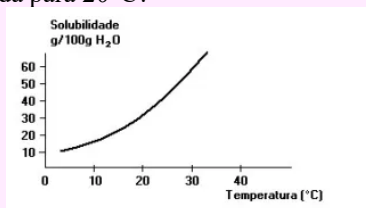
No exemplo gráfico, o coeficiente de solubilidade para a temperatura aproximada de 53°C está na confluência da linha azul tracejada, indicando que 100 g de água, a 53 °C, dissolve, no máximo, 72 g de soluto.

A curva de solubilidade indicada no gráfico demonstra que:

- A solução é saturada: quando o ponto indicado (em verde) está sobre a curva de solubilidade, ou seja, quando a quantidade de soluto está no limite do coeficiente de solubilidade.
- A solução é insaturada: quando o ponto indicado (em verde) está abaixo da curva de solubilidade, ou seja, quando a quantidade de soluto está abaixo do limite do coeficiente de solubilidade.
- A solução é saturada: quando o ponto indicado (em verde) está acima da curva de solubilidade, ou seja, quando a quantidade de soluto está acima do limite do coeficiente de solubilidade.

A partir da análise do gráfico, é possível verificar que o coeficiente de solubilidade varia de acordo com a temperatura, sendo essa variação representada pela curva de solubilidade. A variação de solubilidade só é considerada linear quando não está sob influência da temperatura.

Exemplo: A Curva de Solubilidade de um dado sal é apresentada a seguir. Considerando a solubilidade desse sal a 30°C, qual seria a quantidade máxima (aproximada) de soluto cristalizado quando a temperatura da solução saturada (e em agitação) fosse diminuída para 20°C?



Resolução

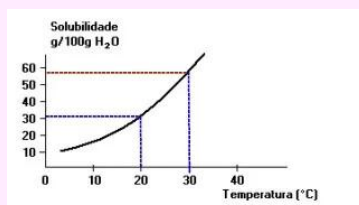
Para determinar a massa de soluto que cristaliza quando uma solução é resfriada em um exercício com gráfico, é necessário:

1º- Analisar a questão

Como o exemplo informa que existem duas temperaturas 30 °C e 20 °C, devemos encontrar o coeficiente de solubilidade para ambas as temperaturas.

2º- Encontrar o coeficiente de solubilidade.

Para encontrar o coeficiente de solubilidade para temperaturas informadas no exemplo, devemos encontrar o ponto de confluência entre o eixo das ordenadas (eixo Y) e o eixo das abscissas (eixo X) e traçar no gráfico uma linha reta, partir da temperatura no eixo X até a curva de solubilidade e em seguida traçar outra linha reta, dessa vez do ponto que tocou a curva de solubilidade até a massa de água eixo Y.



Para a temperatura de 30 °C: Quando a temperatura é 30 °C, o coeficiente de solubilidade da solução é aproximadamente 57g. Essa é a quantidade da massa soluto de H₂O dissolvida dos 100g totais presentes na solução.

Para a temperatura de 20 °C: Quando a temperatura é 20 °C, o coeficiente de solubilidade da solução é aproximadamente 31g. Essa é a quantidade da massa soluto de H₂O dissolvida dos 100g totais presentes na solução.

3º- Determinar a massa de soluto cristalizada.

Para determinar a massa do soluto que será cristalizada (SC) quando a temperatura for reduzida de 30°C para 20°C, basta subtrair o valor dos coeficientes de solubilidades (C_s) encontrados para as duas temperaturas.

$$SC = C_s (30^\circ\text{C}) - C_s (20^\circ\text{C})$$

$$SC = 57 - 31$$

$$SC = 26\text{g}$$

6. FATORES QUE INFLUENCIAM NA SOLUBILIDADE

Temperatura: A temperatura influencia diretamente a solubilidade, podendo alterar a classificação de uma mesma solução. Assim, uma solução que é insaturada em determinada temperatura pode se tornar saturada ou supersaturada quando a temperatura é modificada.

Geralmente, o aumento da temperatura eleva a solubilidade de sólidos em líquidos, permitindo que uma maior quantidade de soluto seja dissolvida. Isso ocorre porque as partículas do solvente ficam mais agitadas, o que facilita a separação e a dispersão das partículas do soluto no meio solvente (Figura 1.3).

Agitação: acelera o processo de dissolução, pois aumenta a frequência e a intensidade das colisões entre as partículas do soluto e do solvente, facilitando o processo de dissolução.

Superfície de contato: A superfície de contato influencia na dissolução, pois determina quanto do soluto está em contato direto com o solvente. Quanto maior for essa superfície, mais rápida será a dissolução da substância. Quanto menor o tamanho das partículas, maior será a superfície de contato soluto-solvente e maior será a velocidade de dissolução.

Pressão: A pressão influencia principalmente a dissolução de gases em líquidos. A influência da pressão na solubilidade dos gases é descrita pela Lei de Henry, que estabelece que, em temperatura constante, a solubilidade de um gás em um líquido é diretamente proporcional à pressão exercida sobre ele. Assim, quanto maior a pressão, maior será a solubilidade do gás.

Por que o refrigerante "faz barulho" ao abrir?



Quando a garrafa é envasada, o gás carbônico (CO₂) é introduzido na bebida sob alta pressão, o que o força a se dissolver no líquido. Ao abrir a garrafa, a pressão interna diminui rapidamente até se igualar à pressão atmosférica. De acordo com a Lei de Henry, com a redução da pressão, a solubilidade do gás também diminui. Assim, o CO₂ dissolvido começa a escapar do líquido, formando bolhas e produzindo o som característico de “tchiiiiiiiiiiiiiiiiiiii”.

Algo semelhante acontece com o tucupi que, após ser envasado, pode sofrer fermentação devido à ação de microrganismos lácticos, que degradam os carboidratos presentes em sua composição. Esse processo produz energia e dióxido de carbono (CO₂). O acúmulo desse gás no interior da garrafa aumenta a pressão interna e, ao ser aberta, ocorre a liberação do CO₂ para o meio externo devido à diferença de pressão, provocando o famoso “tchiiiiiiiiiiiiiiiiiiii”.



Sugestão de Vídeo: CLASSIFICAÇÃO DAS SOLUÇÕES - Coeficiente de Solubilidade

<https://www.youtube.com/watch?v=pzK6EqP2J2M>
(Quimicapontocom). Duração: 22'06"

7. CONCENTRAÇÃO DE SOLUÇÕES

A concentração de uma solução indica a quantidade de soluto dissolvida em uma determinada quantidade de solvente. Ela é uma forma de expressar “o quão concentrada” está uma solução e permite comparar diferentes soluções de maneira quantitativa.

Quanto maior a quantidade de soluto em relação ao solvente, maior será a concentração da solução. Da mesma forma, quanto menor a quantidade de soluto, menor será a concentração.

Existem diversas formas de calcular a concentração de uma solução e diferentes unidades de medidas podem ser utilizadas.

7.1 Concentração comum (C)

É a relação estabelecida entre a massa do soluto e o volume da solução. A concentração comum é expressa através da seguinte fórmula:

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

Onde:

C = concentração comum (em g/L)

m = massa do soluto (em g)

V = volume da solução (em L)

Exemplo: Uma solução foi preparada dissolvendo 15 g de açúcar em água suficiente para formar 0,5 L de solução. Qual concentração comum dessa solução?

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

Dados fornecidos:

$C = ?$

$m = 15\text{g}$

$V = 0,5\text{ L}$

$$C = \frac{15}{0,5}$$

7.2 Concentração molar ou Molaridade (M)

É a relação entre a massa de soluto em número de mols e o volume de uma solução. A molaridade pode ser calculada a partir da equação:

$$M = \frac{n_1}{V}$$

Onde:

M = molaridade (em mol/ L)

n_1 = número de matéria do soluto (em mol)

V = volume da solução (em L)

Exemplo 1: Para a realização de um teste laboratorial é necessário 0,320 mol de hidróxido de potássio (KOH). Para tanto, foram utilizados 720 mL de uma solução de KOH. Sabendo disso, determine a concentração molar dessa solução.

$$M = \frac{n_1}{V}$$

Dados fornecidos:

$M = ?$

$n_1 = 0,320\text{ mols}$

$V = 720\text{ml} = 0,720\text{L}$

Agora para encontrar a molaridade, basta aplicar a fórmula os dados fornecidos:

$$M = \frac{n_1}{V}$$
$$M = \frac{0,320}{0,720}$$
$$M = 0,444\text{ mol/L}$$

Observe que o valor de volume foi fornecido em mL, por isso necessitou ser convertido de mL para L para poder ser utilizado na fórmula. Todas as vezes que isso acontecer, é necessário que se proceda dessa maneira.

Exemplo 2: Quantos mols de hidróxido de sódio (NaOH) são necessários para preparar uma solução com volume de 400mL e concentração molar de 0,280mol/L de NaOH?

Dados fornecidos

$$M=0,280\text{mols/L}$$

$$n=?$$

$$V=400\text{mL}=0,4\text{L}$$

$$M = \frac{n_1}{V}$$

$$n_1 = M \cdot V$$

$$n_1 = 0,280 \cdot 0,4$$

$$n_1 = 0,112 \text{ mol}$$

Observe que o exemplo forneceu os valores de volume e de concentração molar. Então, é possível determinar número de matéria (em mol) de NaOH.

O número de *mol* (n_1) pode ser encontrado pela expressão:

$$n_1 = \frac{m_1}{MM}$$

Onde:

n_1 = número de matéria do soluto (em *mols*)

m_1 = massa do soluto (em *g*)

MM = Massa molar do soluto (em *g/mol*)

Logo, a molaridade pode ser dada pela expressão:

$$M = \frac{m_1}{MM \cdot V}$$

A massa molar (MM) é a quantidade de **massa atômica** referente a **1 mol** de determinada entidade elementar (átomos, íons, moléculas ou partículas).

Exemplo: Dissolvendo-se 3,65 g de ácido clorídrico (HCl) em água para um volume final de 2,0 litros, qual será a molaridade da solução?

Dados fornecidos:

$M: ?$

$m_1: 3,65\text{g de HCl}$

$MM: ?$

$V: 2\text{L}$

Antes de efetuarmos o cálculo para encontrar o valor da concentração molar, é necessário encontrarmos o valor da massa molar (MM da substância.) Para encontrar a MM do HCl, basta somar a massa atômica dos elementos químicos H e Cl. A Massa do H= 1 e a Massa do Cl= 35,5

$MM = \text{massa do H} + \text{massa do Cl}$

$MM = 1 + 35,5$

$MM = 36,5 \text{ g/mol}$

Substituindo na equação:

$$M = \frac{m_1}{MM \cdot V}$$

$$M = \frac{3,65}{36,5 \cdot 2}$$

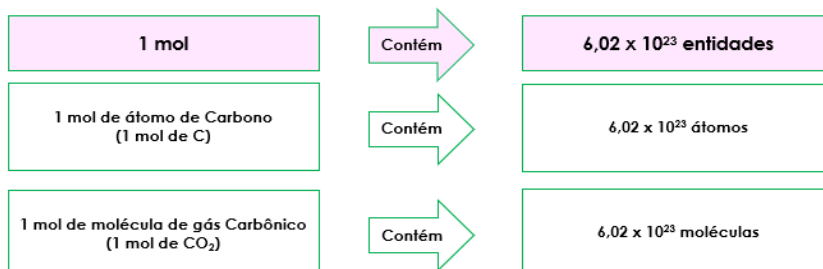
$$M = \frac{3,65}{73}$$

$$M = 0,046 \text{ mol/L}$$



1 mol = $6,02 \times 10^{23}$ entidades elementares

$6,02 \times 10^{23}$ corresponde a constante de proporcionalidade (constante de Avogadro) que permite a passagem de quantidade de matéria para o número de partículas elementares.



Exemplo: (ENEM 2013) O brasileiro consome em média 500 miligramas de cálcio por dia, quando a quantidade recomendada é o dobro. Uma alimentação balanceada é a melhor decisão para evitar problemas no futuro, como a osteoporose, uma doença que atinge os ossos. Ela se caracteriza pela diminuição substancial de massa óssea, tornando os ossos frágeis e mais suscetíveis a fraturas.

Disponível em: www.anvisa.gov.br. Acesso em: 1 ago. 2012 (adaptado).

Considerando-se o valor de 6×10^{23} para a constante de Avogadro e a massa molar do cálcio igual a 40 g/mol, qual a quantidade mínima diária de átomos de cálcio a ser ingerida para que uma pessoa supra suas necessidades?

Resolução:

O exemplo informa que a quantidade mínima diária de cálcio é 1g. Precisamos então calcular quantos átomos de Ca estão presentes em 1g desse elemento. Lembrar que $1\text{mol} = 6 \times 10^{23}$ e que a massa molar do Ca = 40 g/mol.

$$\begin{aligned} 40 \text{ g Ca} & \text{-----} 6 \cdot 10^{23} \text{ átomos de Ca (equivalente a 1 mol)} \\ 1 \text{ g Ca} & \text{-----} x \\ 40 \cdot x & = 1 \cdot 6 \cdot 10^{23} \\ x & = \frac{1 \cdot 6 \cdot 10^{23}}{40} \\ x & = \frac{6 \cdot 10^{23}}{40} \\ x & = 0,15 \cdot 10^{23} \\ x & = 1,5 \cdot 10^{-1} \cdot 10^{23} \\ x & = 1,5 \cdot 10^{22} \text{ átomos de Ca} \end{aligned}$$



NOTAÇÃO CIENTÍFICA

A notação científica é um recurso amplamente empregado não apenas na Matemática, mas também em áreas como as ciências da natureza e consiste em uma forma de representação matemática utilizada para expressar grandezas físicas extremamente grandes ou extremamente pequenas.

Perguntas como “quantas moléculas há em um mol?” ou “qual é o valor da carga elétrica de um elétron?” envolvem números cuja escrita convencional não é prática, sendo mais adequada a utilização da notação científica.

Propriedades de Potências Importantes

- Produto de potências de mesma base: $a^p \cdot a^q = a^{p+q}$
- Quociente de potências de mesma base: $\frac{a^p}{a^q} = a^{p-q}$
- Potência de uma potência: $(a^p)^q = a^{p \cdot q}$

Regras para a Notação Científica

- I. A notação científica é uma forma de escrever números reais usando uma mantissa entre 1 e 10 e uma potência de 10.
- II. A mantissa é o coeficiente e a potência de 10 é chamada de ordem de grandeza.
- III. Operações com números em notação científica envolvem igualar as ordens de grandeza e realizar operações com as mantissas.

Um número em notação científica deve obedecer sempre ao seguinte modelo **$m \times 10^n$**

O número **m** é chamado de mantissa, enquanto **n** é a ordem de grandeza do expoente. A mantissa deve ser um número maior (ou igual) que 1 e menor que 10, já a ordem de grandeza depende do valor absoluto que está sendo representado pela notação científica.

Veja o seguinte exemplo

Número por extenso	Mantissa	Ordem de grandeza	Notação científica
700 000 000	7	10^8	7×10^8
0,00000000009	9	10^{-11}	9×10^{-11}
42 000 000 000 000	4,2	10^{13}	$4,2 \times 10^{13}$

Resumo Prático

Convenhamos que esse processo não é nada prático, então, a fim de facilitá-lo, observe que, quando “deslocamos” com a vírgula para a direita, o expoente da base 10 diminui a quantidade de casas decimais andadas. Agora, quando “deslocamos” casas decimais para esquerda, o expoente da base 10 aumenta a quantidade de casas

CONCENTRAÇÃO NORMAL OU NORMALIDADE (N)

A concentração normal ou normalidade (N) é uma forma de expressar a concentração de uma solução que considera a capacidade de reação do soluto em determinado processo químico. Ela indica a quantidade de equivalentes do soluto presente em 1 litro de solução.

Para calcular a normalidade (N), antes é necessário encontrar o equivalente-grama (Eg) e o número de equivalentes (eq).

Para calcular o equivalente-grama (Eg), usa-se a equação: $Eg = \frac{MM}{k}$

Onde:

Eg = Equivalente-grama

MM = é a massa molar da substância considerada

k = é uma constante (quantidade de H⁺ do ácido) ou (OH⁻ da base) ou (quantidade de carga totais dos cátions ou dos ânions presentes no sal).

Exemplo: Para o ácido H₃PO₄, o Eg será de:

$$Eg = \frac{MM}{k}$$

$$MM = (H = 1 \times 3 = 3); (P = 31); (O = 16 \times 4 = 64) = 3 + 31 + 64 = 98 \text{ g/mol}$$

$$K = 3$$

Substituindo na equação, teremos:

$$Eg = \frac{MM}{k}$$

$$Eg = \frac{98}{3}$$

$$Eg = 32,66 \text{ g}$$

Para calcular o equivalente, usa-se a equação: $eq = \frac{m}{Eg}$

Onde:

eq = quantidade de equivalente grama do soluto

m = massa do (a) ...

Eg = Equivalente-grama

O número de equivalente refere-se à quantidade de vezes que 1 Eg de uma substância cabe dentro de uma certa massa considerada.

Exemplo: O equivalente (eq) do H₃PO₄, para uma massa de 26,45 g de H₃PO₄ será de:

$$eq = \frac{m}{Eg}$$

$$Eg_{(H_3PO_4)} = 32,66 \text{ g}$$

$$m = 26,45 \text{ g}$$

$$eq = \frac{26,45}{32,66}$$

$$eq = 0,8$$

O número de equivalentes (eq) depende do tipo de reação envolvida.

• **Reações ácido-base:** Nas reações ácido-base, o número de equivalentes (eq) está relacionado ao número de íons H⁺ ou OH⁻ liberados.

• **Reações de oxirredução:** Nas reações de oxirredução, o número de equivalentes (eq) está relacionado ao número de elétrons transferidos.

• **Reações de precipitação:** nas reações de precipitação, o número de equivalentes relaciona-se à carga dos íons envolvidos.

A partir dos dados, a normalidade pode ser calculada pela equação: $N = \frac{eq}{V}$

Onde:

N = Normalidade (em eq/L)

eq = quantidade de equivalentes do soluto

V = volume da solução (em L)

A normalidade está diretamente relacionada à molaridade, podendo ser expressa como: $N = M \cdot f$

Onde:

N = Normalidade (em eq/L)

M = Molaridade (mol/L)

f = fator de equivalência do soluto

7.3 Molalidade (W)

É a relação entre a quantidade de substância de um soluto e a massa de um solvente. Expressa quantos mols de soluto estão dissolvidos em cada quilograma de solvente, sendo uma forma precisa e estável de representar a concentração de soluções.

A molalidade pode ser calculada a partir da equação:

$$W = \frac{n_1}{m_2}$$

Onde:

W = molalidade (mol/kg)

n_1 = quantidade de matéria do soluto (em mol)

m_2 = massa do solvente (em kg)

Na molalidade a massa, ao contrário do volume, não se altera com a pressão e a temperatura.

Exemplo: Uma solução que foi preparada com 0,5 mol de sal hidratado dissolvido em 530 g de água. Qual a sua molalidade?

$$W = \frac{n_1}{m_2}$$

Dado:

$W = ?$

$n_1 = 0,5$ mol

$m_2 = 530$ g (0,53 kg)

$$W = \frac{0,5}{0,53}$$
$$W = 0,94 \text{ mol/Kg}$$

Outra forma de encontrar a molalidade é através da associação entre as fórmulas $W = \frac{n_1}{m_{\text{solvente}}}$

e $n_1 = \frac{m_1}{MM}$

Logo, teremos a equação:

$$W = \frac{m_1}{MM \cdot m_2}$$

W = molalidade (mol/kg)

m_1 = massa do soluto (em g)

m_2 = massa do solvente (em kg)

MM = Massa molar do soluto (em g/mol)

Exemplo: Uma solução aquosa foi formada por 10 g de hidróxido de sódio (NaOH) em 370 g de água. Sabendo que a massa molar do soluto é 40g, qual será molalidade desta solução?

$$W = \frac{m_1}{MM \cdot m_2}$$

Dado:

$$W = ?$$

$$m_1 = 10\text{g}$$

$$m_2 = 370\text{ g (0,37 kg)}$$

$$MM = 40\text{g}$$

$$W = \frac{m_1}{MM \cdot m_2}$$

$$W = \frac{10}{40 \cdot 0,37}$$

$$W = \frac{10}{14,8}$$

$$W = 0,67 \text{ molal ou mol/kg}$$

7.4 Título (τ)

7.4.1 Título em massa

É a relação entre a massa do soluto e a massa da solução, ambas na mesma unidade.

$$\tau = \frac{m_1}{m}$$

Onde:

τ = título

m_1 = massa do soluto

m = massa da solução ($m = m_1 + m_2$)

$$\tau = \frac{m_1}{m_1 + m_2}$$

Exemplo: Uma massa de 40g de NaOH são dissolvidas em 160g de água. Calcule o título da solução.

$$\tau = \frac{m_1}{m_1 + m_2}$$

$$\tau = \frac{40}{40 + 160}$$

$$\tau = \frac{40}{200}$$

$$\tau = 0,2$$

7.4.2 Título em volume

É a relação entre a volume do soluto e o volume da solução, ambas na mesma unidade.

$$\tau = \frac{V_1}{V}$$

Onde:

τ = título

V_1 = Volume do soluto

$V =$ Volume da solução ($V = V_1 + V_2$)

$$\tau = \frac{V_1}{V_1 + V_2}$$

Exemplo: Uma solução foi preparada pela adição de 2 mL de álcool etílico (C_2H_5OH) em 92 mL de água (H_2O). Calcule o título da solução.

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{V_1}{V_1 + V_2} \\ \tau &= \frac{2}{2 + 92} \\ \tau &= \frac{2}{94} \\ \tau &= 0,02\end{aligned}$$

O título (τ), seja em massa ou em volume, pode ser dado em porcentagem (%), a partir da expressão:

$$\tau_{\%} = \tau \cdot 100$$

Exemplo 1: Uma massa de 40g de NaOH são dissolvidas em 160g de água. Calcule o título em porcentagem da solução.

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{m_1}{m_1 + m_2} \\ \tau &= \frac{40}{40 + 160} \\ \tau &= \frac{40}{200} \\ \tau &= 0,2\end{aligned}$$

para encontrar o título em porcentagem é só multiplicar o valor do título por 100.

$$\begin{aligned}\tau_{\%} &= \tau \cdot 100 \\ \tau_{\%} &= 0,2 \cdot 100 \\ \tau_{\%} &= 20\%\end{aligned}$$

Exemplo: Uma solução foi preparada pela adição de 2 mL de álcool etílico (C_2H_5OH) em 92 mL de água (H_2O). Calcule o título em porcentagem da solução.

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{V_1}{V_1 + V_2} \\ \tau &= \frac{2}{2 + 92} \\ \tau &= \frac{2}{94} \\ \tau &= 0,02\end{aligned}$$

para encontrar o título em porcentagem é só multiplicar o valor do título por 100.

$$\begin{aligned}\tau_{\%} &= \tau \cdot 100 \\ \tau_{\%} &= 0,02 \cdot 100 \\ \tau_{\%} &= 2\%\end{aligned}$$

As concentrações químicas costumam ser expressas em unidades como mol/L (molaridade), g/L (concentração comum), % porcentagem (título) entre outras. Contudo, quando as soluções são muito diluídas e expressam relação massa-massa, volume-volume ou massa-volume, como é o caso de contaminantes presentes na água ou no solo (traços de metais pesados), é necessário recorrer a outras unidades de medidas, tais como:

- **Partes por milhão (ppm):** É uma forma de expressar a concentração de uma solução muito diluída, ou seja, que apresenta uma quantidade de soluto muito pequena dissolvida em uma quantidade muito grande de solvente (ou de solução). A unidade ppm indica a quantidade de soluto presente em um milhão (1.000.000 ou 10^6) de partes do solvente ou da solução.

A concentração em ppm pode ser calculada pela equação:

$$ppm = \frac{\text{partes do soluto}}{10^6 \text{ partes da solução}}$$



ATENÇÃO

A concentração em ppm é utilizada para quantificar traços de uma substância em uma amostra e pode ser expressa em:

- mg/kg (miligrama por quilograma)

$$1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/kg}$$

- mg/L (miligrama por litro), em soluções aquosas diluídas

$$1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/L}$$

Exemplo: Um estudante coletou uma amostra de água de 100mL, para determinar a quantidade de íons de cálcio presentes na amostra. Após análise ele identificou 15mg de íons de cálcio. Sabendo disso, qual é a concentração desse íon, em ppm, na amostra de água?

Resolução

Observe que a massa do soluto foi dada em miligrama (mg) e o volume da solução foi dado em mililitro (mL). Assim, antes de prosseguir com os cálculos é necessário fazer a conversão de unidades.

Para massa

$$1 \text{ mg} \text{ ----- } 0,001 \text{ g}$$

$$15 \text{ mg} \text{ ----- } X$$

$$1 \text{ mg} \cdot x = 15 \text{ mg} \cdot 0,001 \text{ g}$$

$$x = \frac{15 \text{ mg} \cdot 0,001 \text{ g}}{1 \text{ mg}}$$

$$x = 0,015 \text{ g}$$

$$x = 0,015 \text{ g}$$

Para volume

$$1 \text{ mL} \text{ ----- } 0,001 \text{ L}$$

$$100 \text{ mL} \text{ ----- } x$$

$$1 \text{ mL} \cdot x = 100 \text{ mL} \cdot 0,001 \text{ L}$$

$$x = \frac{100 \text{ mL} \cdot 0,001 \text{ L}}{1 \text{ mL}}$$

$$x = 0,1 \text{ L}$$

Em uma solução aquosa mL = 1g, assim:

$$100 \text{ mL} = 100 \text{ g de água.}$$

Logo, podemos estabelecer a seguinte relação:

$$0,015 \text{ g cálcio} \text{ ----- } 100 \text{ g de água}$$

Essa relação pode ser utilizada para estimar a quantidade de cálcio em 1 milhão de gramas (10^6 g) de solução.

$$0,015 \text{ g cálcio} \text{ ----- } 100 \text{ g de água}$$

$$x \text{ ----- } 10^6 \text{ g}$$

$$x = \frac{0,015 \text{ g} \cdot 10^6 \text{ g}}{100 \text{ g}}$$

$$x = \frac{15 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot 1 \cdot 10^6 \text{ g}}{1 \cdot 10^2 \text{ g}}$$

$$x = \frac{15 \cdot 10^3 \text{ g}}{1 \cdot 10^2 \text{ g}}$$

$$x = 15 \cdot 10^1 \text{ g}$$

$$x = 150 \text{ g}$$

A concentração desse íon cálcio, na amostra de água é de 150 ppm.

- **Partes por bilhão (ppb):** Assim como a concentração em ppm, a concentração em partes por bilhão (ppb) é utilizada para expressar a concentração de soluções extremamente diluídas. A unidade ppb indica a quantidade de soluto presente em 1 bilhão (1.000.000.000 ou 10^9) de partes da solução.

A concentração em ppb pode ser calculada pela equação:

$$ppb = \frac{\text{massa do soluto}}{10^9 \text{ massa da solução}}$$



ATENÇÃO

A concentração em ppb é utilizada para quantificar traços de uma substância em uma amostra e pode ser expressa em:

- $\mu\text{g}/\text{kg}$ (micrograma por quilograma)
1 ppb = 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$
- $\mu\text{g}/\text{L}$ (micrograma por litro), em soluções aquosas diluídas
1 ppb = 1 $\mu\text{g}/\text{L}$

Exemplo: Numa certa região oceânica, os níveis de mercúrio na água e nos peixes são, respectivamente, de 0,05 e 200 ppb. Sabe-se que 1 ppb corresponde a 1 mg por tonelada. Comparando-se pesos iguais de peixes e de água, o fator que expressa a relação entre as massas de mercúrio nos peixes e na água é.

Resolução

Dados do problema

Mercúrio na água = 0,05 ppb

Mercúrio nos peixes = 200 ppb

1 ppb = 1 mg por tonelada

Passo 1 – Interpretar ppb

Se:

1 ppb = 1 mg/tonelada

Então:

Água = 0,05 mg por tonelada

Peixe = 200 mg por tonelada

Passo 2 – Calcular o fator de comparação

Como as massas comparadas são iguais (1 tonelada de cada), para encontrar o fator que expressa a relação entre as massas de mercúrio na água e nos peixes, basta dividir a concentração de mercúrio na água pela concentração de mercúrio nos peixes.

Fator = $200/0,05$

Fator = 4000 ou $4 \cdot 10^3$



Sugestão de Vídeo: EXPRESSÕES DAS CONCENTRAÇÕES - Notações das Soluções

<https://www.youtube.com/watch?v=F1MM8vY65Bc&t=34s>

(Quimicapontocom). Duração: 18'02"



Sugestão de Vídeo: MISTURAS DE SOLUÇÕES SEM REAÇÃO

<https://www.youtube.com/watch?v=79ULquQkluA>

(Quimicapontocom). Duração: 09'22"

8. DILUIÇÃO DE SOLUÇÕES

Consiste na redução da concentração de uma solução pela adição de solvente, aumentando o seu volume, sem alterar a quantidade de soluto presente (Figura 1.4).

Para compreender o processo de diluição, devemos conhecer a solução em seu momento inicial e após a adição de solvente.

Na concentração inicial, temos: $C_i = m_l / V_i$

Na concentração final, temos: $C_f = m_l / V_f$

Onde:

C_i = concentração inicial

C_f = concentração final

m_l = massa de soluto

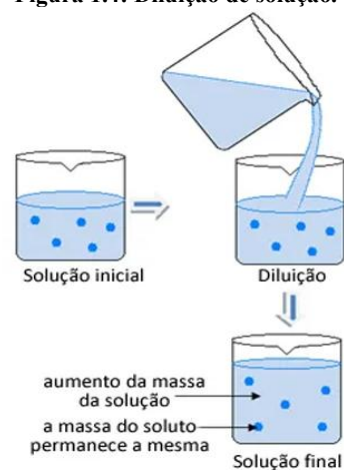
V_i = volume inicial

V_f = volume final

Como mencionado anteriormente, na diluição de uma solução a quantidade de soluto permanece constante, ou seja, a massa de soluto não é alterada, logo, a diluição pode ser descrita pela seguinte expressão:

$$C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f$$

Figura 1.4: Diluição de solução.



Fonte: Mundo Educação (2026)

Exemplo: Ao diluir 100 mL de uma solução de concentração igual a 10g/L a um volume final de 200 mL, de quanto será a nova concentração da solução?

$$C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f$$

Dado:

$C_i = 10\text{g/L}$

$V_i = 100\text{ mL}$

$V_f = 200\text{ mL}$

$$C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f$$

$$10 \cdot 100 = C_f \cdot 200$$

$$1000 = C_f \cdot 200$$

$$C_f = 1000/200$$

$$C_f = 5\text{g/L}$$



Sugestão de Vídeo: DILUIÇÃO DAS SOLUÇÕES

<https://www.youtube.com/watch?v=X88lxIDUBzQ&t=10s>

(Quimicapontocom). Duração: 07'38"

ATIVIDADE

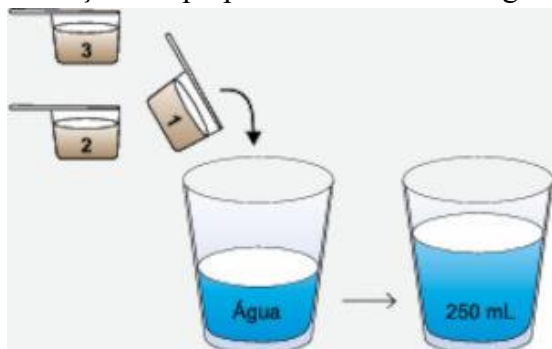
Questão 1. Foi adicionado 500 mL de água a uma solução com volume de 500 mL e 5 g de cloreto de sódio (NaCl). Sobre a solução final, analise as afirmativas a seguir.

- I. A solução final é uma diluição.
- II. O volume final da solução é 1L.
- III. A concentração comum da solução final é 5 g/L.
- IV. O número de mols de soluto caiu pela metade na solução final.

Estão corretas as afirmativas:

- a) I e II
- b) II e III
- c) I, II e III
- d) III e IV
- e) Todas estão corretas

Questão 2. (Albert Einstein) Muitos atletas empregam em suas dietas um suplemento alimentar de proteína do soro do leite, denominado *whey protein*, comercializado na forma de pó, para ser misturado em água. Considere uma embalagem que contenha uma colher medidora e que apresente as seguintes instruções de preparo na forma do infográfico:



No preparo da bebida, são usadas 3 medidas de *whey protein*. Cada colher medidora contém 7,5 g de proteína.

A concentração em massa de proteína na bebida preparada de acordo com as instruções da embalagem é igual a

- a) 30,0 g/L.
- b) 63,5 g/L.
- c) 22,5 g/L.

- d) 7,5 g/L.
- e) 90,0 g/L.

Questão 3. (UEG 2025) O ácido acetilsalicílico (AAS), comercializado como Aspirina®, é um composto geralmente indicado para combater inflamação, dor, febre, artrite reumatoide, artrose ou para reduzir o risco de infarto e AVC, pois tem ação anti-inflamatória, antitérmica, analgésica e antiagregante plaquetária. A Aspirina® é um dos medicamentos mais comercializados em todo o mundo, com um consumo anual de cerca de 12 bilhões de comprimidos. Cada comprimido de Aspirina® contém 500 mg de ácido acetilsalicílico ($C_9H_8O_4$). Assim, o número de moléculas de AAS em um comprimido é

Dados: $N_A = 6,0221 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ M ($C_9H_8O_4$) = 180 g/mol

- a) $1,60 \times 10^{19}$
- b) $2,23 \times 10^{20}$
- c) $2,81 \times 10^{21}$
- d) $1,67 \times 10^{21}$
- e) $5,04 \times 10^{20}$

Questão 4. (Unichristus) Uma solução foi preparada dissolvendo-se 12,0 g de cloreto de sódio (NaCl) em 3,0 litros de água.

Sabendo que o volume da solução permaneceu 3,0 L, qual é a concentração da solução final?

- A) 2 g/L
- B) 3 g/L
- C) 4 g/L
- D) 6 g/L
- E) 8 g/L

Questão 5. Para preparar 50 mL de um café, uma pessoa adiciona 0,4 g de açúcar branco, sacarose. A concentração, em g/L, de sacarose nesse café é igual a:

- a) 0,4
- b) 0,05
- c) 8
- d) 0,02
- e) 2

Questão 6. (UFGD 2024) O leite de magnésia é um medicamento frequentemente utilizado como antiácido para neutralizar a acidez estomacal. A principal substância ativa nesse leite é o hidróxido de magnésio, $Mg(OH)_2$, que reage com o ácido clorídrico (HCl) no estômago para formar cloreto de magnésio ($MgCl_2$) e água (H_2O). Considere essas informações para avaliar a seguinte situação: um paciente sofre de hiperacidez estomacal e ingere 10 mL de leite de magnésia. A concentração de $Mg(OH)_2$ no leite de magnésia é de 0,8 g/100 mL, e a concentração de HCl no estômago é de 0,1 mol/L. A partir dessas informações, assinale a alternativa correta relacionada à quantidade de mols de HCl que serão neutralizados pela dose de leite de magnésia ingerida pelo paciente. $Mg(OH)_2 = 58,0$ g/mol; $HCl = 36,5$ g/mol.

- a) 0,0014 mol
- b) 0,0027 mol
- c) 0,0048 mol
- d) 0,0080 mol
- e) 0,0160 mol

Questão 7. (VUNESP) Determinado leite em pó, comercializado em embalagens com 200 g de produto, apresenta no rótulo a seguinte informação nutricional: 25 g de leite em pó contém 228 mg de cálcio

A quantidade de cálcio contida na massa total do leite em pó da embalagem é, aproximadamente,

- a) $2,3 \times 10^{-3}$ mol.
- b) $4,6 \times 10^{-3}$ mol.
- c) $4,6 \times 10^{-2}$ mol.
- d) $2,3 \times 10^{-2}$ mol.
- e) $5,7 \times 10^{-3}$ mol.

Questão 6. Uma solução 0,2 mol de glicose ($C_6H_{12}O_6$) foi preparada usando-se 500 g de água. Qual a massa em gramas de glicose presente nessa solução?

(Dados: Massas atômicas: H = 1,0; C = 12,0; O = 16,0).

- a) 1800
- b) 180
- c) 18
- d) 0,18
- e) 0,018

Questão 7. (UNIFESP) A contaminação de águas e solos por metais pesados tem recebido grande atenção dos ambientalistas, devido à toxicidade desses metais ao meio aquático, às plantas, aos animais e à vida humana. Dentre os metais pesados há o chumbo, que é um elemento relativamente abundante na crosta terrestre, tendo uma concentração ao redor de 20 ppm (partes por milhão). Uma amostra de 100 g da crosta terrestre contém um valor médio, em mg de chumbo, igual a:

- a) 20
- b) 10
- c) 5
- d) 2
- e) 1

Questão 8. (PUCC-SP) No rótulo de uma garrafa de “água mineral” lê-se, entre outras coisas:

Conteúdo 1,5 L

Bicarbonato de cálcio: 20 ppm

Com base nesses dados, determine a massa do bicarbonato de cálcio no conteúdo da garrafa.

(Dado: ppm = mg de soluto/litro de solução aquosa)

- a) 0,03g
- b) 0,02g
- c) 0,01g
- d) 0,06g
- e) 150 mg

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). **Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM 1998**. Brasília: INEP, 1998.

CANTO, E. L.; CANTO LEITE, L. C.; CANTO, L. C. **Moderna Plus: química na abordagem do cotidiano**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2024.

CHEMELLO, E. **Moderna superação!: química**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2024.

FOGAÇA, J. R. V. **Mundo Educação**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/diluicao-solucoes.htm>>. Acesso em: 23 fev. 2026.

MANUAL DA QUÍMICA. **Manual da Química – um guia para auxílio nos estudos de química**. Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/>>. Acesso em: 20 fev. 2026.

NERY, A. L. P.; LIEGEL, R. M.; AOKI, V. L. M. **Ser protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias: química**. SM Educação. 1. ed. São Paulo. 2024.

SANTOS, T. **Educa mais Brasil, 2021**. Disponível em: <<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/molalidade>>. Acesso em: 23 fev. 2026.

SAYEG, V. **Conheça os tipos de ouro: 10k, 18k e 24k**. 2024. Disponível em: <<https://victoriasayeg.com/blogs/news/conheca-os-tipos-de-ouro-10k-18k-e-24k>>. Acesso em: 18 fev. 2026.

USBERCO, J.; SPITALERI, P. **Identidade Saraiva: química: área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias**: volume único: ensino médio. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2024.

CAPÍTULO 02 TERMOQUÍMICA

Este capítulo, aborda as trocas de energia na forma de calor que ocorrem durante as reações químicas.

O capítulo, trata do conceito de entalpia (H), assim como a variação de entalpia (ΔH), utilizada para quantificar o calor envolvido nas reações químicas.

No capítulo é abordado as reações que liberam calor (exotérmicas) e as reações que absorvem calor do meio (endotérmicas)

Para facilitar a compreensão das trocas energéticas envolvidas nas reações, o capítulo traz os diagramas de energia, que permitem visualizar a energia dos reagentes, dos produtos e a variação de entalpia do processo.

O capítulo também aborda a Lei de Hess, fundamental para o cálculo da variação de entalpia global de uma reação a partir de etapas intermediárias.

Ao final do capítulo são encontradas questões de diversos vestibulares, inclusive do ENEM.

Expectativas de Aprendizagem

Ao final do estudo, espera-se que os estudantes sejam capazes de:

- Compreender os conceitos fundamentais da Termoquímica.
- Diferenciar reações exotérmicas e endotérmicas.
- Determinar a quantidade de calor em reações químicas
- Relacionar a variação de entalpia aos elementos de uma reação química.
- Associar a quebra das ligações de reagentes a processos endotérmicos.
- Determinar variação de entalpia em uma reação química aplicando a lei de Hess.
- Relacionar o rearranjo dos átomos e formação de moléculas a processos exotérmicos.

Habilidades da FGB

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

(EM13CNT106) Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais.

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

(EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental.

(EM13CNT309) Analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos de motores e processos de produção de novos materiais.

Habilidades do ENEM

(ENEM_C5_H17) Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

1. INTRODUÇÃO

A termoquímica é o ramo da Química que estuda as trocas de energia na forma de calor que ocorrem durante as reações químicas e também nas transformações físicas. Seu principal objetivo é analisar se, em determinado processo, há liberação ou absorção de calor, permitindo compreender o comportamento energético das substâncias.

2. SISTEMA E VIZINHANÇA

2.1 Sistema

O sistema é a parte do universo que está sendo analisada em um estudo termoquímico. De acordo com as trocas que realiza com o meio, ele pode ser classificado em três tipos.

Sistema aberto: permite a troca de matéria e de energia com o meio externo.

Sistema fechado: permite apenas a troca de energia, não ocorrendo troca de matéria.

Sistema isolado: não permite troca nem de matéria nem de energia.

2.2 Vizinhança

A vizinhança corresponde a tudo aquilo que está fora do sistema e que pode interagir com ele.

ASSISTA
O VÍDEO



Sugestão de Vídeo: TERMOQUÍMICA - INTRODUÇÃO

https://www.youtube.com/watch?v=v24MPptjEM&list=PLJ352tsIMn7zqUtaYT58Vj-6005_dn0ms

(Quimicapontocom). Duração: 14'41"

3. ENTALPIA (H)

A entalpia, representada por H, é uma grandeza que expressa o conteúdo de energia de um sistema, estando associada ao calor envolvido nos processos que ocorrem sob pressão constante. Ela permite acompanhar o estado energético do sistema antes e depois de uma transformação ou reação química.

3.1 Variação de entalpia (ΔH)

A variação de entalpia, indicada por ΔH , representa a quantidade de calor trocada em uma transformação química ou física. É calculada pela diferença entre a entalpia final ou do produto (depois da reação) e a entalpia inicial ou do reagente (antes da reação) do sistema, de acordo com a expressão:

COEFICIENTE x ÍNDICE (SUBSCRITO)

COEFICIENTE

- Número que fica antes da fórmula.
- Indica quantidade de moléculas ou mols.
- Pode ser alterado para balancear.



ÍNDICE (SUBSCRITO)

- Número pequeno dentro da fórmula.
- Indica quantidade de átomos no composto.
- Não pode ser alterado no balanceamento.

Exemplos

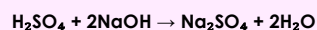
3CO₂

- 3 = coeficiente → 3 moléculas de CO₂
- 2 = índice → 2 átomos de O por molécula

Total de átomos:

C: 3 × 1 = 3 átomos

O: 3 × 2 = 6 átomos



COEFICIENTES

- 1 antes do H₂SO₄
- 2 antes de NaOH
- 1 antes do Na₂SO₄
- 2 antes de H₂O

ÍNDICES (SUBSCRITOS)

- **H₂SO₄**
 - 2 indica 2 átomos de H
 - 1 indica 1 átomo de S
 - 4 indica 4 átomos de O
- **2NaOH**
 - 1 indica 1 átomo de Na
 - 1 indica 1 átomos de O
 - 1 indica 1 átomos de H
- **Na₂SO₄**
 - 2 indica 2 átomos de Na
 - 1 indica 1 átomo de S
 - 4 indica 4 átomos de O
- **H₂O**
 - 2 indica 2 átomos de H
 - 1 indica 1 átomos de O

⚠ IMPORTANTE

O coeficiente multiplica toda a fórmula, inclusive os índices subscritos.

$$\Delta H = H_f - H_i$$

ou

$$\Delta H = H_p - H_R$$

Onde:

ΔH : Variação de entalpia

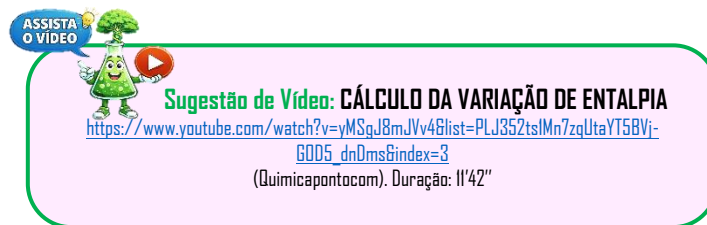
H_i : entalpia inicial; H_R : entalpia do reagente

H_f : entalpia final; H_p : entalpia do produto

O sinal do ΔH indica se o sistema libera ou absorve energia durante o processo. O ΔH pode apresentar valor positivo ou negativo.

ΔH positivo ($\Delta H > 0$): processo endotérmico - o sistema absorve calor

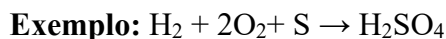
ΔH negativo ($\Delta H < 0$): processo exotérmico - o sistema libera calor.



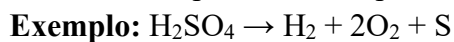
3.2 Tipos de entalpia

O tipo de entalpia de uma reação química está relacionado ao fato de a reação liberar ou absorver energia.

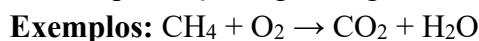
Entalpia de Formação: É a quantidade de energia absorvida ou liberada quando um mol de substâncias simples reage. O produto final da reação é uma única substância composta.



Entalpia de decomposição: É a quantidade de energia absorvida ou liberada quando um mol de uma substância composta é decomposta. O produto da reação são várias substâncias simples.



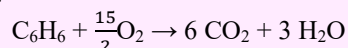
Entalpia de combustão: É a quantidade de energia envolvida na queima de 1 mol de uma dada substância na presença do gás oxigênio.



Entalpia de neutralização: É a quantidade de energia liberada ou absorvida quando um mol de hidrônio (H^+) reage com um mol de hidróxido (OH^-), quando uma solução ácida é misturada a uma solução básica.



Exemplo: Calcule o valor da entalpia de combustão de um mol do benzeno (C_6H_6) sabendo que ele apresenta entalpia de formação no estado líquido igual a $+49$ kJ/mol, que o CO_2 gasoso apresenta -394 kJ/mol e que o valor da água líquida é de -286 kJ/mol.



Resolução:

1°- calcular a entalpia dos produtos (H_P): Para calcular a entalpia dos produtos, primeiro se multiplica o coeficiente de cada substância. Em seguida os valores obtidos nas multiplicações devem ser somados. O resultado obtido a partir da soma é a entalpia dos produtos.

$$H_P = 6CO_2 + 3H_2O$$

$$H_P = 6.(-394) + 3.(-286)$$

$$H_P = (-2364) + (-858)$$

$$H_P = -2364 - 858$$

$$H_P = -3222 \text{ KJ.mol}^{-1}$$

2°- calcular a entalpia dos reagentes (H_R): O cálculo da entalpia dos reagentes é obtido seguindo o mesmo procedimento adotado para encontrar a entalpia dos produtos.

Como o $O_2(g)$ é uma substância simples, sua entalpia de formação é igual a 0.

$$H_R = 1.C_6H_6 + \frac{15}{2}O_2$$

$$H_R = 1.(+49) + \frac{15}{2}(0)$$

$$H_R = +49 + 0$$

$$H_R = +49 \text{ KJ.mol}^{-1}$$

3°- Calcular a variação da entalpia do processo: Para encontrar o valor da variação de entalpia, basta subtrair a entalpia do produto pela entalpia do reagente.

$$\Delta H = H_P - H_R$$

$$\Delta H = -3222 - (+49)$$

$$\Delta H = -3222 - 49$$

$$\Delta H = -3271 \text{ KJ.mol}^{-1}$$

O valor da entalpia de combustão de um mol do benzeno (C_6H_6) é igual a -3271 KJ.mol⁻¹

4. TIPOS DE REAÇÕES QUANTO AO CALOR

As reações químicas podem ser classificadas, quanto ao calor envolvido, em dois tipos principais.

4.1 Reação exotérmica ($\Delta H < 0$)

A reação exotérmica é aquela em que ocorre liberação de calor para o meio, ou seja, do sistema para a vizinhança (Figura 2.1).

Nesse tipo de reação, a entalpia inicial do sistema é sempre maior que a final ($H_i > H_f$), uma vez que, durante a transformação, ocorre transferência de energia do sistema para a vizinhança, como consequência, a variação de entalpia apresentará valor negativo ($\Delta H -$).

A respiração é um exemplo de reação exotérmica e pode ser percebida ao se colocar a mão próxima ao nariz durante a respiração, nota-se que há saída do calor no momento da expiração.

Na natureza, durante o resfriamento de 18 g (1 mol) de água no estado líquido, são liberados aproximadamente 7,3 kJ de energia para que ocorra a solidificação, isto é, a passagem da água do estado líquido para o estado sólido, o que pode ser representado da seguinte maneira:



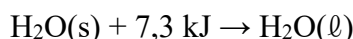
De maneira geral, os processos exotérmicos podem ser representados da seguinte maneira:

substâncias no estado inicial → substâncias no estado final + calor

4.2 Reação endotérmica ($\Delta H > 0$)

A reação endotérmica é aquela em que ocorre absorção de calor do meio. Nesse tipo de reação, a entalpia inicial do sistema é menor que a final ($H_i < H_f$), uma vez que ocorre transferência de energia da vizinhança para o sistema ao longo do processo (Figura 1.5). Sendo assim, a variação de entalpia apresentará valor positivo ($\Delta H +$).

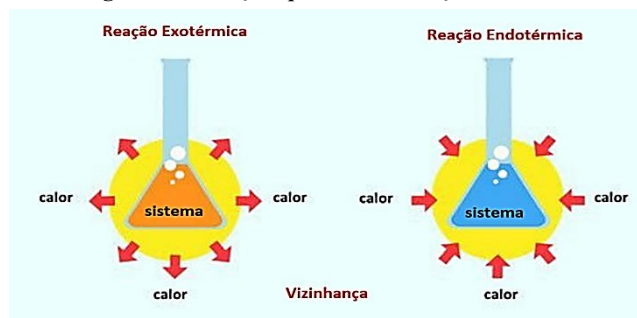
A fusão do gelo é um exemplo de reação endotérmica. Durante a fusão a energia na forma de calor da vizinhança é absorvida pela água que aquece, resultando no derretimento do gelo. Na natureza, cada 18 g de água (1 mol) precisa absorver cerca de 7,3 kJ (7,3 quilojoule) da energia proveniente do ambiente para passar do estado sólido para o estado líquido, o que pode ser representado da seguinte forma:



De maneira geral, os processos endotérmicos podem ser representados por:

substâncias no estado inicial + calor → substâncias no estado final

Figura 2.1: Reação química em função do calor



Fonte: Adaptado de Batista (2026)

ASSISTA O VÍDEO



Sugestão de Vídeo: CALOR DE FORMAÇÃO - CALOR DE COMBUSTÃO - CALOR DE NEUTRALIZAÇÃO - CALOR DE DISSOLUÇÃO

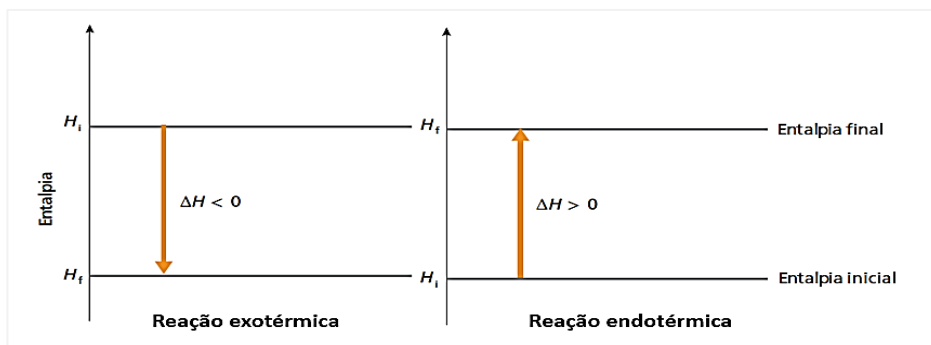
https://www.youtube.com/watch?v=KjHAUIdy40Y&list=PLJ352tsIMn7zqUtaYT58Vj-60D5_dnDms&index=4

(Quimicapontocom). Duração: 15'47"

5. DIAGRAMAS DE ENERGIA

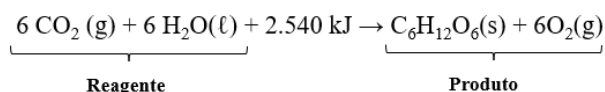
Os diagramas de energia são representações gráficas que permitem visualizar o comportamento energético de uma reação (Figura 2.2). Neles são indicados a energia dos reagentes, a energia dos produtos e a variação de entalpia (ΔH) do processo, facilitando a compreensão das diferenças energéticas entre os estados inicial e final da reação.

Figura 2.2: Diagrama de variação de entalpia em processos exotérmicos e endotérmicos.



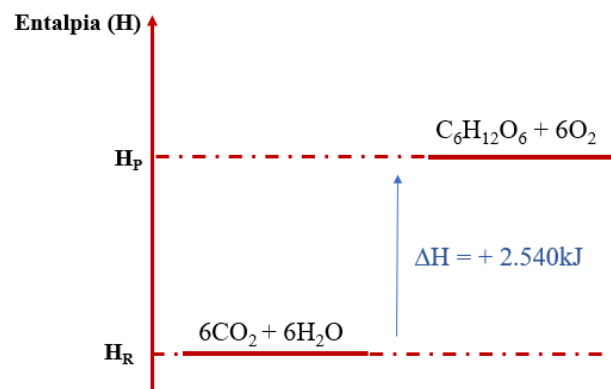
Fonte: CHEMELLO (2024).

Ao observar a reação de fotossíntese:



Esse processo é um exemplo de reação endotérmica, pois para formação de 1 mol de glicose e 6 mol de gás oxigênio a partir da reação de 6 mol de gás carbônico e 6 mol de água, são absorvidos 2.540 kJ de energia. A variação de entalpia pode ser representada no diagrama abaixo (Figura 2.3).

Figura 2.3: Diagrama de variação de entalpia da fotossíntese.



Fonte: Os autores.

A partir dessa informação é possível calcular, por regra de três, a energia absorvida para qualquer quantidade de glicose formada na fotossíntese.

Exemplo: Para formar 12 g de glicose durante o processo de fotossíntese, quanta energia seria necessária?

Resolução:

A cada 1 mol de $C_6H_{12}O_6$ são necessários 2540 kJ de energia (1 mol ----- 2540 kJ)

Precisamos encontrar inicialmente quantos gramas (massa molar) de glicose ($C_6H_{12}O_6$) estão contidos em 1 mol.

C.6 + H.12 + O.6

12.6 + 1.12 + 16.6

72 + 12 + 96

180g

Logo, 1 mol de glicose contém 180g

Vamos então para a regra de três

180g (1 mol) -----2540 kJ

12g ----- x

x = 169,3 kJ

Então, para cada 12 g de glicose formada, são necessários 169,3 kJ de energia.

6. LEI DE HESS

A Lei de Hess, proposta pelo químico e médico Germain Henri Hess (1802–1850), estabelece que a variação de entalpia de uma reação depende apenas do estado inicial e do estado final do sistema, não dependendo do caminho percorrido ou do número de etapas intermediárias, conforme a expressão abaixo:

$$\Delta H = H_f - H_i$$

Dessa forma, a variação de entalpia global de uma reação pode ser determinada a partir da soma das variações de entalpia de reações intermediárias.

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2$$

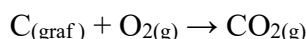
Onde:

ΔH = Variação de entalpia global

ΔH_1 = variação de entalpia da reação 1

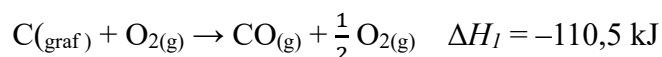
ΔH_2 = Variação de entalpia da reação 2

Na reação de combustão do carbono no estado sólido, representado por $C_{(graf)}$, com formação de dióxido de carbono:

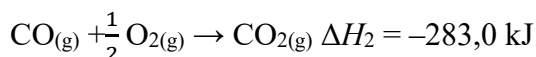


Considere que essa reação acontece em duas etapas, nas mesmas condições de temperatura e pressão:

Etapa 1: Produção de monóxido de carbono



Etapa 2: Produção de dióxido de carbono a partir do monóxido de carbono

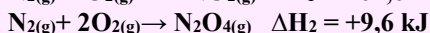
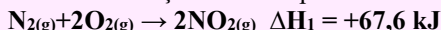


A equação química da reação global será a soma das equações das etapas intermediárias:

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2$$

ΔH da reação 1	ΔH_1	$\text{C}(\text{graf}) + \text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{CO}(g) + \frac{1}{2} \text{O}_{2(g)}$	$\Delta H_1 = -110,5 \text{ kJ}$	$\Delta H = (-110,5) + (-283,0)$ $\Delta H = -110,5 - 283,0$ $\Delta H = -393,5 \text{ kJ}$
ΔH da reação 2	ΔH_2	$\text{CO}(g) + \frac{1}{2} \text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{CO}_{2(g)}$	$\Delta H_2 = -283,0 \text{ kJ}$	
ΔH global	$\Delta H =$	$\text{C}(\text{graf}) + \text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{CO}(g)$	$\Delta H_1 = -393,5 \text{ kJ}$	

Exemplo: (Fuvest-SP) Com base nas variações de entalpia associadas às reações a seguir:



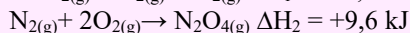
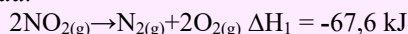
Pode-se prever que a variação de entalpia associada à reação de dimerização do NO_2 será igual a:



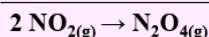
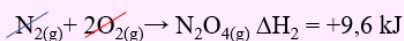
Resolução: a questão será resolvida em três passos.

Passo 1: Inverter a primeira equação. Isso porque o $\text{NO}_{2(g)}$ precisa passar para o lado dos reagentes, conforme a equação global apresentada na questão. É importante lembrar que ao inverter a reação o ΔH_1 também inverte o sinal, passando para negativo.

A segunda equação é conservada.



Passo 2: Observe que $\text{N}_{2(g)}$ aparece nos produtos e reagentes e o mesmo acontece com 2 mol de $\text{O}_{2(g)}$, sendo assim eles se anulam, resultando na equação global ($2 \text{NO}_{2(g)} \rightarrow \text{N}_2\text{O}_{4(g)}$).



Passo 3: Agora devemos somar as entalpias das equações.

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2$$

$$\Delta H = -67,6 \text{ kJ} + 9,6 \text{ kJ}$$

$$\Delta H = -58 \text{ kJ}$$

Como a variação de entalpia associada à reação de dimerização do NO_2 é negativa ($\Delta H < 0$), trata-se de uma reação exotérmica, com liberação de calor. Nesse processo, são liberados 58 kJ de energia ($\Delta H = -58 \text{ kJ}$) quando a reação ocorre.



Sugestão de Vídeo: LEI DE HESS - TERMOQUÍMICA

https://www.youtube.com/watch?v=M0KtSgLMKuo&list=PLJ352tsIMn7zqUtaYT58Vj-6005_dnDms&index=5

(Quimicapontocom). Duração: 14'40"

7. ENTALPIA DE LIGAÇÃO QUÍMICA

Entalpia de ligação é a variação de entalpia (ΔH) envolvida na quebra de 1 mol de determinado tipo de ligação química entre dois átomos de uma substância no estado gasoso à pressão constante.

Na molécula de hidrogênio, para quebrar 1 mol de ligações H–H, são necessários 436 kJ.



Quanto maior a entalpia de ligação, mais forte é a **ligação química** e mais estável é a molécula.

Em uma reação química a quebra de ligações absorve energia, enquanto a formação de ligações libera energia.

A variação de entalpia (ΔH) de uma reação pode ser estimada pela soma das variações de entalpia entre as ligações quebradas e ligações formadas, conforme a expressão abaixo:

$$\Delta H = \sum \Delta H_{(\text{ligações quebradas})} + \sum \Delta H_{(\text{ligações formadas})}$$

A tabela a seguir apresenta os dados de energia de ligação que correspondem a valores médios de entalpias de ligação (Tabela 2.1).



Ligação química

As ligações químicas podem ser de dois tipos:

1. Ligações intramoleculares: São aquelas que unem átomos para formar moléculas ou compostos. São ligações fortes que necessitam de alta demanda de energia para serem quebradas, elas são responsáveis pelas propriedades químicas das substâncias e são classificadas em:

Ligação covalente: Ocorre quando os átomos compartilham elétrons para se estabilizarem, geralmente é observada entre ametais.

Ligação iônica: Ocorre quando há transferência de elétrons entre os átomos, formando íons positivos (íon Cation) e negativos (íon ânion) que se atraem. É observada entre metal e ametal.

Ligação metálica: Ocorre entre átomos de metais, que compartilham elétrons livres em uma "nuvem eletrônica".

2. Ligações intermoleculares ou forças intermoleculares: ocorrem entre moléculas já formadas. São ligações fracas que não demandam grande quantidade de energia para as suas quebras, são responsáveis por propriedades físicas das substâncias como o ponto de ebulição e o ponto de fusão.

De acordo com a intensidade, as ligações/forças intermoleculares são classificadas em:

Ligação de Hidrogênio: Ligação de forte intensidade.

Dipolo Permanente ou dipolo-dipolo: Ligação de média intensidade.

Dipolo Induzido ou Forças de London: Ligação de fraca intensidade.

O conjunto das forças intermoleculares pode ser denominado de Forças de Van der Waals.

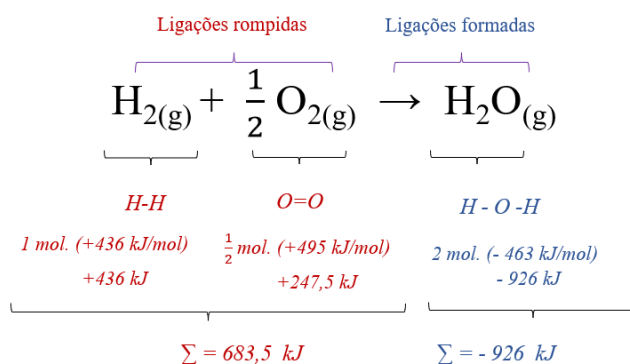
Tabela 2.1: Valores experimentais das energias de ligação médias (em kJ mol⁻¹ a 25 °C, 1 bar).

Ligação química	ΔH_{lig}	Ligação química	ΔH_{lig}	Ligação química	ΔH_{lig}
C—H	413	C—C	348	C—N	293
C—O	358	N—H	391	N—N	163
N—O	201	O—H	463	O—O	146
C—Cℓ	328	F—H	567	I—I	151
H—H	436	H—Cℓ	431	Si—H	323
Si—O	368	S—S	266	C=C	614
N=N	418	O=O	495	C=N	615
C=O	799	N=O	607	C≡C	839
C≡N	891	N≡N	941	C—F	485

Fonte: BROWN *et al* (2016).

Na reação de formação da água, $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$, as ligações presentes nas moléculas do gás hidrogênio e gás oxigênio são rompidas para que sejam formadas duas ligações O–H, que compõem a molécula de água. Durante a quebra das ligações dos reagentes ocorre consumo de energia; por outro lado, na formação das novas ligações na molécula de água há liberação de energia.

A partir do conhecimento da quantidade de energia necessária para romper e formar as ligações químicas envolvidas na reação, é possível calcular a variação de entalpia da reação (ΔH), conforme exemplificado a seguir.



$$\Delta H = \Sigma \Delta H(\text{ligações quebradas}) + \Sigma \Delta H(\text{ligações formadas})$$

$$\Delta H = 683,5 + (-926)$$

$$\Delta H = 683,5 - 926$$

$$\Delta H = 242,5 \text{ kJ}$$



Sugestão de Vídeo: ENERGIA DE LIGAÇÃO - TERMOQUÍMICA

https://www.youtube.com/watch?v=znmPW7bfYcE&list=PLJ352tsIMn7zqUtaYT58Vj-6005_dn0ms&index=6

(Quimicapontocom). Duração: 13'59"

ATIVIDADES

Questão 1. (UFBA) Em relação aos aspectos energéticos envolvidos nas transformações químicas, pode-se afirmar:

- a) a queima da parafina de uma vela exemplifica um processo endotérmico.
- b) a vaporização da água de uma piscina pela ação da luz solar exemplifica um processo endotérmico.
- c) a combustão do álcool hidratado em motores de automóveis exemplifica um processo endotérmico.
- d) a formação de um iceberg a partir da água do mar exemplifica um processo endotérmico.
- e) o valor de ΔH de uma transformação depende exclusivamente do estado físico dos reagentes.

Questão 2. (Fatec) Considere as afirmações a seguir, segundo a Lei de Hess.

I – O calor de reação (ΔH) depende apenas dos estados inicial e final do processo.

II – As equações termoquímicas podem ser somadas como se fossem equações matemáticas.

III – Podemos inverter uma equação termoquímica desde que se inverta o sinal de ΔH .

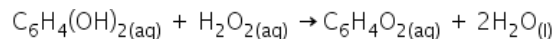
IV – Se o estado final do processo for alcançado por vários caminhos, o valor de ΔH dependerá dos estados intermediários através dos quais o sistema pode passar.

Conclui-se que:

- a) as afirmações I e II são verdadeiras.
- b) as afirmações II e III são verdadeiras.
- c) as afirmações I, II e III são verdadeiras.
- d) todas são verdadeiras.
- e) todas são falsas.

Questão 3. (Fuvest) O besouro-bombardeiro espanta seus predadores expelindo uma solução quente. Quando ameaçado, em seu organismo ocorre a mistura de soluções aquosas de

hidroquinona, peróxido de hidrogênio e enzimas, que promovem uma reação exotérmica, representada por:



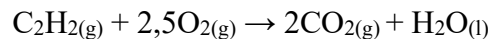
O calor envolvido nessa transformação pode ser calculado, considerando-se os processos:

$C_6H_4(OH)_2(aq) \rightarrow C_6H_4O_2(aq) + H_2(g)$	$\Delta H^0 = +177 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
$H_2O(l) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O_2(aq)$	$\Delta H^0 = +95 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
$H_2O(l) \rightarrow \frac{1}{2}O_2(g) + H_2(g)$	$\Delta H^0 = +286 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

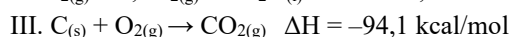
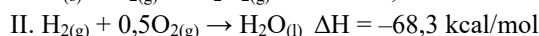
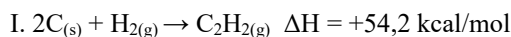
Assim sendo, o calor envolvido na reação que ocorre no organismo do besouro é

- a) $-558 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- b) $-204 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- c) $+177 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- d) $+558 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- e) $+585 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

Questão 4. (UFMG) O acetileno (C_2H_2) usado nos maçaricos de “solda a oxigênio” queima conforme a equação:



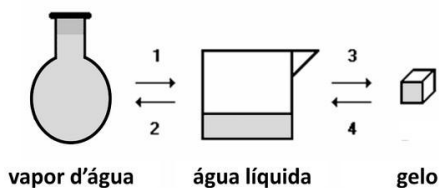
Dados:



A diferença de entalpia para a combustão completa do acetileno será:

- a) $-188,2 \text{ kcal/mol}$
- b) -330 kcal/mol
- c) $-310,7 \text{ kcal/mol}$
- d) $-376,4 \text{ kcal/mol}$
- e) -115 kcal/mol

Questões 5. (UFRS) Considere as transformações a que é submetida uma amostra de água, sem que ocorra variação da pressão externa:

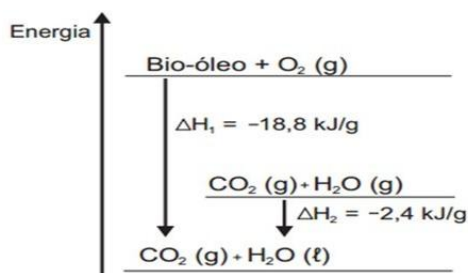


Mudanças de estado físico da água

Pode-se afirmar que:

- as transformações 3 e 4 são exotérmicas.
- as transformações 1 e 3 são endotérmicas.
- a quantidade de energia absorvida em 3 é igual à quantidade liberada em 4.
- a quantidade de energia liberada em 1 é igual à quantidade liberada em 3.
- a quantidade de energia liberada em 1 é igual à quantidade absorvida em 2.

Questão 6 (Enem 2015) O aproveitamento de resíduos florestais vem se tornando cada dia mais atrativo, pois eles são uma fonte renovável de energia. A figura representa a queima de um bio-óleo extraído do resíduo de madeira, sendo ΔH_1 a variação de entalpia devido à queima de 1g desse bio-óleo, resultando em gás-carbônico e água líquida, e ΔH_2 a variação de entalpia envolvida na conversão de 1g de água no estado gasoso para o estado líquido.



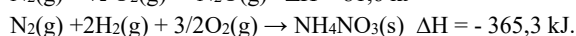
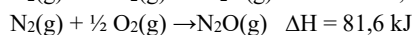
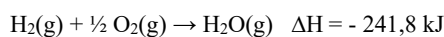
A variação de entalpia, em kJ, para a queima de 5 g desse bio-óleo resultando em CO_2 (gasoso) e H_2O (gasoso) é:

- 106
- 94,0
- 82,0
- 21,2
- 16,4

Questão 7. (UESPI) O N_2O é conhecido como gás hilariante, pois age sobre o sistema nervoso central, provocando riso de forma histérica. Esse gás pode ser produzido pela decomposição térmica do nitrato de amônio, de acordo com a equação:

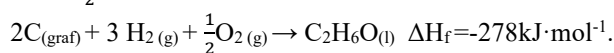
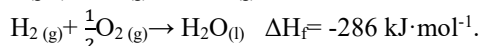
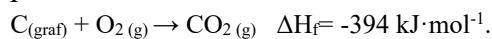


Utilizando os dados termoquímicos abaixo, calcule a quantidade de calor liberada nesse processo de obtenção do gás hilariante.



- 205,1 kJ
- 36,7 kJ
- 146,3 kJ
- 95,4 kJ
- 46,7 kJ

Questão 8. (Mackenzie/2022) De acordo com a Lei de Hess, “A variação de entalpia (ΔH) em uma reação química depende apenas dos estados inicial e final da reação, independentemente do número de reações.” Desse modo, a partir das equações termoquímicas fornecidas abaixo e aplicando os princípios dessa lei, o valor da entalpia-padrão de combustão do etanol, é da ordem de:

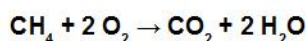


- 228 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.
- 342 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.
- 684 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.
- 1368 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.
- 2736 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Questão 9. Observe a tabela referente aos valores de entalpias de ligação:

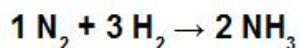
Ligação	ΔH (kJ.mol ⁻¹)
C–H	414
C=O	716
O–H	439
C–O	339
C–C	368
O=O	500

Com base nos valores fornecidos, qual será o valor do ΔH da combustão de 1 mol de metano?



- a) – 532 kJ.
- b) – 632 kJ.
- c) + 432 kJ.
- d) + 332 kJ.
- e) + 732 kJ.

Questão 10. (UNCISAL) No processo de Haber-Bosch, a amônia é obtida em alta temperatura e pressão, utilizando ferro como catalisador. Essa amônia tem vasta aplicação como fonte de nitrogênio na fabricação de fertilizante e como gás de refrigeração. Dadas as energias de ligação, $\text{H} - \text{H} \rightarrow 436$ kJ/mol, $\text{N} \equiv \text{N} \rightarrow 944$ kJ/mol e $\text{H} - \text{N} \rightarrow 390$ kJ/mol, a entalpia de formação de 1 mol de amônia é:



- a) –88 kJ/mol.
- b) –44 kJ/mol.
- c) +44 kJ/mol.
- d) +88 kJ/mol.
- e) +600 kJ/mol.

REFERÊNCIAS

BATISTA, C. **Mundo Educação**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/diluicao-solucoes.htm>>. Acesso em: 23 fev. 2026.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). **Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM 1998**. Brasília: INEP, 1998.

BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E.; MURPHY, C.; WOODWARD, P.; STOLTZFUS, M. **Química: a ciência central**. Tradução de Eloiza Lopez, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

CANTO, E. L.; CANTO LEITE, L. C.; CANTO, L. C. **Moderna Plus: química na abordagem do cotidiano**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2024.

CHEMELLO, E. **Moderna superação!: química**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2024.

MANUAL DA QUÍMICA. **Manual da Química – um guia para auxílio nos estudos de química**. Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/>>. Acesso em: 20 fev. 2026.

NERY, A. L. P.; LIEGEL, R. M.; AOKI, V. L. M. **Ser protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias: química**. SM Educação. 1. ed. São Paulo. 2024.

USBERCO, J.; SPITALERI, P. **Identidade Saraiva: química: área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias**: volume único: ensino médio. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2024.

QUESTÕES ENEM

Questão 1. (Enem 2014) A utilização de processos de biorremediação de resíduos gerados pela combustão incompleta de compostos orgânicos tem se tornado crescente, visando minimizar a poluição ambiental. Para a ocorrência de resíduos de naftaleno, algumas legislações limitam sua concentração em até 30 mg/kg para solo agrícola e 0,14 mg/L para água subterrânea. A quantificação desse resíduo foi realizada em diferentes ambientes, utilizando-se amostras de 500 g de solo e 100 mL de água, conforme apresentado no quadro.

Ambiente	Resíduo de naftaleno (g)
Solo I	$1,0 \times 10^{-2}$
Solo II	$2,0 \times 10^{-2}$
Água I	$7,0 \times 10^{-6}$
Água II	$8,0 \times 10^{-6}$
Água III	$9,0 \times 10^{-6}$

O ambiente que necessita de biorremediação é o(a):

- a) Solo I
- b) Solo II
- c) Água I
- d) Água II
- e) Água III

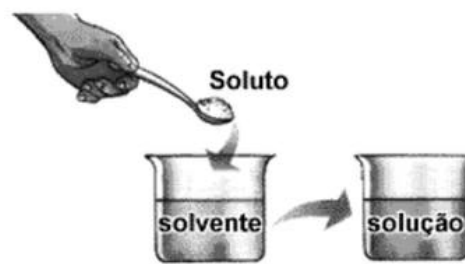
Questão 2. (ENEM 2009) O álcool hidratado utilizado como combustível veicular é obtido por meio da destilação fracionada de soluções aquosas geradas a partir da fermentação de biomassa. Durante a destilação, o teor de etanol da mistura é aumentado, até o limite de 96% em massa.

Considere que, em uma usina de produção de etanol, 800 kg de uma mistura etanol/água com concentração 20% em massa de etanol foram destilados, sendo obtidos 100 kg de álcool hidratado 96% em massa de etanol. A partir desses dados, é correto concluir que a destilação em questão gerou um resíduo com uma concentração de etanol em massa

- a) de 0%.
- b) de 8,0%.

- c) entre 8,4% e 8,6%.
- d) entre 9,0% e 9,2%.
- e) entre 13% e 14%.

Questão 3. (ENEM 2010) Ao colocar um pouco de açúcar na água e mexer até a obtenção de uma só fase, prepara-se uma solução. O mesmo acontece ao se adicionar um pouquinho de sal à água e misturar bem. Uma substância capaz de dissolver o soluto é denominada solvente; por exemplo, a água é um solvente para o açúcar, para o sal e para várias outras substâncias. A figura a seguir ilustra essa citação.



Disponível em: www.sobiologia.com.br. Acesso em: 27 abr. 2010.

Suponha que uma pessoa, para adoçar seu cafezinho, tenha utilizado 3,42 g de sacarose (massa molar igual a 342 g/mol) para uma xícara de 50 mL do líquido. Qual é a concentração final, em mol/L, de sacarose nesse cafezinho?

- a) 0,02
- b) 0,2
- c) 2
- d) 200
- e) 2000

Questão 4. (ENEM 2016) O soro fisiológico é uma solução aquosa de cloreto de sódio (NaCl) comumente utilizada para higienização ocular, nasal, de ferimentos e de lentes de contato. Sua concentração é 0,90% em massa e densidade igual a 1,00 g/mL. Qual massa de NaCl, em grama, deverá ser adicionada à água para preparar 500 mL desse soro?

- a) 0,45
- b) 0,90
- c) 4,50
- d) 9,00
- e) 45,00

Questão 5. (ENEM 2015) A cafeína é um alcaloide, identificado como 1,3,7-trimetilxantina (massa molar igual a 194 g/mol), cuja estrutura química contém uma unidade de purina, conforme representado. Esse alcaloide é encontrado em grande quantidade nas sementes de café e nas folhas de chá-verde. Uma xícara de café contém, em média, 80 mg de cafeína. Considerando que a xícara descrita contém um volume de 200 mL de café, a concentração, em mol/L, de cafeína nessa xícara é mais próxima de:

- a) 0,0004
- b) 0,002
- c) 0,4
- d) 2
- e) 4

Questão 6. (ENEM 2019) Nos municípios onde foi detectada a resistência do *Aedes aegypti*, o larvicida tradicional será substituído por outro com concentração de 10% (v/v) de um novo princípio ativo. A vantagem desse segundo larvicida é que uma pequena quantidade da emulsão apresenta alta capacidade de atuação, o que permitirá a condução de baixo volume de larvicida pelo agente de combate às endemias. Para evitar erros de manipulação, esse novo larvicida será fornecido em frascos plásticos e, para uso em campo, todo o seu conteúdo deve ser diluído em água até o volume final de um litro. O objetivo é obter uma concentração final de 2% em volume do princípio ativo. Que volume de larvicida deve conter o frasco plástico?

- a) 10mL
- b) 50mL

- c) 100mL
- d) 200mL
- e) 500mL

Questão 7. (ENEM 2023) A bula de um determinado medicamento traz as seguintes informações:

Volume do frasco = 500 mL de solução
Composição:
Cloreto de potássio = 75 mg
Cloreto de sódio = 0,07 g
Glicose = 0,00008 kg

De acordo com as informações apresentadas na bula, a substância que se encontra em maior concentração e a não condutora de corrente elétrica, quando em solução aquosa, são, respectivamente,

- a) glicose e glicose.
- b) glicose e cloreto de sódio.
- c) cloreto de sódio e glicose.
- d) cloreto de potássio e glicose.
- e) cloreto de sódio e cloreto de potássio.

Questão 8. (ENEM 2024) O soro caseiro serve para combater a desidratação por meio da reposição da água e sais minerais perdidos, por exemplo, por diarreia. Uma receita simples para a sua preparação consiste em utilizar duas colheres grandes (de sopa) de açúcar e duas colheres pequenas (de café) de sal de cozinha, dissolvidos em 2 L de água fervida, obtendo-se uma solução com concentração de íon sódio de 1,4 mg/mL.

Considere as massas molares: NaCl = 58,5 g/mol; Na = 23 g/mol.

Qual é o valor mais próximo da massa, em grama, de cloreto de sódio presente em uma única colher pequena?

- a) 0,7 g
- b) 1,8 g
- c) 2,8 g
- d) 3,6 g
- e) 7,0 g

Questão 9. (ENEM 2024)**Brasil fecha 2020 entre os maiores recicladores de latas de alumínio**

A bauxita contém alumina (Al_2O_3), que é a matéria-prima para produção do alumínio (Al). De forma geral, são necessários 50 kg de bauxita para produzir 10 kg de alumínio. O Brasil fechou 2020 como um dos principais líderes mundiais em reciclagem de latas de alumínio. De acordo com levantamento da Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio (Abralatas), o país obteve um índice de reciclagem de 97,4%, de um total de $4,0 \times 10^5$ toneladas de latas vendidas. Considere que a lata é constituída de alumínio puro.

Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br>. Acesso em: 30 nov. 2021 (adaptado).

Levando em conta apenas a reciclagem de latas, qual é o valor mais próximo da massa de bauxita, em tonelada, que deixou de ser extraída da natureza em 2020 no Brasil?

- a) $1,0 \times 10^4$ ton
- b) $3,9 \times 10^5$ ton
- c) $5,0 \times 10^5$ ton
- d) $1,9 \times 10^6$ ton
- e) $2,0 \times 10^7$ ton

Questão 10. (ENEM 2024) O biogás é uma alternativa energética muito importante, pois, além de reduzir a dependência por combustíveis fósseis, sua obtenção pode ser realizada a partir de resíduos da produção agroindustrial. Considere que o biogás produzido em um empreendimento de suinocultura contém 70% em volume de metano (massa molar 16 g/mol; volume molar 22 L/mol). Ele será utilizado para geração de energia em substituição ao etanol (massa molar 46 g/mol) em um gerador no qual 1 m³ de biogás de origem suína substitui 0,59 L de etanol anidro (densidade 0,78 g/mL).

Nessas condições, a massa de metano necessária para substituir 10 mol de etanol na produção de energia é mais próxima de

- a) 300 g.
- b) 400 g.
- c) 510 g.
- d) 590 g.
- e) 720 g.

Questão 11. (ENEM 2023) Existe no comércio um produto antimofa constituído por uma embalagem com tampa perfurada contendo cloreto de cálcio anidro, CaCl_2 . Uma vez aberto o lacre, essa substância absorve a umidade ambiente, transformando-se em cloreto de cálcio di-hidratado, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Considere a massa molar da água igual a 18 g mol⁻¹, e a massa molar do cloreto de cálcio anidro igual a 111 g mol⁻¹.

Na hidratação da substância presente no antimofa, o ganho percentual, em massa, é mais próximo de

- a) 14%
- b) 16%
- c) 24%
- d) 32%
- e) 75%

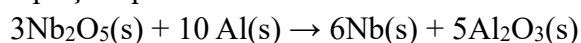
Questão 12. (ENEM 2023) O consumo exagerado de refrigerantes é preocupante, pois contribui para o aumento de casos de obesidade e diabetes. Considere dois refrigerantes enlatados, um comum e um diet, e que ambos possuam a mesma quantidade de aditivos, exceto pela presença de açúcar. O refrigerante comum contém basicamente água carbonatada e grande quantidade de açúcar; já o refrigerante diet tem água carbonatada e adoçantes, cujas massas são muito pequenas.

CAVAGIS, A. D. M.; PEREIRA, E. A.; OLIVEIRA, L. C. Um método simples para avaliar o teor de sacarose e CO₂ em refrigerantes. *Química Nova na Escola*, n. 3, ago. 2014 (adaptado).

Entre as duas versões apresentadas, o refrigerante comum possui

- a) maior densidade.
- b) menor viscosidade.
- c) maior volume de gás dissolvido.
- d) menor massa de solutos dissolvidos.
- e) maior temperatura de congelamento.

Questão 13. (ENEM 2025) O Brasil é o maior produtor mundial de nióbio (massa molar = 93 g mol^{-1}), metal utilizado na fabricação de vários tipos de aço: automotivos, estruturais e inoxidáveis. O processo utilizado na produção do nióbio é a redução aluminotérmica de Nb_2O_5 com excesso de 10% de Al (massa molar = 27 g.mol^{-1}), em relação à quantidade estequiométrica da reação, representada pela equação química:



Uma engenheira metalúrgica estimou a massa de alumínio necessária para produzir 9,3 kg de nióbio, nas condições descritas, para a produção de um lote de peças de aço encomendado por uma indústria, considerando um rendimento de 100%.

Disponível em: www.cbmm.com.br. Acesso em: 17 out. 2015 (adaptado).

A massa de alumínio, em quilograma, estimada pela engenheira é mais próxima de

- a) 2,7 kg.
- b) 3,0 kg.
- c) 4,1 kg.
- d) 4,5 kg.
- e) 5,0 kg

Questão 14 (ENEM 2025) Apaixonada por culinária e química, uma chefe de cozinha calculou que, para promover o crescimento adequado da massa durante o cozimento de um bolo a $180 \text{ }^\circ\text{C}$ (453 K) e $1,00 \text{ atm}$, ela precisaria utilizar uma quantidade de fermento químico suficiente para produzir um volume de gás igual a $4,00 \text{ L}$. Com esse objetivo, ela escolheu utilizar o bicarbonato de amônio, um composto

que, sob aquecimento, degrada-se em três gases distintos, que são os responsáveis pelo crescimento da massa. A decomposição do bicarbonato de amônio ocorre conforme a equação química apresentada e, nas condições do cozimento, seu rendimento é de 80%.

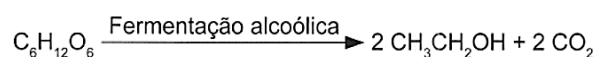
$\text{NH}_4\text{HCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{NH}_3(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
Considere que a mistura dos gases se comporta como gás ideal nas condições de cozimento utilizadas pela chefe.

Dados: Massa molar do $\text{NH}_4\text{HCO}_3 = 79 \text{ g.mol}^{-1}$ e $R = 0,082 \text{ atm.L.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

A massa, em grama, de bicarbonato de amônio que ela deve utilizar é mais próxima de

- a) 2,3 g.
- b) 3,5 g.
- c) 5,9 g.
- d) 6,8 g.
- e) 8,9 g

Questão 15. (ENEM 2021) A obtenção de etanol utilizando a cana-de-açúcar envolve a fermentação dos monossacarídeos formadores da sacarose contida no melão. Um desses formadores é a glicose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), cuja fermentação produz cerca de 50 g de etanol a partir de 100 g de glicose, conforme a equação química descrita.



Em uma condição específica de fermentação, obtém-se 80% de conversão em etanol que, após sua purificação, apresenta densidade igual a $0,80 \text{ g/mL}$. O melão utilizado apresentou 50 kg de monossacarídeos na forma de glicose.

O volume de etanol, em litro, obtido nesse processo é mais próximo de

- a) 16.
- b) 20.
- c) 25.
- d) 64.
- e) 100.

Questão 16. (ENEM 2023) Os combustíveis são materiais utilizados na produção de energia que, dependendo da sua composição, podem produzir diferentes substâncias. Por exemplo, numa queima completa, o hidrogênio se transforma em H_2O ; e o carbono, em CO_2 . O quadro apresenta as entalpias de combustão de alguns combustíveis nas condições padrão.

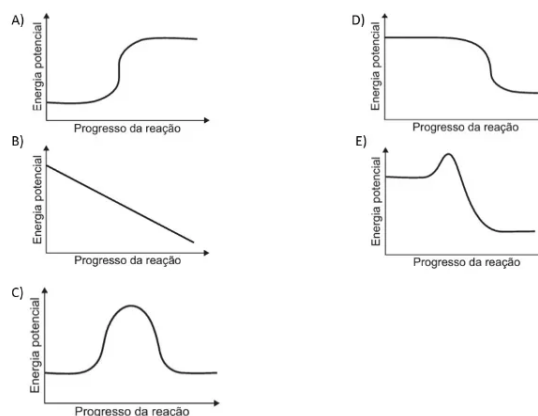
Combustível	Fórmula	Entalpia padrão de combustão (kJ/mol)
Carbono	C	-394
Etino	C_2H_2	-1 300
Propano	C_3H_8	-2 220
Butano	C_4H_{10}	-2 878
Octano	C_8H_{18}	-5 471

ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. São Paulo: Bookman, 2018 (adaptado).

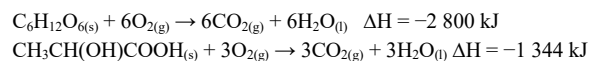
Visando a redução do impacto ambiental, qual dos combustíveis listados libera maior quantidade de energia com menor produção de CO_2 ?

- Carbono.
- Etino.
- Propano.
- Butano.
- Octano.

Questão 17. (ENEM 2022) Grande parte da atual frota brasileira de veículos de passeio tem tecnologia capaz de identificar e processar tanto o etanol quanto a gasolina. Quando queimados, no interior do motor, esses combustíveis são transformados em produtos gasosos, num processo com variação de entalpia menor que zero ($\Delta H < 0$). Esse processo necessita de uma energia de ativação, a qual é fornecida por uma centelha elétrica. O gráfico que esboça a variação da energia potencial no progresso da reação é representado por:



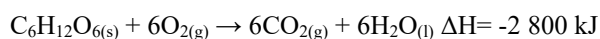
Questão 18. (ENEM 2019) Glicólise é um processo que ocorre nas células, convertendo glicose em piruvato. Durante a prática de exercícios físicos que demandam grande quantidade de esforço, a glicose é completamente oxidada na presença de O_2 . Entretanto, em alguns casos, as células musculares podem sofrer um déficit de O_2 e a glicose ser convertida em duas moléculas de ácido lático. As equações termoquímicas para a combustão da glicose e do ácido lático são, respectivamente, mostradas a seguir:



O processo anaeróbico é menos vantajoso energeticamente porque

- libera 112 kJ por mol de glicose.
- libera 467 kJ por mol de glicose.
- libera 2 688 kJ por mol de glicose.
- absorve 1 344 kJ por mol de glicose.
- absorve 2 800 kJ por mol de glicose.

Questão 19. (ENEM 2018) Por meio de reações químicas que envolvem carboidratos, lipídeos e proteínas, nossas células obtêm energia e produzem gás carbônico e água. A oxidação da glicose no organismo humano libera energia, conforme ilustra a equação química, sendo que aproximadamente 40% dela é disponibilizada para atividade muscular.



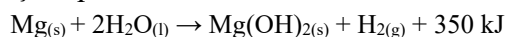
Considere as massas molares (em g mol^{-1}): $\text{H}=1$; $\text{C}=12$; $\text{O}=16$.

LIMA, L. M.; FRAGA, C.A. M.; BARREIRO, E. J. *Química na saúde*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2010 (adaptado).

Na oxidação de 1,0 grama de glicose, a energia obtida para atividade muscular, em quilojoule, é mais próxima de

- a) 6,2.
- b) 15,6.
- c) 70,0.
- d) 622,2.
- e) 1120,0.

Questão 20. (ENEM 2016) Atualmente, soldados em campo, seja em treinamento ou em combate, podem aquecer suas refeições, prontas e embaladas em bolsas plásticas, utilizando aquecedores químicos, sem precisar fazer fogo. Dentro dessas bolsas existe magnésio metálico em pó e, quando o soldado quer aquecer a comida, ele coloca água dentro da bolsa, promovendo a reação descrita pela equação química:



O aquecimento dentro da bolsa ocorre por causa da

- a) redução sofrida pelo oxigênio, que é uma reação exotérmica.
- b) oxidação sofrida pelo magnésio, que é uma reação exotérmica.
- c) redução sofrida pelo magnésio, que é uma reação endotérmica.
- d) oxidação sofrida pelo hidrogênio, que é uma reação exotérmica.
- e) redução sofrida pelo hidrogênio, que é uma reação endotérmica.

