

Climatologia e água: o impacto do calor latente no ciclo hidrológico

.....

Alexandre Dal Pai
Valéria Cristina Rodrigues
Sarnighausen[#]

Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu SP, Brasil.

RESUMO

O conceito de calor latente é geralmente abordado de maneira superficial no Ensino Médio, desconsiderando o aprofundamento mais detalhado do conceito físico. No ensino superior, grande parte dos estudantes limitam-se a recitar fórmulas prontas e valores memorizados quando questionados sobre o conceito. Frente à importância do calor latente quanto à compreensão da dinâmica da água na atmosfera, imprescindível à manutenção da vida no planeta, este artigo tem o objetivo de apresentar um significado mais amplo e destacar as implicações do referido conceito. Para tanto, o artigo está estruturado em duas partes: a primeira mostra algumas implicações do conceito de calor latente para a sociedade, principalmente nos processos evaporativos que ocorrem na atmosfera; a segunda parte do trabalho apresenta o desenvolvimento de uma expressão matemática para cálculo do calor latente de vaporização da água em função da temperatura a pressão constante. São abordados conceitos referentes à 1ª lei da termodinâmica e à teoria cinética dos gases para a fundamentação do cálculo, e discussões acerca do ciclo hidrológico, de fenômenos atmosféricos e das mudanças climáticas, a fim de contextualizar as teorias e seus reflexos na ciência prática e na sociedade.

Palavras-chave: dinâmica da água na atmosfera; evaporação; termodinâmica

.....

1. Introdução

Muitos dos avanços tecnológicos que transformaram a sociedade em que vivemos são decorrentes do desenvolvimento da física e da evolução de seus conceitos, sendo o calor um dos conceitos de maior importância. Historicamente, o seu emprego revolucionou muitas áreas do conhecimento, com impactos decisivos na vida social e política das pessoas. Como exemplos, a forja de armas de guerra e as ferramentas estabeleceram políticas para o campo na Idade Média. Máquinas térmicas (Fig. 1) fomentaram a revolução industrial, promoveram o êxodo rural e provocaram modificações profundas nas relações trabalhistas. Usinas termoeletricas e nucleares fazem emprego de calor nos processos de aquecimento de fluidos para geração de energia. Até na fotossíntese o calor desempenha função relevante ao ser combinado com água e gás carbônico da atmosfera, resultando em oxigênio e energia química, acumulada na forma de carboidratos, os quais são essenciais para manutenção da cadeia alimentar.

Mas é na área de climatologia que o

calor desempenha um papel decisivo no planeta, atuando no ciclo hidrológico e permitindo mudanças de estado entre as fases sólida, líquida e gasosa. Sua interação com o trinômio solo-água-atmosfera tem impactos significativos no meio ambiente e, dependendo da intensidade dessa interação, os efeitos sobre o aquecimento global podem ser catastróficos. A relação entre calor, ciclo hidrológico e a climatologia vai muito além dos aspectos ambientais e pode, inclusive, fomentar disputas políticas, econômicas e até mesmo territoriais pelos países que buscam autonomia de seus recursos hídricos. Assim, ciência e pesquisa são estradas seguras para desenvolvimento de tecnologias que tenham a relação entre calor e recursos hídricos como base e que podem mitigar os efeitos do aquecimento global.

Mas, o que é o calor....?

A grande maioria das pessoas, sob a concepção do senso comum, confundem o conceito de calor com o de temperatura. Enquanto a temperatura expressa o grau de agitação térmica das moléculas (Fig. 2), reflexo da energia cinética média, que compõem um corpo,

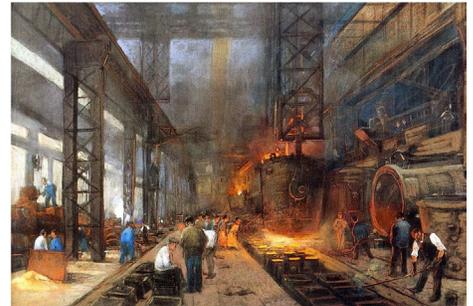
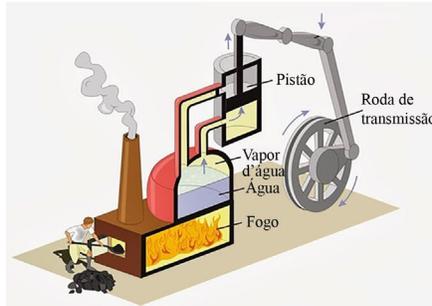


Figura 1 - a) Esquema simplificado de máquina à vapor. Adaptado de <https://pt.quora.com/O-que-s%C3%A3o-m%C3%A1quinas-t%C3%A9rmicas>. b) Indústria de transformação. Revolução Industrial. Adaptado de <https://revistazunai.com.br/resumo-revolucao-industrial/>.

Autor de correspondência. E-mail: valeria.sarnighausen@unesp.br.

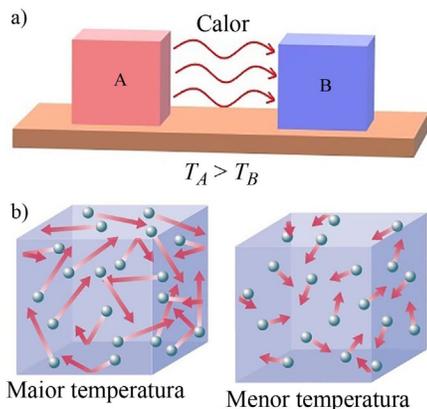


Figura 2 - a) Agitação média das partículas de um corpo (temperatura). b) Transferência de energia térmica entre dois corpos (calor).

o calor é definido como a transferência de energia térmica de um corpo de maior temperatura para um de menor temperatura, de forma espontânea, até obter-se o equilíbrio térmico. Assim, expressões como “hoje está calor” ou “o corpo A tem mais calor que o corpo B” estão incorretas do ponto de vista da física, visto que corpos não possuem calor, pois calor é energia térmica em trânsito.

Define-se, em calorimetria, dois tipos de calor: sensível e latente. O calor sensível é a energia trocada entre os corpos com alteração da temperatura e sem mudança de estado físico. Já o calor latente é a energia trocada entre os corpos sem alteração da temperatura, mas com mudança do estado físico. O termo “latente” vem do latim, significa “oculto” e foi descoberto em 1761 pelo cientista escocês Joseph Black. Ele verificou que o gelo em fusão, ao receber calor, não modificava sua temperatura. No entanto, percebeu um aumento na quantidade de água da mistura final e concluiu que esse calor ficava “oculto” entre as partículas.

O conceito de calor latente é abordado de maneira superficial no Ensino Médio. Em virtude da pressão dos vestibulares, do extenso conteúdo programático e do tempo limitado para desenvolvimento dos assuntos, trabalha-se muito mais exercícios de fixação, deixando-se de lado um aprofundamento mais detalhado do conceito físico. Já no ensino superior, quando questionados do que se lembram quando se fala em calor latente, a grande maioria dos estudantes limitam-se a recitar fórmulas prontas e valores memorizados.

Vestibulares nacionais conceituados, assim como o Exame Nacional para

o Ensino Médio (ENEM, têm priorizado a formulação de questões contextualizadas, as quais exploram, além do ferramental técnico (como fazer), o desenvolvimento e a interação do conceito físico com assuntos práticos do cotidiano. Tais vestibulares buscam, dessa forma, selecionar indivíduos mais bem preparados frente às diferentes compreensões do mundo. Essa transdisciplinaridade promove interação entre os saberes, supera a compartimentalização das disciplinas e, portanto, exige uma discussão mais elaborada dos conteúdos ministrados em sala de aula, inclusive com aplicações em outros campos do saber.

Portanto, este trabalho tem por objetivo aprofundar a discussão sobre o calor latente e sua importância nas áreas meteorológica e climatológica, principalmente o papel que desempenha no ciclo hidrológico. O trabalho está estruturado em duas partes: a primeira mostra implicações do conceito do calor latente para a área ambiental, principalmente nos processos evaporativos que ocorrem na atmosfera. Já a segunda parte do trabalho apresenta o desenvolvimento de uma expressão matemática para cálculo do calor latente de vaporização da água em função da temperatura a pressão constante de 1 atm. Esta expressão é válida para um intervalo de temperaturas entre 0 °C e 100 °C, e em seu desenvolvimento foram utilizados conceitos da 1ª lei da termodinâmica e da teoria cinética dos gases.

Os assuntos aqui apresentados poderão embasar professores do Ensino Médio e do ensino superior em suas aulas de física, estabelecendo relações entre o calor latente e a água na atmosfera. Os docentes poderão desenvolver o assunto levando em consideração as esferas econômica, social e política, visto que água e energia são recursos finitos e devem ser usados de forma racional pela sociedade. Dar significado ao aprendizado é uma forma de despertar o interesse do estudante [1], pois a tarefa de aprender conceitos contextualizados com a realidade facilita a construção mental do aprendiz, estimulando-o a explorar conceitos e desenvolver questionamentos [2]. Combinada com metodologias ativas de ensino, as aulas poderão ter um formato mais

atrativo e dinâmico e contribuirão para preparar melhor os estudantes nas etapas seguintes de seu aprendizado.

Dessa forma, este artigo visa contextualizar o conceito de calor latente, apontando aspectos vinculados à vida na sociedade, em termos práticos, com o intuito de facilitar o processo de ensino-aprendizagem.

2. Aplicações meteorológicas e climatológicas

Cerca de 70% do planeta Terra é coberto por água e esta pode ser encontrada nos estados sólido, líquido e gasoso. A mudança de fase da água entre os estados na natureza é comum e é um processo reversível, com consumo ou liberação de energia na forma de calor latente. Uma vez no estado gasoso, esse calor pode ser transportado pela água de um local a outro, ora sendo consumido pela evaporação, ora sendo liberado pela condensação. Desse modo, a água é um regulador térmico da atmosfera e causa modificações no microclima e, portanto, é objeto de estudo da meteorologia e climatologia.

A quantidade de calor absorvido ou fornecido pela atmosfera é responsável pela dinâmica da água no planeta, ou seja, pelo ciclo hidrológico. A Fig. 3 mostra um esquema do ciclo hidrológico e os seus principais componentes.

Um dos mecanismos para estudo do ciclo hidrológico é o cálculo de seu balanço hídrico. A Eq. (1) apresenta o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica hipotética.

$$\Delta S = P - ET - ES, \quad (1)$$

sendo ΔS o armazenamento de água (mm), podendo ter o sinal positivo (excesso de água) ou negativo (déficit de água), P a precipitação (mm), ET a evapotranspiração real (mm) e ES o escoamento superficial (mm).

Os cursos d'água trocam energia com a atmosfera constantemente. Isso se deve à absorção de radiação solar e emissão de radiação térmica, assim como

pelas transferências de energia em forma de calor sensível, por meio dos processos de convecção e condução, e em forma de calor latente, pelos processos de evaporação e condensação da água [3].

O termo “latente” vem do latim, significa “oculto” e foi descoberto em 1761 pelo cientista escocês Joseph Black. Ele verificou que o gelo em fusão, ao receber calor, não modificava sua temperatura

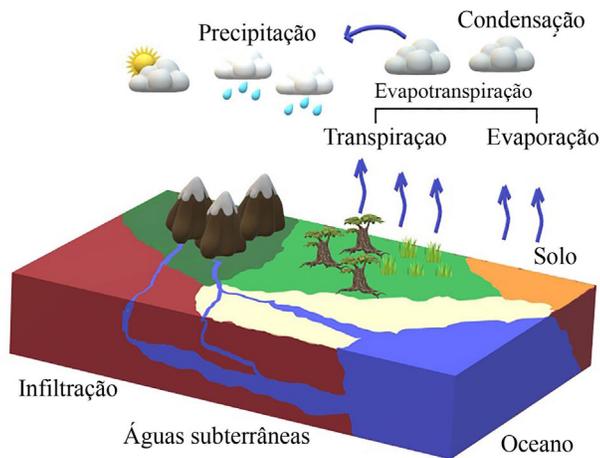


Figura 3 - Ciclo hidrológico e seus componentes.

Aproximadamente 50% da energia solar absorvida pela superfície terrestre é utilizada para a evaporação da água, o que provoca o resfriamento da superfície e aquecimento da atmosfera [4, 5], mantendo a temperatura média com valores que possibilitam a manutenção da vida no planeta. A radiação solar promove o aquecimento da superfície dos cursos d'água, das folhas de plantas e dos solos, provocando a liberação de vapor de água. Nas plantas, esse processo é chamado de evapotranspiração, que consiste na transpiração da planta e na evaporação da água do solo [6]. Todos esses processos, de mudança de fase da água, são, portanto, mediados pelo fluxo de calor latente. A Eq. (2) mostra o balanço de energia com destaque para o papel do calor latente usado no processo de evapotranspiração.

$$R_n = \lambda ET + H + G, \quad (2)$$

sendo R_n o saldo de radiação (J), já contabilizados os saldos de ondas curtas provenientes do Sol e o de ondas longas provenientes da atmosfera e do solo, λET o calor latente utilizado na evapotranspiração (J), H o calor sensível para aquecimento da atmosfera (J) e G o calor sensível que penetra no solo (J).

Dentre todos, a evaporação dos cursos d'água é o fator determinante do ciclo hidrológico. Os oceanos são os maiores responsáveis pela transformação da água e de transferência de energia na

atmosfera, considerados os moduladores do clima no planeta [7]. Após absorção de calor pela água líquida e consequente mudança de fase, o vapor inicia seu movimento ascendente (transferência de energia por convecção), realizando trabalho ao promover a movimentação da atmosfera. Durante seu trajeto, o vapor perde energia reduzindo sua temperatura, por meio do fluxo de calor sensível.

O trânsito de vapor de água na atmosfera é imprescindível para o transporte de energia entre altas e baixas altitudes e em grande escala, sendo determinante para o clima de cada região do globo terrestre [8], devido à liberação de grande quantidade de energia, por meio do fluxo de calor latente, quando o vapor muda de estado para a água ou gelo.

Com a perda de calor, o vapor transforma-se em nuvens de partículas líquidas e/ou sólidas que, ao aumentarem de tamanho e peso, vencem a resistência sustentada pela atmosfera e precipitam, atingindo a superfície em forma de chuva [9], devolvendo a água evaporada aos solos e cursos d'água.

O calor latente liberado pelo vapor de água na atmosfera, ao condensar, po-

de ainda ser combustível para tufões, furacões e ciclones, fenômenos semelhantes, que ocorrem em distintos locais do globo terrestre, com diferentes intensidades. Todos eles são definidos como perturbações da atmosfera, constituindo-se em regiões de baixa pressão e altas temperaturas [6]. Devido ao aumento da temperatura média global, houve aumento na capacidade da água tanto de evaporar quanto de ser retida, como vapor, na atmosfera. Dessa forma, maior quantidade de calor latente está disponível para gerar tempestades e demais eventos severos, o que também contribui para a compreensão das mudanças climáticas. A Fig. 4 mostra eventos meteorológicos decorrentes da

ação do calor latente na atmosfera.

Quando o vapor sofre condensação, calor latente é liberado para a atmosfera, aquecendo o ar circundante. Geralmente esse calor é dissipado pelo vento, mas em condições de tempestades tropicais, onde há condensação de muitas nuvens e pouca ação do vento, essa energia liberada é, então, acumulada em uma mesma região, aumentando a temperatura da massa de ar presente, que, ao se tornar menos densa, reduz a pressão da região de perturbação, em relação às regiões periféricas [10]. O vento movimenta-se das regiões de alta pressão (ar frio) para as de baixa pressão (ar quente), sendo assim, há origem de movimentos de fora para dentro das regiões de baixa pressão, continuamente, favorecendo o aparecimento de tufões, ciclones e furacões.

Estes fenômenos atmosféricos são frequentes em regiões entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, onde há maior incidência de radiação solar e, portanto, maior potencial de aquecimento dos oceanos e demais cursos d'água. Essa região é a maior contribuinte do planeta em termos de energia fornecida para a atmosfera, por meio da liberação de calor latente e, consequentemente, de condensação de água [11].

Além de auxiliar quanto à compreensão do trânsito de energia no planeta, o conceito de calor latente é imprescindível para compreender as relações entre água, atmosfera e mudanças climáticas [12]. A atmosfera é composta por gases, como gás carbônico, metano, óxido nitroso entre outros gases traços. Os gases apresentam a capacidade de absorção de radiação de infravermelho aquecendo o ar, processo este chamado de efeito estufa e que também auxilia na manutenção da temperatura do planeta. Porém, em vista do uso desenfreado de combustíveis fósseis, a quantidade de gases na atmosfera aumentou ao longo dos anos, promovendo o aumento da temperatura média global. Com os acréscimos sucessivos à temperatura, aumenta-se a capacidade de retenção de vapor de água na atmosfera [12], o qual também é um gás de efeito estufa visto que absorve radiação de infravermelho, contribuindo com o aquecimento global e mudanças climáticas.

Dessa forma, com maior quantidade de vapor de água retido na atmosfera, o regime de chuvas pode ser alterado em todo o planeta, sendo o calor latente o conceito estudado para determinar as mudanças ocorridas no ciclo hidrológico [8] e, por consequên-



Figura 4 - Eventos meteorológicos decorrentes da ação do calor latente na atmosfera. a) Furação. Adaptado de <https://nasasearch.nasa.gov/search/images?affiliate=nasa&query=furac%C3%A3o>. b) Tornado. Adaptado de <https://www.infoescola.com/fenomenos-naturais/tornados/>.

cia, na distribuição dos recursos de água no planeta.

A redução da disponibilidade de recursos hídricos inevitavelmente provocará problemas socioeconômicos, ambientais e de saúde. Em escala regional, pequenos reservatórios fornecem água para manutenção da economia agrícola, utilizados para irrigação e sobrevivência de animais em propriedades rurais. Os países mais afetados pela mudança do regime de chuvas serão aqueles em desenvolvimento, e principalmente os localizados entre os trópicos, os quais contêm aproximadamente

50% da população e 80% da biodiversidade do planeta [13].

Estudos que analisam a mudança de distribuição de chuvas no planeta simulam ou quantificam taxas de evaporação de superfícies e fluxos de calor latente [14, 15], com o intuito de estabelecer previsões frente às mudanças climáticas. Conhecidos os cenários de escassez de recursos hídricos em algumas regiões, é possível desenvolver estratégias junto aos órgãos públicos a fim de minimizar problemas: através da redução da emissão de gases de efeito estufa em escala global, assim como

medidas locais no que se refere à construção de sistemas de coleta de água da chuva e uso de cisternas para armazenamento, aumento de áreas verdes para captação e armazenamento de água no solo, uso de substâncias aglutinantes em suspensão no ar para favorecer a formação de nuvens e chuvas, entre outras medidas.

3. Fundamentação teórica e estratégia de ensino

Toda vez que se fala em calor latente de vaporização, automaticamente lembra-se do valor 540 calorias por grama ($\cong 2,26 \times 10^6$ J/kg). Nessa mudança de fase, as moléculas da água necessitam de 540 cal para cada 1 g para superar suas forças de coesão intermoleculares, que ocorre a uma temperatura de 100 °C e a uma pressão atmosférica de 1 atm.

Na realidade, a passagem da água do estado líquido para o gasoso também pode ocorrer em temperaturas menores e de forma espontânea, conhecida como evaporação. Este processo está relacionado à ruptura da condição de equilíbrio de fase entre a água e o ar. Em qualquer temperatura pode-se observar a evaporação da água, desde que a pressão de saturação desta seja superior à pressão de vapor do ar [9]. Consequentemente, temperatura menor significa energia térmica menor das moléculas, o que demanda, portanto, um valor mais elevado para o calor latente a fim de garantir a mudança de fase [16].

Portanto, nesta seção é apresentada a dedução de uma expressão para o cálculo do calor latente de vaporização para um intervalo de temperaturas entre 0 °C e 100 °C. O calor latente para essa faixa de temperaturas é importante na área de meteorologia e climatologia, pois fornece subsídios para se entender melhor a interação entre os fluxos energéticos e a distribuição de água na atmosfera, os quais são importantes para o ciclo hidrológico e para compreender alguns fenômenos meteorológicos [13].

Para deduzirmos uma expressão do calor latente em função da temperatura, utilizamos o conceito da 1ª lei da termodinâmica (lei da conservação de energia). Qualquer sistema termodinâmico, definido como uma região de estudo delimitada no espaço, em equilíbrio com a vizinhança, possui uma variável de estado chamada energia interna. A mudança da energia interna entre dois estados de equilíbrio é a diferença entre a energia transferida pelo

calor do/para o sistema e o trabalho realizado pelo/sob o sistema. Portanto, ao destacar a energia relacionada ao calor, tem-se que

$$\Delta Q = \Delta U + W, \quad (3)$$

sendo ΔQ a variação do calor recebido/cedido para promover a mudança de estado, ΔU a variação de energia interna do sistema e W o trabalho relativo à compressão/expansão do volume ($W = p \cdot (V - V_0)$). Em relação aos volumes, V_0 é o volume na fase líquida e seu valor é muito pequeno, pois a água em temperaturas abaixo da temperatura de ebulição apresenta pequena variação de volume devido à propriedade de incompressibilidade dos líquidos. Já V é o volume da fase de vapor, estado de menor agregação da matéria. O processo de vaporização promove um aumento significativo do volume de vapor d'água formado e, como $V \gg V_0$, V_0 pode ser descartado dos cálculos. Já a pressão p é considerada constante e representa a pressão de saturação do vapor d'água, que está relacionada à quantidade máxima de vapor d'água que a atmosfera consegue reter a uma dada temperatura. Valores acima da pressão de saturação promovem a condensação do vapor d'água. Assim, temos

$$Q = \Delta U + p \cdot V. \quad (4)$$

Considerando o vapor d'água como um gás ideal e aplicando a lei dos gases ideais para o conjunto pressão-volume, temos

$$\Delta Q = \Delta U + \frac{m_v}{M_v} \cdot R \cdot T, \quad (5)$$

onde m_v é a massa de vapor d'água, M_v a massa molecular do vapor d'água, R a constante universal dos gases e T a temperatura. Utilizando de um artifício matemático, vamos multiplicar e dividir o lado direito da Eq. (5) por $m_v \cdot T$. Rearranjando os termos da equação e sabendo que $\Delta U = U - U_0$ é a diferença entre as energias internas da água nos estados gasoso (U) e líquido (U_0), temos

$$\Delta Q = m_v \cdot T \left(\frac{U}{m_v \cdot T} - \frac{U_0}{m_v \cdot T} + \frac{R}{M_v} \right). \quad (6)$$

O termo $U/(m \cdot T)$ é o calor específico e representa a quantidade de energia por massa de uma dada substância que precisa ser adicionada a um sistema para produzir uma diferença de temperatura. Assim, utilizando os valores experimentais do calor específico da água nos estados gasoso e líquido (1410 J. kg⁻¹.

K⁻¹ e 4186 J.kg⁻¹.K⁻¹, respectivamente) e sabendo que $R = 8,31$ J.mol⁻¹.K⁻¹ e $M_v = 0,018016$ kg.mol⁻¹, temos

$$\frac{\Delta Q}{m_v} = -2315 \cdot T. \quad (7)$$

O termo $\Delta Q/m_v$ representa o calor latente, ou seja, a quantidade de calor necessária por unidade de massa de uma dada substância para que ocorra a mudança de fase. Logo:

$$\begin{aligned} \Delta \lambda &= -2315 \cdot T, \\ \lambda &= -2315 \cdot T + \lambda_0. \end{aligned} \quad (8)$$

Para determinar a constante λ_0 , utilizamos o valor do calor latente na ebulição ($T = 100^\circ\text{C}$; $\lambda = 540$ cal.g⁻¹ = 2.260.440 J.kg⁻¹). Por fim, o cálculo do valor do calor latente em função da temperatura pode ser expresso pela Eq. (9)

$$\lambda_T = 2,49 \times 10^6 - 2315 \cdot T, \quad (9)$$

sendo T a temperatura para um intervalo entre 0 °C e 100 °C. A Fig. 5 mostra valores do calor latente para diferentes valores de temperatura.

Dessa forma, em posse dos conceitos de fundamentação teórica, para que de fato eles sejam compreendidos e que, portanto, tenham significado na aprendizagem dos estudantes, é necessário que os docentes apresentem problemas de cunho prático, sua contextualização na sociedade, importância e consequências, assim como dar espaço para questionamentos.

Nesse sentido, sugere-se que antes de apresentar os conceitos teóricos e matemáticos sobre calor latente, o estudante entre em contato com atividades prévias que sejam práticas, no sentido de identificar fenômenos e consequências para a sociedade relacionados ao tema. Um exemplo de sequência didática é dado abaixo:

1. Contextualização do tema: busca por eventos climáticos que envolvam consequências sociais, ambientais e econômicas. Exemplo, a temporada de furacões¹ de 2020, que atingiu o Caribe, acarretou o aumento do nível das águas, problemas sociais, econômicos e foi responsável por espalhar espécies aquáticas não nativas para a região, o que poderá futuramente acarretar dese-

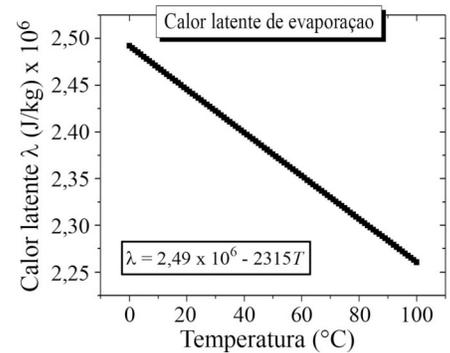


Figura 5 - Calor latente de evaporação em função da temperatura para mudança de fase da água do estado líquido para vapor em temperaturas entre 0 °C e 100 °C.

quilíbrio ambiental. Esse exemplo poderá ser explorado, no sentido de identificar quais os problemas que eventos extremos como esses podem gerar para a sociedade e quais as suas causas, promovendo o interesse do estudante, que deverá ser motivado a encontrar a causa do problema por meio de discussões e pesquisa.

2. Identificando hipóteses referentes aos eventos atmosféricos extremos. Os estudantes devem ser instigados a buscarem suas causas, como mudança climática: com o aumento da temperatura da atmosfera e o consequente acúmulo de energia térmica e evaporação da água, inicia-se o processo de ascensão de grande volume de vapor de água na atmosfera. Com isso, inicia-se a busca por compreender o processo físico que acarreta o evento climático.
3. Uma vez identificada a causa, os conceitos teóricos poderão ser apresentados, formalizando o processo de formação dos eventos atmosféricos. A partir das discussões sobre os aspectos teóricos, os estudantes terão a oportunidade de construir análises de outros eventos, com autonomia e segurança, traçando paralelos em relação à teoria.

Contudo, promover atividades que necessitam de elaboração de hipóteses quanto à ocorrência de um dado fenômeno é um exercício que estimula o desenvolvimento de habilidades cognitivas, motivando o estudante a realizar tarefas e a obter conclusões progressivamente mais elaboradas e complexas [17]. É por meio dessas discussões que a motivação em aprender faz-se presente, aguçando o senso crítico do estudante.

1 <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2020/10/furacoes-cada-vez-mais-intensos-estao-espalhando-especies-invasoras>.

4. Considerações finais

O conceito de calor é um dos conceitos mais importantes na física, com inúmeras aplicações na sociedade, transformando as relações e a vida no planeta. No entanto, no Ensino Médio, em função da grande quantidade de conteúdos e da elevada carga horária das diversas disciplinas que compõe a matriz curricular, o conceito de calor acaba sendo abordado de forma superficial, o que traz prejuízo acadêmico aos discentes quando são cobrados em avaliações de vestibulares mais conceituados.

Aliás, muitos desses vestibulares mais modernos, como o próprio Enem, têm adotado estratégias para elaboração de questões mais contextualizadas,

promovendo a transdisciplinaridade entre os assuntos, numa tentativa de propor uma avaliação mais cabal do indivíduo, ou seja, de um indivíduo mais articulado frente às diferentes facetas de compreensão do mundo.

Nesse sentido, este trabalho visa dar um sentido, um significado mais amplo ao conceito de calor, promovendo a interação entre os saberes, superando a hierarquização das disciplinas, visto que o conhecimento não é fragmentário. Assim, enquanto o calor sensível auxilia na compreensão do aumento de temperaturas locais, sejam de cursos d'água, atmosfera ou superfície terrestre, o calor latente é um fator importante para compreender o ciclo hidrológico e por consequência os sistemas climáticos, visto ser fonte primária

de energia responsável por fenômenos como tempestades e ciclones tropicais.

Portanto, o conceito de calor latente, inexplorado no Ensino Médio, é reduzido ao cálculo para obtenção de valores de energia (J) em processos de mudança de fase, compondo o arsenal de conceitos complexos para estudos que envolvam dinâmica da água na atmosfera. Ao estabelecer o papel do fluxo de calor latente, como mediador do balanço de energia e de massa na atmosfera, é possível dar significado ao cálculo apresentado, contextualizando teoria e seus reflexos na ciência prática e na sociedade.

Recebido em: 1 de Outubro de 2020
Aceito em: 9 de Julho de 2021

Referências

- [1] D.P. Ausubel, *Educational Psychology: A Cognitive View* (Holt, New York, 1968), v. 1, p. 685.
- [2] L.S. Vygotsky, *A Formação Social da Mente* (Ed. Brasileira, São Paulo, 1978), 34 p.
- [3] M.R. Hendricks, *Introduction to Physical Hydrology* (Oxford University, New York, 2010), p. 331.
- [4] R.L. Vianello, A.R. Alves, *Meteorologia Básica e Aplicações* (Ed. UFV, Viçosa, 1991), 449 p.
- [5] A. Tubelis, F.L. Nascimento, *Meteorologia Descritiva* (Ed. Nobel, São Paulo, 1980), 374 p.
- [6] M.A. Varejão-Silva, *Meteorologia e Climatologia* (Versão Digital, Recife, 2005), 234 p.
- [7] C.R. Melo, A.M. Silva, S. Beskow, *Hidrologia: Princípios e Aplicações em Sistemas Agrícolas* (Editora UFLA, Lavras, 2013), 445 p.
- [8] N.A. Villa Nova, J.C. Ometto, E. Salati, *Aspectos Termodinâmicos da Atmosfera* (Boletim Didático CENA, Piracicaba, 1972), 25 p.
- [9] F.S. Mota, *Meteorologia Agrícola* (Nobel, São Paulo, 1986), 7 ed., 376p.
- [10] J.A. Zhang, W.M. Drennan, P.G. Black, J.R. French, *J. Atmos. Sci.* **66**, 2455 (2009).
- [11] T. Schneider, P.A. O'Gorman, X.J. Levine, *Rev. Geophys.* **48**, 3001 (2010). [doi](#)
- [12] K.A. Reichardt, *A Água em Sistemas Agrícolas* (Ed. Manole, São Paulo, 1990), 2 ed., 188 p.
- [13] J. Ma, R. Chadwick, K.H. Seo, C. Dong, G. Huand, G.R. Foltz, J.H. Jiang, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* **46**, 549 (2018). [doi](#)
- [14] A. Abbasi, F.O. Annor, N. Van De Giesen, *Hydrol. Sci. J.* **62**, 1422 (2017). [doi](#)
- [15] R. McGloin, H. McGlowan, D. McJannet, F. Cook, *Water Resources Research* **50**, 494 (2014). [doi](#)
- [16] A.R. Pereira, G.C. Sedyama, N.A. Villa Nova, *Evapotranspiração* (Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola, Piracicaba, 2013), 323 p.
- [17] W.F. Silva, R.P. Redondo, J. Chiquillo-Rodelo, *Contemporary Engineering Sciences* **11**, 2413 (2018). [doi](#)