

AS TRANSFORMAÇÕES DE ENERGIA NO CORPO HUMANO, DA
ALIMENTAÇÃO A ATIVIDADE FÍSICA.
Uma perspectiva de conhecimento integrado no Ensino de Ciências.

AS TRANSFORMAÇÕES DE ENERGIA NO CORPO HUMANO, DA
ALIMENTAÇÃO A ATIVIDADE FÍSICA.
Uma perspectiva de conhecimento integrado no Ensino de Ciências.

José Luiz Santana Júnior
Gilmar Pereira de Souza

2019

Sumário

Prefácio.....	6
Apresentação.....	7
A Estrutura do livro	10
Capítulo 1: Energia e Termodinâmica.....	11
Particularidades e discussões do ensino de energia nas ciências da natureza	11
Conceitos fundamentais	12
Aprofundando no assunto.....	16
O que é a primeira lei da Termodinâmica? Ela se aplica aos fenômenos biológicos?	16
Entalpia é o mesmo que Calor?.....	21
E a segunda lei? O que é Entropia?	23
Para ler e refletir	26
Texto 1: Programa de computador mede Entropia em obras de arte	26
Texto 2: O Surgimento das primeiras Células e da Vida na Terra.....	26
Questões	27
O que é energia livre de Gibbs? Qual sua relação com os processos espontâneos?.....	28
Caixa de dedução 2.....	29
Questão emergente: O fenômeno da Combustão Humana Espontânea.	31
Capítulo 2: Energia e alimentação.....	33
Como são determinadas as Calorias dos alimentos?.....	33
Sugestão de atividade em sala de Aula: Valor energético e rótulos alimentícios	37
Sugestão de atividade alternativa: Ação enzimática na digestão dos nutrientes.....	38
De onde vem a energia possibilitada pelos alimentos?	39

Sugestão de atividade em sala de Aula: Energia possibilitada por um processo de oxidação dos nutrientes.....	41
Energia global x Energia útil	42
Questão emergente: Por que os rótulos alimentícios expressam os valores energéticos em formas entálpicas (energia global) e não em termo de energia livre de Gibbs (energia útil)?.....	43
Capítulo 3: Energia e Metabolismo	44
Interpretação oxidativa da respiração celular	46
Dissipação da energia e rendimento da respiração celular	47
Se o rompimento de uma ligação química demanda energia, como a clivagem de ATP em ADP e fosfato inorgânico libera energia?	51
Capítulo 4: Energia e Atividade Física.....	54
Equivalentes Metabólicos da Atividade Física (MET)	60
Tranferência de Calor pelo corpo humano.....	63

Figura 1: Representação das regiões em que ocorrem o fluxo de energia e os três tipos de sistemas.	13
Figura 2: Fluxo de energia ao longo de um ecossistema.....	28
Figura 3: Desenho esquemático de um Calorímetro usado para determinação de Calorias dos alimentos	34
Figura 4: Valor energético e composição percentual da castanha de caju.	37
Figura 5: Modelos moleculares da glicose, oxigênio molecular, gás carbônico e água.	41
Figura 6: Representação usual da clivagem do ATP	52
Figura 7: Calorímetro Humano.	58
Figura 8: Calorímetro indireto.	59

Prefácio

Apresentação

O interesse pela temática energia foi emergente durante toda minha graduação, em que sempre questionava a respeito da forma fragmentada como esse conceito era abordado dentro das diversas disciplinas componentes da grade curricular do curso de licenciatura em Química, contraditoriamente com seu potencial integrador e unificador, como apontado pela literatura pertinente. Conceitos relacionados aos aspectos energéticos foram abordados em minha formação de licenciado em Química praticamente em todas as disciplinas específicas da Química, Bioquímica e Física. No entanto, era notável que o conceito de energia não era tratado de maneira integrada em todas essas disciplinas. Recordo-me que em uma aula de uma das disciplinas do ciclo básico de Química questionei um professor se a fotossíntese era um processo endotérmico? Ele me respondeu com um semblante de incerteza que processos biológicos eram diferentes de processos químicos. A resposta dada pelo professor possivelmente mostra uma diferenciação do tratamento energético em âmbitos disciplinares distintos, de maneira a se compreender implicitamente que a energia se comporta diferente em sistemas químicos e biológicos e que cada um deles tem sua própria “energia”. Mesmo dentro do próprio domínio das disciplinas da Química, ficava evidente que o tratamento do conceito de energia é comumente feito de maneira distinta e fragmentada em determinados conteúdos. Durante minha formação obtive as seguintes impressões em relação à abordagem fragmentada e polissêmica do conceito de energia:

- A energia na forma de Calor despreendido nas transformações químicas foi mais enfatizada no ensino de Termoquímica como parâmetro para classificar as reações exotérmicas e endotérmicas.
- Na parte de Cinética o tratamento da energia era sublinhado sob a perspectiva da energia de ativação.
- Quando estudávamos equilíbrio químico utilizávamos a energia livre de Gibbs como parâmetro de espontaneidade das reações químicas.
- No estudo dos gases a energia interna que era protagonizada.

➤ Já no conteúdo de eletroquímica os aspectos energéticos foram destacados sob o ponto de vista da diferença de potencial resultante da somatória de semi-reações de oxirredução.

Percebam que a energia é um ponto central em cada um desses conteúdos, no entanto pouca relação é feita entre eles, usando o próprio conceito como eixo integrador. A minha inquietação em compreender as diferenças e semelhanças dos aspectos e transformações energéticas dentro da Química me levou a elaborar a primeira versão do meu anteprojeto de pesquisa para o mestrado em Ensino de Ciências. O anteprojeto deu continuação ao meu Trabalho de conclusão de curso “Princípios de Química: uma abordagem Termodinâmica”, em que desenvolvi um material que contemplava propostas de como se trabalhar conteúdos de Química, como interações intermoleculares, ligações químicas e eletroquímica, sob uma perspectiva integrada pelos aspectos energéticos envolvidos. Apesar do objeto da primeira versão do meu projeto de pesquisa sinalizar para o escopo do Ensino de Química especificamente, as leituras e a pesquisa sobre a temática energia foram apontando caminhos mais transponíveis dentro do ensino de ciências. O projeto de pesquisa foi conduzido para uma proposta mais abrangente, envolvendo uma abordagem integrada entre as Ciências da Natureza. Durante as leituras preliminares para a elaboração do projeto de pesquisa, conheci os trabalhos do BEST (Boston Energy in Science Teaching), um grupo de pesquisa dos Estados Unidos composto por pesquisadores de diversas áreas das ciências naturais e do ensino de ciências, que tem como missão desenvolver materiais didáticos que contemplam os aspectos energéticos no ensino de ciências nos diversos níveis, de forma a privilegiar uma abordagem integrada entre os domínios disciplinares. Os Trabalhos do BEST são desenvolvidos em parceria com a universidade de Massachussets e escolas públicas de Boston, buscando qualificar e orientar os professores como trabalhar os aspectos energéticos no ensino de ciências sob uma perspectiva integrada e fluida entre os domínios disciplinares das ciências naturais. Os diversos Trabalhos do BEST contribuíram para a proposta do livro “Teaching and Learning of Energy in K-12 Education” lançado em 2014, que apresenta possibilidades de como se trabalhar o conceito de energia na educação K-12. O livro conta com a contribuição de diversos autores de várias áreas, como

Física, Química e Biologia Molecular. Guardadas as devidas proporções, inevitavelmente a perspectiva de integração entre as Ciências da Natureza, por meio dos aspectos energéticos proposta por esse grupo de pesquisa, acabou influenciando o desenvolvimento do nosso trabalho. Desenvolvemos um curso de curta duração oferecido a professores de ciências em formação continuada com a temática energia no contexto de suas transformações desde a alimentação até a atividade física, visando aproximar os limites disciplinares principalmente entre a Química e Biologia. Os resultados decorrentes da aplicação do curso subsidiaram a composição deste livro. Levamos em conta algumas questões e temas proeminentes levantados pelos participantes durante o curso como, por exemplo, combustão espontânea, o motivo de não tomarmos ATP como suplementação alimentar, interpretação energética dos rótulos alimentares e a determinação do equivalente metabólico da atividade física com base em experimentos de baixo custo. Portanto, o livro tem como objetivo trazer maiores esclarecimentos em relação às questões notoriamente emergentes do curso de curta duração, e que possam colaborar com o desenvolvimento de práticas em sala de aula que favoreçam uma integração entre as ciências naturais.

A Estrutura do livro

Este livro é composto por quatro capítulos, provenientes da aplicação de um curso de curta duração em uma turma de professores de ciências em formação continuada.

Para começarmos a discutir e apresentar como ocorre o fluxo de energia desde a alimentação até a atividade física, propomos um capítulo introdutório de revisão, denominado “Energia e Termodinâmica”, destacando a importância dos aspectos termodinâmicos que embasam as explicações relativas às transformações da energia no contexto proposto nos capítulos posteriores.

Posteriormente apresentamos três capítulos relacionados respectivamente à energia e alimentação, energia e metabolismo e energia e atividade física. Em cada um desses capítulos buscamos destacar como o conceito de energia pode ser usado para aproximar os limites disciplinares das ciências da natureza. Discutimos também, com base conceitual alicerçada na Termodinâmica, como ocorre o fluxo de energia entre a alimentação e a atividade física perpassando pelo metabolismo. Usamos esse fluxo de energia como forma de fomentar uma abordagem de conceitos tradicionalmente tratados separadamente na Química, Física e Biologia, visando propiciar uma abordagem mais fluída entre esses limites disciplinares. Ressaltamos que além de tratarmos dos aspectos conceituais pertinentes ao fluxo de energia desde a alimentação até a atividade física, o livro possui caráter instrucional, porém não prescritivo. Apresentamos sugestões de atividades textos que podem ser abordados em sala de aula, sugestões de leituras e possibilidades de questões que podem ser trabalhadas no contexto de ensino. Propomos também uma seção em cada capítulo que chamamos de “questões emergentes”. As questões emergentes foram curiosidades e levantamentos gerados pelos professores participantes do curso de curta duração. Com essa seção buscamos dar um retorno e esclarecer as dúvidas geradas pelos participantes do curso de curta duração, fomentando também uma reflexão mais aprofundada em relação aos respectivos temas.

Capítulo 1: Energia e Termodinâmica

Particularidades e discussões do ensino de energia nas ciências da natureza

O termo energia é muito usado em nosso dia a dia, seja com conotação científica ou não. Uma das características marcantes na utilização do termo energia é seu aspecto polissêmico, tanto dentro de contextos do senso comum, como dentro do próprio âmbito científico. Segundo Silva Júnior (2010), podemos compreender energia como um indicador de possibilidades de transformações, relacionadas ao movimento, ao magnetismo, as reações químicas, aos processos biológicos e diversos processos naturais. Logo o conceito de energia permeia diversos conteúdos dentro da Química, Física e Biologia.

Baseado em Trabalhos de análise de livros didáticos de ciências Araújo & Nonenmacher (2009), podemos sumarizar em linhas gerais que a temática energia é tratada tradicionalmente da seguinte forma dentro dos limites distintos das ciências da natureza:

Nos textos de Biologia: O conceito é comumente tratado nos capítulos referentes aos níveis tróficos e cadeia alimentar. Evidenciou-se um tratamento substancial ou material de energia, como “algo” contido e fluído dentro de um determinado ecossistema. O transito de energia foi pouco abordado no que se refere às possíveis transformações que ela pode sofrer.

Nos textos de Química: O conceito de energia está mais presente nas unidades que tratam da Termoquímica. Energia é tratada nos âmbitos das reações químicas e mudanças de estados físicos, sob uma perspectiva de transferência de Calor. Alguns textos também trazem o conceito de energia relacionado com Trabalho.

Nos textos de Física: As relações mais comuns observadas foram sua conceituação como Trabalho, tratada dentro dos capítulos de mecânica. Além disso, o contexto disciplinar da Física foi único em que se observaram proposições sobre o princípio da conservação da energia.

Compreendemos que esse conceito transpõe o limite de mero conceito fundamental para a compreensão de conteúdos dentro das ciências naturais de maneira isolada. Souza (2007) salienta que energia é um conceito científico

que possui dimensão cultural e social, favorecendo a compreensão de múltiplos fenômenos e processos científico-tecnológicos. Além disso, segundo Angotti (1991), energia é uma grandeza que pode e deve, mais do que outra, balizar as tendências de ensino que priorizam hoje as relações entre ciência tecnologia e sociedade. Acreditamos que devido ao caráter central dos aspectos energéticos em diversos domínios disciplinares, a abordagem do conceito de energia pode contribuir não só para alicerçar e tecer ligações entre conteúdos disciplinares, mas também pode apresentar serventia para aproximar os domínios disciplinares da Física, Química e Biologia, dentro do ensino de ciências naturais. Ademais, dado o caráter conceitualmente basal e unificador relativo a esse conceito, entendemos que a concepção desse conceito pode possivelmente influenciar na construção de outros conceitos e conteúdos no quais a temática energia é fundamental, como metabolismo, respiração celular, alimentação, fotossíntese, transmissão de Calor, mudanças climáticas, entre outros.

Para que possamos tecer ligações, estabelecer fluidez e transitividade para a temática energia dentro das Ciências Naturais, utilizaremos quatro aspectos inerentes ao conceito de energia, propostos por Optiz et al (2017) a saber; i) transferência, ii) transformação, iii) conservação, iv) dissipação. Os quatro aspectos inerentes são de suma importância para o ensino de energia sob uma perspectiva integrada entre as Ciências Naturais, pois eles são preservados independentemente do limite disciplinar em que o conceito é tratado. Ou seja, em qualquer processo que envolva energia, seja no âmbito da Física, Química ou Biologia, a energia sempre vai se transferir, transformar, conservar e dissipar. Os dois últimos aspectos apontados estão diretamente ligados com as leis um e dois da Termodinâmica que discutiremos mais adiante.

Conceitos fundamentais

Antes de apresentarmos e discutirmos sobre a importância das leis da Termodinâmica para o entendimento dos processos que envolvem o fluxo de energia, precisamos definir alguns conceitos e termos fundamentais bastante usuais dentro desse contexto científico. O fluxo de energia ocorre em uma

região que denominamos de universo. Para uma melhor compreensão dessa região vamos dividi-la em duas partes como definido por Atkins (2013);

Sistema - Região que estamos interessados e da qual extraímos ou aferimos medições das grandezas de interesse.

Vizinhanças - Região definida como o entorno do sistema na qual nos inserimos como espectadores e fazemos observações sobre o fluxo ou influxo de energia para os sistemas.

Nesse trabalho consideraremos o corpo humano como o sistema, e o seu entorno, com o qual ele troca energia, chamaremos de vizinhança. Os sistemas podem ser classificados de acordo com seu grau de abertura em relação ao fluxo de matéria e energia. De maneira que é denominado:

Fechado - quando há apenas a possibilidade de trocas de energia com sua vizinhança.

Isolado - quando não existe a possibilidade de trocas de energia e matéria com a vizinhança.

Aberto - quando podem ocorrer trocas de energia e matéria com o entorno.

O corpo humano é um exemplo de sistema aberto, pois trocamos matéria e energia constantemente com a vizinhança para nos mantermos em uma situação fora do equilíbrio termodinâmico. A Figura 1 esquematiza as regiões em que ocorrem as trocas de energia e as classificações dos tipos de sistemas.

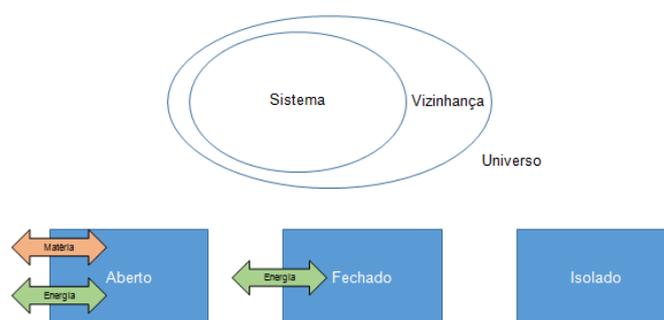


Figura 1: Representação das regiões em que ocorrem o fluxo de energia e os três tipos de sistemas.

Fonte: Próprios autores.

O tráfego energético entre o sistema e a vizinhança é dado basicamente por duas formas em que a energia se manifesta nessa fronteira; Calor e Trabalho. Mesmo que ambas as grandezas sejam medidas de energia, algumas diferenças entre Trabalho e Calor merecem destaque, como define Atkins & Paula (2010). O Trabalho é a transferência de energia de forma que as moléculas que constituem a matéria que compõe o sistema se orientam em configurações mais organizadas ou menos dispersivas. Em contraponto, o Calor em termos moleculares é a transferência de energia devido à diferença de temperatura entre duas regiões, utilizando movimento aleatório das moléculas constituintes do sistema. Por exemplo, quando estamos em situações que elevam a temperatura do nosso corpo, como, por exemplo, durante uma atividade física, o organismo responde fisiologicamente de modo a minimizar esse aumento da temperatura corporal. Um desses mecanismos é a produção do suor, assim o organismo transfere energia para a vizinhança indiretamente pelas moléculas de água do suor, que recebem energia do corpo pela transferência da pele, aumentando os movimentos e modos vibracionais das moléculas de água de forma dispersiva. Nesse caso, a transferência de energia do corpo para a vizinhança durante a atividade física ocorreu na forma de Calor. Suponhamos agora que a prática que nos referimos seja uma partida de futebol, nesse contexto também ocorrem situações de transferência de energia na forma de Trabalho. Por exemplo, quando a bola é chutada o jogador transfere a energia cinética do movimento do chute para as moléculas constituintes da bola de forma orientada em escala molecular, lhe imprimindo um movimento orientado espacialmente. Porém, a transferência de energia entre o jogador e a bola, não ocorre integralmente, pois uma pequena parte dessa energia é dissipada na forma de Calor. Veremos posteriormente que essa distinção apresentada entre Calor e Trabalho é fundamental para entendermos aspectos centrais da segunda lei da Termodinâmica e da dissipação de energia ao longo do fluxo energético da alimentação até a atividade física.

Até agora mencionamos algumas vezes a grandeza temperatura, porém sem fornecer um tratamento conceitual, talvez por parecer algo tão intuitivo. A temperatura está diretamente ligada com o movimento térmico das moléculas, estando, portanto, relacionada com Calor. De forma que o fluxo dessa

grandeza de interação (Calor) só ocorre quando existe uma diferença de temperatura entre duas regiões. No frio, por exemplo, transferimos menos Calor para a vizinhança para mantermos nossa temperatura adequada para o funcionamento ideal de nosso organismo. Sob uma perspectiva molecular, a temperatura pode ser compreendida como uma medida do grau de agitação ou da energia cinética das moléculas. A agitação das moléculas por sua vez, está relacionada com os modos translacionais e rotacionais. A translação é o movimento da molécula nas três dimensões espaciais. E a rotação é o movimento molecular em torno de eixos imaginários criados com base na geometria molecular. A soma das contribuições energéticas dessas duas formas vibracionais nos fornece a energia cinética total da molécula. Cada modo vibracional possível na molécula contribui com uma parcela de energia igual a $0,5 nRT$, de acordo com o princípio da equipartição da energia (ATKINS & PAULA, 2010). Em que:

R = constante dos gases.

T = temperatura do sistema.

n = Número de mols de partículas contidas no sistema.

A energia total de um sistema é denominada energia interna, e é a soma de sua energia cinética e potencial derivada da interação com campos externos (BRAGA, 2013). Se tomarmos nosso sistema isento da influência de campos de interação, como gravitacionais e eletromagnéticos, a energia interna do sistema será dada em função somente de sua energética cinética de forma que;

$$U = E_c \quad (1)$$

Em que, U = energia interna do sistema e E_c = energia cinética das moléculas que compõe o sistema.

Supondo um caso mais simples de um gás ideal monoatômico, como o Hélio, por exemplo, teremos três formas translacionais, com contribuição de

$0,5nRT$ de cada modo translacional na energia cinética das moléculas. Logo a energia interna do sistema pode ser expressa como:

$$U = n 0,5RT \quad (2)$$

Para o caso de moléculas diatômicas lineares e homo nucleares (constituída do mesmo elemento químico), como o gás Oxigênio fundamental nos processos metabólicos da respiração celular, temos que levar em consideração mais dois modos rotacionais, devido às possibilidades de movimentos em torno dos eixos. Portanto a energia interna de um sistema constituído por moléculas desse tipo é dada por:

$$U = 2,5nRT \quad (3)$$

O termo energia interna tradicionalmente é pouco usual em contextos fora da química dos gases. Porém, podemos perfeitamente atribuir energia interna a outros tipos de sistemas. Como por exemplo, um corpo em queda livre (exemplo muito comum envolvendo transformações de energia na física). Podemos conceber a energia interna como a soma de sua energia cinética e potencial gravitacional em um dado ponto da trajetória da queda livre, claro que com a ressalva de não considerarmos a possível influência de outros campos externos, além de desprezarmos a irrisória contribuição dos modos vibracionais pertinentes a sua estrutura molecular constituinte.

Na sequência de nosso texto vamos apresentar de forma sucinta a relação entre Calor, Trabalho e a conservação da energia, que trata a primeira lei da Termodinâmica, ressaltando alguns imbróglis conceituais dentro do contexto do ensino de Biologia.

Aprofundando no assunto

O que é a primeira lei da Termodinâmica? Ela se aplica aos fenômenos biológicos?

No início do século XIX devido ao advento da revolução industrial, os interesses dos estudos envolvendo o Calor e Trabalho se voltaram para o desenvolvimento das máquinas térmicas. A revolução industrial trouxe um novo

paradigma social, científico e tecnológico. A disseminação do uso de máquinas para aperfeiçoar a produção industrial fomentou pesquisas para se desenvolver máquinas térmicas com maior eficiência, nesse contexto surge o embrião da Termodinâmica. De acordo com Barreto (2012), baseado no modelo de cilindros movidos a vapor, proposto pelo físico Francês Denis Papin, James Watt desenvolveu uma das primeiras máquinas térmicas com finalidades práticas de utilizar o Calor da queima das caldeiras para realizar Trabalho. As relações entre Calor e Trabalho decorrentes do estudo das máquinas térmicas, foram alvo de estudos de diversos cientistas como Rumford, Joule e Mayer, que contribuíram para observações acerca da conservação da energia nos processos de conversão de Calor em Trabalho, dando origem a primeira lei da Termodinâmica. Os Trabalhos de Joule (1818-1889) foram influenciados pela primeira lei da mecânica Newtoniana, mais conhecida como lei da inércia. De acordo com a primeira lei de Newton, um corpo em movimento retilíneo uniforme mantém seu movimento, a menos que sofra a ação de uma força externa. Sabemos que em situações reais é praticamente impossível eliminar a ação de forças externas, como o atrito por exemplo. Quase que intuitivamente, sabemos que um corpo que desliza sobre uma superfície mais lisa que seja, em determinado momento irá parar. Quadros (2004), afirma que Joule propôs que a energia cinética do movimento de um corpo em movimento sobre uma superfície com atrito não perdia de fato sua energia, ela era transformada integralmente em Calor. Joule ainda interpretou a transformação da energia cinética em Calor, sob um ponto de vista corpuscular. Como defensor da corrente atomista, Joule supôs que a energia cinética do corpo deslizando era transferida para as partículas da superfície de maneira aleatória, gerando um aumento da temperatura via o fluxo de Calor (QUADROS,2004). Joule buscou investigar também a produção de Calor via outros tipos de transformações de energia, como o aquecimento de fios metálicos ligados a pilhas elétricas. Os Trabalhos de Joule relativos à possibilidade das transformações da energia constituíram uma importante fonte de evidências para o princípio da conservação da energia, que sumariza a primeira lei da Termodinâmica, cuja formulação é atribuída ao cientista alemão Hermann Von Helmholtz (QUADROS, 2004). Percebam que a interpretação corpuscular para o Calor

proposta por Joule é bem parecida com a definição molecular que apresentamos na seção anterior.

Vimos também na seção anterior que temperatura é uma grandeza muito útil nos processos energéticos, pois pode ser interpretada tanto sob o ponto de vista de aspectos macroscópicos e submicroscópicos no âmbito molecular. Macroscopicamente, fazemos uma leitura qualitativa de temperatura utilizando nossos órgãos sensoriais, em situações, por exemplo, quando tocamos a superfície de um metal aquecido e atribuímos uma qualidade de quente, nos referindo a sua elevada temperatura, ou quando aferimos a temperatura desse metal utilizando um termômetro. Já nossa interpretação molecular de temperatura está ligada com os aspectos vibracionais das moléculas e sua relação com a energia cinética. A variação de temperatura de um sistema ocorre geralmente por troca de energia via Calor com suas vizinhanças buscando um equilíbrio térmico, o que não impossibilita que a transferência de energia via Trabalho também cause variações na temperatura do sistema, como ocorre, por exemplo, em uma expansão ou compressão adiabática (sem troca de Calor com a vizinhança) de um gás. Sistemas de gases ideais que não apresentam variação de temperatura são denominados sistemas isotérmicos, não ocorrendo, portanto, variação de sua energia interna. Pois para um gás ideal a energia interna é função somente da temperatura. Então em um sistema isotérmico não existe troca de energia com a vizinhança? Não necessariamente. O sistema pode preservar sua energia interna de maneira que as trocas de energia com sua vizinhança podem ser feitas de forma balanceada e compensatória, de maneira que o fluxo líquido de energia tenha sido nulo. Já mostramos que as trocas de energia entre sistema e vizinhanças podem ocorrer via Calor (q) e Trabalho (w). Assim, a variação da energia interna do sistema (ΔU) pode ser expressa de maneira a se ponderar as trocas efetuadas simultaneamente por meio de Calor e Trabalho, como expresso pela equação (4).

$$\Delta U = q + w \quad (4)$$

A equação (4) expressa matematicamente às observações experimentais obtidas por Joule relativas às relações entre Calor Trabalho.

Essa equação também é conhecida como a expressão algébrica da primeira lei da Termodinâmica. De acordo com a primeira lei da Termodinâmica a variação da energia interna de um sistema isolado é nula. Em outras palavras, a energia não pode ser criada, ela é somente transformada, transferida e dissipada, como veremos quando apresentarmos a segunda lei da Termodinâmica. Convencionalmente na equação (4) adotamos o sinal positivo para o fluxo de energia, seja via Calor ou Trabalho, quando a troca de energia ocorre da vizinhança para o sistema. E negativo quando há um fluxo de energia do sistema para vizinhança.

A conservação da energia que trata a primeira lei é um dos aspectos centrais destacados por Opitz (2017), em seus apontamentos acerca do entendimento disciplinar desse conceito dentro do ensino de ciências. Segundo este autor, é comum que os estudantes dentro de um contexto disciplinar do ensino de Biologia não compreenderem o aspecto conservativo nas transformações que ocorrem dentro de processos estudados nesse limite disciplinar. Como por exemplo, na transferência energética progressiva ao longo da cadeia alimentar e nos processos metabólicos celulares. Então quer dizer que a primeira lei da Termodinâmica vale para qualquer sistema? Sim! Independentemente se esse sistema é alvo de estudo da Química, Física ou Biologia. Se tratarmos o corpo humano como nosso sistema de interesse, podemos enumerar e considerar cada forma que nosso corpo troca energia com ambiente externo (sua vizinhança), seja na forma de Calor ou Trabalho:

A energia dos diversos processos do metabolismo como nas reações de oxidação dos nutrientes;

Envolvida no Calor trocado por convecção, irradiação e via a evaporação da água na transpiração;

Trabalho envolvido nas diversas atividades que realizamos.

Logo, como expressa Duran (2003), a variação de energia no corpo humano é dada pela soma de cada um desses fatores, considerando-se respectivamente o sinal de cada contribuição, relacionado com o fluxo ou influxo de energia do corpo para a vizinhança. Uma indagação que merece muito destaque, relacionada com a energia interna de um sistema vivo é; se a temperatura do nosso corpo for constante, então a variação da energia interna do corpo humano é nula? Bem, sabemos que o nosso corpo se mantém em

média em uma faixa de temperatura entre 36 e 37 graus, porém esse intervalo não é mantido constante por toda extensão corporal, ainda mais se considerarmos toda hierarquia estrutural do corpo humano, seus diferentes órgãos, tecidos, células e biomoléculas. Algumas regiões do corpo são mais “quentes” do que as outras. Assim, quando aferimos a temperatura de um sistema qualquer, como o corpo humano, estamos atribuindo uma média de toda sua população de moléculas constituintes. Em linhas gerais as grandezas Termodinâmicas referentes a um sistema, são na verdade valores médios de sua população seja ela constituída de átomos, moléculas ou células (BRAGA, 2013). No nosso organismo, como trabalhamos em média com um valor fixo de temperatura, são necessários mecanismos de transferência e transformações de energia controlados pelo hipotálamo, para a manutenção da temperatura do corpo humano, mesmo quando estamos expostos a ambientes externos com consideráveis variações de temperatura. Todos esses mecanismos de troca, transferência e transformações de energia operam em perfeita articulação com a conservação da energia como propõe a primeira lei da Termodinâmica (DURAN, 2003). Porém, isso não implica que a variação da energia interna do sistema corpo humano seja nula, devido sua temperatura ser constante. Quando mencionamos a relação de proporcionalidade entre temperatura e energia interna expressa pela equação (2), consideramos apenas a contribuição da energia cinética das moléculas, mais especificamente ainda para um sistema constituído por um gás ideal. Dessa forma, ressalvas importantes devem ser feitas cuidadosamente para distinguir a natureza de um sistema composto por um gás ideal e outro pelo corpo humano. O corpo humano possui natureza distinta de um gás ideal. No contexto do corpo humano existem outras contribuições além da energia cinética das moléculas proveniente de seus modos vibracionais, contribuições essas que são derivadas da complexidade inerente aos sistemas vivos, como, por exemplo, os complexos mecanismo de troca de energia com a vizinhança para a manutenção da temperatura corporal e transferência de energia na forma de Trabalho possibilitado pelos movimentos musculares. Logo a energia interna do sistema corpo humano não é função somente da temperatura, diferente do que ocorre em sistemas que estudados tradicionalmente no âmbito disciplinar da

Química, principalmente nos conteúdos referentes aos estudos dos gases ideais.

Entalpia é o mesmo que Calor?

Assim como a energia interna, outros conceitos relacionados à temática energética são mais abordados tradicionalmente dentro da Química em detrimento à Biologia e a Física. Corroborando para um distanciamento disciplinar entre as ciências naturais. Um desses conceitos trata-se da Entalpia. Frequentemente em livros didáticos de Química é muito comum nos depararmos com essa grandeza referindo-se recorrentemente ao Calor envolvido em processos químicos e físicos, como por exemplo; Entalpia de reação ou Calor de reação, Entalpia de solubilização ou Calor de solubilização, Entalpia de vaporização ou Calor de vaporização. Essa tendência terminológica pode nos levar a crer indutivamente que Calor e Entalpia são sinônimos. No entanto, algumas distinções devem ser feitas para que possamos usar com diligência os termos Entalpia e Calor como grandezas energéticas com valores matemáticos congruentes em condições restritas, mas nunca como sinônimos.

Para que possamos ter esse discernimento devemos compreender melhor o que são funções de estado e o que são funções de caminho. Com o intuito de facilitar a distinção entre Calor e Entalpia, definiremos de antemão que Calor é uma função de caminho e Entalpia uma função de estado. Chamamos de funções de estado¹ as grandezas que dependem apenas do estado em que o sistema se encontra. Por exemplo, se quisermos determinar a variação de Entalpia envolvida na oxidação completa de um mol de Glicose, necessitaremos somente dos valores iniciais e finais de energia interna nesse processo de oxidação. Pois seus valores finais e iniciais só dependem do estado inicial e final em que o sistema se encontra. Ou seja, independentemente se a Glicose foi oxidada pelo processo de respiração celular ou por uma queima em um Calorímetro, a variação de energia interna

¹ O estado de um sistema é definido por um conjunto específico de suas variáveis de estado. Por exemplo, podemos definir o estado de um gás por meio de sua temperatura, pressão, volume e quantidade de matéria. Para isso, utilizamos uma equação de estado, como a equação dos gases reais ($PV=nRT$).

nos dois processos será a mesma (Considerando que os estados iniciais e finais nos dois processos são os mesmos) Por outro lado, se estivermos interessados em saber a variação do Calor envolvido no mesmo processo de oxidação completa de um mol de Glicose que ocorre dentro de uma célula e posteriormente o valor dessa mesma variável, porém em uma combustão em um Calorímetro, precisaremos saber o Calor envolvido em cada uma das etapas que compõe a oxidação da glicose em cada um dos dois processos distintos. A variação do Calor envolvido em cada um dos processos de oxidação será dada pela somatória do Calor envolvido em cada uma de suas respectivas etapas. Todavia, podemos obter valores de funções de caminho a partir de funções de estado, desde que possamos estabelecer alguma relação matemática entre elas, como apresentado na caixa de deduções a seguir:

Caixa de dedução 1

Por definição Entalpia (H) pode ser expressa por meio de outras três funções de estado:

$$H = U + PV \quad (1)$$

Logo em um processo isobárico (pressão constante) temos que:

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V \quad (2)$$

Se considerarmos um sistema em expansão temos:

$$\Delta U = q - w \quad (3)$$

Considerando que o Trabalho realizado por um gás em expansão pode ser dado por:

$$P\Delta V = w \quad (4)$$

Substituindo (4) em (3) temos que:

$$\Delta U = q - P\Delta V \quad (5)$$

Substituindo (5) em (2) obtemos:

$$\Delta H = q \quad (5)$$

Com isso mostramos que podemos tratar Entalpia e Calor como grandezas congruentes matematicamente apenas em condições de pressões constantes. Como muitos processos no âmbito das Ciências Naturais ocorrem sob pressões constantes, desde reações químicas feitas em um tubo de

ensaio, até a respiração celular que ocorre dentro das células, torna-se muito usual o termo Entalpia para mensurar a energia trocada na forma de Calor nesses sistemas. No escopo da Química, o estudo das transferências e transformações de energia envolvendo Calor é denominado Termoquímica. A Termoquímica é muito útil para compreendermos os aspectos relacionados com o valor energético dos alimentos como veremos no capítulo relacionado à alimentação.

Sugestão de leitura

Para aprofundar mais nos aspectos históricos e conceituais que fomentaram a proposição do conceito de Entalpia, propomos a leitura do artigo: “Por que não estudar Entalpia no ensino médio”, publicado na Revista Química Nova na Escola.

Disponível em <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc22/a04.pdf>

E a segunda lei? O que é Entropia?

Assim como a primeira lei, a segunda lei da Termodinâmica também foi desenvolvida dentro do contexto das mudanças tecnológicas impulsionadas pela revolução industrial. Para que fosse possível construir máquinas térmicas mais eficientes, o engenheiro francês Sadi Carnot buscou primeiramente compreender seu funcionamento com base no fluxo de Calor que ocorria nessas máquinas. Para isso ele estabeleceu uma comparação entre uma máquina térmica e um moinho d'água. Segundo Quadros (2004), Carnot acreditava que assim como a queda d'água entre dois níveis poderia realizar Trabalho em um moinho, de maneira análoga o fluxo de Calor da fonte quente (caldeira), para a parte fria (condensador), também era responsável pela realização de Trabalho mecânico na máquina térmica. Carnot concluiu que o rendimento das máquinas térmicas era função das temperaturas das fontes quentes e fontes frias, de maneira que máquinas térmicas diferentes que operavam em temperaturas de fontes frias e quentes iguais apresentavam rendimentos congruentes (PALAVRA et al, 1988). Podemos enumerar algumas observações relativas às máquinas térmicas sob o entendimento de Carnot:

O fluxo de Calor em uma máquina térmica ocorria da fonte quente para a fonte fria, mas o inverso não ocorria.

O fluxo unidirecional de Calor não violava o princípio da conservação da energia, por outro lado o princípio da conservação da energia não era capaz de explicar esse fluxo unidirecional de Calor.

Nenhuma máquina térmica apresentava eficiência de 100% na transformação de Calor em Trabalho (Na verdade apresentavam valores muito abaixo de 100%).

Com base nessas observações podemos propor que o fluxo de Calor proveniente da caldeira era parcialmente transformado em Trabalho. Sabemos que Calor é o fluxo de energia que ocorre de maneira dispersiva entre duas regiões de temperatura distintas. Em contrapartida, Trabalho é o fluxo de energia que ocorre de maneira orientada entre duas regiões. À vista disso, concluímos que em um processo que ocorre transformação de Calor em Trabalho, como em uma máquina térmica, não existe a possibilidade de toda energia transferida de maneira dispersiva (Calor) se transformar em um fluxo de energia orientado (Trabalho). Por outro lado, o processo inverso é possível, basta pensarmos no aquecimento dos pneus em uma freada de carro. Poderíamos pensar em diversos processos em que ocorre fluxo de energia e perceberíamos que em todos eles a energia flui de maneira a favorecer situações de um fluxo mais dispersivo (Calor). Com isso chegamos ao conceito de Entropia, que em linhas gerais podemos relacionar com o grau de dispersão de energia. Como a energia tende a se transferir e transformar de maneira dispersiva, dizemos que ocorre um aumento da Entropia, ou uma variação de Entropia positiva. A definição matemática de Entropia foi proposta por Clausius e é dada por:

$$dS = dq/T \quad (5)$$

De acordo com a equação (5) podemos interpretar Entropia como a variação da dispersão de calor em um sistema em uma dada temperatura constante.

Outra interpretação para o conceito de Entropia foi apresentada pelo físico austríaco Ludwig Boltzman. A abordagem entrópica apresentada por Boltzman traz uma perspectiva pautada na estatística e probabilidade, trazendo o conceito de microestados como fundamentais para o entendimento desse

conceito. Utilizaremos um exemplo simples para compreendermos o que são microestados.

Se jogarmos duas moedas podemos obter quatro configurações possíveis: cara e cara, cara e coroa, coroa e cara, coroa e coroa. Todas essas possíveis configurações equiprováveis podem ser chamadas de microestados (Moura 2016). Assim como as possíveis configurações para duas moedas lançadas, a energia também pode se dispersar em microestados em diferentes sistemas, como por exemplo, em níveis de energia quantizados em um átomo. De acordo com a perspectiva estatística a Entropia é dada por:

$$S = k \ln w \quad (6)$$

Em que: w é o número de microestados do sistema e k a constante de Boltzman.

Usando ainda o exemplo das moedas, pela equação 6 podemos esperar que um sistema com duas moedas lançadas apresenta maior Entropia do que um sistema com apenas uma moeda lançada.

Extrapolando para um âmbito de um sistema tratado mais especificamente no estudo da Biologia, poderíamos pensar que a variação de Entropia em uma cadeia alimentar com três níveis tróficos² é maior que em um sistema composto apenas por dois níveis tróficos. Pois, podemos compreender cada nível trófico como um microestado possível para o fluxo e dispersão de energia e matéria ao longo da cadeia alimentar.

² Nível de nutrição (produtores, consumidores, decompositores) que pertence um indivíduo ou espécie que indica a passagem de energia entre os seres vivos presentes em uma cadeia alimentar.

Para ler e refletir

Texto 1: Programa de computador mede Entropia em obras de arte

O físico brasileiro Haroldo Ribeiro, desenvolveu recentemente um programa de computador que codifica obras de arte em números, por meio da complexidade de cada obra de arte. O processo descrito por Ribeiro e seus colegas nos Proceedings of the National Academy of Sciences USA, envolve a avaliação da complexidade e da Entropia, ou “desordem”, dessas obras de arte após serem digitalizadas. A complexidade é baseada na variabilidade de padrões dentro de cada imagem, variando de altamente variável (mais complexa) a uniforme (menos complexa). A Entropia é determinada pelo grau de caos na imagem; quanto mais “regular” a pintura, menor a Entropia. Esses padrões numéricos podem ser usados para entender melhor como a arte evoluiu, capturar informações sobre vários períodos artísticos e determinar como esses períodos interagem, dizem os pesquisadores. Aprendendo com esses padrões, o programa poderia até mesmo ser usado para classificar obras de arte menos conhecidas em estilos artísticos específicos.

Adaptado de:

https://www2.uol.com.br/sciam/noticias/programa_de_computador_mede_a_Entropia_na_rte.html. Acessado em 13 de Abril de 2019.

Texto 2: O Surgimento das primeiras Células e da Vida na Terra

Durante o último século os cientistas buscaram solucionar o mistério da origem da vida tentando recriar as condições da gênese em seus laboratórios. Antes dos anos de 1880 a maior parte das pessoas acreditava na origem da vida a partir do Vitalismo, um conceito que propunha que todos os seres vivos eram dotados de uma propriedade mágica que os distinguia dos seres inanimados. No entanto no começo da década de 1880 cientistas descobriram diversas substâncias que parecem sim ser únicas à vida.

Em 1942 o cientista soviético Alexander Oparin publicou o livro “A origem da Vida”, em que propunha que as moléculas centrais para a vida teriam surgido em ambiente em meio aquoso. Dez anos depois o cientista Stanley Miler desenvolveu um experimento em que simulação o ambiente químico no começo do planeta Terra. Ele conectou vários frascos em que circulavam água e uma mistura gasosa composta por Hidrogênio, Nitrogênio e Metano. Após algum tempo Miller encontrou uma mistura de alanina e glicina, aminoácidos comumente encontrados materiais proteicos dos seres vivos.

Em 1986 os cientistas começaram a especular que a vida começou a partir das

moléculas de RNA. De maneira que o primeiro estágio da evolução consistia de moléculas de RNA realizando atividades catalíticas necessárias para se organizarem em uma sopa de nucleotídeos.

Atualmente, é aceito pela comunidade científica que, no primeiro bilhão de anos, surgiu um organismo simples capaz de replicar a sua estrutura através de um "molde molecular", que pode ser considerado como sendo o primeiro material genético, similar ao RNA. Para que isso tenha acontecido, um elevado número de átomos teve que ser agrupado, gerando moléculas ordenadas e muito especializadas, dando as primeiras células vivas.

Adaptado de: <https://www.bbc.com/portuguese/vert-earth-38205665> acessado em 13 de Abril de 2019

Questões

- 1) Destaque no texto 1 palavras que se referem indiretamente a Entropia das obras de arte.
- 2) Você acha que de maneira semelhante ao software descrito no texto 1, é possível o desenvolvimento de algoritmos que possam ajudar a elucidar os aspectos evolutivos de organismos vivos baseado no grau de complexidade de suas estruturas celulares? Justifique.
- 3) Fica evidente pela leitura do texto 2 que formação das primeiras células vivas partiram de configurações moleculares mais dispersas para a formação de estruturas mais organizadas. Com isso, é possível explicar a origem das primeiras células de acordo com a segunda lei da Termodinâmica?
- 4) Avalie o trecho a seguir da música "Da lama ao caos", da banda pernambucana Chico Science e a Nação Zumbi, argumentando como esse trecho pode ajudar a desenvolver um argumento termodinâmico para a origem das primeiras células.

"Eu desorganizando posso me organizar" (Chico Science)

5) Com base na figura a seguir, evidencie os aspectos energéticos conservativos e dissipativos ao longo do fluxo energético ao longo de um ecossistema. Observe que o fluxo de energia ocorre no sentido dos produtores para os consumidores. É possível que o fluxo de energia ocorra em um sentido contrário. Justifique.

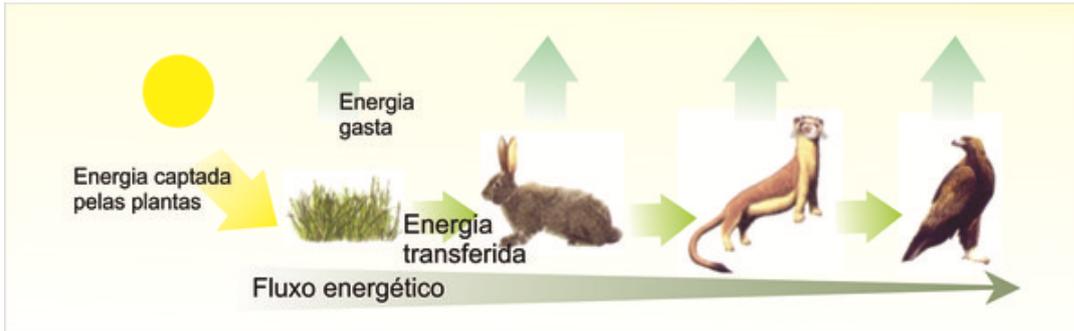


Figura 2: Fluxo de energia ao longo de um ecossistema.
Fonte: Educação. Biologia.

6) Pesquise sobre Entropia de Shannon e estabeleça possíveis semelhanças entre o fluxo de informação nas mídias atuais e o fluxo de energia em um ecossistema.

O que é energia livre de Gibbs? Qual sua relação com os processos espontâneos?

Já sabemos que os processos espontâneos ocorrem com um aumento da Entropia total do universo. Para que possamos mensurar a variação de Entropia do universo temos que saber os valores das variações de Entropia do sistema e de suas vizinhanças, o que pode ser muito trabalhoso. No entanto, podemos utilizar uma grandeza Termodinâmica na qual se soubermos apenas sua variação no sistema podemos ponderar a respeito da espontaneidade de um processo. Essa grandeza é chamada energia livre de Gibbs e pode ser obtida matematicamente a partir da desigualdade de Clausius como mostrado na caixa de deduções a seguir:

Caixa de dedução 2

Todos os processos espontâneos seguem a desigualdade de Clausius (equação (1)) que pode ser obtida matematicamente por inequações modulares envolvendo Trabalho e energia interna que omitiremos nesse texto.

$$\Delta S \geq \Delta q / T \quad (1)$$

Rearranjando a equação (1) temos:

$$\Delta S - \Delta q / T \geq 0 \quad (2)$$

Considerando um sistema em pressão constante podemos propor que $\Delta q = \Delta H$.

Portanto,

$$\Delta S - \Delta H / T \geq 0 \quad (3)$$

Rearranjando os termos em (3), obtemos:

$$T\Delta S - \Delta H \geq 0 \quad (4)$$

Por definição:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (5)$$

Substituindo (5) em (4) concluímos que para processos espontâneos temos:

$$\Delta G \leq 0 \quad (6)$$

Logo, processos que ocorrem com uma variação negativa ou nula da energia livre de Gibbs do sistema, refletem indiretamente em uma variação positiva ou nula de Entropia, satisfazendo dessa forma a desigualdade de Clausius.

Para que possamos dar um significado mais palpável para o conceito de Energia Livre de Gibbs, podemos tomar como exemplo um sistema como um moinho d'água, em que a energia propiciada pela queda d'água pode ser transferida para movimentar pás que realizam Trabalho mecânico para determinada função. Esse processo da queda d'água é dito como espontâneo,

pois ocorre naturalmente liberando energia útil, ou seja, energia livre (em processos que ocorrem em pressões constantes usaremos o termo energia livre de Gibbs, ΔG) para realizar algum tipo de Trabalho além do de expansão (ATKINS & PAULA, 2010). Assim, definiremos termodinamicamente os processos espontâneos como aqueles que ocorrem com o abaixamento de energia livre de Gibbs do sistema. Em nosso exemplo, à medida que a água vai caindo, sua altura vai diminuindo assim como sua energia livre de Gibbs. Logo, sua capacidade de realizar Trabalho se torna cada vez menor em alturas menores. Notem que a energia propiciada pela queda d'água foi transferida para realização de outro processo que não é espontâneo, a movimentação das pás. Podemos, portanto, diferenciar termodinamicamente os processos espontâneos dos não espontâneos com base na variação da energia livre de Gibbs do processo que pretendemos avaliar. A energia livre de Gibbs desempenha um papel fundamental na análise da extensão das reações químicas, tendo em vista que uma reação química é balizada pelo abaixamento da energia livre de Gibbs do sistema. De modo que, reações espontâneas são aquelas que os produtos gerados apresentam uma energia livre de Gibbs molar menor que a soma das energias livres de Gibbs molares dos reagentes que os originaram. Para fins de esclarecimento, a energia livre de Gibbs molar também é conhecida como potencial químico. Podemos utilizar o entendimento da energia livre de Gibbs para definirmos o equilíbrio químico como uma situação em que a variação de energia livre de Gibbs do sistema é nula. Ou seja, o sistema não é capaz de propiciar energia para a realização de nenhum Trabalho além do de expansão. Um bom exemplo para essa situação é quando uma bateria ou pilha elétrica para de funcionar. A obsolescência da bateria é caracterizada pelo equilíbrio químico entre os reagentes e produtos que a compõe.

Dentro de nossas células ocorrem processos semelhantes ao sistema do moinho d'água, como a síntese de moléculas de ATP (Trifosfato de Adenosina), o principal produto da respiração celular. Assim como na queda d'água a energia proveniente para realização de Trabalho foi transferida da água em queda para as pás, no corpo humano a energia é transferida do processo de oxidação dos nutrientes para a formação de moléculas de ATP, por meio de várias reações acopladas envolvendo transferência de elétrons em

um mecanismo que denominamos respiração celular. No capítulo 3 destacaremos a importância da energia livre de Gibbs para a manutenção da vida e o papel das reações oxidativas da Glicose na maximização do influxo de energia livre de Gibbs da alimentação para nosso organismo.

Para refletir.

É possível interpretar a morte celular como uma situação de equilíbrio químico?

Questão emergente: O fenômeno da Combustão Humana Espontânea.

A combustão humana espontânea ou CHE é um termo usado para se referir a relatos da combustão do corpo humano sem nenhuma ignição externa (ADELSON, 1952). Apesar de aparentemente absurdo, o fenômeno tem sido descrito na literatura médica e científica há alguns séculos. Os relatos históricos descritos entre os anos de 1700 e 1800 são recheados por aspectos religiosos ou místicos, caracterizando o fenômeno como penalidade por uma entidade divina por mau comportamento ou abuso de álcool.

Um dos relatos CHE descritos na literatura ocorreu em uma pequena aldeia no centro da França. A vítima era um homem divorciado de 57 anos com vícios de álcool e tabaco, um temperamento violento e poucas interações sociais. Quando ninguém viu o homem por 48 horas, o prefeito da aldeia ficou preocupado e notificou a polícia, que visitou a casa do homem. Eles encontraram o homem deitado no chão perto de um fogão a lenha; seu corpo estava quase completamente carbonizado do terço distal de suas pernas até a primeira vértebra lombar. Suas pernas, parte superior do corpo, cabeça, antebraços e mãos estavam relativamente intactos, assim como uma pilha de jornais, uma cadeira de palha e outros materiais combustíveis perto do corpo. A investigação policial não revelou sinais de roubo, e todas as portas e janelas estavam trancadas por dentro. Um especialista em incêndios criminosos não encontrou fontes de combustível ou outros sinais de crime incinerário. (Levi-Faict, 2011).

De acordo com Gee (1965), existem teorias científicas para explicar a CHE. A mais plausível é a teoria do efeito pavio. A explicação de acordo com essa teoria é baseada na alta inflamabilidade das gorduras que compõe o corpo humano e que se apresenta na forma líquida na faixa de temperatura média corporal. Quando inflamadas as gorduras se comportam como pavios levando as chamas para o resto do corpo.

Questões

1) Supondo que a teoria do efeito pavio seja verdadeira, seria possível a gordura corpórea entrar em combustão espontânea na faixa de temperatura corporal?

Sugestão:

Podemos usar a Termodinâmica para ajudar a argumentar sobre a veracidade dos casos combustão espontânea Humana, por meio do efeito pavio.

Para isso, teríamos que saber a temperatura na qual o processo de combustão da gordura ocorre espontaneamente. Se a temperatura for menor ou igual que a faixa da temperatura corporal (36-37° C), então é possível que os lipídios entrem em combustão espontaneamente. Para acharmos essa temperatura limite (T) usamos a equação:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (1)$$

Como no equilíbrio $\Delta G = 0$

Temos:

$$T = \Delta H / \Delta S \quad (2)$$

Pesquise a natureza química do principal lipídeo que compõe a gordura corporal humana, buscando também seus respectivos valores de ΔH e ΔS de combustão. De posse dos valores, basta substituí-los na equação (2) e comparar a temperatura obtida com a faixa de temperatura corporal. (Uma boa prática é realizar a pesquisa dos valores termodinâmicos em handbooks de bioquímica).

2) Supondo que o valor obtido para temperatura limite (T) satisfaça a condição para espontaneidade da reação de combustão lipídica, ainda sim você acha plausível a ocorrência do fenômeno de combustão espontânea? Justifique.

Sugestão de leitura complementar.

Para quem tem interesse em aspectos relativos a História da Ciência, uma boa sugestão de leitura relacionada a História da Termodinâmica é o livro “A Termodinâmica e a Invenção das máquinas térmicas” do autor Sérgio Quadros.

Capítulo 2: Energia e alimentação.

Como são determinadas as Calorias dos alimentos?

O valor energético possibilitado por determinado alimento talvez seja a informação de maior interesse por parte dos consumidores, devido sua possível relação direta com o aumento da massa corporal. Porém, mesmo que os termos ligados às Calorias dos alimentos sejam de grande interesse e tratados recorrentemente em nosso cotidiano, pouca reflexão é feita em relação aos aspectos energéticos envolvidos nessa temática. A temática Caloria é controversa e por se tratar de uma medida energética usual no contexto de alimentos, distinções são feitas entre a Caloria usada na Física, para mensurar a energia de máquinas térmicas, a Caloria na Química que mede o Calor liberado nas reações químicas e a Caloria expressa em rótulos alimentícios, como apontados por Barreto (2012). Essa discriminação interpretativa corrobora com as ideias de diferenciação disciplinar que já destacamos nesse Trabalho. Portanto, dentro de nossa proposta integradora entre as ciências é fundamental apresentarmos uma abordagem conceitualmente harmoniosa de Caloria dentro das ciências da natureza.

Segundo Mcardle (2003), 1 cal é a quantidade de Calor necessária para que a temperatura de uma amostra de 1 g de água à uma temperatura de 14,5 °C, sofra uma variação de 1 °C. Uma outra notação usual para caloria é CAL. Sendo que 1CAL é igual à 1000 cal ou 1kcal. De acordo com Krause (2012), os laboratórios de análise de alimentos estimam o valor energético dos nutrientes por meio da técnica de calorimetria direta, em que uma determinada amostra alimentícia é submetida a uma combustão completa em uma câmara vedada contendo oxigênio em excesso, como mostrado na Figura 2.

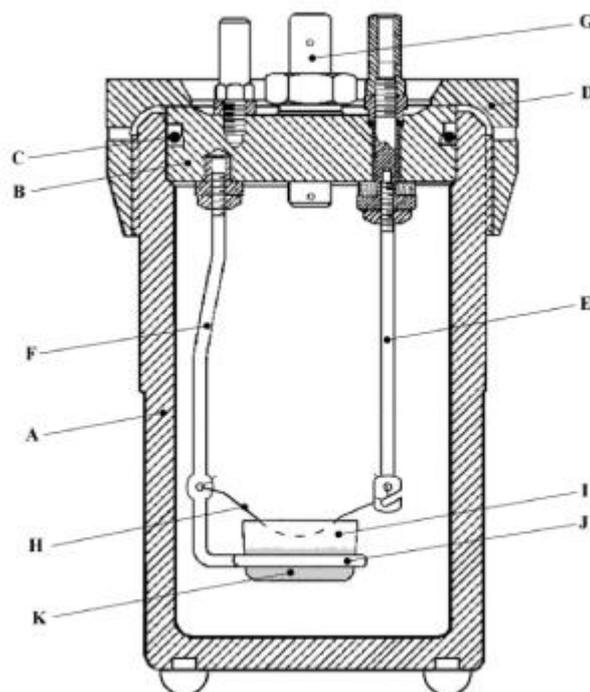


Figura 3: Desenho esquemático de um Calorímetro usado para determinação de Calorias dos alimentos

Fonte:

A corpo do Calorímetro. B, cabeça do Calorímetro. C,anel de viton. D, anel com rosco. E, eletrodo isolador da cabeça da bomba. F, eletrodo suporte ligado à cabeça da bomba. G, Válvula de entrada de oxigênio. H,fio fusível.I cadinho em aço inox, J anel suporte do cadinho. K, amostra.

Fonte: SANTOS (2010 p222)

À medida que a amostra do alimento é queimada, a energia na forma de Calor decorrente da combustão do alimento é transferida para uma quantidade de água que circunda a câmara de combustão, por meio do registro da variação da temperatura da quantidade da água, determina-se o valor energético do nutriente. Com base na via calorimétrica determinou-se que em média, 1g da combustão completa de lipídeos libera 9,4 Kcal, a mesma massa para carboidratos e proteínas libera em média respectivamente 4,2 Kcal e 5,6 kcal.

Ressaltamos que existem diferenças entre os valores energéticos obtidos pela via calorimétrica quando comparados com a energia na forma de

Calor que de fato é disponibilizada para nosso corpo através da oxidação dos nutrientes por vias metabólicas (energia global), como salientado por Krause (2012). A diferença é mais impactante no caso das proteínas, pois o produto do metabolismo das proteínas diverge de seus produtos na combustão por via Calorimétrica. No metabolismo humano as proteínas são oxidadas até ureia, em contraste com a via Calorimétrica que pode gerar como produtos de combustão, desde amônia até óxidos de nitrogênio, dependendo da temperatura atingida no interior do Calorímetro (MCARDLE, 2003). A distinção entre os produtos de combustão confere uma redução de cerca de 19% do Calor disponível pela oxidação das proteínas por vias metabólicas em relação à via calorimétrica, pois gera-se um produto menos oxidado, como um menor número de ligações energeticamente mais estáveis (C-O e O-H). Por outro lado, McArdle (2003), destaca que esse déficit de energia não ocorre para carboidratos e lipídeos, pois ambos liberam gás carbônico e água como produtos de combustão, tanto pela via Calorimétrica, quanto pelo metabolismo, de modo que ambos os processos apresentam o mesmo saldo energético. Além da análise dos produtos de combustão, a forma como os nutrientes são digeridos também deve ser considerada para a determinação da energia global dos nutrientes. Krause (2012), afirma que nem toda massa dos nutrientes ingeridos é aproveitada, pois os processos de digestão e absorção não são completamente eficientes. A razão percentual entre a massa de um nutriente ingerido e sua massa absorvida é chamada de digestibilidade. Macardle (2003) apresenta os valores de digestibilidade dos principais nutrientes energéticos: o percentual médio absorvido relativo aos carboidratos é de cerca de 97%, acompanhados de 92% para proteínas e 95% para carboidratos. Considerando-se as correções dos Calores médios de combustão, feitas a partir dos coeficientes de digestibilidade, ponderando-se também o déficit energético de 19% no caso das proteínas, em função dos produtos distintos de oxidação, obtemos o valor da energia global dos alimentos. Esses valores obtidos também são chamados de fatores gerais de Atwater, em homenagem ao químico Olin Atwater, precursor dos estudos relacionados à nutrição humana e o metabolismo energético (MCARDLE, 2003). Os fatores de Atwater para carboidratos, lipídeos e proteínas são respectivamente iguais a 4 kcal/g, 9kcal/g e 4kcal/g. Portanto, são esses fatores que devem ser considerados

como parâmetros estimativos dos valores energéticos dos alimentos, expressos nos rótulos alimentícios.

Para refletir

Os valores Caloríficos dos nutrientes obtidos pela via Calorimétrica podem ser considerados como valores de Entalpia de combustão dos respectivos nutrientes? Justifique.

Sugestão de atividade em sala de Aula: Valor energético e rótulos alimentícios

Após discutir com os alunos o cálculo das Calorias dos principais nutrientes energéticos com base na via Calorimétrica, apresente os respectivos valores obtidos, como expresso a seguir:

1g de lipídeo=9,4kcal; 1g carboidrato=4,2 kcal ; 1g proteína =5,6 kcal

Posteriormente apresente aos alunos um rótulo alimentício de determinado alimento, como na figura a seguir:

Castanha de caju 100g	
Valor energético	570,2 Kcal
Proteínas	18,5%
Gorduras totais	42,3%
Carboidratos	29,%
Outros	10,2%

Figura 4: Valor energético e composição percentual da castanha de caju.
Fonte: Adaptado de TACO (2001, p.12)

Solicite aos alunos que comparem o valor energético obtido pelo cálculo utilizando os valores Calorimétricos dos nutrientes, com o valor energético do alimento expresso no rótulo alimentício. Se todos os cálculos forem feitos corretamente, observaremos que o valor obtido excederá nesse caso em aproximadamente 10% o valor expresso no rótulo. Discuta com os alunos o motivo dessa divergência. Para isso, apresente semelhanças e diferenças entre os produtos de combustão dos nutrientes, tanto pela via calorimétrica como pelo metabolismo. Instigue os alunos a refletirem também a respeito dos aspectos digestivos relacionados aos nutrientes de maneira a apresentar o fator de digestibilidade.

Questões

- 1) Por que os cálculos dos valores energéticos obtidos por meio do rótulo do alimento e via valores calorimétricos são divergentes?
- 2) Quantidade de energia na forma de Calor possibilitada pela combustão de um alimento contendo proteínas, carboidratos e lipídeos um Calorímetro é a mesma energia possibilitada na forma de Calor por vias metabólicas? Justifique.

3) Diferencie Calor de combustão dos nutrientes e Energia global dos nutrientes.

Sugestão de atividade alternativa: Ação enzimática na digestão dos nutrientes.

Para que o processo de transformação e transferência de energia da alimentação para o organismo ocorra, é necessário que os nutrientes passem pelo processo de digestão. Que envolve transformações físicas desde a trituração e formação do bolo alimentar na boca, até os processos de despolimerização de macromoléculas como o amido, ácidos graxos e proteínas, em moléculas menores, capazes de serem absorvidas no trato gastrointestinal. Esse processo de digestão ocorre com o auxílio de catalisadores biológicos chamados de enzimas, que aceleram os processos de despolimerização dos macro nutrientes, por meio de processos energéticos envolvendo o abaixamento de energia de ativação das reações envolvidas. Logo, nessa altura do trabalho, existe uma boa abertura para discussões de aspectos cinéticos das reações químicas, estrutura das enzimas, mecanismos estéricos de enzima-substrato. Uma maneira interessante de se iniciar essa discussão seria com a utilização da atividade descrita a seguir:

Após discussão sobre os rótulos dos alimentos e as informações que podem ser extraídas dessa leitura, solicite aos alunos que analisem o rótulo de um pacote de biscoitos. Certamente eles observarão que o biscoito possui um elevado percentual de carboidratos. Feito a leitura e observações das informações extraídas do rótulo, solicite aos alunos que coloquem um biscoito na boca e sintam como sua característica de sabor adocicado vai aumentando à medida que o mantemos na boca, sem mastigá-lo. Feito esse procedimento, inicie uma discussão em torno do motivo dessa sensação com o passar do tempo. O objetivo dessa atividade é destacar o efeito da enzima amilase, contida na saliva, responsável por catalisar a clivagem dos carboidratos em glicose. Logo, com o passar do tempo do biscoito na boca a concentração de glicose aumenta conferindo uma sensação de sabor mais adocicado, devido a ação da amilase.

De onde vem a energia possibilitada pelos alimentos?

Os diferentes valores energéticos dos nutrientes estão relacionados com suas respectivas estruturas moleculares. McArdle (2013), explica de forma sumaria e generalizada o elevado valor energético dos lipídeos em relação a proteínas e carboidratos, em função do maior número de ligações C-H presente em sua estrutura, conferindo conseqüentemente um maior número de sítios de oxidação, portanto uma possibilidade energética maior nessas macromoléculas. No entanto, a interpretação molecular da energia liberada na forma de Calor via oxidação dos nutrientes, muitas vezes é concebida como energia contida nas ligações covalentes dos nutrientes, sendo liberada quando essas ligações são clivadas, corroborando com uma visão substancialista de energia (DRIVER et al, 1994). Porém, se pensarmos que a própria formação da ligação química, como define Atkins (2012), ocorre em função do abaixamento energético promovido pelo balanço das interações eletrostáticas atrativas e repulsivas entre os átomos envolvidos na formação da ligação, parece contraditório falar em liberação de energia em um processo que requer energia, como é o caso da clivagem das ligações químicas. Ademais, essa visão de energia armazenada nos nutrientes também dificulta que possamos compreender a participação do oxigênio na oxidação dos nutrientes, sendo muitas vezes omitido nesses processos de liberação de energia (CHEN, 2014). Chen (2014) propõe um entendimento de energia possibilitada pela alimentação, em detrimento à ideia de energia estocada nos nutrientes. Perceba que em nosso texto evitamos termos como “liberação” e absorção “ de energia, pois acreditamos que essas expressões favorecem uma interpretação de energia estocada e estática, em detrimento a energia como processo. Esse apontamento feito pelo autor supracitado pode ser favorecido por uma abordagem de ensino que privilegie uma perspectiva energética da alimentação, pautada em uma interpretação molecular de um processo em que oxigênio desempenhe um papel fundamental. Pois ele promove a oxidação dos nutrientes, gerando espécies com ligações químicas mais estáveis energeticamente, possibilitando um saldo negativo de energia entre produtos e reagentes, responsável pela liberação de energia nos processos de combustão dos nutrientes, seja em Calorímetros, ou no metabolismo no corpo humano. Portanto, a energia proveniente da alimentação não está estocada nas ligações

químicas dos nutrientes, mas é derivada de um processo de oxidação em que são formados compostos oxidados com ligações químicas mais estáveis energeticamente, como é o caso do gás carbônico e água para o caso dos hidrocarbonetos e lipídeos e da ureia para as proteínas. Deve ficar claro que não estamos dizendo que as ligações químicas não são formadas por meio do abaixamento da energia potencial, referente a posição ou distancia internuclear entre os átomos que a constituem. Por exemplo, quando dizemos que o calor de combustão de 1g de carboidrato é igual a 4,2kcal, de acordo com a visão estoquista de energia pode-se entender implicitamente que as ligações químicas que compõe o carboidrato possuem uma energia de 4,2kcal que é liberada na combustão. Por outro lado, a visão de energia possibilitada, apresentada com base nas ideias de CHEN (2014), pode contribuir para uma interpretação do processo de combustão de maneira mais ampla, em que o oxigênio desempenha um papel fundamental no processo de combustão, que por meio do rearranjo de ligações químicas propicia um abaixamento energético.

Sugestão de atividade em sala de Aula: Energia possibilitada por um processo de oxidação dos nutrientes.

Propomos uma atividade que pode ser feita em grupo ou individualmente, de modo que os alunos reconheçam o processo de oxidação da Glicose a gás carbônico e água como responsável pela transferência de energia para o organismo humano. Utilize modelos moleculares como os mostrados na Figura 4, para que os alunos compreendam o rearranjo das ligações nesse processo, de forma que possam mensurar a energia possibilitada por meio da somatória das energias de ligações clivadas e formadas na reação de oxidação total da glicose. Para isso, forneça o valor de energia média das ligações que compõe as moléculas de Glicose, Oxigênio, gás Carbônico e Água. Contraste a ideia de processo com a concepção de energia estocada, de maneira que favoreça uma compreensão de que a energia é possibilitada por determinado nutriente em um processo e não uma visão estática de energia estocada nas ligações químicas.

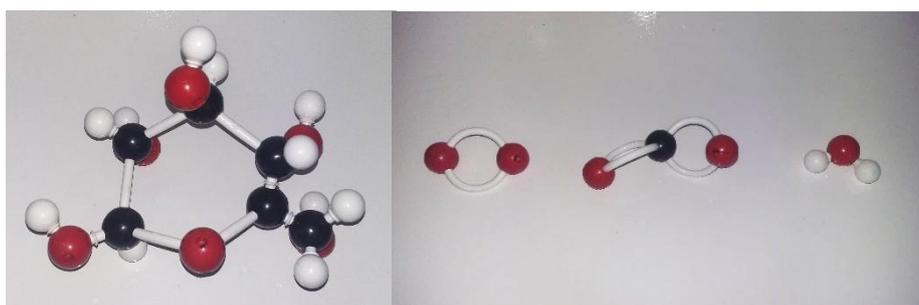


Figura 5: Modelos moleculares da glicose, oxigênio molecular, gás carbônico e água.
Fonte: Próprios autores.

Questões

1) Em uma aula de ciências sobre calorias nos alimentos, um aluno fez a seguinte assertiva:

“A energia que obtemos via alimentação fica estocada nas ligações químicas dos nutrientes”.

Você concorda com a afirmativa proposta?

2) Se a energia fica realmente nas ligações químicas dos nutrientes, qual o papel do oxigênio nos processos de transferência de energia via alimentação?

3) Qual das alternativas abaixo melhor representa seu entendimento acerca da energia global dos nutrientes:

() A energia global de determinado nutriente está estocada nas ligações químicas das moléculas dos nutrientes.

() A energia global de determinado nutriente é a soma da energia estocada nas ligações químicas das moléculas dos nutrientes mais a energia da ligação do oxigênio.

() A energia global de determinado nutriente é a soma dos valores energéticos necessários para clivar as ligações que compõe as moléculas do nutriente e do Oxigênio mais o valor energético envolvido nas formação das ligações que compõe as moléculas de água e gás Carbônico.

Energia global x Energia útil

A energia global é o valor energético na forma de Calor expresso nos rótulos alimentícios. Já a energia útil pode ser considerada como aquela disponível para que possamos realizar nossas funções motoras e fisiológicas básicas, como por exemplo, movimentar determinado músculo ou transmitir um impulso elétrico em células nervosas. Observe que a energia global pode ser interpretada como Entalpia, pois trata-se do Calor envolvido em processos que ocorrem em pressão constante. Como é o caso da oxidação dos nutrientes, seja em um Calorímetro ou por vias metabólicas. Em ambos os processos não há variação da pressão externa. Em contrapartida, a energia útil está associada com a capacidade de realização de Trabalho além do de expansão. Como por exemplo o Trabalho mecânico envolvido na movimentação das fibras musculares e o Trabalho elétrico relativo a transmissão elétrica nas células nervosas. Portanto, a energia útil se refere a natureza energética associada a energia livre de Gibbs, como definido no capítulo 1. Portanto, o valor energético de maior interesse para nosso organismo é o valor da energia útil, ou seja, da variação da energia livre de Gibbs das reações de oxidação dos nutrientes que ocorrem em diversas etapas no metabolismo humano. Concluimos então que o valor energético expresso nos rótulos alimentícios (energia global) difere do valor energético que é disponibilizado para que nosso organismo realize suas

funções vitais. No entanto, podemos relacionar qualitativamente esses valores, como exemplificado na questão emergente a seguir.

Questão emergente: Por que os rótulos alimentícios expressam os valores energéticos em formas entálpicas (energia global) e não em termo de energia livre de Gibbs (energia útil)?

Apesar de definições e valores distintos, as variações de Entalpia e de Energia livre de Gibbs associadas aos processos oxidativos dos nutrientes, podem ser relacionadas. Para isso faremos uma análise qualitativa da equação $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, apresentada no capítulo 1. Antes precisamos fazer algumas inferências em relação ao termo $T\Delta S$. Em que: T é a temperatura do sistema e ΔS a variação de Entropia do processo. A variação de Entropia pode ser compreendida como uma medida de possibilidades de arranjos formados no sistema. Por exemplo, reações com reagentes sólidos que formam produtos gasosos tendem a apresentar uma variação de Entropia positiva, pois moléculas gasosas possuem mais modos vibracionais do que moléculas sólidas, configurando um maior número de arranjos possíveis e maiores configurações de dispersão de energia. Como os processos de oxidação dos nutrientes liberam energia e moléculas no estado gasoso, como é o caso do gás carbônico, então podemos inferir que esses processos contribuem para um aumento da Entropia. Tornando negativo o termo $-T\Delta S$ da equação, considerando o valor da temperatura (T) do sistema positivo e constante. Sabemos também que a oxidação dos nutrientes é um processo exotérmico, logo $\Delta H < 0$. O efeito das contribuições entálpicas ($\Delta H < 0$) e entrópicas ($-T\Delta S < 0$) tornam negativo o valor da variação da energia livre de Gibbs ($\Delta G < 0$). Se analisarmos o efeito do módulo da variação da Entalpia na variação da energia livre de Gibbs, considerando $-T\Delta S < 0$, podemos sumarizar que: valores de variações de Entalpia maiores em módulo refletem em um aumento em módulo da variação da Energia Livre de Gibbs do processo. Além disso, podemos observar que os valores da variação de Energia Livre de Gibbs serão sempre maiores em módulo do que o valor das variações de Entalpia, para processos exotérmicos e com variação de Entropia positiva, como é o caso da oxidação dos nutrientes. Ou seja, o valor da energia útil é maior que o valor da energia

global. Essa última observação talvez possa nos ajudar a construir hipóteses para responder a pergunta que baliza essa caixa de questões emergentes. Imagine uma porção de 100 g de castanha de caju, com seu valor de energético de cerca de 570Kcal. Se o valor energético apresentado no rótulo desse alimento fosse expresso em termos de sua possibilidade de energia útil (energia livre de Gibbs) observaríamos um valor consideravelmente maior que 570 kcal. Considerando a tendência fitness cada vez mais comum nos dias atuais, é mais adequado em termos mercadológicos, expressar os valores energéticos dos alimentos em termos de grandezas que o consumidor observe um menor número de Calorias, como é o caso da energia global (Entalpia) em detrimento a energia útil (Energia Livre de Gibbs). Além disso, é mais trabalhoso obter o valor da variação Energia Livre de Gibbs dos processos de oxidação dos alimentos, em relação a obtenção do valor de sua variação de Entalpia, que pode ser obtida experimentalmente ou teoricamente através da composição percentual do alimento e a conversão energética utilizando os fatores gerais de Atwater.

Questões para refletir

- 1) A energia útil dos alimentos pode ser expressa em kcal?
- 2) O trabalho mecânico realizado por uma pessoa de 60 kg ao subir 10 degraus de 20 cm é aproximadamente 1200 J. Para compensar o gasto energético realizado nessa atividade uma pessoa precisa comer uma refeição de 1200 J de energia útil?

Capítulo 3: Energia e Metabolismo

Como ocorre a Transferência de energia da alimentação para o corpo humano?

Os alimentos são nossa fonte de energia para que possamos nos manter vivos e realizar nossas funções básicas. Já discutimos que a energia útil possibilitada pelos nutrientes energéticos é proveniente de processos de oxidação, em que o oxigênio molecular desempenha um papel fundamental. O fluxo de energia proveniente da oxidação dos nutrientes não é realizado de

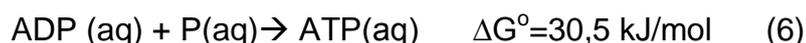
maneira abrupta em nosso organismo, mas é feito de maneira paulatinamente processual em diversas reações químicas que ocorrem no interior de nossas células, com o objetivo de aproveitar ao máximo o influxo de energia possibilitado pela alimentação. Essa série de reações químicas constitui o que chamamos de metabolismo energético.

Assim como acontece no contexto das máquinas térmicas, sabemos que os mais distintos processos em que ocorrem transformações, fluxo ou transferência de energia são acompanhados por severas perdas de energia (energia não utilizável), ou dissipação energética, de acordo com a segunda lei da Termodinâmica. No interior de nossas células onde ocorre o metabolismo energético, uma diversidade de reações acopladas busca realizar a oxidação dos nutrientes energéticos de maneira mais eficiente possível. O fluxo da energia útil nas células permeado pela diversidade de reações químicas acopladas é feito com base no fluxo de elétrons, ou seja, em processos de oxirredução.

Como nosso organismo não utiliza imediatamente, como em uma máquina térmica, toda energia possibilitada pela oxidação dos nutrientes, é necessário o desenvolvimento de processos que produzam moléculas energeticamente intermediárias, como é o caso do ATP (Trifosfato de adenosina). A essa altura você deve estar pensando que ATP é energia. No entanto podemos afirmar categoricamente que ATP não é o mesmo que energia. Mas, sim uma molécula intermediadora do processo do metabolismo energético. Então a molécula de ATP estoca a energia no processo do metabolismo energético? NÃO! Precisamos compreender o metabolismo energético como um processo intrincado de reações de oxirredução acopladas, lembrando sempre que nenhuma molécula estoca energia em suas ligações, pois como já frisamos a ligação química é estabilizada por um abaixamento ou escassez de energia. Portanto, o papel das moléculas de ATP é intermediar o processo de transferência energética propiciado pela oxidação dos nutrientes, de maneira que a energia possa ser utilizada processualmente de acordo com as demandas energéticas celulares.

Interpretação oxidativa da respiração celular

Todo complexo e articulado processo de reações acopladas visando à transferência de energia livre de Gibbs via intermediadores moleculares como o ATP, constitui o que chamamos de metabolismo energético, que pode ser dividido em dois tipos de processos: catabolismo e anabolismo. Os processos catabólicos são aqueles que ocorrem com a oxidação dos nutrientes energéticos, como a glicose, liberando energia livre de Gibbs (processo espontâneo) que pode ser transferida para a obtenção de moléculas (processos anabólicos) que são sintetizadas em reações que necessitam de energia livre para ocorrerem (processos não espontâneos), como a síntese do ATP. Para a obtenção de um mol de moléculas de ATP a partir de ADP e fosfato em água, são necessários 30 kJ de energia livre de Gibbs, conforme a equação (6):



A energia transferida de energia da oxidação da glicose para impulsionar a síntese de ATP ocorre ao longo de várias etapas que podem ser sistematizadas como: Glicólise, Ciclo de Krebs e Fosforilização oxidativa. Nos organismos aeróbicos a oxidação dos nutrientes energéticos ocorre tendo o oxigênio como agente oxidante e os átomos de carbono como agentes redutores. Dauer et al (2014), propõe que o fluxo de energia ao longo dos processos metabólicos deve ser compreendido por meio das reações de oxidação dos compostos de carbono, de forma que se possa atribuir uma interpretação química dos processos biológicos, evitando modulações e distinções disciplinares do conceito de energia. Assim, podemos “rastrear” o fluxo energético no metabolismo indiretamente pelas transformações da matéria que ocorrem nesse processo. Quando falamos do fluxo de elétrons nos processos metabólicos, estamos nos referindo aos mesmos processos de oxirredução que ocorrem em sistemas estudados tradicionalmente na Química, como os sistemas de pilhas e baterias. Em uma pilha, por exemplo, ocorrem processos de transferência de elétrons liberando energia livre de Gibbs de acordo com a equação:

$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + RT \ln \frac{[\text{red}]}{[\text{oxi}]} \quad (7)$$

Em que:

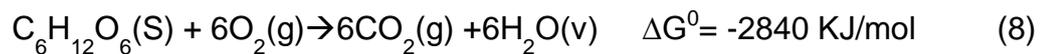
ΔG° = Energia livre padrão da reação

R = constante dos gases ideais

T = temperatura do sistema reacional

[red] e [oxi] = respectivamente as concentrações das espécies reduzidas e oxidadas no processo de transferência de elétrons.

Em um contexto do metabolismo, podemos compreender a espécie reduzida como o nutriente energético, por exemplo, a Glicose. E a espécie oxidada como o gás carbônico produzido no final da respiração celular e água. Não faz parte do escopo de nosso texto pormenorizar todas as etapas da respiração celular. No entanto podemos sumarizar todo processo pela equação global a seguir:



Dissipação da energia e rendimento da respiração celular

Mesmo sem entrarmos nos detalhes dos aspectos reacionais que envolvem o intrincado processo de reações acopladas presentes ao longo da respiração celular, podemos observar que a energia se transfere e se transforma ao longo desses processos. No entanto, os aspectos conservativos e dissipativos, podem não ser notados com a mesma clareza. Para que possamos evidenciá-los basta pensarmos no rendimento energético do metabolismo, assim como em uma máquina térmica. O metabolismo de um mol de glicose gera entre 34 e 36 mols de ATP como intermediário energético. Sabemos que são necessário cerca de 30,5 kJ para sintetizar um mol de ATP, via ADP e fosfato solvatados em água, como mostrado na equação (6). Com base nesse valor seria necessária uma quantidade de energia livre de Gibbs entre 1037 e 1098 KJ para sintetizar respectivamente 34 e 36 mols de ATP, quantidades produzidas a partir da oxidação de um mol de glicose, que por sua vez libera aproximadamente 2840 kJ de energia livre de Gibbs (8). Observe

que se toda energia possibilitada pela oxidação da glicose (2840 kJ/mol) fosse usada realmente para impulsionar a produção de ATP, seriam geradas 93 moléculas de ATP e não 34 e 36. Dessa forma o rendimento energético da respiração celular varia entre 36 % e 38 %. O restante da energia é perdida na forma de Calor no decorrer dos processos que é acompanhado de um aumento da Entropia, decorrente da liberação de Calor. Pelo cálculo do rendimento fica evidente o aspecto da dissipação da energia na forma de Calor, que é complementado pelo aspecto da conservação, pois a energia não se perdeu, parte dela apenas se transformou em Calor. Logo, a energia foi conservada, pois não foi produzida nem perdida, apenas transferida, transformada e dissipada na forma de Calor ao longo das três etapas que compõe a respiração celular. Destacamos que o rendimento energético da respiração celular depende da natureza de cada célula. De maneira que células que necessitam de mais energia, como células musculares, apresentam um rendimento energético maior. O rendimento energético em tipos de células diferentes pode ser ajustado pelo controle das concentrações de ATP, ADP e fosfato inorgânico no interior dessas células. Pois o valor de energia livre de Gibbs de 30,5 kJ/mol que utilizamos nos cálculos do rendimento, se refere à energia livre de Gibbs padrão do processo de síntese do ATP. Ou seja, em condições de 1 atm. e 25 C e todos os reagentes e produtos em concentrações de 1M. É notável que essas condições não se preservam no organismo humano, sendo que podemos considerar apenas a pressão como aproximadamente 1 atm. Logo, a temperatura corporal e principalmente as concentrações de ATP , ADP e fosfato , vão influenciar a demanda energética para síntese de ATP . A equação (9) mostra a relação entre a energia livre de Gibbs envolvida na hidrólise do ATP em função da temperatura e concentrações de ATP, ADP e fosfato inorgânico.

$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + RT \ln \frac{[ADP][P]}{[ATP]} \quad (9)$$

Proposta de Atividade em Sala de Aula

Buscamos com essa atividade favorecer incipientemente uma compressão do

fluxo de energia na respiração celular baseada em reações acopladas que envolvem transferência de elétrons, assim como ocorrem em pilhas e motores automotivos elétricos. Explique aos alunos que o processo de transferência de energia na respiração celular ocorrem em organelas específicas chamadas de mitocôndrias e que elas são geralmente comparadas com motores automotivos, devido suas semelhanças funcionais. Solicite aos alunos que pesquisem semelhanças e diferenças entre os processos de transferência de energia em uma mitocôndria, em um motor elétrico e em um motor a combustão. Como base na pesquisa solicitada peça aos alunos que comparem a mitocôndria com um dos dois motores, elétrico ou combustão. Utilize dados de rendimento de motores automotivos elétricos e a combustão de forma a compará-los com o rendimento da respiração celular calculado na seção 3.2. Balize a discussão de modo a evidenciar as semelhanças entre o rendimento e os processos de transferência de energia que ocorrem nos motores elétricos e nas mitocôndrias, com base no fluxo de elétrons de maneira orientada comum aos dois processos. Evidencie a maior dissipação de energia nas transformações e transferência de energia que ocorrem em motores a combustão em detrimento à motores elétricos. Instigue os alunos a pensarem o que aconteceria no interior de nossas células se transferência de energia ocorresse de maneira abrupta como em um motor a combustão.

Questões

- 1) Explique como o fluxo de energia por meio de transferência orientada de elétrons pode impactar no rendimento de processos em que a energia é transferida, como por exemplo, motores elétricos e mitocôndrias.
- 2) A hidrólise do ATP em ADP e fosfato inorgânico é um processo que ocorre intensamente no metabolismo celular, apresentando uma grande demanda até mesmo quando estamos em repouso, situação que aparentemente não requer uma elevada exigência energética. Dessa forma, a recuperação do ATP via ADP e fosfato também é muito exigida para suprir as demandas energéticas básicas do organismo. Essa reposição é feita principalmente pela Glicose disponível no sangue. Em situações de baixas taxas de Glicose no sangue, como o organismo procede para sustentar a elevada demanda na reposição das moléculas de ATP?
- 3) As concentrações de ATP, ADP e fosfato inorgânico são diferentes em células com funções distintas, como mostrado na tabela abaixo:

Célula	Concentração de ATP (mM)	Concentração de ADP (mM)	Concentração de Fosfato (mM)
Y	5	0,2	0,1
X	3	2,2	0,2
Z	5	2,5	0,3

Em qual tipo de célula ocorre uma maior possibilidade de transferência energia livre de Gibbs, decorrente da hidrólise do ATP? Justifique.

(Se necessário utilize $\Delta G = \Delta G^0 + R T \ln$, $R = 8,314 \text{ J/ mol K}$, $T = 310$ e $\Delta G^0 = -30500 \text{ J}$).

Qual das três células poderia ser uma célula muscular.

4) O que ocorre com a porcentagem de energia que não foi utilizada para síntese de ATP via oxidação da Glicose? O processo da respiração celular está de acordo com as leis da Termodinâmica? Aponte situações no processo do metabolismo energético em que se pode evidenciar os aspectos dissipativos e conservativos da energia.

Para ler, refletir e pesquisar: ATP moeda física energética ou criptomoeda energética?

A molécula de Trifosfato de Adenosina é recorrentemente concebida em livros didáticos como uma moeda energética, devido seu papel intermediador no fluxo de energia no metabolismo humano. Se pensarmos no ATP como uma moeda física podemos estar conferindo um caráter de estocagem de energia na molécula. Pois assim como uma moeda física contém seu valor de mercado, a molécula de ATP guarda a energia para ser utilizada nos processos metabólicos. As criptomoedas de acordo com PIRES (2017) podem ser compreendidas como moedas virtuais utilizadas para a realização de pagamentos em transações comerciais. Ou seja, possuem a mesma função de comprar mercadorias e serviços que as moedas já conhecidas por nós, como o Real e Dólar. No entanto, diferentemente das moedas físicas as criptomoedas são geradas por complexos códigos criptográficos que conferem uma elevada descentralização da informação. A descentralização das criptomoedas é

possibilitada pela tecnologia Blockchain (cadeia de blocos) uma espécie de livro eletrônico que contabiliza todas as transações realizadas. Os registros das transações são distribuídos por uma grande comunidade de usuários espalhados ao redor do mundo, e não em local único local. Ou seja, a informação relacionada ao valor possível da moeda está descentralizada por meio de um processo dinâmico regido por complexos algoritmos computacionais, em detrimento a uma informação de valor atribuída à moeda física. Se pensarmos no fluxo de energia no metabolismo como um processo em que o ATP intermédia as possibilidades do trânsito de energia e não como uma molécula que armazena a energia, podemos traçar um paralelo mais plausível entre o ATP e uma criptomoeda, do que com uma moeda física.

Você concorda com o posicionamento expresso no texto acima?

Pesquise mais sobre semelhanças entre fluxo de energia e fluxo de informação.

Se o rompimento de uma ligação química demanda energia, como a clivagem de ATP em ADP e fosfato inorgânico libera energia?

A formação de ligações químicas são processos exergônicos³. Então você deve estar se debatendo: Como a formação da ligação do fosfato com o ADP demanda energia, se a formação de uma ligação química é um processo que libera energia, não seria o contrário?

Então vamos esclarecer essa dúvida!

O que muitas vezes não fica evidente em livros textos principalmente de Biologia, como afirma GEBARA (2009), é que a síntese da molécula de ATP por meio de ADP e fosfato, não é constituída somente pela formação de uma ligação química entre o fosfato e o ADP, como pode ficar entendido pela interpretação da Figura (9):

³ Ocorre com liberação de energia livre de Gibbs.

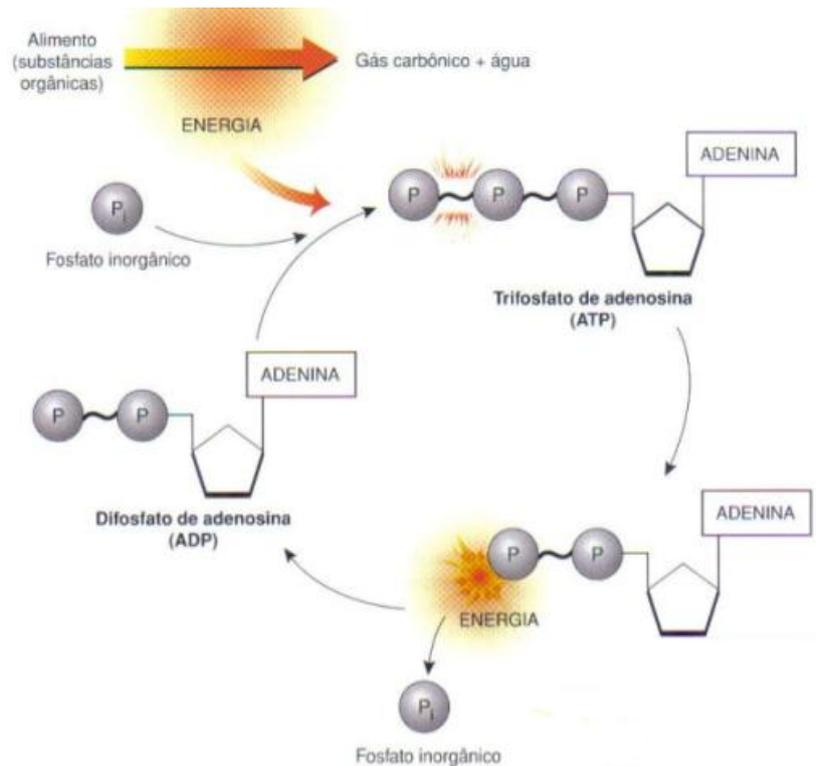


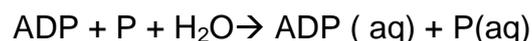
Figura 6: Representação usual da clivagem do ATP
 Fonte: MARTINS (2012, p.38)

Para facilitar nosso entendimento vamos pensar no processo contrário. A decomposição de ATP em ADP e fosfato envolve um processo que é constituído por mais uma etapa, envolvendo o processo de solvatação das moléculas. Então quando dizemos que a clivagem de uma molécula de ATP libera energia, estamos nos referindo a hidrólise da molécula de ATP, ou seja, sua clivagem em meio aquoso que pode ser dividida em duas etapas hipotéticas:

1) Clivagem das ligações químicas (processo endotérmico e endergônico⁴):



2) Solvatação das moléculas de ADP e P (processo exotérmico e exergônico):



3) Reação global:



⁴ Processo que demanda energia Livre de Gibbs.

A soma das duas expressões acima nos fornece a expressão geral referente à reação exergônica de solvatação do ATP, em que a variação negativa de energia no processo 2 compensa a variação positiva no processo 1. Resultando em um processo global exergônico. Para que se evitem imbrólios desse tipo, é necessário que seja feita uma análise energética das contribuições das etapas intermediárias constituintes do processo global, (TYMOCZKO ,2011).

Questão emergente: Pílulas de ATP

A molécula de ATP funciona como uma transferidora imediata de energia em curto prazo. Segundo Tymoczko (2011), em média há uma taxa de consumo cerca de uma molécula de ATP por minuto em uma célula típica (entenda como célula típica, aquela com uma atividade metabólica normal). Ainda de acordo com o autor, o organismo humano apresenta uma quantidade total de ATP que se limita a aproximadamente 250 g por organismo. Apesar dessa pequena quantidade, a taxa de consumo dessa molécula pode chegar a até 30 kg por hora em uma corrida vigorosa de alto rendimento. Dessa maneira se faz necessário mecanismos de recuperação do ATP via ADP, fosfato inorgânico e energia livre de Gibbs proveniente da oxidação de nutrientes. Devido ao papel fundamental do ATP nos processos do metabolismo energético, você pode estar se perguntando: “Não seria mais simples ingerirmos ATP diretamente por via oral ou intravenosa?” Essa pergunta com tons de ficção científica que remete a saudosa série animada de televisão “The Jetsons”, não é extremamente absurda. Na verdade, já existem pílulas de ATP que podem ser adquiridas sob recomendação médica. De acordo com Fuller (2012) a suplementação alimentar de ATP pode oferecer resultados positivos em praticantes de atividades físicas e atletas que realizam exercícios físicos repetitivos de alta intensidade. Fuller (2012), afirma que a suplementação com 400 g de ATP/ dia durante 15 dias tende a reduzir a fadiga muscular de praticantes de exercícios, aumentando também o fluxo sanguíneo e melhora no torque muscular em séries de exercícios exaustivos. No entanto, ainda não se sabe os benefícios e possíveis riscos do consumo de ATP, principalmente para não atletas. Acrescente-se a isso o fato de que as pílulas de ATP não são baratas, devido ao elevado ônus relativo a síntese desse composto.

Questões

Suponhamos que novos estudos relacionados com a ingestão de pílulas apontem que

não há contraindicações para essa prática em não atletas. Você acha que isso poderia ser o início de uma nova revolução nas práticas alimentares que poderia culminar nas pílulas que substituem os alimentos? Pondere seus argumentos com base nos possíveis aspectos evolutivos que podem ser causados principalmente no sistema digestivo.

Capítulo 4: Energia e Atividade Física.

Trabalho Mecânico e Contração Muscular

Discutiremos nessa seção como a energia livre de Gibbs proveniente da hidrólise das moléculas de ATP pode ser usada para a realização de Trabalho mecânico envolvido na contração muscular. Ressaltamos de acordo com Duran (2012), que nem toda energia utilizável proveniente da hidrólise de ATP é usada para funções motoras, boa parte dessa energia é usada para a manutenção da temperatura corporal, anabolismo de moléculas (proteínas e gorduras), funcionamento basal dos órgãos e dissipação na forma de Calor transferido para a vizinhança. A parcela usada para realização de Trabalho externo está diretamente ligada à contração muscular, aspecto que pormenorizaremos subseqüentemente.

Os movimentos musculares são uma forma de o corpo humano realizar Trabalho externo, ou transferirem energia para a vizinhança. A energia possibilitada pela hidrólise das moléculas de ATP é transferida para os tecidos musculares para que se possa ocorrer o Trabalho mecânico nas fibras que formam a musculatura. Para que possamos compreender melhor como ocorre esse processo de transferência de energia, é necessário discutir alguns aspectos estruturais e funcionais do tecido muscular.

O sistema muscular é constituído por três tipos de músculos: Liso, cardíaco e esquelético. A musculatura lisa e cardíaca está associada aos movimentos que realizamos sem nos dar conta, são os chamados movimentos involuntários. A musculatura lisa está associada aos movimentos peristálticos relacionados às contrações e relaxamento do intestino, permitindo o movimento dos alimentos e do material fecal ao longo do trato gastro intestinal, dentre outros movimentos que realizamos sem perceber. Já a musculatura cardíaca é

encontrada apenas no coração, sendo responsável pelos movimentos vitais do nobre órgão que bombeia o sangue para o corpo. Apesar da musculatura lisa e cardíaca estar ligada indiretamente a atividade física, a musculatura esquelética sem dúvida possui um papel determinante para que o corpo humano realize Trabalho externo (WILMORE & COSTILL, 2001). A organização estrutural da musculatura esquelética segue uma ordem hierárquica, em que as células que constituem o músculo são chamadas de fibras musculares. As fibras musculares são constituídas de filamentos mais finos, formadas por estruturas básicas musculares, denominadas sarcômeros.

Os modelos para os mecanismos de contração muscular foram propostos na década de 1950, pelos biólogos ingleses Hugh e Andrew Huxley. O modelo proposto pelos biólogos preconiza que a contração e distensão muscular ocorrem devido ao deslizamento dos filamentos proteicos delgados e espessos um sobre o outro. De forma que os filamentos proteicos de miosina, que compõe as fibras musculares, se separem de forma cíclica sobre os filamentos de actina, outra proteína que constitui as fibras musculares. Esse movimento de deslizamento é impulsionado pela energia liberada na hidrólise de moléculas de ATP, que é acionada por um complexo mecanismo de transmissão nervosa (MCARDLE, 2003). Nessa sucinta descrição do mecanismo de movimento muscular, fica explícito o papel fundamental da hidrólise do ATP como propulsora energética para a ocorrência de um processo não espontâneo, a contração muscular. O mecanismo descrito pode ser mais bem compreendido com o auxílio da figura a seguir e do vídeo disponível nesse [link](#).

No processo de contração muscular as cadeias de actina combinam-se com miosina e ATP. A actina é responsável pela ativação da enzima ATPase que catalisa a hidrólise de ATP, transferindo energia para a movimentação das pontes cruzadas de miosina responsáveis pela movimentação muscular (MCARDLE, 2003). Ressaltamos que o mecanismo de contração e distensão muscular envolve outras etapas que se iniciam com a geração de potenciais elétricos pelo nervo motor, porém não entraremos em detalhes desse mecanismo.

A demanda energética necessária para gerar os movimentos musculares depende do tipo de atividade física que se está realizando. A razão da energia

utilizada em determinada atividade física pelo tempo gasto nessa atividade é denominada taxa metabólica. (DURAN, 2012). Uma forma de se mensurar esse gasto energético é pela técnica de Calorimetria indireta, baseada na aferição do volume de oxigênio consumido pelo organismo durante a atividade física (MARCARDLE, 2003). Sabemos que o processo do metabolismo energético pode ser compreendido por uma série de reações de acopladas de transferência de energia livre de Gibbs. Essas reações dependem da utilização do oxigênio, logo a taxa de consumo desse gás fornece uma medida indireta da energia que está sendo liberada na oxidação dos nutrientes. Segundo Duran (2012), para cada litro de oxigênio consumido pelo corpo humano são transferidos em média cerca de 20 kJ de energia. Dessa forma se uma pessoa ao passear de bicicleta consumir 1,5 litros de oxigênio por minuto, a taxa metabólica dessa atividade física é em média de 500 J/s ou 500 W ($1,5 \text{ l/m} \times 20.000 \text{ J}$). Logo, dependendo do tipo de atividade física que se realiza é necessário que se recorra a uma demanda energética elevada, de forma que a recuperação das moléculas de ATP seja feita de maneira articulada com a demanda energética exigida pela atividade física. Existe uma ordem hierárquica do tipo de nutriente oxidado em função da taxa metabólica da atividade física, de forma que: à medida que se intensifica o tempo e vigor da atividade física, moléculas de glicose vão sendo consumidas, seguidas em uma ordem crescente pelo glicogênio, gorduras e por fim aminoácidos (HIRSCHBRUCH, 2008).

Assim como em todos os processos de transferência de energia, o processo de realização de Trabalho mecânico pelos músculos, existe uma eficiência de forma que nenhum processo atinge uma eficiência de 100%. Os músculos conseguem aproveitar apenas uma parte da energia livre de Gibbs liberada no processo de hidrólise do ATP, sendo a outra parcela dissipada na forma de Calor. Logo, como proposto por Duran (2012), a eficiência muscular é dada pela razão entre o Trabalho necessário para se realizar determinada atividade física e a taxa metabólica dessa atividade. Por exemplo, se em uma corrida o Trabalho mecânico médio por segundo realizado para movimentar os dois membros inferiores é de aproximadamente 2500 W e a taxa metabólica dessa corrida baseada no consumo de oxigênio necessário para oxidação dos nutrientes energéticos for igual à 12 500 W, teremos portanto, uma eficiência

muscular aproximada de 20%(2500/12500). Ou seja , apenas 20 por cento da energia proveniente dos mecanismos metabólicos de oxidação dos nutrientes é transferida para a realização de Trabalho mecânico necessário para a contração e distensão das fibras musculares. A outra parcela de energia é dissipada e tranferida na forma de Calor, em concordância com a segunda lei da Termodinâmica.

Questão proposta

O Trabalho realizado pelos membros inferiores em uma hora de caminhada com velocidade de 1m/s é de aproximadamente 36kJ, já o consumo médio de oxigênio é cerca de 0,15l/min. Calcule o rendimento mecânico muscular. Ocorreu dissipação e conservação da energia nesse processo?

Como é calculado o gasto energético em uma atividade física?

Existem basicamente duas formas de se mensurar a demanda energética durante uma atividade física, são elas a Calorimetria direta e a Calorimetria indireta. Os métodos de Calorimetria direta para determinação da demanda energética humana em uma atividade física se assemelham aos métodos utilizados para determinação das possibilidades energéticas dos nutrientes, descritos na seção de “energia e alimentação”. O primeiro Calorímetro humano mostrado na Figura xx, foi desenvolvido na década de 1890 pelo químico W.O Atwater e pelo físico E.R .Rosa. Note o trabalho conjunto de um físico e um químico para resolver um problema decorrente tradicionalmente do campo de estudo da Biologia, o metabolismo energético em uma atividade física, evidenciado a possibilidade integrada disciplinarmente permitida pelos aspectos energéticos envolvidos.

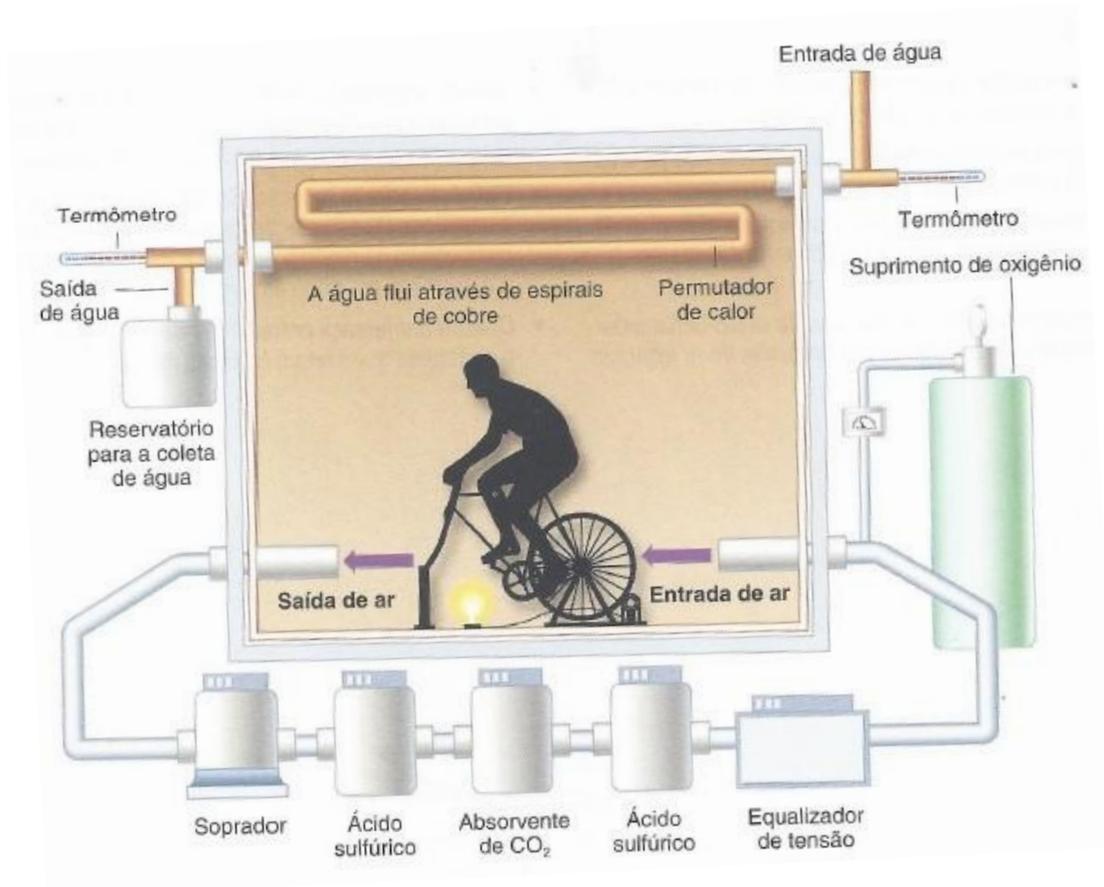


Figura 7: Calorímetro Humano.
 Fonte: McARDLE (2003, p.180)

O elaborado Calorímetro humano fornece medidas diretas da energia dissipada na forma de Calor durante uma atividade física, porém não considera a menor parcela da energia envolvida na realização do Trabalho mecânico para o movimento muscular. Com a técnica de Calorimetria indireta é possível aferir o gasto energético total da atividade física, ou seja, a soma entre a energia dissipada na forma de Calor e a energia útil usada para provocar os movimentos musculares envolvidos na atividade física. O equipamento usado na técnica de Calorimetria indireta é mostrado na Figura (8)

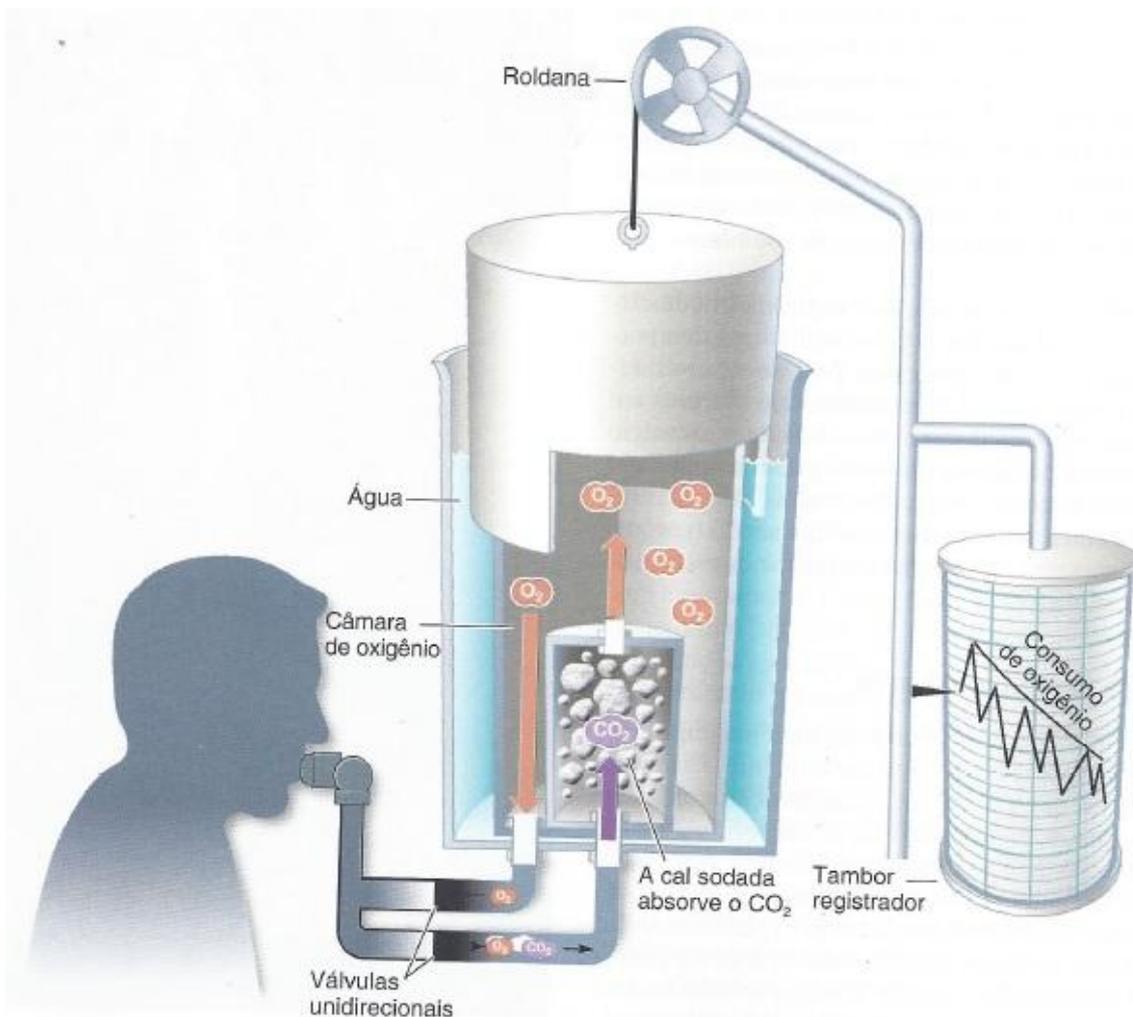


Figura 8: Calorímetro indireto.
 Fonte: MAcARDLE (2003, p. 181)

Por meio da calorimetria indireta são feitas medidas em relação ao volume de oxigênio consumido durante uma atividade física. A partir das medidas volumétricas do gás oxigênio podemos determinar a quantidade de energia livre de Gibbs possibilitada durante a atividade física, devido à oxidação das moléculas de Glicose. (MacArdle,2003). A estequiometria da reação de oxidação da glicose (equação 8), permite determinar que para cada litro de oxigênio consumido ocorre a liberação de 5kcal de energia livre de Gibbs. Logo, se determinamos o volume de oxigênio consumido na atividade física, podemos determinar por relação de proporcionalidade simples, a quantidade de energia livre de Gibbs demandada na respectiva atividade física. MacArdle (2003) destaca que o valor médio obtido quando se considera como precursores energéticos, não apenas a glicose, mas uma mistura de

carboidratos, lipídeos e proteínas, o valor médio obtido é de cerca de 4 kcal/l de oxigênio consumido, no entanto o valor arredondado convencionalmente para expressar qualquer atividade física aeróbica em unidades de energia é 5kcal/ L de gás oxigênio consumido.

Equivalentes Metabólicos da Atividade Física (MET)

De acordo com Ravagnani (2013), o equivalente metabólico da atividade física (MET), é o número de vezes pelo qual o valor energético gasto em uma situação de repouso é multiplicado durante a respectiva atividade. Por exemplo, uma caminhada a dois METs significa um gasto energético duas vezes maior que o gasto apresentado em uma situação de repouso. O MET geralmente é expresso em unidades de volume de oxigênio (ml) por massa corporal do indivíduo (kg) por tempo gasto na prática da atividade física (min). O valor de um MET , segundo Ravagnani (2013), é de 3,5ml/Kg/min. Ou seja, em uma situação de repouso consumimos 3,5 ml de oxigênio por quilo a cada minuto. Oxigênio inspirado é utilizado nos processos oxidativos dos nutrientes energéticos, portanto podemos estabelecer uma relação de proporcionalidade entre a taxa de oxigênio inspirado com a energia livre de Gibbs possibilitada nos processos de oxidação. De acordo com MaArdlle (2003), para cada litro de oxigênio inspirado são possibilitadas cerca de 5Kcal de energia. Fazendo as proporções simples podemos expressar o MET em função da energia consumida durante uma atividade física. Ressaltamos que o valor energético expresso em MET contabiliza toda energia possibilitada pela oxidação dos nutrientes energéticos durante a atividade física, e não somente a taxa de energia dissipada na forma de Calor que é calculada pela Calorimetria direta.

Proposta de atividade em sala de aula

Utilizaremos o texto a seguir para iniciar uma discussão em relação ao fluxo de energia que ocorre entre os processos oxidativos da Glicose e o equivalente metabólico da atividade física.

Texto 3: Esportes que mais gastam calorias: conheça o MET, seu aliado na dieta.

Queimas calorias é sempre um bom caminho para quem deseja emagrecer. A

alimentação adequada e a prática esportiva são aliadas para quem deseja perder peso. Toda prática esportiva prova queima de calorias, o combustível de nosso corpo. No entanto algumas atividades gastam mais calorias do que outras e a explicação por trás disso está em três letras: MET.

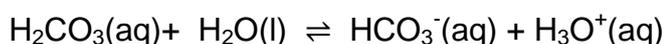
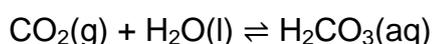
MET é abreviação de Metabólico Equivalente Task, ou em bom português Equivalente Metabólico da Tarefa. Para se chegar ao MET mediu-se o consumo de oxigênio em repouso de uma grande amostra de pessoas, concluindo que são consumidos 3,5ml/Kg/min, explicou DR Turíbio Barros, fisiologista do Eu Atleta. Com base nesse valor criou-se a calculadora de gasto calórico da atividade física. De modo que pode-se obter o gasto calórico da atividade física bastando apenas multiplicar o MET da atividade (valor tabelado) pelo peso do praticante (em quilos) e o tempo gasto na atividade física (em horas). A seguir alguns valores de MET para algumas atividades físicas: Ciclismo 12, corrida leve 9, futebol 7.

Adaptado de: <http://globoesporte.globo.com/eu-atleta/saude/noticia/2013/09/esportes-que-mais-gastam-calorias-conheca-o-met-seu-aliado-na-dieta.html> . Acessado em 23 de Maio de 2019.

Após solicitar que os alunos leiam o texto, pergunte aos alunos quais deles praticam atividades físicas e qual(is) atividades praticam. Posteriormente verifique o MET da possível atividade física apontada pelos alunos. Para isso clique no link que dá acesso ao texto na íntegra, lá você pode encontrar uma tabela com valores de METs de diversas atividades físicas. Solicite aos alunos que calculem as calorias gastas por eles durante suas respectivas atividades físicas. Após apresentarem e socializarem os valores, questione como podemos obter uma medida de energia a partir de valores de massa, volume, tempo. Faça explicações acerca do conceito de MET. Volte a questionar os alunos sobre como é possível determinar o gasto energético com base no volume de oxigênio inspirado durante a atividade física. Relacione o consumo de oxigênio com os processos oxidativos do metabolismo da Glicose. Utilize cálculos estequiométricos referentes a equação (8) para relacionar o consumo de oxigênio com as demandas energéticas. A atividade pode ser continuada utilizando a questão emergente a seguir.

Questão emergente: Proposta de atividade experimental para determinação do equivalente metabólico do repouso.

Ao invés de determinarmos o volume de oxigênio no repouso como é feito na técnica de calorimetria indireta, podemos obter aproximadamente o volume de gás carbônico expirado. Utilizando a equação (8) podemos inferir a demanda energética do repouso com base na relação de proporcionalidade estequiométrica entre o gás carbônico expelido e a energia livre de Gibbs da reação. Sugerimos determinar a quantidade de gás carbônico expelido pela respiração durante o repouso pela medida de variação do pH de uma solução aquosa borrifada por um canudo durante um determinado tempo, utilizando as seguintes equações:



Para realização da atividade sugerimos o seguinte roteiro:

Utilize papel tornassol para medir o valor de pH de um volume de aproximadamente 200 ml de água filtrada. Posteriormente, utilizando um canudo de plástico borbulhe ar na solução aquosa por um minuto. Em seguida, meça novamente o pH da água. Com base nos dois valores de pH calcule a variação hidrogeniônica causada pela adição de gás carbônico proveniente da respiração. Utilize a equação (11) para determinar o número de mols de gás carbônico expelido na água. Utilize a relação estequiométrica da equação (8) para determinar a energia livre de Gibbs correspondente ao processo de produção de gás carbônico liberado pela oxidação da glicose.

Questões

- 1) Compare o valor obtido com o MET do repouso. Calcule o erro do experimento.
- 2) Sugira possíveis alterações na atividade experimental que possam reduzir o erro.
- 3) Qual a vantagem determinação da demanda energética via determinação de

oxigênio inspirado ou gás carbônico expirado, quando comparada com determinação via calorimetria direta. Em qual das duas técnicas o aspecto dissipativo é mais levado em consideração?

Tranferência de Calor pelo corpo humano

A energia dissipada na forma de Calor durante uma atividade física pode aquecer os tecidos musculares e adjacentes, cabendo ao fluxo sanguíneo transferir o Calor de forma que seja propagado, aquecendo outras partes do corpo. O aquecimento corporal é minimizado por mecanismos de transferência de Calor para o entorno. Para que ocorra uma manutenção da temperatura corporal em um intervalo de 36 – 37 graus, o hipotálamo situado no cérebro atua como uma espécie de termostato, controlando os mecanismos de transferência de Calor principalmente por irradiação e convecção. De acordo com Duran (2012), cerca de 50% do Calor transferido do corpo humano para vizinhança se dá por meio de emissão de radiações, 25% na forma de convecção. Os outros 25% restantes são transferidos pela evaporação e transpiração. A transferência de Calor na forma de radiação eletromagnética ocorre de acordo com o modelo proposto por Stefan-Boltzmann, em que a intensidade da radiação infravermelha emitida é proporcional a quarta potência da temperatura da superfície corporal. Já o Calor transferido por convecção segue um modelo matemático de emissão mais complexo, conhecido por lei de resfriamento de Newton. Não entraremos em detalhes nas expressões matemáticas de cada modelo de transferência de Calor, pois como proposto em nossos objetivos, visamos atribuir mais significado físico aos aspectos energéticos em detrimento a cálculos massantes isolados de interpretações físicas dos fenômenos.

As diversas formas de transferência de Calor do corpo humano para as vizinhanças, processo relacionado aos aspectos dissipativos da energia, desempenham um papel central no entendimento da segunda lei da Termodinâmica no âmbito de sistemas vivos como o corpo humano. A

segunda lei da Termodinâmica explica a tendência dos processos ocorrem naturalmente , essa compreensão tem como parâmetro a variação da Entropia do universo, de forma que processos espontâneos ocorrem com um aumento da Entropia do universo(ATIKINS,2003). Entropia está ligada com a dispersão energética e material de um sistema , de modo que sistemas com maiores possibilidades de dispersão de matéria e energia , contribuem para um aumento da Entropia do universo , de acordo com a segunda lei da Termodinâmica. Você se lembra da pergunta feita no capítulo inicial desse trabalho?

“Com isso, é possível explicar a origem das primeiras células de acordo com a segunda lei da Termodinâmica?”

Faremos outra pergunta bem semelhante:

- Se o corpo humano é um sistema totalmente organizado , a formação do organismo humano não está de acordo com a segunda lei da termodinâmica?

Para responder essa pergunta , primeiramente vamos dividir o universo nas duas partes que o compõe: O sistema , que nesse caso é o corpo humano.E a vizinhança , o entorno do corpo humano. Realmente com base em uma interpretação qualitativa da variação da Entropia do corpo humano, fica evidente que há uma variação negativa de Entropia , pois as possibilidades de dispersão da matéria e energia dentro de nosso corpo são limitadas devido nossa organização estrutural. Porém,essa variação de Entropia negativa do sistema é compensada pela elevada variação positiva de Entropia que causamos em nosso entorno , sendo que grande parte dessa dispersão de energia é proveniente dos processos de transferência de Calor. Essa relação entre Entropia e funcionamento do corpo humano é um dos pontos discutidos no livro *What's Life* de Ervin Schrodinger (1944) . De acordo com o autor, o corpo humano assim como outros sistemas biológicos , tende a um estado de equilíbrio termodinâmico , um estado de máxima Entropia , equivalente a morte. Para que esse estado possa ser retardado, o corpo humano contribui para um aumento expressivo da Entropia do entorno , de forma compensatória a variação negativa de Entropia devido seu elevado nível organizacional(HENRIQUES,2013) . Em outras palavras, parafraseando Chico Science em trecho da música da lama ao caos “ ... eu desorganizando posso me

orgazinar...” . A maior parte do aumento de Entropia do entorno gerado pelo corpo humano é proveniente dos processos de transferência de Calor e dos processos dissipativos envolvidos nas transformações energéticas no metabolismo humano. Assim , respondemos as questões lançadas anteriormente. NÃO ! A vida não viola as leis da Termodinâmica . A energia se conserva e se dissipa em todos os processos de suas transformações e transferência , contribuindo para a dispersão da materia e energia , aumentando a Entropia do universo

Sugestão de leitura complementar

Se você quiser aprofundar mais na Termodinâmica aplicada a sistemas biológicos como no corpo humano e seus impactos tecnológicos, principalmente nas áreas da saúde, fisiologia e atividade física, sugerimos a leitura da dissertação de mestrado de Izabela Batista Henriques. Intitulada “Desempenho exergético do corpo humano e de seu sistema respiratório em função de parâmetros ambientais e da intensidade da atividade física”. O Trabalho abarca um sólido referencial teórico da Termodinâmica e o corpo humano. A dissertação pode ser acessada na página da biblioteca digital da USP nesse [link](#).

Para refletir e pesquisar

Texto 4



Figura 9: Analogia entre corpo humano e máquina térmica

Fonte: Pinterest

O médico e fisiologista alemão Fritz Kahn ficou conhecido por traçar analogias entre homens e máquinas, conforme mostrado na figura acima.

Questões

1) Aponte possíveis semelhanças e divergências entre a Figura 9 e as ideias discutidas até aqui em nosso livro.

2) Você acredita que os organismos vivos como o corpo humano podem ser interpretados como máquinas? JUSTIFIQUE

Texto 5

Uma máquina pode ser compreendida como a justaposição de suas partes que interagem de forma coordenada para realizarem determinada função. Portanto, podemos generalizar uma máquina como a soma de suas partes. Você acredita que os sistemas vivos também podem ser interpretados como a soma de suas partes?

Pesquise sobre: Autopoiese e pensamento sistêmico.

Sugestão de Litura: Teia da Vida. Do físico americano Fritjof Capra

Texto 6: Energia e Termodinâmica, transcendendo os limites disciplinares das

Ciências Naturais?

No escopo de todo esse livro apresentamos e discutimos como conceito de energia perpassa os limites disciplinares das Ciências Naturais e como podemos usar esse conceito de forma a tornar mais fluido e comunicável os limites disciplinares da Química, Física e Biologia. Utilizamos como artifício o fluxo de energia desde a alimentação até o mecanismo da contração muscular, enfatizando seus aspectos conservativos e dissipativos em concordância com as leis da Termodinâmica. Levantamos questionamentos sobre a validade dessas leis fora do contexto em que ela foi criada. Saímos do contexto dos gases ideais, passamos por processos que envolvem nutrientes e biomoléculas, discutimos aspectos relacionados à fisiologia do exercício e chegamos até questionar a utilização dessas leis no âmbito da formação da vida. Apontamos que a Termodinâmica e o fluxo de energia são utilizados na elaboração de softwares e nas artes. Apresentamos um vasto potencial integrador possibilitado pelo conceito de energia e Termodinâmica. Mas, será que os conceitos que são tratados pela Termodinâmica podem integrar outras áreas do conhecimento humano, como por exemplo, as Ciências Sociais?

Em 2017 a empresa Netflix, uma das maiores prestadoras de serviços de streaming do mundo, lançou o filme “Las Leyes de la Termodinámica”. O Filme basicamente conta a história de um físico que busca alegoricamente explicar os relacionamentos afetivos e comportamentos sociais a partir das leis da Física, utilizando principalmente a Termodinâmica. Apesar de ser uma obra fictícia e cunhada em um caráter romântico de ciência., o filme nos faz refletir sobre perspectivas e possibilidades da utilização de conceitos das Ciências Naturais fora de seus próprios limites. Assim como a própria Termodinâmica transpôs o contexto disciplinar em que foi criada.

Uma grande aliada dessa perspectiva de possibilidade de transposição da Termodinâmica para o contexto das Ciências Sociais é a teoria geral dos sistemas (TGS). A TGS foi criada pelo Biólogo Suiço Karl Ludwig, e tem com objetivo estudar a natureza dos sistemas e suas correlações com o espaço em que estão contidos e suas interações com as próprias partes. Essa teoria tem sido muito usada para compreender organizações, desde organismos vivos até meios administrativos, corporativos, empresariais e interações entre componentes sociais (SILVA et al.). Uma das consequências principais da TGS foi a mudança de paradigmas da análise dos problemas, partindo das partes para o todo, do mecanicismo para o holísmo, do disciplinar para o interdisciplinar. Em seus aspectos conceituais ela utiliza fundamentos Termodinâmicos como, por exemplo, o conceito de Entropia e as

possibilidades do fluxo de energia e matéria nos sistemas abertos para explicar sua organização que os mantém fora de um estado de equilíbrio, controlados por um mecanismo de auto-organização e autocriação (BIANCOLINO,2017).

Percebam que a Termodinâmica está envolvida em correntes de pensamento que aparentemente são opostas, como a visão mecanicista do homem máquina proposta por Von Kahn (texto 4) e teorias sistêmicas e holísticas como a TGS.

É notável uma preambular perspectiva de integração entre fenômenos tratados nas Ciências Naturais para compreender aspectos da natureza das Ciências Sociais. Com base nos argumentos aqui tratados, você acha possível a utilização de propostas integradoras no ensino utilizando conceitos da Termodinâmica para aproximar limites disciplinares até então pouco prováveis, como a Química e Sociologia?

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, M.C. P; NONENMACHER,S. Energia: Um conceito Presente nos Livros didáticos de Física , Química e Biologia no ensino. Poiésis-Revista do Programa de Pós-Graduação em Educação. V.2, n. 1, p. 1-13, Jan/Jun. 2009.

ATKINS & PAULA Físico-Química. Volume 1. LTC.2013.

BIANCOLINO,C.A.DEPARTAMENTO DE CONTABILIDADE E ATUÁRIA. Disciplinas Eusp. Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2952745/mod_resource/content/1/EAC%200548%20-%20Tomo%201.pdf. Acesso em: 19 de Fev.2019

BRAGA ,J.P. Físico-Química Aspectos Moleculares e Fenomenológicos. Editora UFV, Viçosa.2013.

CAPRA, F. A Teia da Vida: Uma Nova Compreensão Científica dos Sistemas Vivos. Editora Cultrix. São Paulo,2006.

CARSON, E. M.; WATSON, J. R. Undergraduate students' understandings of entropy and Gibbs free University Chemistry Education n. 6, 2002, P. 4-12.

CHEN, Robert. Teaching and Learning of Energy in K-12 Education. Switzerland: Springer, 2014.

DAUER ,J.M. Teaching and Learning of Energy in K-12 Education. Chapter 4. Springer. 2014.

DURAN, J.H.D. Biofísica Conceitos e Aplicações. 2 Edição. Pearson. 2003.

EISEKRAFT, A. Teaching and Learning of Energy in K-12 Education. Chapter 1. Springer. 2014.

HENRIQUES, I.B. Desempenho Exergético do Corpo Humano e de seu Sistema Respiratório em Função de Parâmetros Ambientais e da Intensidade de Atividade Física. Dissertação de mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.2013

MCARDLE, D.W. Fisiologia do Exercício. Energia , Nutrição e Desempenho Humano. Quinta Edição.2003

OPTIZ, S.T How Do Students Understand Energy in Biology, Chemistry, and Physics? Development and validation of an assessment instrument. EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education v.13, n.7,3019-3042.2017.

Quinn, H.R. Teaching and Learning of Energy in K-12 Education. Chapter 2. Springer. 2014.

SILVA, José Luiz de Paula Barros. Por que não estudar Entalpia no ensino médio. Química Nova na Escola. Nº 22. Novembro 2005. p.22-25.

SILVA JUNIOR, Carlos Neco da. A Energia e suas Implicações no Ensino e Aprendizagem de Química. Tese de doutorado apresentado ao Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de pós-graduação em química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010

Silva. A.P. Teoria Geral dos Sistemas. Educação, Gestão e Sociedade. Ano 6. N22. 2016

SOUZA, Vinicius C. de A. S. Os desafios da energia no contexto da Termodinâmica: modelando uma nova ideia para aquecer o ensino de química. Dissertação de mestrado apresentada a Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

Tymoczko, J.L. Bioquímica Fundamental. LTC. 2011