



Proposta pedagógica para abordagem de tópicos de bioquímica e termodinâmica na educação de jovens e adultos

.....

Felipe Rodrigues da Silva

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Mossoró, RN, Brasil
Escola José de Borba Vasconcelos, Maracanaú, CE, Brasil

Carlos Alberto dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil
E-mail: cas.ufrgs@gmail.com

.....

Apresenta-se uma proposta didático-pedagógica para abordar tópicos de bioquímica e termodinâmica na Educação de Jovens e Adultos (EJA). O conteúdo da proposta pode ser usado em sala de aula no formato de uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS), a partir de um referencial pedagógico com elementos da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, da concepção freireana do ensino de adultos e das ideias de Vygotsky para o processo de socialização durante a aprendizagem. Noções e práticas do método científico podem ser explicitamente tratados como UEPS para o planejamento e execução de experimentos com o cozimento de ovos, durante os quais são abordados conceitos de enzima, proteína e lipídio e suas transformações bioquímicas e termodinâmicas.

Introdução

A Educação de Jovens e Adultos (EJA) não é um tema que mobilize a comunidade acadêmica internacional. Trata-se de um problema específico de algumas nações pertencentes ao que se costuma denominar Terceiro Mundo. A Unesco tem um programa dedicado à Educação de Adultos, aplicável a qualquer país, desenvolvido ou não [1], mas a EJA como a conhecemos no Brasil é basicamente um problema de país do Terceiro Mundo [1-3], e cabe a esses países encaminhar soluções apropriadas às suas necessidades e potencialidades, incluindo-se aí iniciativas referentes à pesquisa educacional atinente ao contexto da EJA.

Vista na perspectiva de um cenário abrangente, a EJA tem de um lado que considerar a tradição sociocultural de um país dependente, algo que Paulo Freire já discutia no início dos anos 1960 [4], e de outro lado enfrentar os desafios para o novo milênio [2]. Essas duas partes, por assim dizer, apresentam zonas de superposição, mas com objetivos educacionais e realidades sociais diferentes. Por exemplo, uma coisa é definir estratégias educacionais para jovens e adultos que não tiveram a oportunidade de escolaridade na faixa etária própria, e outra coisa bem diferente é definir estratégias de educação continuada de adultos escolarizados para adaptação a uma sociedade em rápida evolução tecnológica.

Não é objetivo deste trabalho discutir a questão da interdisciplinaridade no Ensino Médio regular, mas chamar a atenção e mostrar que, dadas as circunstâncias socioeducativas, a EJA é um espaço especialmente apropriado para a abordagem interdisciplinar de conceitos básicos das

ciências da natureza. Pelo perfil dos alunos, geralmente em faixa etária superior a 30 anos e com grande intervalo de tempo sem frequentar ambientes formais de escolaridade, consideramos um equívoco querer tratar conceitos de biologia, física e química da mesma forma como são tratados com adolescentes do Ensino Médio. De um modo ou de outro, essa é uma questão que há muito tempo foi discutida por Paulo Freire [4]. Por outro lado, a experiência de vida social dos indivíduos que frequentam a EJA torna cada um receptivo à metodologia vygotskiana [5]. Nesse cenário, é possível e desejável organizar uma estratégia de ensino que também tire proveito dos ensinamentos ausubelianos [6-8].

Embora a literatura brasileira pertinente ao tema apresente propostas com essas três abordagens pedagógicas [9-15],

A Educação de Jovens e Adultos é um espaço especialmente apropriado para a abordagem interdisciplinar de conceitos básicos das ciências da natureza

ao nosso conhecimento apenas Ramos e Queiroz [16] e Rekovvsky [17] referem-se a abordagens interdisciplinares como alternativa pedagógica. Todavia, tais

abordagens interdisciplinares não atendem ao requisito mais restritivo do processo de ensino-aprendizagem interdisciplinar, qual seja o tratamento de conceitos transversais, aqui considerados como aqueles conceitos presentes em mais de uma das ciências, geralmente com abordagens disciplinares diferentes, ou métodos e técnicas de uma das ciências que facilitem a compreensão conceitual em outra ciência. Um exemplo muito interessante, referente a biologia e física, é apresentado por Thompson e cols. [18]:

O curso ensina aos alunos os princípios físicos clássicos que levam a uma compreensão mais profunda dos fenômenos biológicos, incluindo aqueles necessários para entender os processos que

ocorrem nas energias térmicas e nos líquidos. Além de fornecer uma compreensão básica dos princípios físicos, o curso enfoca o desenvolvimento de habilidades científicas gerais, incluindo modelagem científica, resolução de problemas, movimentação entre múltiplas representações científicas e projeto experimental. [Tradução nossa].

Não surpreende que propostas interdisciplinares como essa apresentada por Thompson e colaboradores sejam tão recentes. A compartimentalização das ciências da natureza como hoje a conhecemos resulta de processos reducionistas determinados pela incapacidade humana em tratar a natureza holisticamente. Nas últimas décadas isso vem sendo superado no nível da pesquisa científica, mas tem enfrentado notável oposição no contexto pedagógico. Todavia, a literatura educacional brasileira apresenta algumas possibilidades de abordagens pedagógicas interdisciplinares, e em se tratando da EJA, a ciência na cozinha parece ser um tópico especialmente apropriado [17, 19-21].

Descreveremos, neste trabalho, experimentos realizados com alunos da EJA para abordar tópicos de bioquímica e termodinâmica a partir do cozimento de ovos. Todos os experimentos são apresentados em vídeos disponíveis em endereços da seção Outras Fontes.

Temos boas razões para a escolha desse objeto de trabalho. Em primeiro lugar, experimentos com ovos cozidos permitem a abordagem de conceitos importantes de bioquímica e termodinâmica. Em segundo lugar, o ovo é um dos alimentos mais presentes em nossa dieta. Difícil encontrar um adulto que jamais tenha feito um ovo cozido ou frito. Em terceiro lugar, os experimentos com ovos são suficientemente simples para serem executados nas limitadas condições disponíveis na escola em que a sequência didática foi aplicada. Finalmente, mas não menos importante, uma referência culinária importante: em seu livro *Um cientista na cozinha*, Hervé

This [22, p. 52] cita uma frase de Grimod de la Reynière: “O ovo é para a cozinha o que os artigos são para o discurso, isto é, de uma tão indispensável necessidade que o cozinheiro mais habil renunciaria à sua arte se lhe fosse proibido o uso do ovo”.

Todavia, é importante ter em mente que havendo condições materiais na escola, existem inúmeros experimentos culi-

nários apropriados para a discussão de conceitos básicos de bioquímica e termodinâmica. Para iniciantes no assunto, vale a pena uma leitura da Wikipedia em Outras Fontes.

Bioquímica e termodinâmica no cozimento de um ovo

A Fig. 1 exibe o cenário conceitual para o qual elaboramos a presente sequência didática. Iniciemos pela apresentação dos conceitos básicos no contexto experimental em que eles foram abordados. A clara do ovo contém 10% de proteínas (globulina, ovalbumina, ovomucina, conalbumina) e 90% de água. Por outro lado, a gema contém 50% de água, 15% de proteínas e 35% de lipídios, entre os quais lecitinas e colesterol [22, p. 52-56]. Vejamos como esses componentes bioquímicos atuam nos processos de cozimento de ovos.

Para o ovo e para qualquer outro alimento, o processo de cozimento tem a ver primordialmente com a transferência de calor da fonte térmica para a superfície do alimento, e sua consequente transmissão para o seu interior. Os cozinheiros experientes adquirem na prática conhecimento de como lidar com os parâmetros pertinentes a cada caso. Para determinado tipo de proteína e determinado volume do alimento, eles sabem a temperatura e o tempo necessários para a obtenção do ponto de cozimento desejado. É assim que surge a surpreendente regra do descanso de grandes peças de carne depois de um certo tempo de cozimento [23, p. 20].

A energia transferida em função da alta temperatura produz aumento na energia cinética das moléculas do alimento. Esse movimento vibracional é transferido de molécula em molécula, até atingir todo o volume do alimento. Esse processo de transferência de energia sob a forma de calor é bem descrito pela equação de Fourier [24]. Quando o cozinheiro experiente desliga a fonte de calor e aguarda um certo tempo para *descanso* do alimento cozido, ele age de acordo

com a equação de Fourier, mesmo que não o saiba. A partir do momento em que a fonte de calor é desligada, a temperatura na superfície começa a diminuir, mas nas camadas internas o processo de trans-

ferência de calor prossegue, e é o tempo de *descanso* que vai determinar o ponto do cozimento.

Vejamos como esse processo se dá no caso do cozimento de um ovo [22, p. 52, 23, p. 11, 25, p. 61]. Existem três modos de cozimento de um ovo popularmente conhecidos como: ovo frito; ovo cozido em água fervente, com casca, e ovo pochê, ou ovo cozido em água fervente, sem casca. Qualquer que seja o processo de cozimento, o mecanismo tem a ver com a desnaturação das proteínas, que em temperatura ambiente encontram-se enroladas em uma forma mais ou menos esférica. Essa estrutura quase esférica é devida às forças atômicas no interior das moléculas. Quando se frita ou se cozinha um ovo, essas proteínas se desnaturam sob o efeito do calor, ou seja, a temperatura vence a batalha com as forças mais fracas e as proteínas se desenrolam e tomam a forma de

Experimentos com ovos cozidos permitem a abordagem de conceitos importantes de bioquímica e termodinâmica. Em segundo lugar, o ovo é um dos alimentos mais presentes em nossa dieta. Difícil encontrar um adulto que jamais tenha feito um ovo cozido ou frito!

fitas [22, p. 53, 25, p. 64]. Essas fitas juntam-se e formam uma estrutura sólida; é quando o ovo endurece. Vejamos isso mais detalhadamente para cada um dos processos mencionados acima.

Bioquímica e termodinâmica do ovo cozido

Uma pessoa que vai cozinhar um ovo pela primeira vez seguindo a receita clássica retira o ovo da geladeira, coloca na água fria, liga o fogo e aguarda o tempo que lhe disseram ser suficiente, entre 10 e 12 min depois que a água começa a ferver. O tempo depende do volume de água fervente. Costuma-se também marcar o tempo, em torno de 3 min, depois que a água começa a borbulhar. A primeira coisa que a pessoa pode eventualmente observar é a rachadura da casca. A razão disso é que o ovo foi colocado na água logo depois de sair da geladeira, alguém lhe ensina. A pessoa apanha outro ovo, tira da geladeira alguns minutos antes de colocar na água, e mesmo assim poderá observar o mesmo desagradável e inconveniente fenômeno. Por quê?

Além de proteínas e água, o ovo contém ar, sobretudo na sua extremidade mais larga. Tudo que relatamos no parágrafo anterior tem a ver com a dilatação térmica do ar no interior do ovo e com a natureza estrutural da sua casca. Algumas são mais flexíveis e resistentes do que outras. Colocar ovo gelado ou muito frio na água produz uma expansão

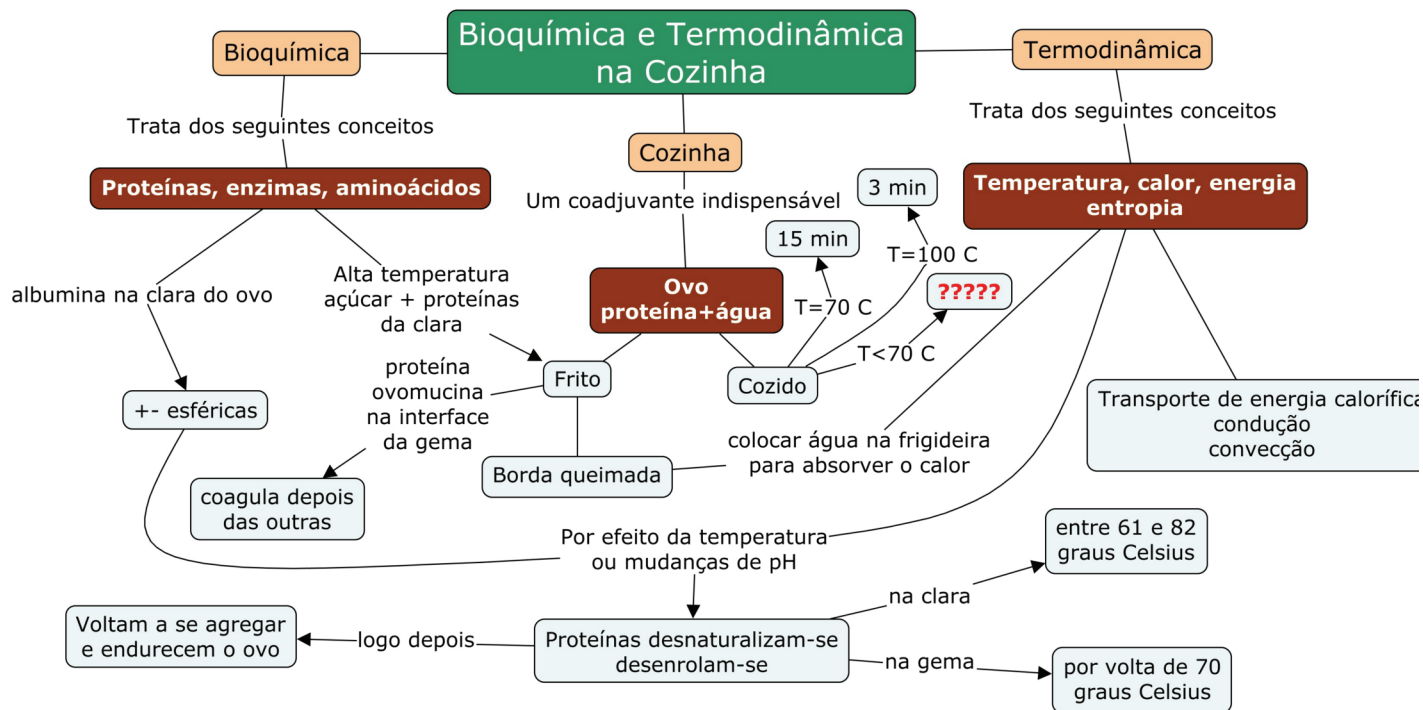


Figura 1: Mapa conceitual sobre tópicos de bioquímica e termodinâmica do cozimento do ovo.

rápida do ar e, dependendo da resistência da casca, ela pode rachar em vários pontos.

Qualquer que seja o caso acima, há duas soluções para se evitar o desagradável surgimento daqueles tentáculos brancos saindo pela casca do ovo (vídeo 1). A solução aerodinâmica é fazer um pequeno furo na extremidade larga do ovo. Basta um furo de agulha. A solução bioquímica é colocar sal e/ou vinagre na água para aumentar a rapidez de coagulação das proteínas da clara. Ao tentar sair pela rachadura, a proteína rapidamente coagula e fecha a rachadura.

Se o tempo de cozimento ultrapassar os clássicos 15 min, geralmente acontece uma reação bioquímica de visual e paladar desagradáveis, começando na interface entre a clara e a gema e se espalhando por toda a gema. As proteínas da clara liberam um gás chamado sulfeto de hidrogênio [22, p. 56], com aquele odor de ovo podre. Quando esse gás penetra na gema, ele reage com o ferro ali presente e se transforma em sulfeto de ferro, que tem a cor esverdeada.

Bioquímica e termodinâmica do ovo pochê

Para fazer do modo como os grandes cozinheiros preconizam, o ovo pochê talvez seja o mais complicado entre os três modos de preparar ovo que estamos considerando aqui. Mas, nosso objetivo não é preparar algo com o refinamento

técnico de Paul Bocuse [26, p. 83] nem das inúmeras alternativas disponíveis na internet. Nosso objetivo é inteiramente pedagógico, ou seja, tão somente discutir as reações bioquímicas induzidas pela temperatura no cozimento de um ovo sem casca em água fervente

A regra básica é colocar o ovo na água em ebulição. Que fenômenos térmicos e bioquímicos podem ocorrer em tal situação? A energia cinética das moléculas da água, aumentada pela temperatura, é transferida às moléculas do ovo, cujas proteínas começam a se desnaturar nas temperaturas típicas de cada uma. Em princípio, esse processo é idêntico ao que ocorre no ovo cozido com casca e no ovo frito. De acordo com Golombek e Schwarzbau [25, p. 64], “na clara, as proteínas se desnaturam a temperaturas entre 61 °C e 82 °C, enquanto as da gema o fazem a uma temperatura intermediária”. Assim, as primeiras proteínas a se desnaturarem são algumas da clara. Depois as da gema e finalmente as outras da clara.

Quando o ovo é colocado na água em ebulição, a tendência da clara é se espalhar, antes que suas proteínas se desnaturizem. A prática de fazer um redemoinho na água é para forçar a clara a ficar pró-

xima à gema. Outra forma é realizar o cozimento em um meio ácido. Por exemplo, colocando um pouco de vinagre na água. As proteínas da borda da clara desnaturam-se rapidamente e impedem a expansão da clara na água (vídeo 2). É por isso que o ovo pochê deve ser preparado em uma mistura de água, sal e vinagre.

Para fazer do modo como os grandes cozinheiros preconizam, o ovo pochê talvez seja o mais complicado entre os três modos de preparar ovo que estamos considerando aqui. Portanto o leitor não pode se esquecer de que nosso objetivo é inteiramente pedagógico

Talvez a característica mais popular do ovo pochê seja o fato de a gema ficar envolvida pela clara, de modo que é possível obter a clara completamente desnaturada e a gema em diferentes graus de desnaturação ou de textura (vídeo 2). O

redemoinho contribui para esse resultado. Uma alternativa mais simples é fazer o ovo com uma frigideira tampada. O vapor produzido pela água fervente resultará em uma gema envolta por uma camada de clara desnaturada. A textura da gema varia com o tempo de *descanso* depois que a fogo é desligado, como se pode ver no vídeo 2. Quanto mais tempo sob vapor, com o fogo desligado, mais sólida ficará a gema.

Não custa lembrar que estamos tratando de experimentos realizados em condições precárias, sem termômetro para medir temperatura. Mesmo assim, os

resultados, do ponto de vista pedagógico, são amplamente satisfatórios. Usamos as condições físicas visíveis para definir as condições experimentais. Por exemplo, colocar o ovo em água borbulhando intensamente, para definir temperatura próxima de 100 °C. Colocar o ovo quando surgirem as primeiras bolhas na água, para definir temperatura em torno de 70 °C¹.

No caso do ovo pochê em frigideira fechada, definimos o tempo de cozimento pelas condições do vapor d'água, ou seja desligamos o fogo quando o vapor contiver quantidade visível de proteínas da clara desnaturada (vídeo 2). Depois marcamos diferentes tempos de descanso, com o fogo desligado, para obter diferentes texturas.

Um experimento interessante para verificar o efeito da temperatura na desnaturação das proteínas da clara é o seguinte (vídeo 2): colocar o ovo em água fria. Uma parte da clara é observada como uma região mais densa em volta da gema. Outra parte está espalhada na panela. Essa parte que se encontra mais afastada da gema não pode ser identificada a olho nu porque se trata basicamente de água e encontra-se em baixa densidade nesses pontos mais afastados da gema. À medida que a temperatura da água aumenta, as proteínas da clara começam a se desnaturar, tornando-a mais densa e visualmente branca. No vídeo 2 exibimos uma situação especialmente importante para a discussão em sala de aula. No tempo de gravação 4:41, observa-se uma superfície branca praticamente homogênea, exceto em uma pequena região acima da gema. Isso significa

Não há unanimidade entre comensais sobre o que significa ovo frito perfeito. Para cada pessoa pode haver um ponto ótimo: clara homogênea branca e opaca com gema mole; clara com a borda levemente queimada ou ainda a clara completamente queimada. A bioquímica e a termodinâmica determinam cada uma dessas condições

que a parte externa da clara está completamente desnaturada, exceto aquela sobre a gema. Esse fenômeno é exatamente o mesmo relatado a seguir para o caso do ovo frito. A região próxima à gema se desnatura mais tarde por causa da proteína ovomucina que fica na interface entre a clara e a gema. Na sequência do vídeo, observa-se toda a clara desnaturada, inicialmente com aparência homogênea, que se desfaz pelo fato de a água entrar em ebulição.

Bioquímica e termodinâmica do ovo frito

Não há unanimidade entre comensais sobre o que significa *ovo frito perfeito*. Para

alguns, essa classificação aplica-se ao ovo com clara opaca, homogênea e branca e gema mole. Para outros, a clara deve ter a borda levemente queimada, e há os que preferem a gema bem dura. E por incrível que pareça, há também aqueles que apreciam o ovo frito com a clara completamente queimada. Vamos ver como a bioquímica e a termodinâmica determinam cada uma dessas condições.

No ovo cru (vídeo 2), a clara é um líquido transparente por causa da sua composição (90% de água). Ao passar por algum procedimento térmico, e dependendo da temperatura e do tempo de fritura, a clara passa a ter uma consistência sólida, podendo apresentar três regiões bem definidas (Fig. 2). Uma borda castanha, uma grande região completamente sólida e branca e uma pequena região, adjacente à gema, branca e macia, ou seja, menos rígida que a parte externa. Vejamos por que essas três regiões apresentam esses aspectos (vídeo 3).

Com o aumento da temperatura, a água presente na clara evapora e o açúcar combina-se com as proteínas formando a camada castanha, popularmente conhecida como *clara queimada*. Esse processo começa na borda externa do ovo e evolui para o centro. Uma forma de evitar isso é acrescentar um pouco de água na frigideira no meio do cozimento e tampá-la.

Uma vez que a água tem grande capacidade de absorver calor, esse procedimento faz com que a clara seja cozida homogênea e sem *queimadura* [25, p. 66].

Na interface entre a clara e a gema, há uma proteína chamada ovomucina, cuja função é aumentar a viscosidade da

clara naquela região. E por causa dessa funcionalidade ela coagula mais dificilmente que as outras proteínas da clara. Colocando água como no caso anterior, é possível deixar a clara homogênea cozida, mas, para quem prefere um ovo com a gema mole, a borda da clara levemente *queimada* e o resto da clara homogênea cozida, com a interface clara-gema completamente coagulada, é preciso ter paciência e habilidade para seguir um procedimento que baixe a temperatura de desnaturação das proteínas da clara. Isso é feito com sal ou algum ácido (vinagre ou suco de limão). Para ter um ovo frito nessas condições, é necessário colocar mais sal na interface clara-gema [22, p. 65].

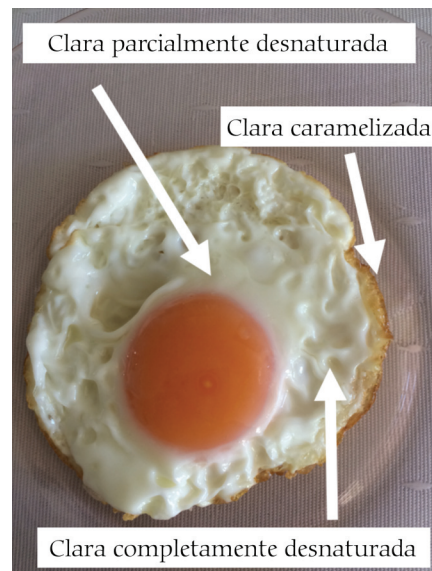


Figura 2: Aspecto da clara de um ovo frito. A borda externa encontra-se caramelizada. A região intermediária está totalmente desnaturada, enquanto a interface gema-clara está parcialmente desnaturada.

UEPS para abordar os tópicos mencionados acima

Uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) foi elaborada, de acordo com a metodologia sugerida por Moreira [27], para abordar os tópicos discutidos acima em uma turma de alunos da EJA, no horário noturno da Escola José de Borba Vasconcelos, em Maracanaú, Ceará. De acordo com o INEP, a escola tem Indicador de Nível Socioeconômico (INSE) médio. A turma continha 19 homens e 13 mulheres, na faixa etária de 19 a 50 anos, sendo que apenas 18 alunos frequentaram as aulas regularmente.

De acordo com as diretrizes curriculares do Estado do Ceará, os conteúdos de biologia, física e química são tratados na EJA por meio da disciplina Ciências da Natureza. O professor que aplicou a UEPS, co-autor do presente trabalho e narrador dos vídeos (FRS), organizou o conteúdo da disciplina de modo a enfatizar os conceitos pertinentes ao tema da UEPS. Ou seja, antes da aplicação da UEPS os alunos estudaram os conceitos básicos de biologia, física e química, com especial atenção aos conceitos de energia, proteína, calor, temperatura e leis da termodinâmica.

O conteúdo da UEPS foi distribuído em 16 aulas com o objetivo de abordar os conceitos a partir de procedimentos similares a uma pesquisa científica, utilizando experimentos com o cozimento de ovos, reproduzidos nos vídeos 1, 2 e 3, apresen-

tados acima. Detalhes da aplicação da UEPS, como situações-problema e as análises dos alunos são apresentados na dissertação de mestrado de um dos autores (FRS) [28]. Apresentaremos na sequência apenas as informações mais relevantes da aplicação da UEPS e destacaremos alguns relatos dos alunos.

É importante ressaltar o que foi mencionado acima: as situações-problema iniciais da UEPS emulam os procedimentos geralmente adotados por cientistas ao levantarem suas hipóteses e questões de trabalho no início de um projeto de pesquisa. Além desse objetivo emulador, as situa-

ções-problema servem para a definição daquilo que Ausubel chama de organizadores prévios, ou organizadores avançados [27-29].

Para discutir as situações-problema e realizar os experimentos planejados na UEPS, a turma foi dividida em quatro grupos, cada um com um líder eleito entre seus pares e que foi o responsável por falar pela equipe. Como os conceitos básicos tinham sido discutidos no semestre anterior, as situações-problema da UEPS restringiram-se aos tópicos pertinentes à bioquímica e à termodinâmica no processo de cozimento de um ovo. Ao longo das quatro primeiras aulas, os grupos discutiram e relataram suas experiências e conhecimentos a respeito das situações-problema.

Depois dessas quatro aulas, os grupos passaram a realizar experimentos (todos reproduzidos nos vídeos supramencionados) em torno das situações-problema experimentais, e mais uma vez o professor chamou a atenção para o fato de que esse procedimento, de discutir as situações-problema, simula uma etapa da atividade de pesquisa científica na qual o cientista reflete sobre suas hipóteses em torno da questão a ser investigada. Salienta-se também que, na prática, nem sempre a questão a ser investigada foi planejada pelo cientista - muitas vezes ela surge por acaso, como resultado de algum experimento ou cálculo realizado por alguém, nem sempre o próprio cientista. Enfim, aproveita-se a oportunidade para uma breve discussão a respeito da natureza da ciência [30-32].

Por que a casca do ovo pode rachar durante o cozimento?

Após uma breve discussão sobre

dilatação térmica do ar, tema que já havia sido abordado no semestre anterior, os alunos realizaram experimentos com o cozimento de um ovo para abordar a questão que dá título a esta seção. Para auxiliar os alunos em suas discussões, o professor apresentou aspectos básicos da biologia do ovo, tais como os compostos presentes em sua composição e suas respectivas funções.

Em nenhum dos experimentos realizados pelos alunos observou-se a rachadura das cascas dos ovos. Os alunos logo concluíram que isso tem a ver com a consistência das cascas dos ovos utilizados e com o fato de que em todos os experimentos o ovo foi colocado em água fria e não em água fervente. Por causa disso, o único aspecto analisado pelos alunos nessa parte inicial dos experimentos foi a liberação de gases através da casca do ovo (vídeo 1). Com uma agulha, os alunos fizeram um furo na extremidade mais larga do ovo. Observaram que o número de bolhas é maior nessa extremidade do que em qualquer parte, como era de se esperar.

Conforme já discutido acima, para evitar a saída da clara pelas rachaduras da casca do ovo, uma alternativa é realizar o cozimento em meio ácido, com adição de sal e/ou vinagre. Optamos por testar o sal. O efeito sobre a clara não foi observado porque nenhum ovo teve a casca rachada. No entanto, o experimento resultou em uma observação que não havia sido prevista pelos professores, nem sua discussão fazia parte do planejamento da UEPS. Todos os grupos notaram que, ao colocar sal na água, demorou mais a aparecerem as bolhas. O Grupo 2 afirmou que "O sal interfere no tempo de cozimento do ovo." Eles não tinham elementos experimentais para fazer essa afirmação, que foi apresentada por uma aluna, cozinheira profissional. Ela sabia, de sua experiência na cozinha, que o sal eleva o ponto de ebulição da água, sem

conhecer esse conceito. A discussão em sala sobre essa questão foi muito enriquecedora.

Embora não estivesse prevista na UEPS, o professor aproveitou a oportunidade para fazer um experimento para demonstrar o efeito do sal no ponto de ebulição da água, reproduzido no vídeo 1, no tempo 0:46. Foi um reforço de autoestima visível no semblante dos alunos.

Bioquímica e termodinâmica do ovo cozido

Inicialmente, cada grupo cozinhou um ovo seguindo um procedimento definido pelos seus componentes. Os procedimentos foram detalhadamente registrados em apontamentos e fotografias. Os apontamentos foram apresentados oralmente pelo líder do grupo. Depois de cozidos, os ovos foram descascados e cortados ao meio para o exame de sua textura. Em um processo dialógico, toda a classe discutiu os resultados obtidos pelos diferentes grupos.

Depois de realizarem e discutirem seus procedimentos usuais, os alunos passaram a realizar os procedimentos definidos na UEPS [28].

Os procedimentos experimentais definidos na UEPS envolveram a combinação de três variáveis: temperatura inicial da água, tempo de cozimento e tempo de resfriamento do ovo cozido. Ou seja, são procedimentos que simulam atividades de pesquisa científica, com definição de parâmetros relevantes e formas adequadas de controle. Todavia, como

se trata de um experimento pedagógico, não há necessidade de submeter os parâmetros envolvidos a uma ampla faixa de variação, nem de trabalhar com valores precisos. Por exemplo, as temperaturas são estimadas a partir do estado físico da água. Temperatura de água gelada, de água corrente e de água em ebulição. Da mesma forma, resfriamento rápido ou lento é determinado pelo esta-

do físico do ambiente no qual o ovo cozido é imerso. Resfriamento rápido se dá quando a água é gelada. Resfriamento menos rápido se a água é corrente e resfriamento lento se o ovo resfria ao ar. O importante em uma intervenção didática é que o experimento propicie a

As situações-problema iniciais da UEPS emulam os procedimentos geralmente adotados por cientistas ao levantarem suas hipóteses e questões de trabalho no início de um projeto de pesquisa. Além desse objetivo emulador, as situações-problema servem para a definição daquilo que Ausubel chama de organizadores prévios, ou organizadores avançados

Os procedimentos experimentais definidos para o cozimento envolveram a combinação de três variáveis: temperatura inicial da água, tempo de cozimento e tempo de resfriamento do ovo cozido. As temperaturas são estimadas a partir do estado físico da água. Temperatura de água gelada, de água corrente e de água em ebulição. Resfriamento rápido se dá quando a água é gelada. Resfriamento menos rápido se a água é corrente e resfriamento lento se o ovo resfria ao ar

apropriação conceitual pertinente, e que isso resulte em aprendizagem significativa.

Os experimentos anteriores mostraram que cozimento durante 15 min a partir da água fria deixa as proteínas da gema completamente desnaturadas. Vimos acima que as proteínas do ovo se desnaturam em temperaturas entre 61 °C e 82 °C. Portanto, teoricamente, se deixarmos um ovo em temperatura abaixo de 70 °C, suas proteínas não se desnaturam completamente, a menos que algo aconteça no ambiente em que ele se encontra, por exemplo, se mudar o pH, ou se houver vigorosa agitação.

Uma situação-problema foi definida para examinar essa questão. Sabe-se que as primeiras bolhas são liberadas pela água por volta de 70 °C. Então, se um ovo for deixado em água fervente sem borbulhar, suas proteínas terão dificuldade para se desnaturarem completamente. Os alunos fizeram três experimentos (usaremos as notações da UEPS):

A9a: Cozimento durante 10 min, após a água começar a borbulhar, com resfriamento em água corrente.

A9b: Repetir o procedimento A9a, com 15 min, com resfriamento em água corrente.

A9c: Cozimento durante 15 min com baixa temperatura, ou seja, temperatura inferior à temperatura de naturalização das proteínas da gema, com resfriamento em água corrente. Uma aproximação dessa temperatura pode ser alcançada colocando água fria sempre que as primeiras bolhas surgem na água. Isso faz com que a temperatura seja mantida em torno de 70 °C.

O experimento A9b serviu como controle, e como tal forneceu resultado similar àquele obtido na aula anterior. Um re-



Figura 3: Textura de um ovo cozido em temperatura de aproximadamente 70 °C, durante 15 min.

sultado típico do experimento A9c é apresentado na Fig. 3.

O aspecto da gema na Fig. 3 sinaliza duas situações no processo de cozimento. A maior parte da gema tem coloração vermelha e textura gelatinosa, indicando que as proteínas não estão completamente desnaturadas. Uma pequena parte, observada na lateral esquerda da fotografia, tem coloração amarela clara, associada às proteínas desnaturadas. Ou seja, o procedimento de colocar água fria sempre que a água fervente começasse a borbulhar, de fato produziu temperatura média em torno de 70 °C. Outra conclusão importante extraída desse resultado é que, mesmo com longo tempo de cozimento (15 min), as proteínas não se desnaturam se a temperatura for inferior a 75 °C.

Bioquímica e termodinâmica do ovo pochê

Os experimentos com o ovo pochê possibilitam ao mesmo tempo a exploração de várias questões importantes sobre a bioquímica e a termodinâmica envolvidas no cozimento e a discussão de questões relacionadas com o controle de variáveis no método científico.

Os parâmetros termodinâmicos que determinam os resultados bioquímicos são essencialmente temperatura e tempo. A rigor, será necessário ter algum equipamento para medir a temperatura, por exemplo, um termômetro. Mas, não tendo esse equipamento, o que fazer? Sabe-se que a temperatura depende das condições físico-químicas em que se dá o cozimento e sua elevação provoca efeitos visuais. Por exemplo, quando a água fervente começa a apresentar as primeiras bolhas, a temperatura está próxima de 70 °C. Quando ela entra em ebulição a temperatura é aproximadamente 100 °C. Então, temperatura entre 70 °C e 100 °C pode ser estimada pelo aspecto da água borbulhando. Por exemplo, para realizar um experimento em temperatura próxima de 70 °C, podemos usar o artifício de colocar água fria sempre que aparecerem as primeiras bolhas na água fervente.

No caso do ovo pochê com frigideira tampada, o único parâmetro controlável é o tempo, pois o ambiente de cozimento não é visível, a menos que a tampa da frigideira seja de vidro. Empiricamente, sabe-se que é possível controlar a textura da gema se o fogo for interrompido quando o vapor de água que ocupa todo o ambiente contiver quantidade visível de proteínas da clara

desnaturadas. Isso se manifesta pela presença que o vapor faz na tampa. Se a tampa for suficientemente leve, o efeito é visível. Se houver uma fresta entre a tampa e a frigideira isso é visível pelo vapor que escapa. Se não houver nem uma nem outra condição, o cozinheiro terá que determinar por tentativa e erro o momento em que o vapor contém proteínas desnaturadas. Em alguns dos nossos experimentos usamos como tampa uma frigideira menor, porque permite a visualização do estado físico-químico desejado.

Depois de interrompido o fogo, o ovo permanece no ambiente fechado durante um intervalo de tempo necessário para a obtenção da textura desejada. Deve-se determinar esse tempo empiricamente, ou seja, repetir o processo com diferentes tempos de resfriamento e observar a textura obtida. Por exemplo, texturas que consideramos interessantes foram obtidas com tempos de resfriamento entre 60 s e 120 s.

Portanto, esses experimentos com o cozimento de ovos possibilitam a discussão do que significa procedimento científico. Ou seja, no procedimento científico

há necessidade de definir as variáveis importantes do fenômeno sob investigação, os processos de medida e seus níveis de aproximação e as tentativas empíricas para

controlar as variáveis.

Mesmo com longo tempo de cozimento (15 min), as proteínas da gema não se desnaturam se a temperatura for inferior a 75 °C

Bioquímica e termodinâmica do ovo frito

De modo similar ao caso do ovo cozido, na aula sobre o ovo frito os alunos fritaram ovos de acordo com procedimentos definidos por cada grupo. Considerando o que muitos cozinheiros classificam como ovos fritos *perfeitos*, nenhum grupo obteve bons resultados. Todos os ovos ficaram com as claras caramelizadas. Um dos grupos virou o ovo na metade do procedimento. Três grupos fritaram os ovos em menos de 2 min. Apenas um grupo ultrapassou esse tempo. Nesse caso, depois de 1,5 min eles furaram a gema e deixaram o ovo fritando por mais 2,5 min. Justificaram o furo para obter uma gema dura, mas a gema abriu e misturou-se com a clara. No vídeo 3 mostramos como obter gema intacta, com diferentes texturas.

Durante duas aulas os alunos realizaram experimentos com as receitas definidas na UEPS. Os três primeiros experimentos tiveram como objetivo discutir a questão da *clara queimada*. Conforme

discutimos no vídeo 3, essa caramelização é consequência da evaporação da água presente na clara. Isso implica em uma reação química do açúcar (sempre presente nos organismos biológicos) com as proteínas.

Durante os experimentos, os alunos aprenderam como obter ovo frito com gema intacta e com textura variando de cremosa a endurecida, mas não embranquecida. Ou seja, é possível obter uma gema dura com tonalidade na faixa do vermelho. Todos os ovos foram fritos misturando um pouco de água ao óleo fervente. Para obter uma clara livre de caramelização, o ovo pode ser retirado ao final de 3 min, ou ao final de 4 min, sendo que, neste caso, o fogo é mantido durante 2 min com a frigideira destampada, e o ovo permanece mais 2 min na frigideira tampada. Esse tempo de *descanso* com a frigideira tampada define a textura da gema. Outra possibilidade é manter a frigideira tampada durante todo o processo (vídeo 3).

Nesses experimentos com ovo frito, três parâmetros são muito importantes: temperatura, tempo e ambiente de cozimento. Diferentes valores e condições desses parâmetros definem a textura do ovo frito. Todavia, são as condições que definem o sabor o que mais interessou aos alunos. Discutiremos isso mais adiante, depois que discutirmos os aspectos mais aparentes e controláveis dos experimentos.

Os ovos foram fritos em dois ambientes diferentes. Um com a frigideira descoberta e o outro com a frigideira coberta. Portanto, duas condições de vapor sobre os ovos. Quando a frigideira é tampada, surge uma camada branca sobre a gema (vídeo 3, no tempo 3:58), resultante da desnaturação das proteínas da clara presentes no vapor. Isso não acontece quando a frigideira está descoberta porque o contato com o ar não permite que a temperatura superficial atinja o valor mínimo para a desnaturação das proteínas da clara, isto é, 60 °C.

A questão do sabor, que suscitou prolongada discussão durante a aplicação da UEPS, é um assunto antigo e complexo. Vem lá da Grécia de Aristóteles, mas nunca deixou de ocupar os *chefs* e cientistas modernos [22, p. 16-30, 23, p. 122-141]. Embora interessante e pertinente, não achamos conveniente abordar esse assunto, em toda a sua extensão, na UEPS que aqui estamos propondo. Apenas os aspectos mais relevantes do ponto de vista da

bioquímica e da termodinâmica foram tratados.

O sabor vem de uma reação bioquímica que se processa quando o alimento entra em contato com as nossas papilas. As células das papilas possuem receptores das moléculas *sápidas*, ou seja das moléculas que dão a sensação de sabor. Que moléculas são essas? São moléculas voláteis ou solúveis na água. Só é *sápida* a molécula que tem essas propriedades. Dito de outro modo, uma molécula só provoca

Nesses experimentos com ovo frito, três parâmetros são muito importantes: temperatura, tempo e ambiente de cozimento. Diferentes valores e condições desses parâmetros definem a textura do ovo frito

uma sensação de sabor se ela puder se ligar a receptores presentes na superfície de nossas papilas. É assim que se processa a reação bioquímica. Por exemplo, o sabor salgado vem principalmente por causa do íon sódio. O cloro, que forma o sal de cozinha (cloreto de sódio, NaCl), tem o papel de estimular os receptores, mas a reação que provoca a sensação de salgado é com o sódio. Da mesma forma, o vinagre, CH₃COOH, provoca o sabor ácido por causa da reação dos receptores com íons de hidrogênio.

É importante ter em mente que o processo da sensação de sabor é mais complexo do que uma simples reação bioquímica. Ao lado da reação, o cérebro conta com o aroma para formar a sensação de sabor. É por isso que óleos e gorduras dão sabor aos alimentos. A maioria das moléculas aromáticas dissolve-se facilmente em óleos e gorduras, mas não em água [23, p. 132-141].

Teste surpresa e testemunho dos alunos

Em uma das últimas aulas de aplicação da UEPS, o professor surpreendeu os 11 alunos presentes solicitando que escrevessem o que tinham aprendido até aquele momento. Os três melhores relatos são resumidamente apresentados a seguir.

Relato 1

O ovo contém proteínas e gorduras necessárias ao corpo humano. A composição do ovo é de cerca de 85% de água, e o restante é formado por proteínas. Quando o ovo é aquecido, as moléculas se movimentam mais rápido e os átomos de ferro da gema e de enxofre da gema começam a reagir. Quanto mais aquece o ovo, mais verde fica a gema. A casca do ovo quebra porque no aquecimento o ar dentro do ovo se dilata e essa dilatação pode romper a casca. Quanto mais se aquece maior

será a dilatação. Uma das propriedades da clara, por causa de suas proteínas é a de absorver o ar. Outro detalhe é que cada raça de galinha possui uma coloração diferente na casca do ovo. Agora comecei a compreender a ciência do ovo. A transmissão de calor e dilatação dos materiais e dos gases. As substâncias químicas e a biologia do ovo.

Relato 2

Com relação ao nutriente do ovo, nenhum ovo possui carboidratos. Ovo possui somente água (mais de 80%), gordura boa, muita albumina e ovomucina. Existe muita física no cozimento do ovo. Com certeza a propagação de calor. Pois o fogo conduz calor para a panela e a panela para água ou o óleo e assim por diante. A gema demora mais tempo pra cozinhar porque o calor específico dela é maior que o da clara (acho que é isso). A química também está presente no ovo. O ovo possui muito enxofre e ferro. A maior quantidade de nutrientes está na gema. Quanto mais vermelha for a gema maior é a quantidade de ferro. Com certeza a biologia também está. Lembrando que na formação da galinha e do ovo, ovo é o óvulo.

Relato 3

O ovo possui muito zinco, sódio e ferro. Todo o colesterol que está no ovo fica na gema. Esse colesterol não é tão perigoso. O ovo é praticamente água e proteína. O ovo auxilia também na perda de massa. Com relação ao cozimento do ovo, a clara cozinha aos 60 °C e a gema aos 70 °C. A biologia do ovo é fundamental. Nesse curso aprendi muita física e química. Apesar da minha idade. Entendi desnaturação, dilatação, propagação, substâncias químicas, proteínas, enzimas, lipídeos, fenômenos físicos e químicos utilizando o ovo. Muito bom. É muito importante juntar a minha prática na cozinha com a teoria da ciência.

Comentários finais

Na última aula do curso, o professor solicitou que os grupos respondessem as questões que lhes foram apresentadas no início da aplicação da UEPS. As respostas na íntegra são apresentadas na dissertação de FRS [28], mas achamos interessante destacar algumas delas, pela relevância que têm como indicadoras do nível de aproveitamento da turma. Por exemplo, o Grupo 4 relatou:

Dizer o que é um ovo perfeito ou fazer um ovo perfeito é complicado. Depende muito de quem faz ou de quem saboreia. A primeira dica é vedar a panela e manter a temperatura. O ar influencia (é o que a gente acha). Outro detalhe é o tipo de panela (faz a diferença). A gente percebeu que o ovo deve ficar com a gema nem mole e nem dura. Pois fica mais saborosa e esteticamente bonita (é a nossa opinião).

Os grupos 1-3 apresentaram respostas muito interessantes sobre o porquê da eventual rachadura da casca do ovo durante o cozimento:

Grupo 1: Quando a gente aquece a água, o que é relativamente rápido, ocorre um choque térmico com o ovo. A casca é delicada e acaba trincando. A clara não está cozida e acaba escorrendo para fora do ovo, o que explica a bagunça que se forma dentro da panela.

Grupo 2: Ocorre a expansão térmica. A clara e a gema que estão dentro da casca, como tudo que é aquecido vão se expandir, ou seja, vão aumentar de volume ao se solidificar. Porém, a casca do ovo não se expande da mesma forma. Isso faz com que a casca muitas vezes rache.

Grupo 3: A parte mais larga do ovo contém ar. Se esse ar tiver como escapar, vai sobrar mais espaço para gema e para clara. Então, com o aquecimento ocorre a dilatação e o ovo não racha porque terá espaço para a gema e para a clara.

Sobre a função do calor no cozimento, o Grupo 3 respondeu:

O calor do cozimento faz com que as moléculas de albumina e as outras proteínas que compõem o ovo se desnaturem. O calor rompe as ligações químicas das moléculas do ovo.

Com a aplicação dessa UEPS para abordar tópicos de bioquímica e termodinâmica na Educação de Jovens e Adultos (EJA), estamos convencidos da exequibilidade de projetos pedagógicos interdisciplinares dirigidos a essa população, tendo como referencial teórico a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, com elementos importantes da concepção freireana para o ensino de adultos, bem como das ideias de Vygotsky para o processo de socialização durante a aprendizagem. Os alunos apropriam-se de conceitos importantes para o seu cotidiano, de um modo lúdico que supera o cansaço de um dia de

trabalho, e tomam conhecimento por meio de exercícios práticos de noções do método científico.

Nota

¹<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=bolhas-saem-da-agua>.

Referências

- [1] Unesco, *3rd Global Report on Adult Learning and Education* (Institute for Lifelong Learning, Hamburg, 2016).
- [2] M.C. Di Pierro, *Cadernos de Pesquisa* **38**, 1 (2008)
- [3] G.A.S. Moretti, *Youth and adult literacy and education: a good practice analysis*, 2016. Disponível em <https://ideas.repec.org/p/ipc/pbrief/56.html>, acesso em 19/4/2019.
- [4] P. Freire, *Educação e Mudança* (Paz e Terra, São Paulo, 2008), 31st ed.
- [5] L.S. Vygotsky, *Mind in Society. The Development of Higher Psychological Processes* (Harvard University Press, Cambridge, 1978).
- [6] D.P. Ausubel, *J. Teach. Educ.* **14**, 217 (1963).
- [7] D.P. Ausubel, *Psychol. Schools* **6**, 331 (1969).
- [8] M.A. Moreira, E.F.S. Masini, *Aprendizagem Significativa: A Teoria de David Ausubel* (Moraes, São Paulo, 1982).
- [9] K. Espíndola e M.A. Moreira, *Experiências em Ensino de Ciências* **6**, 55 (2006).
- [10] M. Lambach e C.A. Marques, *Investig. em Ensino Ciências* **14**, 219 (2009).
- [11] D.B.A. Lima, *Sequência Didática para Ensino de Alguns Conceitos de Física Térmica para Aluno do Ensino Médio na Modalidade EJA*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2015.
- [12] W.S. Martins, *Educação de Jovens e Adultos: Proposta de Material Didático para o Ensino de Química*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 2007.
- [13] D.W. Merazzi e E.R. Oaigen, *Amazônia - Rev. Educ. em Ciências e Matemática* **3**, 1 (2006).
- [14] C. Muenchen e D. Auler, *Ciência Educ.* **13**, 421 (2007).
- [15] R. Vilanova e I. Martins, *Ciência Educ.* **14**, 331 (2008).
- [16] E.E.L. Ramos e C.A. Queiroz, *Rev. Técnico-Científica do IF-SC* **1**, 35 (2012).
- [17] L. Rekovsky, *Física na Cozinha* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.
- [18] K.V. Thompson *et al.*, *CBE-Life Sci. Educ.* **12**, 162 (2013).
- [19] I.F. Costa, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **17**, 180 (1995).
- [20] A.C.F. Moisés, *Física no Cotidiano: Da Cozinha para a Sala de Aula - Relato de uma Experiência Didática no Município de Limoeiro do Norte (CE)*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.
- [21] J.R. Pimentel e P. Yamamura, *Física na Escola* **5**, 26 (2004).
- [22] H. This, *Um Cientista na Cozinha* (Ática, São Paulo, 1996).
- [23] L. Fisher, *A Ciência no Cotidiano* (Jorge Zahar, Rio de Janeiro 2004).
- [24] A. Pifer and K.M. Aurani, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **37**, 1603 (2015).
- [25] D. Golombek e P. Schwarzbaum, *O Cozinheiro Cientista: Quando a Ciência se Mete na Cozinha*. (Civilização Brasileira, Rio de Janeiro, 2009).
- [26] P. Bocuse, *Bocuse em Sua Cozinha* (Ediouro, Rio de Janeiro, 2009).
- [27] M.A. Moreira, *Aprendiz. Significativa em Rev.* **1**, 43 (2011).
- [28] F.R. da Silva, *Proposta de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para Abordar Tópicos de Bioquímica e Termodinâmica na Educação de Jovens e Adultos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural do Semiárido, 2018.
- [29] D.P. Ausubel, *J. Educ. Psychol.* **51**, 267 (1960).
- [30] T.S. Kuhn, *A Estrutura das Revoluções Científicas* (Perspectiva, São Paulo, 1975).
- [31] M.R. Matthews, *Cad. Catarinense Ensino Física* **12**, 164 (1995).
- [32] A. Vilas Boas, M.R. Silva, M.M. Passos e S.M. Arruda, *Cad. Bras. Ensino Física* **30**, 287 (2013).

Outras fontes

Vídeo 1: https://www.youtube.com/watch?v=jgF9sTft_FA&feature=youtu.be

Vídeo 2: <https://www.youtube.com/watch?v=5U9WXk3iRWI&feature=youtu.be>

Vídeo 3: https://www.youtube.com/watch?v=DGbX_rHFCeo&feature=youtu.be

Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Molecular_gastronomy