



PROPOSTA DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA ABORDAR TÓPICOS DE BIOQUÍMICA E TERMODINÂMICA NA EDUCAÇÃO DE JOVENS E ADULTOS

Felipe Rodrigues da Silva

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

Orientador

Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos

Mossoró
Novembro, 2018

PROPOSTA DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA ABORDAR TÓPICOS DE BIOQUÍMICA E TERMODINÂMICA NA EDUCAÇÃO DE JOVENS E ADULTOS

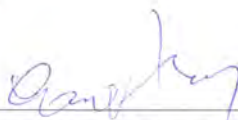
Felipe Rodrigues da Silva

Orientador

Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural do Semiárido, no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:



Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos

Orientador: MNPEF-UFERSA



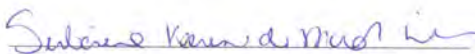
Prof. Dr. Emmanuel Marcel Favre-Nicolin

Membro Externo: IFES – Campus Cariacica



Prof. Dr. Samuel Rodrigues Gomes Júnior

Membro Externo: IFRN – Campus Natal



Prof. Dra. Subênia Karine de Medeiros Neo

Membro interno: MNPEF-UFERSA

Mossoró
Novembro, 2018

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)

Biblioteca Central da Universidade Federal Rural do Semiárido, RN, Brasil.

S586p

Silva, Felipe Rodrigues da

Proposta de uma unidade de ensino potencialmente significativa para abordar tópicos de bioquímica e termodinâmica na educação de jovens e adultos / Felipe Rodrigues da Silva; orientador Carlos Alberto dos Santos. -- Mossoró, 2018.

105 p.

Dissertação (Mestrado – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal Rural do Semiárido, 2018.

1. Ensino de Física. 2. UEPS. 3. Bioquímica. 4. Termodinâmica. 5. Educação de jovens e adultos. I. Santos, Carlos Alberto dos. II. Título.

Dedico esta dissertação a minha família,
que muito me apoiou e me incentivou a
realizá-la.

Agradecimentos

A presente dissertação de mestrado não poderia chegar a bom termo sem o precioso apoio de várias pessoas.

Em primeiro lugar, não posso deixar de agradecer ao meu orientador, Professor Carlos Alberto dos Santos, por toda a paciência, profissionalismo, competência, empenho e sentido prático com que sempre me orientou neste trabalho e em todos aqueles que realizei durante os seminários do mestrado. Muito obrigado por me ter corrigido quando necessário sem nunca me desmotivar.

Aos meus amigos do mestrado, pelos trabalhos e disciplinas realizados em conjunto e, principalmente, pela preocupação e apoio constantes. O meu muito obrigado.

Aos professores do MNPEF-UFERSA, pelo empenho durante as disciplinas do mestrado.

RESUMO

PROPOSTA DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA ABORDAR TÓPICOS DE BIOQUÍMICA E TERMODINÂMICA NA EDUCAÇÃO DE JOVENS E ADULTOS

Felipe Rodrigues da Silva

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos

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

Apresenta-se o planejamento e a execução de uma intervenção didática para abordar tópicos de bioquímica e termodinâmica em uma turma da Educação de Jovens e Adultos. A intervenção didática foi dividida em duas fases, uma em cada semestre. Na primeira fase foram abordados conteúdos essenciais para a cultura científica de qualquer pessoa adulta. No segundo semestre foi aplicada uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), cuja estrutura pedagógica tem elementos da pedagogia de Paulo Freire, da teoria de aprendizagem de Ausubel e da teoria sociointeracionista de Vygotsky. Os resultados obtidos com a aplicação dessa UEPS sugerem a exequibilidade de projetos pedagógicos interdisciplinares dirigidos a essa população, tendo como referencial teórico elementos das reflexões dos estudiosos supracitados. 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 de abordagens metodológicas, genericamente denominadas de procedimentos científicos.

Palavras-chave: Ensino de física, UEPS, Bioquímica, Termodinâmica, Educação de jovens e adultos.

Mossoró
Novembro, 2018

ABSTRACT

PROPOSAL OF A POTENTIALLY SIGNIFICANT TEACHING UNIT TO ADDRESS TOPICS OF BIOCHEMISTRY AND THERMODYNAMICS IN EDUCATION OF YOUTH AND ADULTS

Felipe Rodrigues da Silva

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural do Semiárido, no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

It will be presented the planning and execution of a didactic intervention to approach topics of biochemistry and thermodynamics in a group of Education of Young and Adult. The didactic intervention was divided into two phases, one in each semester. In the first phase were addressed essential contents for the scientific culture of any adult person. In the second semester a Potentially Meaningful Teaching Unit (PMTU) was applied, whose pedagogical structure has elements of Paulo Freire's pedagogy, Ausubel's learning theory and Vygotsky's socio-interactionist theory. The results obtained with the application of this PMTU suggest the feasibility of interdisciplinary pedagogical projects directed to this population, having as theoretical reference elements of the reflections of the scholars mentioned above. Students learns on important concepts for their daily life in a playful way that overcomes the fatigue of a day's work, and learns, through practical exercises, notions of methodological approaches, generally referred to as scientific procedures.

Keywords: Physics Teaching, PMTU, Biochemistry, Thermodynamics, Education of youth and adults.

Mossoró
Novembro, 2018.

SUMÁRIO

Lista de Abreviaturas e Siglas	11
Lista de Figuras	12
Lista de Tabelas	13
Capítulo 1 - Introdução.....	14
Capítulo 2 – Ensino de Ciências na Educação de Jovens e Adultos.....	18
2.1 Introdução	18
2.2 Ensino de Ciências na Educação de Jovens Adultos no Estado do Ceará: Cenário do Ensino Médio na Escola José de Borba Vasconcelos	19
2.2a Conteúdo apresentado no primeiro semestre	20
2.3 Ausubel, Paulo Freire e Vygotsky na EJA.....	21
Capítulo 3 – Sobre o Produto Educacional	23
3.1 – Introdução	23
3.2 – Descrição da UEPS usada no presente produto educacional	28
3.3 – Resultados obtidos com a aplicação da UEPS	30
3.3a – Por que a casca do ovo pode rachar durante o cozimento?.....	32
3.3b – Bioquímica e termodinâmica do ovo cozido	34
3.3c – Bioquímica e termodinâmica do ovo frito	38
3.3d – Bioquímica e termodinâmica do ovo pochê	42
3.4 – Avaliação dos alunos.....	44
Capítulo 4 – Sumário, Resultados Relevantes e Considerações Finais.....	47
4.1. Sumário	47
4.2. Resultados relevantes	47
4.3. Considerações Finais	48
Referências	49
Apêndice A – Produto Educacional: Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para a Abordagem de Tópicos de Bioquímica e Termodinâmica na Educação de Jovens e Adultos	52
Sobre a capa	54

Apresentação	55
1 Bioquímica e Termodinâmica na Culinária	57
1.1 Introdução	57
1.2 Energia e suas transformações	58
1.3 Energia e matéria	59
1.4 Energia e termodinâmica	60
1.5 A equação de Fourier nos processos de cozimento	62
1.6 Tópicos de bioquímica	65
1.6a Compostos orgânicos	65
1.6b A composição química dos alimentos e o pH.....	68
1.6c Solute e solvente em soluções.....	69
2 Bioquímica e termodinâmica no cozimento de um ovo	69
2.1 Por que a casca do ovo pode rachar durante o cozimento?	70
2.2 Bioquímica e termodinâmica do ovo cozido	72
2.3 Bioquímica e termodinâmica do ovo frito	74
2.4 Bioquímica e termodinâmica do ovo pochê.....	77
3 Guia do Professor.....	80
3.1 Subsúncos	80
3.2 Diferenciação progressiva	81
3.3 Reconciliação integradora	81
3.4 Universo vivencial / laboral	81
3.5 Sociabilidade	82
4 Cronograma de atividades.....	83
Referências.....	85
Apêndice B – Íntegra dos textos dos alunos	87
Apêndice C – Bioquímica e Termodinâmica na Culinária.....	90
C.1 – Introdução	90
C.2 – Energia e suas transformações.....	91
C.2a – Energia e matéria	92
C.2b – Energia e termodinâmica	93
C.2c – A equação de Fourier nos processos de cozimento.....	95
C.3 – Tópicos de bioquímica	98
C.3a – Compostos orgânicos.....	99

C.3b – A composição química dos alimentos e o pH	102
C.3c – Solute e solvente em soluções	102
Referências	104
Apêndice D – Artigo para publicação	105

Lista de Abreviaturas e Siglas

EEMTI Escola de ensino médio de tempo integral

EJA Educação de jovens e adultos

MNPEF Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

UEPS Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

UNESCO Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

Lista de Figuras

Figura 3.1: Alunos observam e fazem apontamentos sobre o cozimento de um ovo.	31
Figura 3.2: Expansão do ar no interior do ovo.	32
Figura 3.3: Água borbulhando.	33
Figura 3.4: Ovo cozido com procedimentos definidos pelos grupos.	34
Figura 3.5: Ovo cozido a partir de água fria.	35
Figura 3.6: Diferentes procedimentos de cozimento de um ovo.	36
Figura 3.7: Ovos fritos com procedimentos definidos pelos grupos.	38
Figura 3.8: Ovos fritos com procedimentos experimentais.	39
Figura 3.9: Ovo pochê cozido em vinagre, água e sal.	40
Figura 3.10: Ovo pochê em frigideira tampada.	42
Figura 3.11: Ovo em água com vinagre e sal, com frigideira tampada.	43

Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Atividades desenvolvidas ao longo da aplicação da UEPS.	28
Tabela 3.2: Sumário das respostas dos grupos às questões iniciais, apresentadas ao longo das primeiras quatro aulas.	29
Tabela 3.3: Comentários dos grupos a respeito dos experimentos para observar a liberação de gases através da casca do ovo em água fervente.	33
Tabela 3.4: Comentários dos grupos a respeito de procedimentos usuais no cozimento do ovo.	34
Tabela 3.5: Comentários dos grupos a respeito de procedimentos experimentais realizados na aula 8.	36

Capítulo 1 - Introdução

Descreve-se nesta dissertação, a elaboração e a aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) (MOREIRA, 2011) planejada para abordar tópicos de bioquímica e termodinâmica (enzimas, proteínas, desnaturação de proteínas, temperatura, calor, dilatação térmica, entre outros conceitos) com alunos da Educação de Jovens e Adultos (EJA).

As circunstâncias nas quais minha atuação profissional se insere na escola onde trabalho é ao mesmo tempo justificativa e motivação para a presente proposta de intervenção didático-pedagógica. Em primeiro lugar, no Estado do Ceará, as ciências da natureza devem ser abordadas no ensino médio da EJA de integrado. Ou seja, não temos as disciplinas de biologia, física e química separadas. Temos Ciências da Natureza, e cada professor é responsável por definir o conteúdo. Nesse sentido, nossa proposta é uma tentativa de fazer essa abordagem de modo interdisciplinar, focando uma determinada parte do conteúdo curricular.

Por outro lado, é do conhecimento de todos a importância de atividades experimentais no processo de ensino-aprendizagem de conceitos das ciências da natureza. Mas concretizar este anseio educacional em uma escola que não dispõe das mínimas condições materiais é impossível. E mesmo que a escola dispusesse de laboratórios, não seria fácil sua utilização com uma população de adultos, pouco motivada para experimentos rotineiros. Então, realizar experimentos similares àqueles que a maioria realiza em seu cotidiano nos pareceu uma boa ideia.

Se observada com atenção, facilmente verificaremos que cozinha é um ambiente muito similar a um laboratório. Diariamente ali são realizados experimentos de termodinâmica com o fogão, experimentos de radiação eletromagnética com o forno de micro ondas, e observações de fenômenos em baixa temperatura podem ser realizadas com a geladeira e o freezer.

Qualquer procedimento com o cozimento de alimentos presta-se à observação de fenômenos bioquímicos envolvendo conceitos básicos de biologia, física e química. Isso é tão relevante, que a cada dois anos realiza-se no Centro de Cultura Científica Ettore Majorana, na aldeia de Erice (Itália) um encontro com cientistas e *chefs* internacionalmente reconhecidos, “para pesquisar métodos de usar a ciência na ampliação dos horizontes da gastronomia” (FISHER, 2004).

Dentre os possíveis procedimentos culinários, nada mais simples, corriqueiro e cheio de possibilidades didáticas do que o cozimento de um ovo, quer seja no modo que se conhece como ovo frito, ou ovo cozido com casca, ou ovo pochê. Cada um desses modos de cozimento permite a discussão de conceitos bioquímicos e termodinâmicos básicos.

Uma UEPS foi elaborada de modo a propiciar a abordagem de conceitos básicos de bioquímica e termodinâmica por meio de atividades experimentais lúdicas e não rotineiras. No primeiro semestre os conceitos básicos foram abordados de modo convencional, sem qualquer referência aos procedimentos experimentais que seriam realizados no segundo semestre. Ou seja, a abordagem convencional do conteúdo foi entendida como o estabelecimento de subsunçores ausubelianos (MOREIRA, M. A., 1979). No segundo semestre os alunos fizeram os experimentos descritos no Capítulo 3, de modo que os procedimentos envolvendo discussão entre os alunos, antes, durante e após a realização dos experimentos, emulasse os procedimentos típicos de uma equipe de pesquisa científica.

Pela simplicidade e praticidade dos experimentos, a UEPS pode ser aplicada em praticamente qualquer escola, e pode também ser facilmente adaptada para outros níveis da educação básica. No caso aqui relatado, ela foi aplicada na turma de ensino médio de EJA da E.E.M.T.I José de Borba Vasconcelos (Maracanaú-CE). A turma funciona no período noturno e possui 32 estudantes matriculados, 19 homens e 13 mulheres, na faixa etária entre 19 e 50 anos. Todavia, desses matriculados apenas 18 frequentaram regularmente as aulas. A turma foi dividida em 4 grupos, tendo cada grupo um líder. Esse líder foi o responsável em falar pela equipe.

Para orientar nossa intervenção didática, fizemos uma averiguação de domínio conceitual com o uso de situações-problema. Utilizamos esses resultados como se fossem uma espécie de mapa cognitivo da turma, algo como os subsunçores iniciais. A partir deles fizemos abordagens iniciais na linha dos organizadores avançados preconizados por Ausubel em sua teoria (MOREIRA, 1979), conforme detalhamento apresentado no Capítulo 3.

As observações do comportamento dos alunos em sala de aula, seus depoimentos em vários momentos e sobretudo ao final do curso, como pode-se ver no Capítulo 4, indicam os alunos ficaram muito satisfeitos com esse tipo de intervenção didática. Sentiram-se como protagonistas do processo ensino-aprendizagem, razão pela qual tiveram aumentada sua autoestima e motivação para a aprendizagem dos novos conceitos.

Se, estritamente falando, a concepção ausubeliana favoreceu o processo de aprendizagem significativa, a ideia de usar procedimentos rotineiros na cozinha como atividades experimentais conecta-se epistemologicamente ao método de alfabetização de Paulo Freire, se em vez de *universo vocabular*, concentrarmos-nos no *universo laboral* dos aprendizes. Em sua apresentação do livro *Pedagogia do Oprimido*, de Paulo Freire, diz o professor Ernani Maria Fiori (FREIRE, 1970):

Um mínimo de palavras, com a máxima polivalência fonêmica, é o ponto de partida para a conquista do universo vocabular. Essas palavras, oriundas do próprio universo vocabular do alfabetizando, uma vez transfiguradas pela crítica, a ele retornam em ação transformadora do mundo.

Então, se trocarmos *universo vocabular* por *universo laboral*, podemos imaginar que realizar *experimentos científicos* com práticas de seu cotidiano tem um significado especial para o aprendiz.

Por outro lado, as atividades em grupo, a existência de um líder escolhido pelos pares, em função de sua capacidade de articulação e de sua prática, podem ser identificados como elementos vygotskianos, como bem destaca Jófili(2002):

Desenvolvendo sua teoria, Vygotsky demonstra a efetividade da interação social no desenvolvimento de altas funções mentais tais como: memória voluntária, atenção seletiva e pensamento lógico. Sugere, também, que a escola atue na estimulação da zona de desenvolvimento proximal, pondo em movimento processos de desenvolvimento interno que seriam desencadeados pela interação da criança com outras pessoas de seu meio. Uma vez internalizados, esses atos se incorporariam ao processo de desenvolvimento da criança.

Em suma, espera-se que a abordagem de conceitos científicos complexos a partir de atividades experimentais socialmente e mentalmente significativas, sejam potencialmente úteis para que os estudantes aprendam como abordar objetivamente o seu mundo e como desenvolver soluções para problemas de grande complexidade.

No que se refere ao professor, essa modalidade de intervenção didática possibilita a retomada em um nível cognitivo superior, de assuntos já abordados, construindo com seus alunos uma nova visão sobre um mesmo tema. Quando compreende um conteúdo trabalhado em sala de aula, o aluno amplia sua reflexão sobre os fenômenos que acontecem à sua volta e isso pode gerar, conseqüentemente, discussões durante as aulas fazendo com que os alunos, além de explorar suas ideias, aprendam a respeitar as opiniões de seus colegas de sala.

Portanto, esse ambiente pode despertar curiosidade e, conseqüentemente, o interesse do aluno, visto que a estrutura do mesmo pode facilitar, entre outros fatores, a observação de fenômenos abordados em aulas teóricas. Reforçando o que foi dito acima, o uso deste ambiente também é positivo quando as experiências na cozinha fazem parte do contexto cotidiano, relacionadas com o aprendizado do conteúdo de forma que o conhecimento empírico seja testado e argumentado, para enfim consolidar a estrutura cognitiva pertinente ao tema.

Na sequência serão apresentadas noções básicas do ensino de ciências na educação de jovens e adultos (Capítulo 2), e a conceituação de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, bem como a descrição da UEPS elaborada neste projeto (Capítulo 3). No Capítulo 4 serão apresentados um sumário do trabalho realizado, os resultados relevantes e as considerações finais.

Finalmente, serão apresentados em apêndices: a íntegra do produto educacional (Apêndice A), a íntegra dos textos elaborados pelos alunos (Apêndice B), as noções básicas dos conceitos trabalhados na intervenção didática e a primeira página de um artigo a ser submetido para publicação (Apêndice D).

Capítulo 2 – Ensino de Ciências na Educação de Jovens e Adultos

2.1 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 (UNESCO, 2016), mas a EJA como a conhecemos no Brasil é basicamente um problema de país do Terceiro Mundo (DI PIERRO, 2007; MORETTI, 2016; UNESCO, 2016), 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.

Nesse contexto sócio-econômico, talvez Paulo Freire seja a referência mais relevante para intervenções didático-pedagógicas na EJA. E abordagens interdisciplinares talvez sejam mais apropriadas, em função das especificidades do público-alvo. Todavia, como veremos a seguir, o processo ensino-aprendizagem em qualquer circunstância não pode desconsiderar os elementos educacionais dos estudos de Ausubel, Vygotsky e Piaget.

Embora a literatura brasileira pertinente ao tema apresente propostas com essas três abordagens pedagógicas (ESPÍNDOLA; MOREIRA, 2006; LAMBACH; MARQUES, 2009; LIMA, 2015; MARTINS, 2007; MERAZZI; OAIGEN, 2006; MUENCHEN; AULER, 2007; VILANOVA; MARTINS, 2008), ao nosso conhecimento apenas Ramos e Queiroz (RAMOS; QUEIROZ, 2012) e Rekovvsky (REKOVVSKY, 2012) 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. Quer sejam 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 em (THOMPSON *et al.*, 2013):

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 (THOMPSON *et al.*, 2013) 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 certa 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 (COSTA, 1995; MOISÉS, 2007; PIMENTEL; YAMAMURA, 2004; REKOVVSKY, 2012).

2.2 Ensino de Ciências na Educação de Jovens Adultos no Estado do Ceará: Cenário do Ensino Médio na Escola José de Borba Vasconcelos

No Estado do Ceará, Ensino Médio na Educação de Jovens e Adultos é dado em dois anos. No primeiro ano o aluno tem contato com conteúdos de matemática e códigos e linguagens, e no segundo ano eles estudam ciências humanas e ciências da natureza. Não há uma definição de conteúdos a serem abordados. Isso fica a critério dos professores, muitos dos quais restringem o conteúdo à sua área de formação.

A termodinâmica talvez seja um dos ramos da física com a maior quantidade de conceitos transversais em relação à biologia e à química. Portanto, se a cozinha é o ambiente de aprendizagem experimental selecionado, a melhor e mais simples estratégia talvez seja a elaboração de uma sequência didática para abordar tópicos de bioquímica e termodinâmica a partir de experimentos com o cozimento de ovos. 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 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 [ref. 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 hábil 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 culinários apropriados para a discussão de conceitos básicos de bioquímica e termodinâmica. Para iniciantes no assunto, vale a pena uma leitura neste endereço da Wikipedia:

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

Frente a este cenário, decidimos organizar nossa intervenção didática em duas partes, uma para cada semestre. No primeiro semestre apresentamos o conteúdo que achamos mais importante para a cultura científica de alunos da EJA, e na linguagem compatível com seu *universo vocabular*, conforme Paulo Freire (FREIRE, 1970). Para o segundo semestre elaboramos a UEPS, objeto da presente dissertação e descrita no Capítulo 3.

2.2a Conteúdo apresentado no primeiro semestre

1. Primeiro Bimestre (10 semanas com 7 aulas por semana)
 - a. Introdução ao estudo de Ciências (importância, principais descobertas na Física na Química e na Biologia, o que cada ciência estuda, sinais e códigos, novas descobertas); a ciência como construção humana.
 - b. O que é energia? Formas de energia; fontes de energia, a matéria (leitura do texto disponível em mundoeducacao.bol.uol.com.br).
 - c. A Origem da vida (BIOGÊNESE E ABIOTOGÊNESE), principais teorias, estrutura celular, reprodução, nutrição, crescimento e adaptação e ciclo vital.
 - d. A divisão da química (geral, físico-química e orgânica), um pouco de atomística, conhecendo a tabela periódica e seus elementos.
 - e. Os alimentos transgênicos e quais os seus riscos, melhoramento alimentar.
 - f. O acidente radioativo em Goiânia (a Física, a Química e a Biologia da radioatividade, Meia-vida) Documentário de 35 minutos.

- g. Ondulatória e óptica (Propriedades ondulatórias e anomalias da visão).
 - h. Um pouco de Química orgânica (hidrocarboneto, álcool, ácidos e cetonas), utilidade e aplicação no cotidiano
 - i. Eletricidade (Surgimento, corrente elétrica, tensão elétrica, resistência elétrica e um pouco de circuitos).
 - j. Ciclos (da água, da vida e do carbono) leitura do texto que foi extraído do livro Biologia (PAULINO, 2000).
2. Segundo Bimestre (8 semanas com 7 aulas por semana)
- a. Compostos orgânicos (Proteínas, vitaminas, carboidratos, lipídeos, ácidos nucleicos).
 - b. A química da composição dos alimentos e o PH (O que é um ácido?).
 - c. Propriedades coligativas (o soluto e o solvente; Tonoscopia, ebulioscopia, crioscopia e osmometria).
 - d. Calor e temperatura (escalas termométricas, calor específico, pontos de fusão e ebulição, dilatação dos sólidos e fluidos).
 - e. Leis da termodinâmica (1ª e 2ª leis, um pouco da história do calórico).

2.3 Ausubel, Paulo Freire e Vygotsky na EJA

Vista na perspectiva de um cenário abrangente, a EJA tem de um lado que considerar a tradição sócio-cultural de um país dependente, algo que Paulo Freire já discutia no início dos anos 1960 (FREIRE, 1970, 2008) e de outro lado enfrentar os desafios para o novo milênio (DI PIERRO, 2007). 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. Qualquer que seja o cenário sócio-cultural, reforçamos aqui o que dissemos acima, ou seja nos parece que o tratamento interdisciplinar das ciências da natureza para adultos seja a rota pedagógica mais significativa.

Não é objetivo deste trabalho discutir a questão da interdisciplinaridade no ensino médio regular, mas chamar a atenção e mostrar que a EJA é um espaço especialmente apropriado para a abordagem interdisciplinar de conceitos básicos das ciências da

natureza. Pelo perfil dos alunos, geralmente na faixa etária superior a 30 anos e com grande intervalo de tempo sem frequentar ambientes formais de escolaridade, é 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 (FREIRE, 1970, 2008). Por outro lado, a experiência de vida social dos indivíduos que frequentam a EJA torna cada um receptivo à metodologia vygotskiana (VYGOTSKY, 1978). Neste cenário é possível e desejável organizar uma estratégia de ensino que também tire proveito dos ensinamentos ausubelianos (AUSUBEL, 1963, 1969; MOREIRA; MASINI, 1982).

Em primeiro lugar, estendemos a ideia de *universo vocabular*, proposta por Paulo Freire em seu método de alfabetização de adultos (FREIRE, 1970), para a ideia de *universo laboral*. Para Paulo Freire, palavras oriundas do próprio universo vocabular do alfabetizando, uma vez transfiguradas pela crítica, a ele retornam em ação transformadora do mundo. No nosso caso, planejamos atividades experimentais (diversos tipos de cozimento de um ovo) típicas do cotidiano de todos os alunos, ou seja do seu *universo laboral*. Mesmo que um aluno da EJA jamais tenha fritado um ovo, é impossível que ele nunca tenha presenciado alguém fazendo isso. Parece-nos que no contexto da teoria de Ausubel, realizar experimentos nesse universo laboral dos alunos deverá repercutir em aprendizagem significativa.

As atividades em grupo planejadas na UEPS, com o líder sendo escolhido pelos pares, em função de sua capacidade de articulação e de sua prática pertinente às tarefas a serem realizadas, são claros elementos vygotskianos (JÓFILI, 2002; VYGOTSKY, 1991). De acordo com Vygotsky, o desenvolvimento de altas funções mentais (memória voluntária, atenção seletiva, pensamento lógico) é fortemente influenciado pela interação social. Essas atividades estimulam a zona de desenvolvimento proximal (VYGOTSKY, 1991, p.56.).

Capítulo 3 – Sobre o Produto Educacional

3.1 – Introdução

Nas duas últimas décadas, diversas unidades de ensino ou sequências didáticas sobre diferentes tópicos de física têm sido apresentadas em dissertações de mestrado profissional, sobretudo no âmbito do MNPEF (BYCROFT, 2012; ESPÍNDOLA; MOREIRA, 2006; REKOVVSKY, 2012; RIBOLDI, 2015; SILVA, R. P. DA, 2016; SILVA, T. P. DA, 2015). Não se objetiva aqui fazer uma revisão dessa literatura. Ela é apresentada tão somente como referência básica para leitores interessados no assunto.

A um leitor desavisado, o surgimento recente no Brasil dessas iniciativas pode sugerir que se trata de uma novidade. No entanto, a ideia de sequência didática remonta ao início dos anos 1980 (FENSHAM, 1983). Por volta de 2011, Moreira formalizou o que ele denominou de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, ou UEPS (MOREIRA, 2011)¹, cuja estrutura foi utilizada na sequência de ensino que elaboramos para abordar tópicos de bioquímica e termodinâmica com alunos da Educação de Jovens e Adultos (EJA).

Moreira (2011) parte de uma crítica comum a muitos educadores, sobretudo Ausubel, a respeito da aprendizagem mecânica, na qual o professor apresenta aos alunos conhecimentos que estes supostamente deverão aprender. Os alunos copiam tais conhecimentos e os utilizam de forma mecânica para terem sucesso nos processos avaliativos. “Esta a forma clássica de ensinar e aprender, baseada na narrativa do professor e na aprendizagem mecânica do aluno”(MOREIRA, 2011).

Moreira utiliza propostas pedagógicas de diversos autores (Ausubel, Vygotsky, Novak, Vergnaud, entre outros), como marco teórico, e define os seguintes princípios de uma UEPS (MOREIRA, 2011):

- ❖ o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa (Ausubel);
- ❖ pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no ser que aprende; essa integração é positiva, construtiva, quando a aprendizagem é significativa (Novak);
- ❖ é o aluno quem decide se quer aprender significativamente determinado conhecimento (Ausubel, Gowin);
- ❖ organizadores prévios mostram a relacionabilidade entre novos conhecimento e conhecimentos prévios;

¹ Há um *preprint* com uma tradução em português disponível na Internet. Usaremos esse texto para as

- ❖ são as situações-problemas que dão sentido a novos conhecimentos (Vergnaud); elas devem ser criadas para despertar a intencionalidade do aluno para a aprendizagem significativa;
- ❖ situações-problema podem funcionar como organizadores prévios;
- ❖ as situações-problema devem ser propostas em níveis crescente de complexidade (Vergnaud);
- ❖ frente a uma nova situação, o primeiro passo para resolvê-la é construir na memória de trabalho, um modelo mental funcional, que é um análogo estrutural dessa situação;
- ❖ a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino (Ausubel);
- ❖ a avaliação da aprendizagem significativa deve ser feita em termos de buscas de evidências; a aprendizagem significativa é progressiva;
- ❖ o papel do professor é o de provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas, de organizador do ensino e mediador da captação de significados de parte do aluno (Vergnaud; Gowin);
- ❖ a interação social e a linguagem são fundamentais para a captação de significados (Vygotsky, Gowin);
- ❖ um episódio de ensino envolve uma relação triádica entre aluno, docente e materiais educativos, cujo objetivo é levar o aluno a captar e compartilhar significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino (Gowin);
- ❖ essa relação poderá ser quadrática na medida em que o computador não for usado apenas como material educativo;
- ❖ a aprendizagem deve ser significativa e crítica, não mecânica (Moreira);
- ❖ a aprendizagem significativa crítica é estimulada pela busca de respostas (questionamento) ao invés da memorização de respostas conhecidas, pelo uso da diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono da narrativa em favor de um ensino centrado no aluno (Moreira).

Na sequência destacaremos entre os princípios acima, aqueles que nortearam a UEPS que elaboramos e implementamos.

Além desses princípios, Moreira define, o que ele denomina de *aspectos sequenciais* e *aspectos transversais*, e defende o uso exaustivo do V epistemológico de Gowin e de mapas conceituais.

Os aspectos sequenciais e transversais determinam a estrutura de uma UEPS. Eles definem os passos a serem planejados pelo professor para as atividades em sala de aula, e mesmo para atividades extra-classe. Destacam-se entre esses aspectos (MOREIRA, 2011):

Sequenciais:

1. definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentos tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico;
2. criar/propor situação(ções) – discussão, questionamento, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema, etc. – que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta;
3. uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos; a estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve exposição oral seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos que, por sua vez, deve ser seguida de atividade de apresentação ou discussão em grande grupo;
4. concluindo a unidade, dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa; isso deve ser feito através de nova apresentação dos significados que pode ser, outra vez, uma breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um áudio-visual, etc.; o importante não é a estratégia, em si, mas o modo de trabalhar o conteúdo da unidade; após esta terceira apresentação, novas situações-problema devem ser propostas e trabalhadas em níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores; essas situações devem ser resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do docente;
5. a avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado; além disso, deve haver uma avaliação somativa individual após o quarto passo, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência; tais questões/situações deverão ser previamente validadas por professores experientes na matéria de ensino; a avaliação do desempenho do aluno na UEPS deverá estar baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas colaborativamente, registros do professor) como na avaliação somativa;
6. A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais.

Transversais:

- ❖ em todos os passos, os materiais e as estratégias de ensino devem ser diversificadas, o questionamento deve ser privilegiado em relação às respostas prontas e o diálogo e a crítica devem ser estimulados;
- ❖ como tarefa de aprendizagem, em atividades desenvolvidas ao longo da UEPS, pode-se pedir aos alunos que proponham, eles mesmos, situações-problema relativas ao tópico em questão;
- ❖ embora a UEPS deva privilegiar as atividades colaborativas, a mesma pode também prever momentos de atividades individuais.

Neste mesmo artigo, Moreira apresenta um glossário relevante para quem vai utilizar a UEPS como modelo para a elaboração de uma sequência de ensino-aprendizagem. Por esta razão transcreveremos alguns dos termos que relevantes para o presente trabalho, quer seja porque foram explicitamente utilizados, ou porque apresentem aspectos conceituais importante e pouco difundidos:

Aprendizagem significativa: aprendizagem com significado, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento adquirido a novas situações; resulta da interação cognitiva não-arbitrária e não-literal entre conhecimentos prévios e novos conhecimentos; depende fundamentalmente de conhecimentos prévios que permitam ao aprendiz captar significados (em uma perspectiva interacionista, dialética, progressiva) dos novos conhecimentos e, também, de sua intencionalidade para essa captação.

Aprendizagem mecânica. é a memorização, sem significado, de informações a serem reproduzidas a curto prazo; aprender mecanicamente é simplesmente decorar. Do ponto de vista cognitivo, as informações são internalizadas praticamente sem interação com conhecimento prévios. No cotidiano escolar, é a “decoreba”.

Captação de significados: os conhecimentos (conceitos, proposições, construtos, . . .) de uma determinada matéria de ensino têm significados que são aceitos no contexto dessa matéria, que são compartilhados por uma comunidade de usuários; para aprender significativamente essa matéria, o aluno que, primeiramente, captar esses significados para, então, decidir se quer incorporá-los à sua estrutura cognitiva de maneira substantiva e não-arbitrária; para Gowin (1981), a captação de significados é anterior, e condição, à aprendizagem significativa.

Conhecimento declarativo: é o conhecimento que pode ser verbalizado, declarado de alguma maneira; refere-se ao conhecimento sobre objetos e eventos; é representado mentalmente por proposições e imagens mentais.

Conhecimento prévio: conceitos subsunçores, representações, esquemas, modelos, construtos pessoais, concepções alternativas, invariantes operatórios, enfim, cognições já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz.

Consolidação: é um dos princípios programáticos ausubelianos da matéria de ensino (juntamente com a diferenciação progressiva, a reconciliação integrativa e a organização sequencial) segundo o qual é preciso insistir no domínio ou mestria do que está sendo estudado, antes que novos materiais sejam introduzidos, buscando assegurar contínua prontidão na matéria de ensino e sucesso na aprendizagem sequencialmente organizada. Contudo, este princípio deve ser compatibilizado com a progressividade da aprendizagem significativa e com a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.

Diferenciação progressiva: como princípio programático da matéria de ensino, significa que ideias, conceitos, proposições mais gerais e inclusivos do conteúdo devem ser apresentados no início do ensino e, progressivamente, diferenciados, ao longo do processo, em termos de detalhes e especificidades. Do ponto de vista cognitivo, é o que ocorre com determinado subsunçor à medida que serve de ancoradouro para novos conhecimentos em um processo interativo e dialético.

Material potencialmente significativo: o significado está nas pessoas, não nas coisas. Então, não há, por exemplo, livro significativo ou aula significativa; no entanto, livros, aulas, materiais instrucionais de um modo geral, podem ser potencialmente significativos e para isso devem ter significado lógico (ter estrutura, organização, exemplos, linguagem adequada, enfim, serem aprendíveis) e os sujeitos devem ter conhecimentos prévios adequados para dar significado aos conhecimentos veiculados por esses materiais.

Organizador prévio: material instrucional introdutório apresentado antes do material a ser aprendido, em si, em nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade; segundo Ausubel (1968, 2000), a sua principal função é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que deveria saber a fim de que o novo conhecimento pudesse ser aprendido significativamente. Na prática, organizadores prévios funcionam melhor quando explicitam a *relacionabilidade* entre novos conhecimentos e aqueles existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Muitas vezes o aprendiz tem o conhecimento prévio mas não percebe que está relacionado com aquele que lhe está sendo apresentado.

Reconciliação integrativa: do ponto de vista instrucional, é um princípio programático da matéria de ensino segundo o qual o ensino deve explorar relações entre ideias, conceitos, proposições e apontar similaridades e diferenças importantes, reconciliando discrepâncias reais ou aparentes. Em termos cognitivos, no curso de novas aprendizagens, conhecimentos já

estabelecidos na estrutura cognitiva podem ser reconhecidos como relacionados, reorganizarem-se e adquirir novos significados. Esta recombinação de elementos previamente existentes na estrutura cognitiva é a reconciliação integrativa na óptica da organização cognitiva.

Sentido: segundo Vygotsky (1987), sentido é a soma dos eventos psicológicos que a palavra, ou a situação, evoca na consciência; é um todo fluido e dinâmico, com zonas de estabilidade variável, das quais a mais estável e precisa é o significado. Significado é uma construção social, de origem convencional, relativamente estável, mas mutável e contextual. Sentido é pessoal, significado é social.

Situação-problema: significa tarefa, não necessariamente problema de fim de capítulo; pode ser a explicação de um fenômeno, de uma aparente contradição, a construção de um diagrama, as possibilidades são muitas, mas, independente de qual seja a tarefa, é essencial que o aprendiz a perceba como um problema. Por exemplo, não adianta propor um “problema” que o aluno perceba apenas como um exercício de aplicação de fórmula. Situações-problema e conceitualização guardam entre si uma relação dialética: são as situações que dão sentido aos conceitos, mas à medida que o sujeito vai construindo conceitos, mais capaz ele fica de dar conta de novas situações, cada vez mais complexas. No ensino, as situações devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade, mas é importante um certo domínio de um determinado nível de complexidade antes de passar ao próximo. Em tudo isso está implícito o conceito de campo conceitual proposto por Vergnaud (1990) com um campo de situações-problema, cujo domínio é progressivo, lento, com rupturas e continuidades.

3.2 – Descrição da UEPS usada no presente produto educacional

Conforme já mencionado na introdução, e detalhado nos Apêndices A e C, o objetivo da presente UEPS é discutir dialogicamente conceitos de bioquímica e termodinâmica – enzimas, proteínas, desnaturação de proteínas, temperatura e calor – envolvidos em diversos tipos de cozimento do ovo. Ao longo do curso, os experimentos foram discutidos tendo como foco central o relato das observações por parte dos alunos, a abordagem dos conceitos envolvidos com a substantiva participação do professor, e um paralelo entre as atividades realizadas e os procedimentos científicos.

Inicialmente foi feita uma averiguação, por meio de situações-problema descritas no item seguinte, do conhecimento prévio dos alunos em relação ao tema, ou seja, uma espécie de mapa cognitivo da turma. Nessa primeira situação os estudantes expres-

saram seus conhecimentos prévios e suas representações. A aplicação do produto educacional aconteceu na E.E.M.T.I. José de Borba Vasconcelos (Maracanaú-CE) na turma de EJA - Médio. A turma funciona no período noturno e possui 32 estudantes matriculados, 19 homens e 13 mulheres, sendo que apenas 18 frequentaram regularmente a disciplina. A faixa etária era de 19 a 50 anos. A turma foi dividida em 4 grupos, tendo cada grupo um líder, escolhido pelos seus pares. Esse líder foi o responsável em falar pela equipe.

Uma descrição sucinta da UEPS é apresentada na Tabela 3.1, cujos elementos são suficientes para acompanhar o relato na seção seguinte, a respeito dos resultados obtidos. Detalhes UEPS e da aplicação são apresentados nos Apêndices.

Tabela 3.1: Atividades desenvolvidas ao longo da aplicação da UEPS.

Aula / Atividade / Situação-problema	Procedimentos experimentais
Aulas 1-4: Relatos de experiências pessoais sobre o tema da disciplina.	
Aula 5: Por que a casca do ovo pode rachar durante o cozimento?	1) Colocar um ovo na água pura e fria, ligar o fogo e marcar 15 minutos. Observar atentamente as primeiras bolhas saindo de diferentes partes do ovo, antes da água começar a ferver. 2) Colocar um ovo em água com sal e fria, de preferência ovo da mesma origem do anterior e na mesma panela anterior, ou em panela com volume similar. Proceder como em (1). 3) Colocar um ovo em água pura e fria, com um pequeno furo na extremidade mais larga. Proceder como em (1).
Aula 6: Discussão dos resultados obtidos na Aula 5.	Nessa aula os grupos apresentaram aos colegas as conclusões exibidas acima.
Aula 7: Ovo cozido (Procedimentos usuais).	Cada grupo cozinha um ovo seguindo um procedimento definido pelos seus componentes.
Aula 8: Ovo cozido (Procedimentos experimentais).	1) Cozimento durante 15 minutos, a partir da água fria, com resfriamento rápido, ou seja, colocar o ovo em água corrente. 2) Repetir o procedimento anterior, mas usar água gelada para o resfriamento rápido. 3) Cozimento durante 15 minutos, a partir da água fria, com resfriamento lento durante 10 minutos, 15 minutos e 30 minutos.
Aula 9: Ovo cozido (Outros procedimentos experimentais).	1) Cozimento durante 10 minutos, após a água entrar em ebulição, com resfriamento rápido. 2) Repetir o procedimento (1), com 15 minutos. 3) Cozimento durante 15 minutos com baixa temperatura, ou seja, temperatura inferior à temperatura de naturalização das proteínas da gema. Uma aproximação dessa temperatura pode ser alcançada colocando água fria sempre que a água do cozimento começar a borbulhar.
Aula 10: Bioquímica e termodinâmica do ovo cozido.	Discussão em sala de aula sobre os experimentos realizados nas aulas 7 a 9, enfatizando os conceitos envolvidos e a metodologia científica dos procedimentos.
Aula 11: Ovo frito (Procedimentos usuais).	Cada grupo fritar um ovo seguindo um procedimento definido pelos seus componentes.
Aula 12: Ovo frito (Procedimentos usuais).	1) Se em nenhum dos procedimentos usuais (aula 11) a clara

experimentais).	ficou com a borda marrom, fritar o ovo em óleo fervente até que a borda comece a ficar marrom. 2) Fritar o ovo em óleo fervente. Imediatamente após colocar o ovo no óleo, colocar duas colheres de água na frigideira; marcar 3 minutos e retirar o ovo. 3) Repetir o procedimento anterior, mas ao final de 2 minutos desligar o fogo e tampar a frigideira. Deixar assim por mais 2 minutos.
Aula 13: Ovo frito (Procedimentos experimentais com frigideira tampada).	1): Colocar o ovo numa mistura de 1 colher de sopa de óleo e duas colheres de sopa de água. Acender o fogo. Quando aparecerem as primeiras bolhas, tampar a frigideira e contar 1 minuto. Desligar o fogo e deixar a frigideira tampada por 1 minuto. 2): Repetir o procedimento anterior, mas deixar a frigideira tampada por 3 minutos após desligar o fogo. 3): Repetir o procedimento anterior, mas deixar a frigideira tampada por 5 minutos após desligar o fogo. 4): Ovo frito “perfeito”, em 1 colher de sopa de azeite de oliva, durante 2 minutos. Adicionar 2 colheres de sopa de água para evitar o dourado da borda da clara. Depois de desligado o fogo, a frigideira é tampada durante 2 minutos para homogeneizar a temperatura e aquecer a superfície superior da gema.
Aula 14: Teste surpresa.	Relato do que já haviam aprendido sobre o ovo. Ver ao longo do texto, as três melhores redações, entre as 11 dos alunos presentes na aula.
Aula 15 e 16: Ovo pochê (procedimentos experimentais).	1) Colocar o ovo em água pura em ebulição na frigideira ou panela e tampá-la. Marcar 1 minuto e desligar o fogo. Deixar resfriando durante 2 minutos. Fotografar o ovo inteiro. Depois, cortá-lo no meio da gema e fotografá-la na transversal. Examinar bem a textura da clara e da gema. 2) Repetir o procedimento anterior, colocando um pouco de vinagre na água. 3) Repetir o procedimento (1), com a frigideira levemente inclinada. Observar se há alguma diferença no resultado obtido. Discutir a razão da diferença. 4) Se os experimentos (1) resultarem em gemas muito moles, determinar o melhor tempo de cozimento em função do vapor de água com clara desnaturadas, e variar o tempo de resfriamento.

3.3 – Resultados obtidos com a aplicação da UEPS

Ao longo das quatro primeiras aulas, os grupos discutiram e relataram suas experiências e conhecimentos a respeito das situações-problema apresentadas na Tabela 3.1. Como se vê na Tabela 3.2, o entendimento dos alunos em relação à temática da disciplina tem pouca relação com o conhecimento científico pertinente.

Tabela 3.2: Sumário das respostas dos grupos às questões iniciais, apresentadas ao longo das primeiras quatro aulas.

Questão	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
O que você sabe a respeito do ovo?	Fonte de alimento.	Tem muitas vitaminas.	A gema tem muito colesterol que pode causar pro-	Alimento muito saboroso que faz bem à saúde.

			blema ao ser humano se ingerida com excesso.	
O que você entende por ovo frito perfeito? E cozido?	Ovo que a gema não se rompe.	Ovo que não prega na frigideira.	Ovo cozido.	Ovo que não fica queimado na lateral.
Como você faz um ovo cozido? Quanto tempo é necessário? Por que às vezes a casca do ovo cozido racha?	Coloca o ovo em água fria e leva ao fogo por 15 min; tem ovo que não racha e outros sim.	Coloca o ovo em água fria; Ascende o fogo e espera de 15 a 20 min; não sabemos porque o ovo racha.	Coloca o ovo na água e espera 10 a 15min depois de ascender o fogo; Só racha se colocar o ovo na água quente.	Coloca-se o ovo na água quente e espera 20 min. Não racha em água fria.
Há quanto tempo você cozinha ovos? Sempre faz do mesmo modo? Já pensou em fazer de uma forma diferente?	Há 20 anos; sempre do mesmo modo; nunca pensei em mudar.	Há mais ou menos 10 anos; sempre faço igual; não.	Há quase 35 anos; as vezes faço diferente; gosto de fazer pratos diferentes com ovos.	Cerca de 10 anos; do mesmo modo; nunca pensei.
O que você entende por proteínas e enzimas?	Proteína é o que tem nas unhas e cabelos; enzimas são proteínas pequenas.	O ovo é rico em proteínas e enzimas.	Proteína é responsável por nascer o pinto e enzimas são os alimentos.	Proteína é uma substância com várias funções nos organismos e as enzimas aceleram as funções.
Qual seria a função do calor no cozimento do ovo? Depois do cozimento seria possível reverter o processo?	Aumentar a temperatura da água para cozinhar o ovo; tem nem perigo.	Deixar o ovo duro; não sabemos.	O calor vai paralisar as moléculas do ovo para ele cozinhar; impossível porque as moléculas vão está mortas.	Endurecer as proteínas do ovo; achamos que é impossível.
O que você sabe a respeito de ovo pochê?	É um ovo aberto na água. Para manter o ovo inteiro (Tem que colocar vinagre na água). Na panela de água quente, coloca-se vinagre e sal para. Mexe-se o centro da panela e, em seguida, quebre o ovo diretamente na água, de uma vez. Outra maneira é forrar um recipiente pequeno com papel filme e colocar o ovo com um pouquinho de óleo ou azeite. Depois, faz uma trouxinha com o papel e coloca na água	É a quebra do ovo cozido dentro da água sem quebrar a gema, para a clara ficar junto da gema. Quebra-se o ovo, coloca-o num recipiente com um pouco de água e leva ao micro ondas.	É um ovo saudável que se deve quebrar dentro da panela depois que a água ferver. Para não desmanchar o ovo, coloca – se água numa panela, espera-se a água ferver, faz-se um redemoinho, quebra o ovo e o coloca na água.	É um ovo cozido dentro da água quente, porém sem a casca. Para o ovo não se espalhar, quebre o ovo em um recipiente e reserve. Numa panela, leve ao fogo a água com o vinagre e deixe ferver. Baixe o fogo, mexa a água até formar um "redemoinho" e coloque o ovo no meio. Deixe cozinhar por 3 minutos, retire e resfrie na água fria se quiser uma gema bem mole.

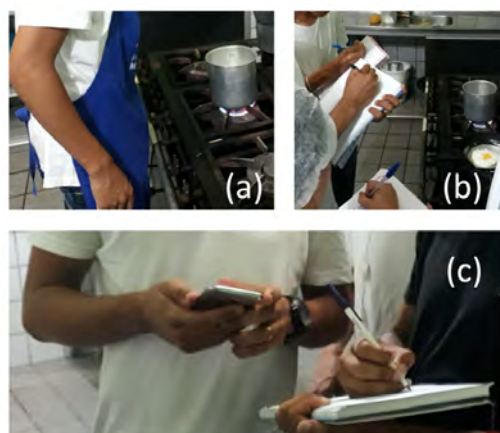
Depois dessas quatro aulas os grupos passaram a realizar experimentos em torno das situações-problema experimentais (Tabela 3.1), e mais uma vez o professor chamou a atenção para o fato de que esse procedimento, de discutir as situações-problema simula uma etapa da atividade de pesquisa científica, na 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 (KUHN, 1975; MATTHEWS, 1995; VILAS BOAS *et al.*, 2013).

3.3a – Por que a casca do ovo pode rachar durante o cozimento?

Após uma breve discussão sobre dilatação térmica do ar, tema que já havíamos 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.

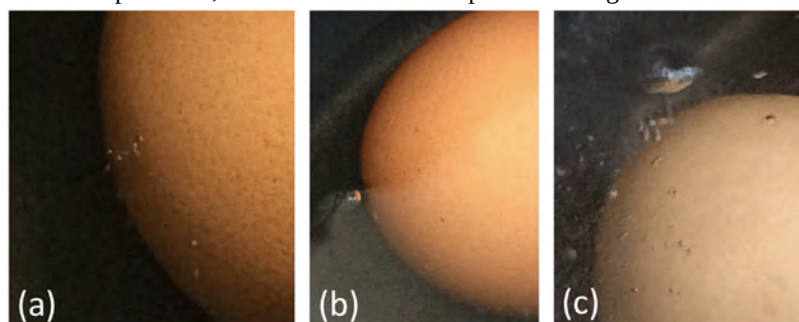
Na Figura 3.1 são apresentados alguns momentos referentes aos experimentos com ovo cozido. Como já mencionado, o professor orientou a turma para proceder como em um laboratório de pesquisa científica.

Figura 3.1 - Alunos observam e fazem apontamentos sobre o cozimento de um ovo (a); A equipe faz apontamentos durante o experimento (b); A equipe anota os tempos durante os experimentos (c).



Em nenhum dos experimentos realizados na Aula 5 (Tabela 3.1) 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. Todavia, mesmo quando colocado em água em ebulição, a ocorrência de rachadura tem a ver com a temperatura do ovo e com a sua consistência. Por causa disso, o único aspecto analisado pelos alunos nessa parte inicial dos experimentos foi a liberação de gases através da casca do ovo, como ilustrado na Figura 3.2. A Figura 3.2a registra o momento inicial da observação de bolhas sendo liberadas em uma parte lateral do ovo. As Figuras. 3.2b e 3.2c registram bolhas em um ovo que teve sua extremidade mais larga furada com uma agulha. Os alunos observaram que o número de bolhas é maior nessa extremidade do que em qualquer parte, como era de se esperar.

Figura 3.2: Expansão do ar no interior do ovo: (a) Observação das primeiras bolhas em um ponto na lateral do ovo; (b) Primeiras bolhas em um ovo com um furo na sua extremidade mais larga; (c) Aumento do número de bolhas saindo pelo furo, com o aumento da temperatura da água.



A ideia do experimento com sal na água era mostrar que esse procedimento impedia a saída da clara, caso a casca do ovo rachasse. Como os ovos utilizados eram suficientemente resistentes, esse objetivo ficou prejudicado. No entanto, o experimento resultou em uma observação que não havia sido prevista durante a elaboração da UEPS. Foi uma contribuição unicamente dos alunos. As anotações de todos os grupos (Tabela 3.3) mostraram que ao colocar sal na água, demorou mais a aparecerem as bolhas.

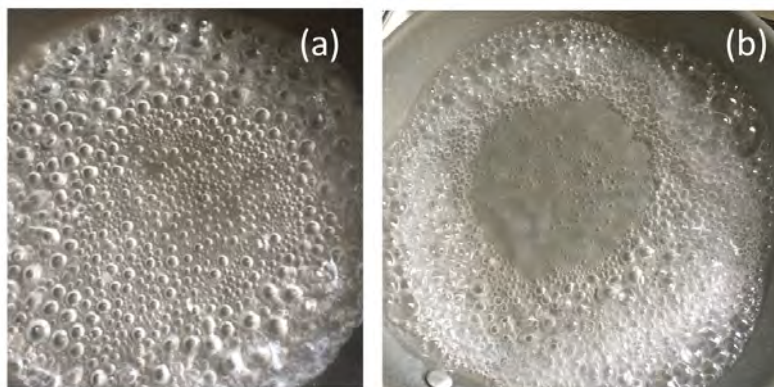
O Grupo 2 afirmou que “O sal interfere no tempo de cozimento do ovo.” Eles não tinham elementos experimentais para fazer essa afirmação, que foi apresentada por uma aluna, cozinheira profissional. Ela sabia empiricamente que o sal eleva o ponto de ebulição da água. A discussão em sala sobre essa questão foi muito enriquecedora.

Tabela 3.3: Comentários dos grupos a respeito dos experimentos para observar a liberação de gases através da casca do ovo em água fervente.

Grupo 1	1. Notamos que à medida que a temperatura ia aumentando, a quantidade de bolhinhas na água e as que saiam do ovo aumentava. 2. Quando colocamos sal na água, demorou mais tempo pra sair as bolhas do ovo. 3. Assim que mergulhamos o ovo com furo na água saiu bolhas de ar pelo furo.
Grupo 2	1. Ficamos surpresos. Não sabíamos que saiam bolhas da casca do ovo 2. O sal interfere no tempo de cozimento do ovo. Demorou mais. 3. Não sabíamos que dentro do ovo tinha ar.
Grupo 3	1. Saíam bolhas de dentro do ovo. Como se tivesse poros. 2. Quando colocamos água levou mais tempo para sair as bolhas do ovo. 3. A maioria das bolhas saíram do furo que fizemos.
Grupo 4	1. Percebemos que existem buraquinhos no ovo. As bolhas saem pelos buraquinhos. 2. A diferença do primeiro experimento, sem sal, foi o tempo maior para saírem as bolhas. 3. Contém ar dentro do ovo. Ele sai à medida que a temperatura aumenta. Nós achamos que o ar se expande. Não temos certeza.

Aproveitamos a oportunidade dessa descoberta dos alunos para fazer um experimento objetivando demonstrar o efeito do sal no ponto de ebulição de água. Foi um reforço de autoestima visível no semblante dos alunos. A Figura 3.3a é água pura em ebulição, enquanto a Figura 3.3b é uma mistura de água e sal. Tivemos o cuidado de colocar o sal no centro da frigideira e imediatamente acendemos o fogo, para que o sal não espalhasse muito na água. Fica evidente na Figura 3.3b, que a parte lateral da água encontra-se em ebulição, enquanto a parte central, mais concentrada em sal, ainda está começando a borbulhar.

Figura 3.3: Água borbulhando: (a) água pura; (b) água com sal.



3.3b – Bioquímica e termodinâmica do ovo cozido

Esses experimentos foram realizados na Aula 7. Cada grupo cozinhou um ovo seguindo um procedimento definido pelos seus componentes. Os procedimentos foram detalhadamente registrados em apontamentos e fotografias. Os apontamentos foram apresenta-

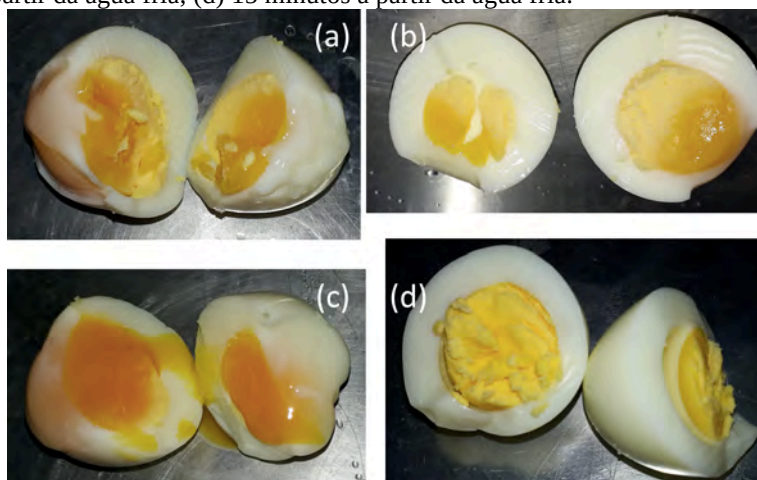
dos oralmente e transcritos na Tabela 3.4. Depois de cozidos, os ovos foram descascados e cortados ao meio para o exame de sua textura (Figura 3.4). Em um processo dialógico, toda a classe discutiu os resultados obtidos pelos diferentes grupos.

Excetuando o Grupo 1, todos os outros cozinharão o ovo a partir da água fria. O Grupo 1 não deu qualquer justificativa *científica* para a escolha do tempo (2 minutos após o fogo ser ligado) em que colocaram o ovo na água. Depois de realizarem e discutirem seus procedimentos usuais, os alunos passaram a realizar os procedimentos descritos na Tabela 3.1 (Aulas 8 e 9).

Tabela 3.4: Comentários dos grupos a respeito de procedimentos usuais no cozimento do ovo.

Grupo 1	Nossa equipe colocou o ovo depois de 2 min da água está esquentando. Após 10 min retiramos o ovo. O ovo foi resfriado em água corrente.
Grupo 2	Fizemos um ovo cozido no fogo alto. Colocamos o ovo em água fria e o retiramos 12 minutos depois. Resfriamos na água corrente da pia. Ficou ótimo. A textura ficou boa.
Grupo 3	Colocamos o ovo em água fria e o retiramos 7 minutos depois. Resfriamos em água corrente. A clara ficou consistente. A gema ficou mole. A gente gosta assim.
Grupo 4	Levamos 15 min para cozinhar o ovo a partir da água fria. Acharmos que colocamos pouca água. O ovo foi resfriado em água corrente. Comemos com farinha. Estamos gostando das experiências na cozinha. Esperamos que a gente aprenda muita ciência.

Figura 3.4: Ovo cozido com procedimentos definidos pelos grupos: (a) Dez minutos de cozimento, com o ovo colocado dois minutos depois do início do aquecimento da água; (b) 12 minutos a partir da água fria; (c) 7 minutos a partir da água fria; (d) 15 minutos a partir da água fria.



Esses procedimentos experimentais envolveram a combinação de três variáveis:

- (a) temperatura inicial da água;
- (b) tempo de cozimento;
- (c) tempo de resfriamento do ovo cozido.

São, portanto, 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, ou seja;

- (a) temperatura de água gelada;
- (b) temperatura de água corrente;
- (c) temperatura de água em ebulição.

Da mesma forma, resfriamento rápido ou lento é determinado pelo estado físico do ambiente no qual o ovo cozido é imerso:

- (a) resfriamento rápido se dá quando a água é gelada;
- (b) resfriamento menos rápido se a água é corrente;
- (c) resfriamento lento se o ovo resfria ao ar.

O importante em uma intervenção didática é que o experimento propicie a apropriação conceitual pertinente, e que isso resulte em aprendizagem significativa.

A Figura 3.5 ilustra alguns resultados obtidos nos experimentos realizados na aula 8. Os quatro grupos obtiveram resultados similares, conforme relatos sumarizados na Tabela 3.5.

Figura 3.5: Ovo cozido a partir de água fria, durante 15 minutos e posterior resfriamento ao ar durante: (a) 10 minutos; (b) 15 minutos; (c) 30 minutos.



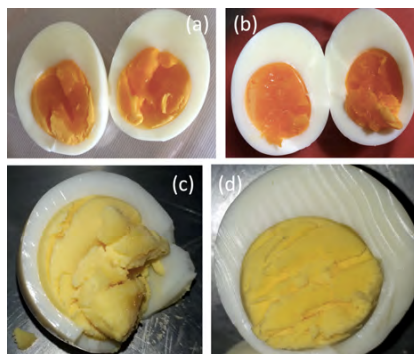
Os experimentos anteriores mostraram que cozimento durante 15 minutos a partir da água fria deixa as proteínas da gema completamente desnaturadas. Vimos na seção 2.3, que as proteínas do ovo se desnaturam em temperaturas entre 61°C e 82°C. Portanto, teoricamente, se deixarmos um ovo em temperatura abaixo 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. A situação-problema para a aula 9 (Tabela 3.1) foi definida para examinar essa questão.

Tabela 3.5: Comentários dos grupos a respeito de procedimentos experimentais realizados na aula 8.

Grupo 1	1. Com resfriamento rápido (em água corrente) o ovo fica perfeito com a gema bem amarela. 2. Com resfriamento mais rápido (em água gelada) percebemos que o cozimento do ovo foi encerrado. 3. O ovo fica mais seco à medida que passa o tempo de resfriamento (10, 15 e 30 minutos).
Grupo 2	1. O ovo fica bem saboroso com resfriamento rápido. 2. Com o resfriamento mais rápido o ovo parou de cozinhar por isso ficou um pouco mole. 3. A gema vai perdendo a consistência com o tempo de resfriamento.
Grupo 3	1. No resfriamento rápido, o ovo ficou mais cremoso. 2. Com o resfriamento mais rápido, ovo ficou mole devido a pausa do processo de cozimento. 3. Quanto mais o tempo passa mais verde fica a gema.
Grupo 4	1. O ovo fica com uma coloração mais adequada com o resfriamento rápido. 2. A gema ficou um pouco mole com o resfriamento mais rápido. 3. Aumentando tempo de resfriamento, o ovo fica esfarelado.

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 desnaturalizarem completamente. Os alunos fizeram três experimentos durante a aula 9. O experimento A9b serviu como controle, e como tal forneceu resultado similar àquele obtido na aula 8. Infelizmente, verificamos que a instrução do experimento A9a foi equivocada. Era para o ovo ser colocado depois que a água estivesse borbulhando. Os alunos realizaram o experimento colocando o ovo na água fria e contaram 10 minutos depois que ela entrou em ebulição. Se tivessem colocado o ovo depois que a água entrasse em ebulição e marcassem 10 minutos, os alunos teriam obtido um resultado similar ao exposto na Figura 3.6a, que obtivemos em nossos experimentos preparatórios.

Figura 3.6: (a) Ovo cozido em água borbulhando, durante 10 minutos, com resfriamento em água corrente. (b) Ovo cozido durante 15 minutos em temperatura abaixo de 80° C, com resfriamento em água corrente. (c) Resultado obtido pelo Grupo 1, no experimento A9c. (d) Resultado obtido pelo Grupo 2 nesse mesmo experimento.



O experimento A9c, que realizamos durante o planejamento da UEPS, forneceu o resultado exibido na Figura 3.6b. É interessante comparar a Figura 3.6b com a Figura 3.4d. Em ambas o cozimento durou 15 minutos, com resfriamento em água corrente, mas o resultado da Figura 3.4d foi obtido com água em ebulição, enquanto o da Figura 3.6b foi obtido com água a temperatura abaixo de 80° C. A cor amarela clara associada às proteínas desnaturadas dominam a gema na Figura 3.4d, ao passo que na Figura 3.6b apenas traços dessa cor são observados. Também é interessante observar que o ovo cozido em água borbulhando, durante 10 minutos (Figura 3.6a) tem mais proteínas desnaturadas do que o cozimento em baixa temperatura, mesmo que este tenha sido em tempo maior.

Os resultados obtidos pelos grupos 1 e 2 no experimento A9c são apresentados nas Figuras 3.6c e 3.6d. Claramente eles não seguiram corretamente as instruções. *Começar a borbulhar*, significa quando as primeiras bolhas aparecem na água, que corresponde a temperatura de aproximadamente 70° C. Os alunos interpretaram que deveriam colocar água fria quando a água entrasse em ebulição.

Em suma, a Fig. 3.6b mostra a importância da temperatura na desnaturação das proteínas. Ou seja, em temperatura de aproximadamente 70° C, as proteínas da gema não se desnaturam completamente nem com longo cozimento (15 minutos).

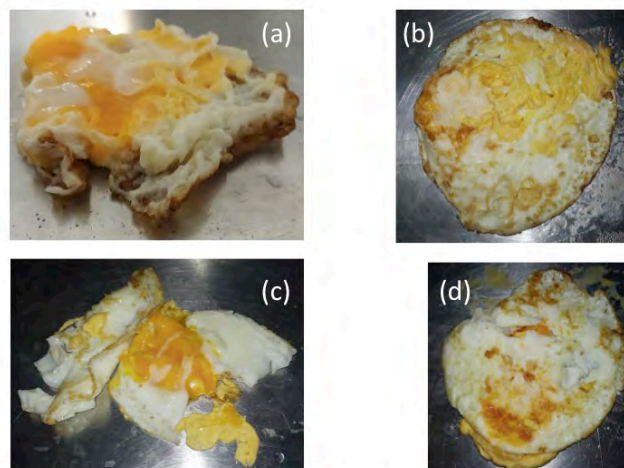
3.3c – Bioquímica e termodinâmica do ovo frito

De modo similar ao caso do ovo cozido, na aula 11 os alunos fritaram ovos de acordo com procedimentos definidos por cada grupo (Tabela 3.1). Considerando o que muitos cozinheiros classificam como ovos fritos *perfeitos*, nenhum grupo obteve bons resultados, como demonstram as imagens apresentadas na Figura 3.7. 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 minutos. Apenas um grupo ultrapassou esse tempo. Neste caso, depois de 1,5 minutos eles furaram a gema e deixaram o ovo fritando por mais 2,5 minutos. Justificaram o furo para obter uma gema dura. O resultado é apresentado na Fig. 3.7b. A gema abriu e misturou-se com a clara. Veremos nos procedimentos experimentais mais adiante como obter gema intacta, com diferentes texturas.

Durante as aulas 12 e 13 os alunos fritaram ovos de acordo com as receitas expostas na Tabela 3.1. Foram realizados três experimentos de um tipo e três de outro. Os

primeiros três experimentos, realizados na aula 12, tiveram como objetivo discutir a questão da *clara queimada*. Na seção 2.3, discutimos essa questão. A caramelização da clara 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. Esse é o processo de caramelização da clara.

Figura 3.7: Ovos fritos com procedimentos definidos pelos grupos: (a) Grupo 1; (b) Grupo 2; (c) Grupo 3; (d) Grupo 4.



Além de oportunizar a discussão dessa questão, os experimentos da aula 12 serviram para mostrar 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 minutos, ou ao final de 4 minutos, sendo que neste caso, o fogo é mantido durante 2 minutos com a frigideira destampada, e o ovo permanece mais 2 minutos 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. A Fig. 3.8 ilustra alguns resultados obtidos.

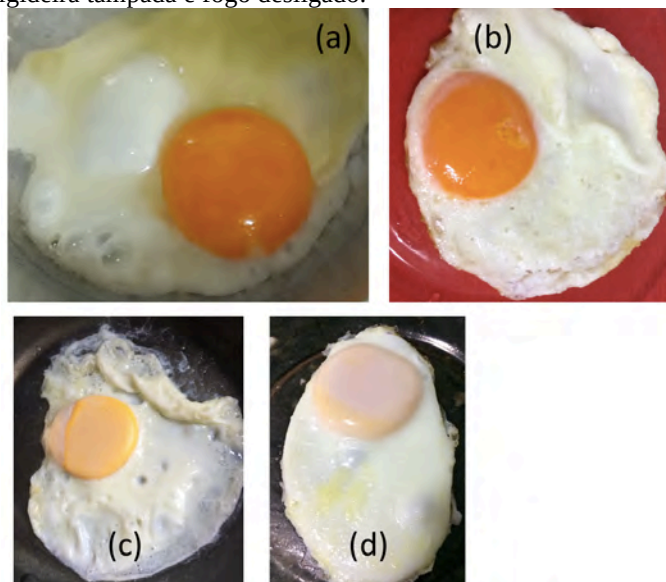
Nesses experimentos, três parâmetros são muito importantes:

- a) Temperatura;
- a) Tempo;
- a) ambiente de cozimento.

Diferentes valores e condições desses parâmetros definem a textura do ovo frito, mas são as condições que definem o sabor o que mais interessou aos alunos. Discutire-

mos isso mais adiante, depois que discutirmos os aspectos mais aparentes e controláveis dos experimentos.

Figura 3.8: Ovos fritos com procedimentos experimentais: (a) na manteiga com um pouco de água; (b) azeite de oliva com um pouco de água (120 s), seguido de 120 s com fogo desligado e frigideira tampada; (c) azeite de oliva com um pouco de água e frigideira tampada (90 s) seguido de 120 s com frigideira tampada e fogo desligado; (d) manteiga e azeite com um pouco de água e frigideira tampada (60 s), seguido de 90 s com frigideira tampada e fogo desligado.



As Figuras 3.8a e 3.8b têm aspectos visuais similares e bem diferentes daqueles exibidos nas Figuras 3.8c e 3.8d. A diferença básica entre esses experimentos, é que os dois primeiros foram realizados com ovos fritos em frigideira descoberta, e os dois últimos foram realizados com frigideira coberta, portanto em condições de maior vapor sobre os ovos. A camada branca sobre a gema nesses casos, resulta da desnaturação das proteínas da clara. Isso não acontece quando a frigideira está descoberta porque o contato com ar não permite que a temperatura superficial atinja o valor mínimo para a desnaturação das proteínas da clara, isto é, 60°C .

Fizemos um ovo pochê com a frigideira levemente inclinada para testar a hipótese de que essa camada branca vinha da desnaturação das proteínas da clara. O resultado é apresentado na Fig. 3.9. A inclinação da frigideira fez com que uma parte da gema ficasse mais submersa do que a outra. Portanto essa parte mais exposta ao ar tinha menor quantidade de proteínas da clara, implicando em uma camada branca quase invisível.

Figura 3.9: Ovo pochê cozido em vinagre, água e sal, com frigideira tampada e inclinada, durante 60 s, seguido de 120 s de descanso.



A questão do sabor é um assunto antigo e complexo, vem lá da Grécia de Aristóteles, mas nunca deixou de ocupar os *chefs* e cientistas modernos (FISHER, 2004, p.122-141; THIS, 1996, p.16-30). Embora interessante e pertinente, não podemos abordar esse assunto, em toda 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 a 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, CH_3COOH , 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 (FISHER, 2004, p.132-141).

3.3d – Bioquímica e termodinâmica do ovo pochê

Durante o período de elaboração da UEPS, enfrentamos dificuldade para a definição da ordem em que os experimentos seriam realizados. Decidimos pela ordem *ovo cozido-ovo frito-ovo pochê*, pela popularidade dos dois primeiros. O ovo cozido possibilitava a discussão da expansão do ar em seu interior, uma questão muito importante no contexto da Termodinâmica, e o ovo frito possibilitava a visualização de processos bioquímicos durante o cozimento. Antes dos alunos realizarem os experimentos em sala de aula, realizamos os mesmos experimentos em casa, para testar alternativas e para ter elementos de comparação. Quando realizamos em casa experimentos com o ovo pochê, voltamos ao dilema inicial sobre a melhor ordem dos experimentos em sala de aula. Ao final do ano letivo, ficamos com a sensação que teria sido melhor iniciar a UEPS com o ovo pochê, uma vez que ele permite o controle experimental de mais parâmetros que os outros, como veremos a seguir.

Infelizmente, pior do que a suposta má escolha da ordem dos experimentos, foi o fato de que eventos desagradáveis ocorridos na Escola² levaram a uma drástica redução da frequência dos alunos nos últimos dias do ano letivo, de modo que os experimentos com ovo pochê não puderam ser realizados como o planejado na UEPS. Todavia, pela relevância pedagógica que atribuímos a esses experimentos achamos importante apresentar aqui os resultados obtidos em nossos experimentos preparatórios.

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.

Na Seção 3.2 são apresentados resultados obtidos com diferentes condições de preparação de um ovo pochê. Os parâmetros termodinâmicos que determinam os resultados bioquímicos são essencialmente temperatura e tempo. A rigor seria necessário ter algum equipamento para medir a temperatura, por exemplo, um termômetro. Mas, não tendo esse equipamento, o quê 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

² Não vem ao caso o detalhamento de tais eventos.

da água borbulhando. No experimento A9c, descrito acima, utilizou-se o artifício de colocar água fria sempre que aparecessem as primeiras bolhas na água fervente, para ficar com uma temperatura de aproximadamente 70° C.

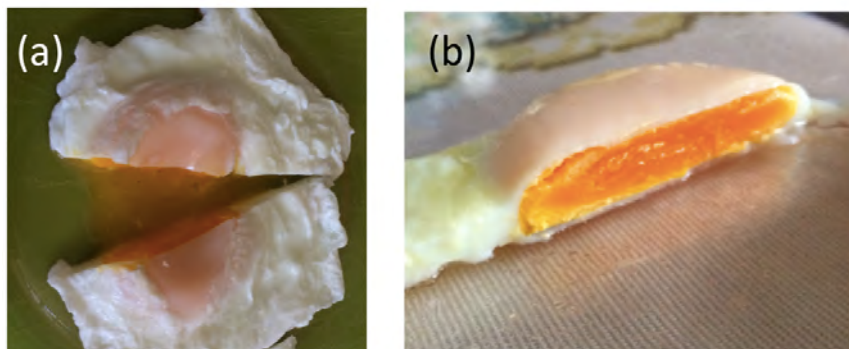
No caso do ovo pochê com frigideira tampada, o único parâmetro controlável é o tempo, pois o ambiente de cozimento não é visível, a menos que a tampa da frigideira seja de vidro. Empiricamente sabe-se que é possível controlar a textura da gema se o fogo for interrompido quando o vapor de água que ocupa todo o ambiente contiver quantidade visível de proteínas da clara desnaturadas. Isso se manifesta pela pressão 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 (Fig. 3.10a), o cozinheiro terá que determinar por tentativa e erro o momento em que o vapor contém proteínas desnaturadas. Nos nossos experimentos usamos como tampa uma frigideira menor (Fig. 3.10b) porque permite a visualização do estado físico-químico desejado (Fig. 3.10c).

Figura 3.10: Ovo pochê em frigideira tampada. (a) Omeleteira; (b) Condição do vapor para definir o momento de desligamento do fogo; (c) Aparência visual do vapor no interior da frigideira.



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, a textura apresentada na Fig. 3.11a foi obtida com resfriamento de 60 segundos, enquanto a da Fig. 3.11b foi obtida com 180 segundos de resfriamento.

Figura 3: (a) Ovo em água com vinagre e sal, com frigideira tampada, resfriamento durante 60 segundos. (b) idem, resfriamento de 180 segundos. As quantidades de sal e vinagre são aquelas usualmente utilizadas para consumo.



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.

3.4 – Avaliação dos alunos

Por avaliação dos alunos estamos considerando a evolução de sua aprendizagem e sua avaliação sobre a UEPS.

Na aula 14, surpreendemos os 11 alunos presentes solicitando que escrevessem o que tinham aprendido até àquele momento. Os três melhores relatos são resumidamente apresentadas 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 por que 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 graus Celsius e a gema aos 70 graus Celsius. 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.

Na última aula do curso, solicitamos que os grupos respondessem as questões que lhes foram apresentadas no início da aplicação da UEPS. As respostas na íntegra são apresentadas no Apêndice B, 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 rachadura das cascas 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 por que 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.

Para concluir este capítulo, gostaríamos de dizer que estamos convencidos de que a aplicação dessa UEPS para abordar tópicos de Bioquímica e Termodinâmica na Educação de Jovens e Adultos (EJA), nos indicou a exequibilidade de projetos pedagógicos interdisciplinares dirigidos à população que frequenta a EJA, 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.

Capítulo 4 – Sumário, Resultados Relevantes e Considerações Finais

4.1. Sumário

O objetivo central deste trabalho foi o planejamento e execução de uma intervenção didática para abordar conteúdos das ciências da natureza em uma turma da Educação de Jovens e Adultos (EJA), na E.E.M.T.I José de Borba Vasconcelos, em Maracanaú (CE). A turma funcionava no período noturno e possuía 32 estudantes matriculados, 19 homens e 13 mulheres, na faixa etária entre 19 e 50 anos.

Dividimos a intervenção didática em duas fases, uma em cada semestre. Na primeira fase abordamos conteúdos que entendemos essenciais para a cultura científica de qualquer pessoa adulta, como detalhamos no Capítulo 2. No segundo semestre aplicamos a UEPS, objeto central da presente dissertação, cuja descrição e resultados obtidos são apresentados no Capítulo 3, e cuja íntegra é apresentada no Apêndice A.

A estrutura pedagógica da UEPS tem elementos da pedagogia de Paulo Freire, da teoria de aprendizagem de Ausubel e da teoria sociointeracionista de Vygotsky. De Paulo Freire usamos a ideia de universo vocabular para introduzir o conceito de universo laboral do aluno. De Ausubel usamos a estratégia de elaboração de organizadores avançados para o provimento de subsunçores importantes para a abordagem do conteúdo apresentado na UEPS. Usamos também a ideia da reconciliação integradora quando ao analisar os resultados experimentais, os alunos retomavam os conceitos tratados no primeiro semestre. De Vygotsky veio a inspiração da formação de grupos de trabalho, com autonomia para definição do líder e liberdade para apresentar suas ideias prévias a respeito do tema a ser estudado.

4.2. Resultados relevantes

Para além da apropriação conceitual, que se observou durante as discussões dos experimentos e nos relatos dos alunos, talvez o resultado mais relevante tenha sido o prazer com que os alunos realizavam as atividades experimentais e o entusiasmo durante as discussões.

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 no Apêndice B, 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 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 por que 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.

4.3. Considerações Finais

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 freiriana para a educação 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.

Referências

- AUSUBEL, D. P. Cognitive structure and the facilitation of meaningful verbal learning. *Journal of Teacher Education*, v. 14, n. 2, p. 217–222, 1963.
- BYCROFT, M. Kuhn's evolutionary social epistemology. *Studies in History and Philosophy of Science*, v. 43, n. 3, p. 425–429, 2012. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0039368112000362>>.
- COSTA, I. F. Fogo versus microondas. *Rev. Bras. Ens. Fis.*, v. 17, n. 2, p. 180–181, 1995.
- DAVID P. AUSUBEL. A cognitive theory of school learning. *Psychology in the Schools*, v. 6, n. 4, p. 331–335, 1969.
- DI PIERRO, M. C. *Youth and Adult Education in Latin America and the Caribbean: the recent trajectory*. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cp/v38n134/en_a0638134.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- ESPÍNDOLA, K.; MOREIRA, M. A. RELATO DE UMA EXPERIÊNCIA DIDÁTICA: ENSINAR FÍSICA COM OS PROJETOS DIDÁTICOS NA EJA, ESTUDO DE UM CASO. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 1, n. 1, p. 55–66, 2006.
- FENSHAM, P. J. Conceptions, misconceptions, and alternative frameworks in chemical education. 1983, Londres: [s.n.], 1983. p. 19.
- FISHER, L. *A ciência no cotidiano*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor Ltda, 2004.
- FREIRE, P. *Educação e mudança*. 31. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2008.
- FREIRE, P. *Pedagogia do Oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1970.
- JÓFILI, Z. Piaget, Vygotsky, Freire e a construção do conhecimento na escola. *Educação: Teorias e Práticas*, v. 2, n. 2, p. 191–208, 2002.
- KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1975.
- LAMBACH, M.; MARQUES, C. A. Ensino de química na Educação de Jovens e Adultos: relação entre estilos de pensamento e formação docente. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 14, n. 2, p. 219–235, 2009.
- LIMA, D. B. A. *Sequência didática para ensino de alguns conceitos de física térmica para aluno do ensino médio na modalidade EJA*. 2015. 157 f. Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2015.
- MARTINS, W. S. *Educação de Jovens e Adultos: proposta de material didático para o ensino de química*. 2007. 217 f. Universidade de Brasília, 2007.

- MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 12, n. 3, p. 164–214, 1995.
- MERAZZI, D. W.; OAIGEN, E. R. Atividades práticas do cotidiano e o ensino de ciências na EjA: a percepção de educandos e docentes. *Amazônia - Revista de Educação em Ciências e Matemática*, v. 3, n. 5, p. 1–18, 2006.
- MOISÉS, A. C. F. *Física no cotidiano: da cozinha para a sala de aula - relato de uma experiência didática no município de Limoeiro do Norte (CE)*. 2007. 112 f. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.
- MOREIRA, M. A. A Teoria de Aprendizagem de David Ausubel como Sistema de Referência para a Organização do Conteúdo de Física. *Revista Brasileira de Física*, v. 9, n. 1, p. 275–292, 1979.
- MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas - UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista*, v. 1, n. 2, p. 43–63, 2011.
- MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes, 1982.
- MORETTI, G. A. S. *Youth and adult literacy and education: a good practice analysis*. Disponível em: <http://www.ipc-undp.org/pub/eng/PRB56_Youth_and_adult_literacy_and_education_a_good_practice_analysis.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- MUENCHEN, C.; AULER, D. Configurações curriculares mediante o enfoque CTS: desafios a serem enfrentados na Educação de Jovens e Adultos. *Ciência & Educação*, v. 13, n. 3, p. 421–434, 2007.
- PAULINO, W. R. *Biologia*. São Paulo: Ática, 2000.
- PIMENTEL, J. R.; YAMAMURA, P. A Física na cozinha. *Física na Escola*, v. 5, n. 2, p. 26–28, 2004.
- RAMOS, E. E. L.; QUEIROZ, C. A. Interdisciplinaridade e atividade experimental: uma alternativa para o ensino em turmas do PROEJA. *Revista Técnico-Científica do IF-SC*, v. 1, n. 3, p. 35–43, 2012.
- REKOVVSKY, L. *Física na cozinha*. 2012. 109 f. UFRGS, 2012.
- RIBOLDI, B. M. *A construção de uma unidade de uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) para ensinar relatividade utilizando animações e o game A Slower Speed of Light*. 2015. 145 f. Universidade Federal de São Carlos, 2015.
- SILVA, R. P. DA. *Conservação da energia mecânica: uma sequência didática*

inspirada na ideia de UEPS. 2016. 129 f. UFSCAR, 2016.

SILVA, T. P. DA. *Construção e avaliação de uma unidade de ensino potencialmente significativa para o conteúdo de termoquímica*. 2015. 165 f. UFRN, 2015.

THIS, H. *Um cientista na cozinha*. São Paulo: Editora Ática, 1996.

THOMPSON, K. V *et al.* Competency-based reforms of the undergraduate biology curriculum: integrating the physical and biological sciences. *CBE-Life Sciences Education*, v. 12, n. 2, p. 162–169, 2013.

UNESCO. *3rd Global Report on Adult Learning and Education*. . Hamburg: [s.n.], 2016.

VILANOVA, R.; MARTINS, I. Educação em ciências e educação de jovens e adultos: pela necessidade do diálogo entre campos e práticas. *Ciência & Educação*, v. 14, n. 2, p. 331–346, 2008.

VILAS BOAS, A. *et al.* História da ciência e natureza da ciência: debates e consensos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 30, n. 2, p. 287–322, 2013.

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*. São Paulo: Livraria Martins Fontes, 1991.

VYGOTSKY, L. S. *Mind in society. The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press, 1978.

Apêndice A – Produto Educacional: Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para a Abordagem de Tópicos de Bioquímica e Termodinâmica na Educação de Jovens e Adultos



**Unidade de Ensino Potencialmente Significativa
para
abordar tópicos de bioquímica e termodinâmica
na
Educação de Jovens e Adultos**



Felipe Rodrigues da Silva
Autor
Carlos Alberto dos Santos
Orientador

2018

Sobre a capa

Tela de Diego Velázquez (1599-1660), *An Old Woman Cooking Eggs*, pertencente à coleção da Scottish National Gallery. A reprodução fotográfica usada na capa está em domínio público.

Disponível em

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diego_Velazquez_An_Old_Woman_Cooking_Eggs_-_Google_Art_Project.jpg

Apresentação

Consiste o presente produto educacional em uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) com material instrucional e cronograma de atividades para abordar tópicos de bioquímica e termodinâmica no cozimento de um ovo, aplicável em turmas de Educação de Jovens e Adultos (EJA). A UEPS foi elaborada seguindo a proposta de Moreira (MOREIRA, 2011), e para facilitar sua aplicação, apresentamos um Guia do Professor baseado em nossa experiência em sala de aula com o produto.

Como se verá ao longo do material, é possível abordar dialogicamente conceitos de enzimas, proteínas, desnaturação de proteínas, temperatura, calor e transferência de energia envolvidos em diversos tipos de cozimento do ovo. Ao longo do uso da UEPS, os experimentos serão discutidos tendo como foco central o relato das observações por parte dos alunos, a abordagem dos conceitos envolvidos com a substantiva participação do professor, e um paralelo das atividades realizadas pelos alunos com os procedimentos científicos usuais.

Sumário

Sobre a capa	54
Apresentação	55
1 Bioquímica e Termodinâmica na Culinária	57
1.1	Introdução
1.2	Energia e suas transformações
1.3	Energia e matéria
1.4	Energia e termodinâmica
1.5	A equação de Fourier nos processos de cozimento
1.6 Tópicos de bioquímica	65
1.6a Compostos orgânicos	65
1.6b A composição química dos alimentos e o pH.....	68
1.6c Solute e solvente em soluções	69
2 Bioquímica e termodinâmica no cozimento de um ovo.....	69
2.1 Por que a casca do ovo pode rachar durante o cozimento?	70
2.2 Bioquímica e termodinâmica do ovo cozido	72
2.3 Bioquímica e termodinâmica do ovo frito	74
2.4 Bioquímica e termodinâmica do ovo pochê.....	77
3 Guia do Professor.....	80
4 Cronograma de atividades.....	83
Referências	85

1 Bioquímica e Termodinâmica na Culinária

1.1 Introdução

Embora se trate de uma temática com possibilidade de inserção em diferentes cenários didáticos, bem como na cultura geral, o texto que se segue tem motivação em sua possível aplicação na Educação de Jovens e Adultos (EJA). Em termos de cultura geral, podemos citar o movimento conhecido como gastronomia molecular³, que teve início em um *workshop* na cidade de Erice (Itália) no *Ettore Majorana Center for Scientific Culture*⁴. O primeiro evento foi realizado em 1992 e continuou a ser realizado a cada dois anos, com título *Workshop on Molecular & Physical Gastronomy*. Na edição de 1999⁵, os organizadores definiram os seguintes objetivos:

The object of this workshop will be to bring together a group of reputable chefs de cuisine and scientists to collectively discuss the science behind the practices carried out in the kitchen. Previous workshops have been held on the role of emulsions and the effects of cooking methods on food quality. The 4th IWMPG «N.Kurti» will discuss food flavour, its importance to food and the creation of taste in the kitchen.

Nesses eventos os participantes (em torno de 40) realizam inúmeros experimentos, alguns bastante sofisticados, como o cozimento em vácuo e o uso de nitrogênio líquido, que podem ser usados em turmas avançadas do ensino médio, ou mesmo em cursos superiores de formação de professores de biologia, física e química.

Os conceitos envolvidos nesses experimentos podem cobrir virtualmente toda o conteúdo de termodinâmica. Por exemplo, dependendo da forma de cozimento, teremos transferência de calor por condução, convecção e irradiação. No forno, o calor é transferido para a superfície do alimento por meio de irradiação direta e por convecção nas correntes de ar. Mas, a partir da superfície de um pedaço de carne, o mecanismo dominante de propagação é o da condução.

Apresentaremos na sequência os conceitos básicos de bioquímica e termodinâmica que podem ser tratados em experimentos realizados em uma turma de EJA, considerando apenas a transferência de calor por condução.

³ https://en.wikipedia.org/wiki/Molecular_gastronomy.

⁴ <http://www.curiouscook.com/site/erice.html>.

⁵ <http://www.ccsem.infn.it/ccsem99/Gastronomy99.html>.

1.2 Energia e suas transformações

Qualquer que seja o processo na natureza, obrigatoriamente matéria e energia estarão envolvidos. Portanto, qualquer que seja o nível educacional e a disciplina uma discussão geral sobre energia e matéria serve muito bem para uma contextualização. Essa abordagem contextualizante é similar àquilo que Ausubel denomina organizadores avançados (MOREIRA, M A, 1979), e deve portanto ser apresentada em linguagem apropriada. Um exemplo de linguagem apropriada é apresentado por Santos e Botton (DOS SANTOS; BOTTON, 2015). Quando não for dito o contrário, o texto que se segue é baseado nesta referência.

De um modo geral, qualquer energia surge com uma forma e termina com outra. A forma inicial é a energia potencial, e a forma final é a energia cinética. É importante desde o início, antes de entrarmos no detalhamento das várias fontes de energia, salientarmos algumas questões a respeito do conceito geral de energia:

1. Da energia potencial até à cinética, a energia se transforma por meio de diferentes processos físico-químicos.
2. Nessas transformações, pode haver algum tipo de perda de energia, mas considerando o universo como um todo, não há perda de energia. Tudo o que há é transformação de energia. Portanto, se há alguma perda localizada, essa *energia perdida* vai para outro lugar.
3. O que se denomina de energia potencial é exclusivamente uma energia de configuração, com potencial para se transformar em energia cinética, uma energia de movimento, capaz de realizar trabalho.

Como registro histórico, cabe destacar que a ideia de energia como capacidade de realizar trabalho foi implicitamente apresentada por Lord Kelvin, em 1852, e explicitada por Rankine em 1855: *O termo ‘energia’ compreende todo estado de uma substância o qual constitui a capacidade de realizar trabalho. Quantidades de energia são medidas pelas quantidades de trabalho realizadas.*

Para concluir esta seção, consideramos importante ratificar o item 3 mencionado acima, transcrevendo este trecho de (DOS SANTOS; BOTTON, 2015):

Sabe-se, hoje, que energia é essencialmente consequência das interações gravitacionais, eletromagnéticas e nucleares, e que no seu estado latente, quando recebe a denominação de energia potencial, ela depende unicamente da configuração da matéria envolvida. Ou seja, da distribuição de massas no caso gravitacional, de cargas elétricas no caso eletromagnético e de

partículas elementares, prótons e nêutrons no caso nuclear. É interessante observar que embora pareça recente, essa associação da energia potencial com a ideia de energia de configuração foi elaborada há mais de 140 anos. Exatamente em 1867, Rankine descreveu a energia potencial como uma energia de configuração e a energia cinética como uma energia de atividade.

1.3 Energia e matéria

Examinando bem as definições acima, energia de configuração e energia como capacidade de realizar trabalho, obrigatoriamente teremos que conectar energia e matéria. Ou seja, temos energia de configuração de algum tipo de matéria, e temos a capacidade de realizar trabalho que se manifesta no movimento de algum tipo de matéria.

No nível escolar, do ensino médio ao universitário, as mais conhecidas expressões conectando energia e matéria são aquelas da energia potencial gravitacional (equação 1) e da energia cinética (equação 2).

$$E_p = mgh; \quad (1)$$

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2, \quad (2)$$

onde m é a massa do corpo, g a aceleração da gravidade, h é a altura em relação ao solo terrestre, e v é a velocidade do corpo. Com relação à equação (1), cabe chamar a atenção para um aspecto muito importante. Essa expressão da energia potencial é válida porque a energia potencial na superfície da Terra foi considerada nula. A energia potencial de qualquer sistema é sempre uma grandeza relativa a uma dada configuração. É sempre possível definir uma origem à qual associamos qualquer valor, incluindo zero. Mais importante do que isso, só podemos calcular variações de energia potencial. Quando expressamos o valor da energia potencial em um ponto, como a equação (1), é porque arbitramos o valor em algum ponto. No caso, consideramos energia nula na superfície da Terra.

Vejamos com um pouco mais de formalismo, como isso pode ser feito no caso gravitacional unidimensional (RESNICK; HALLIDAY, 1984, Cap. 8). Como já foi dito acima, a energia potencial é uma energia de configuração (massas, cargas elétricas, partículas nucleares). Ela depende da interação entre as partículas do sistema. No caso gravitacional a interação é dada pela lei de Newton. A diferença de energia potencial entre dois pontos é dada pela expressão

$$\Delta E_p = E_{pb} - E_{pa} = - \int_{x_a}^{x_b} F(x) dx. \quad (3)$$

O sinal negativo resulta do teorema do trabalho-energia, detalhadamente discutido no capítulo 8 do livro de Resnick-Halliday. $F(x)$ é a força gravitacional, mg . Para resolver a equação (3), precisamos arbitrar a posição inicial, x_a , e o valor da energia potencial nessa posição. Vamos considerar que a posição inicial é o solo terrestre. Ou seja, $x_a=0$. E vamos também considerar que $E_{pa}=0$. Nosso referencial vai da superfície terrestre para cima. Como a força gravitacional aponta para baixo, $F(x)=-mg$. Portanto,

$$E_{pb} = - \int_0^h (-mg) dx = mgh. \quad (4)$$

Outra relação famosa entre energia e matéria é aquela obtida por Einstein em 1905, a partir da sua teoria da relatividade restrita, segundo a qual, se um corpo perde uma pequena quantidade de massa, Δm , uma quantidade de energia, E , será liberada, de tal modo que

$$E = \Delta mc^2, \quad (5)$$

onde c é a velocidade da luz no vácuo, 3×10^8 m/s, ou 300 mil quilômetros por segundo.

1.4 Energia e termodinâmica

De acordo com Santos e Botton (DOS SANTOS; BOTTON, 2015):

O conceito de energia está fortemente relacionado com três conceitos fundamentais da termodinâmica: calor, temperatura e entropia. Em nosso cotidiano, muitas vezes confundimos temperatura e calor, como se fossem sinônimos. Do ponto de vista científico são dois conceitos bem diferentes, embora fortemente relacionados. No formalismo da termodinâmica eles fazem parte de dois grupos conceitualmente diferentes. Temperatura é uma variável de estado, cujo valor é característico de cada estado físico do sistema, e não depende do processo pelo qual o sistema atingiu aquele estado. Já o calor, que não é variável de estado, tem seu valor dependente do processo.

Talvez seja conveniente aqui detalhar um pouco mais a ideia de variável de estado. Qualquer sistema, social, biológico, físico, químico, entre outros, possui determinados atributos que lhes são próprios. No caso de um sistema termodinâmico, ou de um sistema qualquer visto do ponto de vista da termodinâmica, são vários os atributos, entre os quais destacam-se temperatura, pressão, volume, energia interna, calor, trabalho e entropia. Define-se variável de estado aquelas que dependem unicamente das condições do estado e não da forma como o sistema chegou àquele estado. Nesse sentido, temperatura, pressão, volume, energia interna e entropia são variáveis de estado e calor e traba-

lho são variáveis do processo. Ou seja seus valores dependem do processo pelo qual o sistema atingiu um determinado estado.

A partir da apresentação formal da termodinâmica, é possível elaborar uma transposição didática para determinado nível de ensino. Nosso produto educacional é uma tentativa nesse sentido. Vejamos os pontos de onde partimos para elaborar nossa transposição didática.

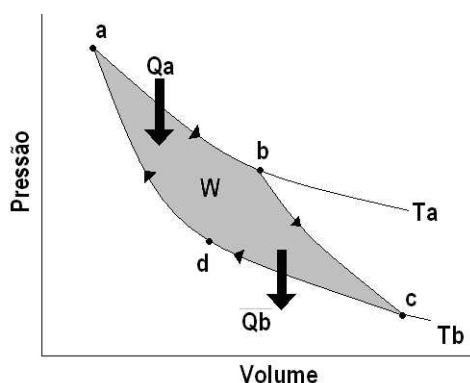
Temperatura, volume e pressão são as mais conhecidas variáveis de estado e costumam ser abordadas nos estudos dos gases ideais, cujo comportamento obedece à equação (6):

$$PV = nRT, \quad (6)$$

onde n é a massa do gás em moles e R é uma constante universal conhecida como constante dos gases ideais,

$$R = 8,314 \frac{\text{Joule}}{\text{mol K}} = 1,986 \frac{\text{cal}}{\text{mol K}}. \quad (7)$$

Figura 1 – Ciclo de Carnot para um gás ideal. Disponível em <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Imagemgraficonew.jpg>>. Acesso em 9/9/2018.



A Figura 1 representa o ciclo de Carnot para um gás ideal. Sem entrar em detalhes a respeito do ciclo de Carnot, que foge ao objetivo deste capítulo, vamos utilizar esta figura para discutir os conceitos apresentados acima. A figura apresenta quatro estados de equilíbrio termodinâmico: a, b, c, d. Nos estados a e b a temperatura é a mesma, T_a , enquanto nos estados c e d a temperatura é T_b . O que é importante destacar é que não importa o caminho seguido pelo sistema, os valores de P , T e V em cada estado de equilíbrio é sempre o mesmo. Ou seja, os valores em a são os mesmos, quer seja pelo caminho ab ou pelo caminho cda. Isso é assim porque P , T e V são variáveis de estado. No entanto, as trocas de calor são diferentes. No caminho ab, o sistema recebe calor Q_a , enquanto no caminho cda o sistema libera o calor Q_b .

Por sua complexidade, o conceito de calor merece uma atenção especial. Existem muitas concepções alternativas em relação a esse conceito, e a própria comunidade científica se debateu durante longo tempo, até chegar à concepção que hoje consideramos correta. Durante muito tempo se pensou que o calor fosse uma espécie de fluido, denominado calórico. Um corpo a uma temperatura mais alta possuía mais calórico do que outro a uma temperatura mais baixa. O equilíbrio térmico se dava pela transferência de calórico do corpo mais quente para o mais frio, até que as temperaturas se iguallassem. Nesse modelo, o calor era uma quantidade física que se conservava.

A teoria do calórico foi superada quando ficou claro que o calor é uma forma de energia, e como tal não se conserva isoladamente. Participa de processos de transformação de energia nos quais o que se conserva é a energia total. Diz-se que calor é energia em trânsito, de um corpo com maior temperatura para outra a baixa temperatura.

Os principais fenômenos termodinâmicos na culinária têm a ver com a condução do calor, que está diretamente associada à equação de Fourier⁶, como veremos na sequência.

1.5A equação de Fourier nos processos de cozimento

A famosa lei de Fourier vale para meios isotrópicos e homogêneos. No caso unidimensional, a lei é expressa pela seguinte equação, também conhecida como equação do calor (PIFER; AURANI, 2015):

$$C\rho \frac{dT}{dt} = K \frac{d^2T}{dx^2}, \quad (8)$$

onde C é o calor específico, ρ é a densidade e K é a condutividade da substância. Para utilizar esta equação em situações reais, como nos cozimentos de alimentos, ela terá que ser resolvida em três dimensões, e mesmo assim terá que superar as questões de falta de simetria nas peças em cozimento. Em muitos casos, a solução analítica não é possível. Recursos computacionais modernos têm possibilitado várias formas de solução numérica.

Todavia, mesmo simplificada como na equação (8), ela pode ser usada para discutir qualitativamente o processo de cozimento, assim como faz Fisher em seu instrutivo livro *A ciência no cotidiano* (FISHER, 2004). Também é possível buscar

⁶ Um texto excelente sobre esse tema está disponível na [Wikipedia](https://pt.wikipedia.org/wiki/Equa%C3%A7%C3%A3o_de_Fourier).

inspiração no artigo de McGee e colaboradores, publicado na *Physics Today* (MCGEE; MCINERNEY; HARRUS, 1999), para orientar uma transposição didática.

Quando uma peça de carne como essas exibidas na Figura 2, é colocada no forno, as moléculas superficiais têm suas energias cinéticas aumentadas, proporcionalmente ao valor da temperatura do forno. Por uma espécie de reação em cadeia, parte da energia cinética é transferida para as moléculas mais internas. As diferentes texturas da peça na Figura 2(b) dão ideia do efeito da difusão do calor durante o tempo que a peça ficou no forno.

A equação de Fourier “mostra que o tempo gasto pela energia calorífica para percorrer uma dada distância por condução é função do quadrado dessa distância. Para percorrer duas vezes a distância, ela leva em média quatro vezes mais tempo”(FISHER, 2004). Essa é a famosa regra dos quadrados que alguns chefes de cozinha aprenderam em um dos encontros de Erice. McGee obteve esse resultado com soluções da equação de Fourier em pedaços de carne com geometria similar a essa exibida na Figura 2, ou seja discos de 10 cm de diâmetros e 2 cm de espessura.

Portanto, o conhecido hábito dos cozinheiros de deixarem seus assados *descansando* antes de servirem, tem base científica suportada pela equação de Fourier, embora em geral eles não tenham a menor ideia da existência da regra dos quadrados. Em uma pesquisa realizada nos EUA, no início dos anos 1990, a totalidade dos *chefs* consultados respondeu que um filé de peixe com o dobro da espessura de outro levaria menos de duas vezes de tempo para cozinhar.

Figura 2 – Exemplos de peças de carne que podem ser utilizadas em testes qualitativos da equação de Fourier.

(a)



(b)



Do ponto de vista pedagógico, é muito importante discutir essa questão mais detalhadamente, com linguagem apropriada ao público-alvo. Até agora apresentamos os

conceitos em um nível que exige algum conhecimento de física. Vamos agora tentar fazer a transposição para uma linguagem do público leigo.

Pelo que foi dito acima, o cenário geral do processo de cozimento é o seguinte: uma vez que energia térmica, associada à temperatura atinge a superfície da peça de carne, não importa a forma como isso se deu, se foi por convecção, irradiação ou condução, ela se transmite para o interior da peça por meio da condução do calor. Esse processo é governado pela equação de Fourier, e depende do tempo e da espessura da peça. Depende também do tipo de carne, ou seja depende do calor específico e da densidade, mas para o que vamos discutir nesse momento isso tem pouca relevância.

O processo pode ser controlado *cientificamente*, por meio de sensores de temperatura colocados em diferentes partes da peça de carne. Mas isso também é pouco relevante. Estamos interessados em discutir situações rotineiras no ambiente culinário. Nesse sentido, é interessante ter em conta a correlação entre fenômenos físico-químicos e aspectos perceptíveis aos sensores humanos, sobretudo o visual, o odor e o sabor. Mais adiante discutiremos a questão do odor e do sabor para o caso do cozimento de um ovo. Agora vamos concentrarmo-nos no aspecto visual de uma carne cozida.

As proteínas da carne são excelentes sensores de temperatura, que se manifestam pela cor e pela textura. A Figura 3 ilustra essa questão com experimentos feitos com os pedaços de carne exibidos na Figura 2. Os experimentos foram feitos em um forno convencional em temperatura de aproximadamente 200 °C. Todos os pedaços foram ligeiramente aquecidos em frigideira para formar uma fina camada superficial. Esse processo é conhecido no jargão da culinária como *selagem*, e serve para retardar a desidratação da carne. Ao sair do forno, cada pedaço foi cortado transversalmente.

Os gradientes de cores e texturas exibidos nas Figuras 3c e 3d registram as histórias térmicas dos respectivos pedaços de carne. Aliás, como diz McGee e colaboradores (MCGEE; MCINERNEY; HARRUS, 1999), a qualidade do cozimento é função da história térmica da carne, sobretudo a exposição cumulativa acima da temperatura de desnaturação das proteínas e da evaporação da água, em torno de 55 °C. Nesse sentido, cabe relembrar o que foi dito acima: o tempo de *descanso* usualmente adotado pelos *chefs*, tem a ver com a definição de uma determinada história térmica da peça submetida ao cozimento.

Figura 3 – Exemplos de cores e texturas de carne submetida a diferentes cozimentos: (a) – superfície externa após 20 min. no forno; (b) – idem, após 30 min.; (c) – superfície interna após 10 min. no forno; (d) – idem após 30 min. Todos os pedaços foram *selados* antes de ir ao forno. Ver explicação no texto.



(a)



(b)



(c)



(d)

1.6 Tópicos de bioquímica

A não ser que seja dito o contrário, o texto que se segue é baseado nos livros de Feltre (FELTRE, 2004) e Paulino (PAULINO, 2000).

1.6a Compostos orgânicos

A química pode ser dividida em duas grandes áreas: química orgânica e química inorgânica. Depois vêm as subdivisões, principalmente aquelas que tratam de interações entre a química, a biologia e a física, tais como biofísica, físico-química e bioquímica, esta última, um dos objetos do produto educacional que apresentamos nessa dissertação.

Até meados do século 19, a química orgânica era a ciência que tratava os compostos produzidos pelos seres vivos. Daí a denominação orgânica (BIANCO, 2015). Essa concepção evoluiu para o entendimento atual, segundo o qual a química orgânica trata dos compostos de carbono, denominados de compostos orgânicos.

Os meios de comunicação atuais (televisão e veículos de divulgação científica) podem induzir a equívocos a respeito da palavra orgânico, que está muito associada aos

alimentos orgânicos. Neste caso, cabe chamar a atenção para o fato de que o termo *alimento orgânico*, também conhecido como *alimento biológico* refere-se a alimentos de um modo geral, de origem vegetal ou animal, produzidos sem o uso de produtos sintetizados em laboratório, como agrotóxicos, pesticidas, adubos químicos e outros insumos artificiais ou geneticamente modificados.

O que tratamos aqui como compostos orgânicos inclui todo e qualquer tipo de matéria orgânica, independente de sua origem de produção.

Com exceção da água, a quase totalidade dos compostos formadores dos organismos animais e vegetais são orgânicos. Nosso organismo contém mais de 60% em massa de compostos orgânicos, tais como: álcoois, açúcares, proteínas, lipídeos, vitaminas e enzimas.

1.6a1 Proteínas

São moléculas grandes (macromoléculas) formadas por aminoácidos fortemente unidos em longas cadeias. Também existem outras forças de união, mais fracas, que permitem às proteínas dobrar-se sobre si mesmas, o que confere à molécula uma estrutura em três dimensões. Por ação do calor ou mudanças de pH, as proteínas podem desnaturizar-se, ou seja, perder as ligações que mantêm sua estrutura tridimensional, e com isso elas se desenrolam. A consequência mais importante desse processo é a perda da solubilidade na água. (GOLOMBECK; SCHWARZBAUM, 2009, p.146).

Outra definição interessante é apresentada por This (1996):

[Proteína é uma] cadeia cujos elos são os aminoácidos. Estas moléculas flexíveis se encolhem, nos vegetais e nos organismos animais, segundo conformações específicas. O calor, aumentando os movimentos dos átomos e das diversas partes das moléculas, destrói a conformação natural, das proteínas. Diz-se então que as proteínas ficaram desnaturadas (p.235).

Um tipo muito importante de proteína é a enzima, que acelera processos químicos no organismo. Entre as muitas enzimas existentes, podemos destacar a triose-fosfato isomerase (TPI, na sigla em inglês)⁷, cuja representação esquemática baseada em resultados de difração de raios-X é apresentada na Figura 4. Essa enzima é essencial para a produção eficiente de energia. Por esta razão, ela é encontrada em todos os organismos de mamíferos, insetos, fungos, plantas e bactérias.

Figura 4 – Representação esquemática da enzima TPI, baseada em resultados de difração de raios-X. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TriosePhosphateIsomerase_Ribbon_pastel_photo.png>. Acesso em 10/9/2018.

⁷ Texto extraído de <https://pt.wikipedia.org/wiki/Triose-fosfato_isomerase>, em 10/9/2018.

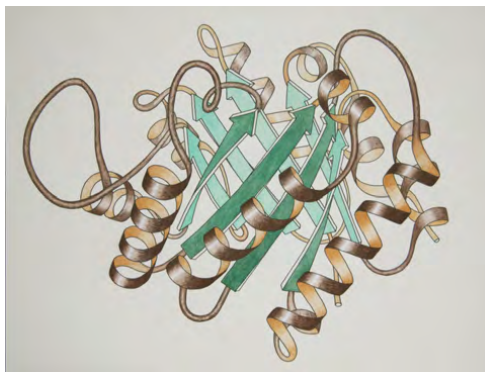
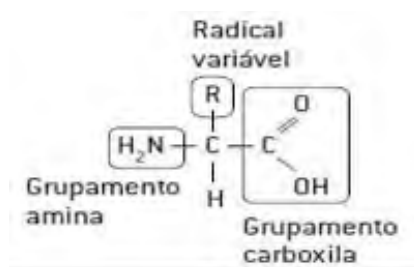


Figura 5 – Representação esquemática da estrutura de um aminoácido. Extraído em 10/9/2018, de <https://www.coladaweb.com/biologia/bioquimica/proteinas>.



Como ilustra a Figura 5, os aminoácidos, são formados por um carbono ligado a um hidrogênio, um **grupo amina** (NH_2), de caráter básico, um **grupo carboxila** (COOH), de caráter ácido, (de onde vem o nome aminoácido) e uma porção variável, um **radical** com 20 diferentes tipos de cadeias, já que existem nos seres vivos 20 tipos diferentes de aminoácidos. Em função disso, o número de proteínas diferentes em um organismo é muito grande.

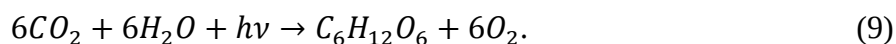
As proteínas são essenciais para o funcionamento de um organismo, e estão presente em alimentos de origem animal, bem como em vegetais.

1.6a2 Vitaminas

De acordo com Golombeck e Schwarzbaum (2009, p.147), a vitamina é uma “substância orgânica que não pode ser sintetizada por um organismo e que é utilizada em pequenas quantidades para o seu desenvolvimento”. Sua principal função em nosso organismo é catalisar reações bioquímicas, ou seja aumentar a velocidade dessas reações.

1.6a3 Carboidratos ou hidratos de carbono

Carboidratos são compostos formados por carbono, oxigênio e hidrogênio, em uma fórmula química contendo dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio para cada átomo de carbono. Eles estão na origem da vida na terra, sendo um dos produtos da fotossíntese. A interação da luz solar com água e gás carbônico resulta em carboidrato e oxigênio, de acordo com a seguinte reação:



Um tipo de carboidrato, o amido é uma importante fonte de energia para plantas e animais. Processa carboidratos é a forma fácil de nosso organismo obter energia.

1.6a4 Lipídios

Família de substâncias orgânicas que se dissolvem pouco ou nada em água, mas que o fazem bem em solventes como o benzeno ou o clorofórmio. Em temperatura ambiente, os lipídios sólidos costumam ser denominados *gorduras*, enquanto os líquidos são denominados *óleos*. A maioria dos lipídios, embora não todos, é formada por ácidos graxos, moléculas que contêm entre 14 e 22 átomos de carbono. Os ácidos graxos essenciais são aqueles que o organismo não pode produzir, e devem, portanto, ser fornecidos pela dieta, como, por exemplo, o ácido linoleico (GOLOMBECK; SCHWARZBAUM, 2009).

Os lipídios funcionam como reserva de energia, para ser usada quando a energia dos carboidratos não estiver disponível. Nos animais, os lipídios formam uma camada de gordura que funciona como isolante térmico, indispensável em regiões de clima frio.

1.6b A composição química dos alimentos e o pH

O que foi escrito acima tem muito a ver com os alimentos. Embora todos os elementos bioquímicos descritos façam parte dos alimentos, em menor ou maior grau, há que se destacar os carboidratos, as proteínas e os lipídios. Portanto, a ciência dos alimentos obedece aos princípios da físico-química, química orgânica, química analítica e bioquímica.

Todos esses componentes são mediados por diversas enzimas, e suas reações bioquímicas são dependentes das condições ambientais, temperatura, pressão e pH, entre outras.

O pH é a medida de acidez ou de alcalinidade de uma solução, com escala entre 1 (maior acidez) e 14 (maior alcalinidade). Uma solução com pH=7 é considerada neutra. Um exemplo de alta alcalinidade é o bicarbonato dos gargarejos. Já o vinagre e os

sucos cítricos pertencem à categoria das soluções ácidas. Na literatura da área, o meio alcalino também é conhecido como básico.

Um experimento interessante, abordado durante a nossa intervenção didática, é mostrar que o aumento do pH baixa a temperatura de desnaturação das proteínas. Isso foi feito misturando água e vinagre na preparação de um ovo pochê.

Na linguagem científica, o pH é a grandeza denominada *potencial hidrogeniônico*.

1.6c Solute e solvente em soluções

Na abordagem científica dos alimentos, o conceito de solução desempenha papel preponderante. Quase todos os alimentos são cozidos em ambientes com diferentes tipos de solução, geralmente a mistura de água com algum outro tipo de matéria.

Não cabe nesta dissertação um tratamento extensivo deste tópico. O abordaremos naqueles aspectos diretamente relacionados com os experimentos realizados em sala de aula. Por exemplo, não discutiremos aqui o que seja uma solução eletrolítica, por não fazer parte do universo culinário.

Em primeiro lugar deve-se ter em mente que em qualquer solução há um *solute* e um *solvente*. O primeiro é a substância dissolvida, e o segundo é a substância que o dissolve. Na solução água e sal, a água (considerada o solvente universal) é o solvente e sal é o soluto. Uma propriedade interessante, observado nos experimentos realizados durante a intervenção didática, é que aumentando-se a quantidade do soluto, aumenta-se a temperatura de ebulição da solução.

Esse tipo de comportamento das soluções encontra-se no rol das propriedades coligativas, que estão relacionadas às alterações das constantes físico-químicas de um solvente puro em função da adição de um soluto não volátil. Dependendo dos tipos e das quantidades de soluto e solvente, é possível alterar a temperatura de ebulição, a temperatura de congelamento, a pressão osmótica, a pressão de vapor, entre outras propriedades.

2 Bioquímica e termodinâmica no cozimento de um ovo

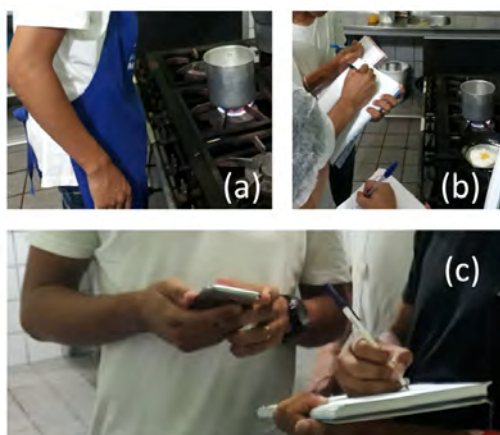
O conteúdo desta seção será apresentado a partir dos experimentos realizados pelos alunos, cujos detalhes são apresentados no Cronograma de Atividades (seção 4).

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

Após uma breve discussão sobre dilatação térmica do ar, tema que já havíamos 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.

Na Figura 6 são apresentados alguns momentos referentes aos experimentos com ovo cozido. Como já mencionado, o professor orientou a turma para proceder como em um laboratório de pesquisa científica.

Figura 6 - Alunos observam e fazem apontamentos sobre o cozimento de um ovo (a); A equipe faz apontamentos durante o experimento (b); A equipe anota os tempos durante os experimentos (c).



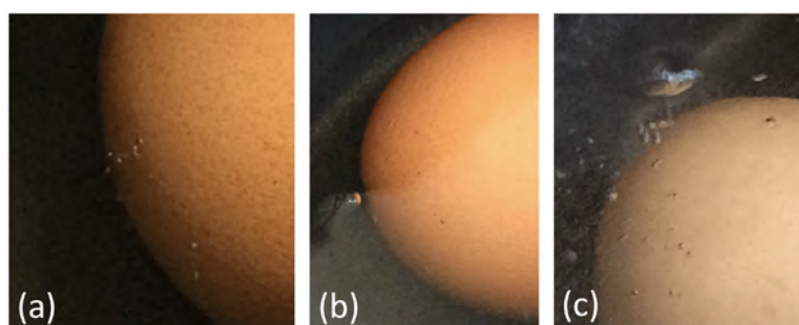
Em nenhum dos experimentos realizados pelos alunos, observou-se a rachadura das cascas dos ovos. Os alunos logo concluíram que isso tem a ver com a consistência das cascas dos ovos utilizados e com o fato de que em todos os experimentos o ovo foi colocado em água fria e não em água fervente. Todavia, mesmo quando colocado em água em ebulição, a ocorrência de rachadura tem a ver com a temperatura do ovo e com a sua consistência. Por causa disso, o único aspecto analisado pelos alunos nessa parte inicial dos experimentos foi a liberação de gases através da casca do ovo, como ilustrado na Figura 7. A Figura 7a registra o momento inicial da observação de bolhas sendo liberadas em uma parte lateral do ovo. As Figuras. 7b e 7c registram bolhas em um ovo que teve sua extremidade mais larga furada com uma agulha. Os alunos observaram que o número de bolhas é maior nessa extremidade do que em qualquer parte, como era de se esperar.

A ideia do experimento com sal na água era mostrar que esse procedimento impedia a saída da clara, caso a casca do ovo rachasse. Como os ovos utilizados eram sufi-

cientemente resistentes, esse objetivo ficou prejudicado. No entanto, o experimento resultou em uma observação que não havia sido prevista durante a elaboração da UEPS. Foi uma contribuição unicamente dos alunos. As anotações de todos os grupos mostraram que ao colocar sal na água, demorou mais a aparecerem as bolhas.

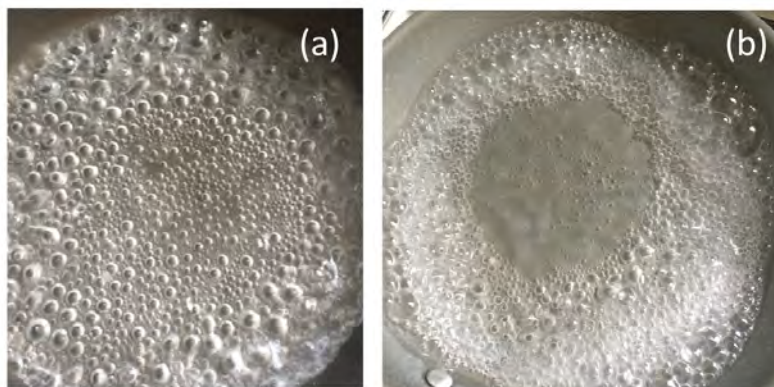
Um dos grupos afirmou que “O sal interfere no tempo de cozimento do ovo.” Eles não tinham elementos experimentais para fazer essa afirmação, que foi apresentada por uma aluna, cozinheira profissional. Ela sabia empiricamente que o sal eleva o ponto de ebulição da água. A discussão em sala sobre essa questão foi muito enriquecedora.

Figura 7: Expansão do ar no interior do ovo: (a) Observação das primeiras bolhas em um ponto na lateral do ovo; (b) Primeiras bolhas em um ovo com um furo na sua extremidade mais larga; (c) Aumento do número de bolhas saindo pelo furo, com o aumento da temperatura da água.



Aproveitamos a oportunidade dessa descoberta dos alunos para fazer um experimento objetivando demonstrar o efeito do sal no ponto de ebulição de água. Foi um reforço de autoestima visível no semblante dos alunos. A Figura 8a é água pura em ebulição, enquanto a Figura 8b é uma mistura de água e sal. Tivemos o cuidado de colocar o sal no centro da frigideira e imediatamente acendemos o fogo, para que o sal não espalhasse muito na água. Fica evidente na Figura 8b, que a parte lateral da água encontra-se em ebulição, enquanto a parte central, mais concentrada em sal, ainda está começando a borbulhar.

Figura 8: Água borbulhando: (a) água pura; (b) água com sal.



2.2 Bioquímica e termodinâmica do ovo cozido

Os procedimentos experimentais realizados pelos alunos para a investigação desse tema envolveram a combinação de três variáveis: (a) temperatura inicial da água; (b) tempo de cozimento; (c) tempo de resfriamento do ovo cozido.

São, portanto, 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, ou seja; (a) temperatura de água gelada; (b) temperatura de água corrente; (c) temperatura de água em ebulição.

Da mesma forma, resfriamento rápido ou lento é determinado pelo estado físico do ambiente no qual o ovo cozido é imerso: (a) resfriamento rápido se dá quando a água é gelada; (b) resfriamento menos rápido se a água é corrente; (c) resfriamento lento se o ovo resfria ao ar.

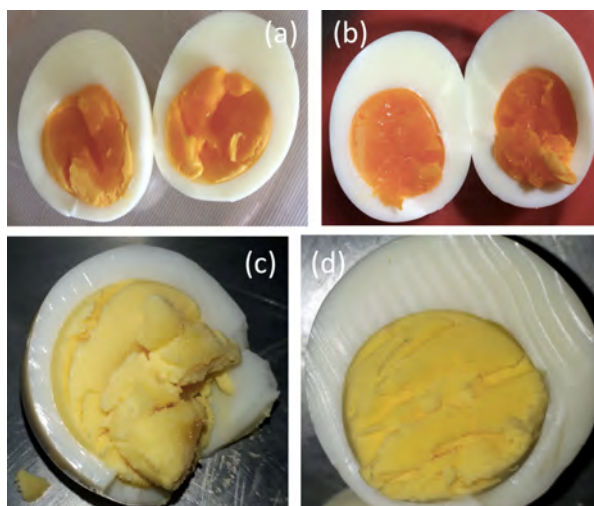
O importante em uma intervenção didática é que o experimento propicie a apropriação conceitual pertinente, e que isso resulte em aprendizagem significativa.

As proteínas do ovo se desnaturam em temperaturas entre 61°C e 82°C. Portanto, 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. Para examinar essa questão foi realizado o seguinte procedimento experimental (aula 9 no cronograma de atividades): 1) Cozimento durante 10 minutos, após a água entrar em ebulição, com resfriamento rápido; 2) Repetir o procedimento (1), com 15 minutos; 3) Repetir o procedimen-

to (1), com cozimento durante 15 minutos com baixa temperatura, ou seja, temperatura inferior à temperatura de desnaturização das proteínas da gema. Uma aproximação dessa temperatura pode ser alcançada colocando água fria sempre que a água do cozimento começar a borbulhar.

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 desnaturizarem completamente. Os alunos equivocaram-se ao realizar o procedimento 3 (experimento A9c no cronograma de atividades). Colocaram o ovo em água fria e contaram o tempo depois que a água estava borbulhando.

Figura 9: (a) Ovo cozido em água borbulhando, durante 10 minutos, com resfriamento em água corrente. (b) Ovo cozido durante 15 minutos em temperatura abaixo de 80° C, com resfriamento em água corrente. (c) Resultado obtido pelo Grupo 1, no experimento A9c. (d) Resultado obtido pelo Grupo 2 nesse mesmo experimento.



O procedimento 3, forneceu o resultado exibido na Figura 9b. É interessante comparar a Figura 9b com a Figura 10. Em ambas o cozimento durou 15 minutos, com resfriamento em água corrente, mas o resultado da Figura 10 foi obtido com água em ebulição, enquanto o da Figura 9b foi obtido com água a temperatura abaixo de 80° C. A cor amarela clara associada às proteínas desnaturadas dominam a gema na Figura 10, ao passo que na Figura 9b apenas traços dessa cor são observados. Também é interessante observar que o ovo cozido em água borbulhando, durante 10 minutos (Figura 9a) tem mais proteínas desnaturadas do que o cozimento em baixa temperatura, mesmo que este tenha sido em tempo maior.

Os resultados obtidos pelos grupos 1 e 2 no experimento A9c são apresentados nas Figuras 9c e 9d. Claramente eles não seguiram corretamente as instruções. *Começar*

a *borbulhar*, significa quando as primeiras bolhas aparecem na água, que corresponde a temperatura de aproximadamente 70° C. Os alunos interpretaram que deveriam colocar água fria quando a água entrasse em ebulição.

Figura 10: Ovo cozido a partir de água fria, durante 15 minutos.

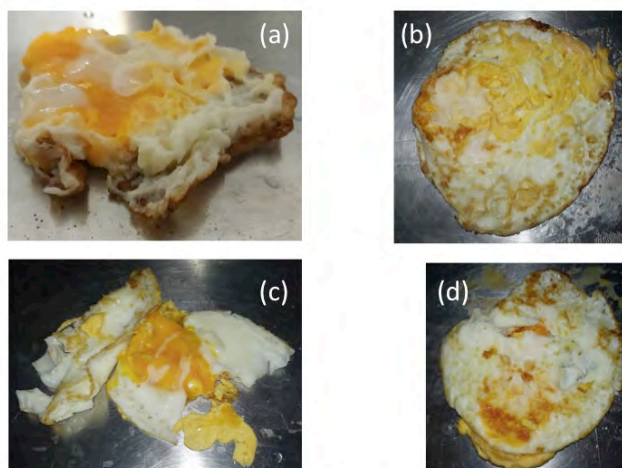


Em suma, a Fig. 9 mostra a importância da temperatura na desnaturação das proteínas. Ou seja, em temperatura de aproximadamente 70° C, as proteínas da gema não se desnaturam completamente nem com longo cozimento (15 minutos).

2.3 Bioquímica e termodinâmica do ovo frito

De modo similar ao caso do ovo cozido, na aula 11 os alunos fritaram ovos de acordo com procedimentos definidos por cada grupo (cronograma de atividades). Considerando o que muitos cozinheiros classificam como ovos fritos *perfeitos*, nenhum grupo obteve bons resultados, como demonstram as imagens apresentadas na Figura 11. 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 minutos. Apenas um grupo ultrapassou esse tempo. Neste caso, depois de 1,5 minutos eles furaram a gema e deixaram o ovo fritando por mais 2,5 minutos. Justificaram o furo para obter uma gema dura. O resultado é apresentado na Fig. 11b. A gema abriu e misturou-se com a clara. Veremos nos procedimentos experimentais mais adiante como obter gema intacta, com diferentes texturas.

Figura 11: Ovos fritos com procedimentos definidos pelos grupos: (a) Grupo 1; (b) Grupo 2; (c) Grupo 3; (d) Grupo 4.



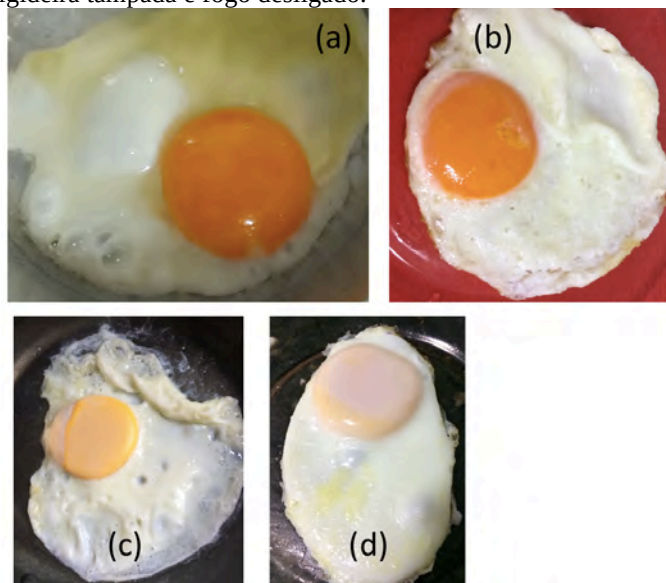
Vejamos alguns resultados obtidos com procedimentos definidos na UEPS (aulas 12 e 13). Foram realizados seis experimentos. Os três primeiros tiveram como objetivo discutir a questão da *clara queimada*. Esse fenômeno é consequência da evaporação da água presente na clara. Isso implica em uma reação química do açúcar (sempre presente nos organismos biológicos) com as proteínas. Esse é o processo de caramelização da clara.

Nesses experimentos, três parâmetros são muito importantes: temperatura; tempo; ambiente de cozimento. Diferentes valores e condições desses parâmetros definem a textura do ovo frito, mas são as condições ambientais, 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 experimentos da aula 12 serviram para mostrar 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 minutos, ou ao final de 4 minutos, sendo que neste caso, o fogo é mantido durante 2 minutos com a frigideira destampada, e o ovo permanece mais 2 minutos 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. A Fig. 12 ilustra alguns resultados obtidos.

Figura 12: Ovos fritos com procedimentos experimentais: (a) na manteiga com um pouco de água; (b) azeite de oliva com um pouco de água (120 s), seguido de 120 s com fogo desligado e frigideira tampada;

(c) azeite de oliva com um pouco de água e frigideira tampada (90 s) seguido de 120 s com frigideira tampada e fogo desligado; (d) manteiga e azeite com um pouco de água e frigideira tampada (60 s), seguido de 90 s com frigideira tampada e fogo desligado.



As Figuras 12a e 12b têm aspectos visuais similares e bem diferentes daqueles exibidos nas Figuras 12c e 12d. A diferença básica entre esses experimentos, é que os dois primeiros foram realizados com ovos fritos em frigideira descoberta, e os dois últimos foram realizados com frigideira coberta, portanto em condições de maior vapor sobre os ovos. A camada branca sobre a gema nesses casos, resulta da desnaturação das proteínas da clara. Isso não acontece quando a frigideira está descoberta porque o contato com ar não permite que a temperatura superficial atinja o valor mínimo para a desnaturação das proteínas da clara, isto é, 60°C .

Figura 13: Ovo pochê cozido em vinagre, água e sal, com frigideira tampada e inclinada, durante 60 s, seguido de 120 s de descanso.



Fizemos um ovo pochê com a frigideira levemente inclinada para testar a hipótese de que essa camada branca vinha da desnaturação das proteínas da clara. O resultado

é apresentado na Fig. 13. A inclinação da frigideira fez com que uma parte da gema ficasse mais submersa do que a outra. Portanto essa parte mais exposta ao ar tinha menor quantidade de proteínas da clara, implicando em uma camada branca quase invisível.

A questão do sabor é um assunto antigo e complexo, vem lá da Grécia de Aristóteles, mas nunca deixou de ocupar os *chefs* e cientistas modernos (FISHER, 2004, p.122-141; THIS, 1996, p.16-30). Embora interessante e pertinente, não podemos abordar esse assunto, em toda 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 a 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 (FISHER, 2004, p.132-141).

2.4 Bioquímica e termodinâmica do ovo pochê

Durante o período de elaboração da UEPS, enfrentamos dificuldade para a definição da ordem em que os experimentos seriam realizados. Decidimos pela ordem *ovo cozido-ovo frito-ovo pochê*, pela popularidade dos dois primeiros. O ovo cozido possibilitava a discussão da expansão do ar em seu interior, uma questão muito importante no contexto da termodinâmica, e o ovo frito possibilitava a visualização de processos bioquímicos

durante o cozimento. Antes dos alunos realizarem os experimentos em sala de aula, realizamos os mesmos experimentos em casa, para testar alternativas e para ter elementos de comparação. Quando realizamos em casa experimentos com o ovo pochê, voltamos ao dilema inicial sobre a melhor ordem dos experimentos em sala de aula. Ao final do ano letivo, ficamos com a sensação que teria sido melhor iniciar a UEPS com o ovo pochê, uma vez que ele permite o controle experimental de mais parâmetros que os outros, como veremos a seguir.

Infelizmente, pior do que a suposta má escolha da ordem dos experimentos, foi o fato de que eventos desagradáveis ocorridos na Escola⁸ levaram a uma drástica redução da frequência dos alunos nos últimos dias do ano letivo, de modo que os experimentos não puderam ser realizados como o planejado na UEPS. Todavia, pela relevância pedagógica que atribuímos a esses experimentos achamos importante apresentar aqui os resultados obtidos em nossos experimentos preparatórios.

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 seria necessário ter algum equipamento para medir a temperatura, por exemplo, um termômetro. Mas, não tendo esse equipamento, o quê fazer? Do ponto de vista pedagógico, basta usar os conhecimentos da literatura científica. 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. Portanto, pode-se utilizar o artifício de colocar água fria sempre que aparecessem as primeiras bolhas na água fervente, para ficar com uma temperatura de aproximadamente 70° C.

No caso do ovo pochê com frigideira tampada (Fig. 14), 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

⁸ Não vem ao caso o detalhamento de tais eventos.

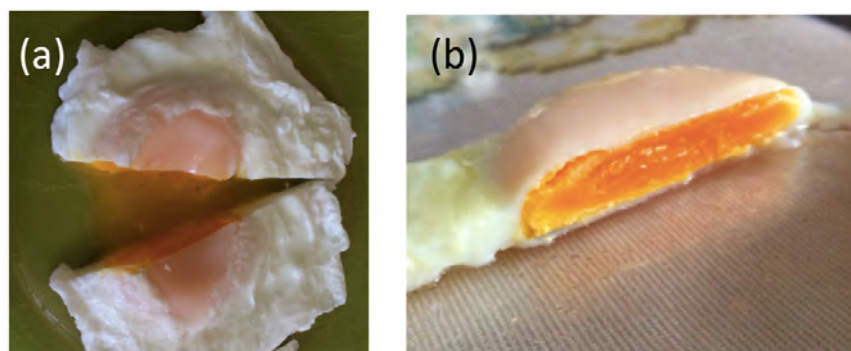
pressão que o vapor faz na tampa. Se a tampa for suficientemente leve, o efeito é visível. Se houver uma fresta entre a tampa e a frigideira isso é visível pelo vapor que escapa. Se não houver nem uma, nem outra condição (Fig. 14a), o cozinheiro terá que determinar por tentativa e erro o momento em que o vapor contém proteínas desnaturadas. Nos nossos experimentos usamos como tampa uma frigideira menor (Fig. 14b) porque permite a visualização do estado físico-químico desejado (Fig. 14c).

Figura 14: Ovo pochê em frigideira tampada. (a) Omeleteira; (b) Condição do vapor para definir o momento de desligamento do fogo; (c) Aparência visual do vapor no interior da frigideira.



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, a textura apresentada na Fig. 15a foi obtida com resfriamento de 60 segundos, enquanto a da Fig. 15b foi obtida com 180 segundos de resfriamento.

Figura 15: (a) Ovo em água com vinagre e sal, com frigideira tampada, resfriamento durante 60 segundos. (b) idem, resfriamento de 180 segundos. As quantidades de sal e vinagre são aquelas usualmente utilizadas para consumo.



Portanto, esses experimentos com o cozimento de ovos possibilitam a discussão do que significa procedimento científico. Ou seja, em um procedimento dito 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.

3 Guia do Professor

Até aqui apresentamos aspectos conceituais de bioquímica e termodinâmica pertinentes ao tema da UEPS. Na seção seguinte apresentaremos o cronograma de atividades definido para a UEPS. Pelo que foi exposto na seção 2.4, achamos conveniente iniciar a UEPS com o ovo pochê, e não com o ovo frito.

Conforme veremos a seguir, a intervenção didática aqui proposta tem elementos ausubelianos (AUSUBEL, 1960; MOREIRA, 1979), freirianos (FREIRE, 1970; JÓFILI, 2002) e vygotskianos (JÓFILI, 2002; VYGOTSKY, 1991), os quais serão aqui apresentados como sugestão de utilização da UEPS.

3.1 Subsunçores

É interessante fazer uma averiguação, por meio de situações-problema, do conhecimento prévio dos alunos em relação ao tema, ou seja, uma espécie de mapa cognitivo da turma ou da determinação do universo de subsunçores da turma. Nesse teste de averiguação, o aluno terá a liberdade para expressar seus conhecimentos cognitivos e suas representações. Todavia, já iniciando com uma ideia vygotskiana, talvez seja interessante fazer isso em grupos. Por exemplo, a turma pode ser dividida em grupos, tendo cada grupo um líder eleito pelos pares. Esse líder será o responsável em falar pela equipe, relatando oralmente o que o grupo pensa a respeito de algumas questões. No nosso caso, levantamos as seguintes questões:

- a) O que você entende por um ovo perfeito?
- b) O que vocês sabem a respeito do ovo?
- c) Como você faz um ovo cozido? Quanto tempo leva? Por que às vezes a casca do ovo racha?
- d) Há quanto tempo você cozinha ovos? Sempre faz do mesmo modo? Já pensou em fazer de uma forma diferente?

e) O que você entende por proteínas e enzimas?

f) Qual seria a função do calor no cozimento do ovo? Depois do cozimento do ovo, é possível reverter o processo?

Essa atividade de averiguação do universo conceitual da turma, pode necessitar de três a quatro aulas, e deverá ser realizada sob a mediação do professor com a intenção de ouvir e estimular os alunos a se manifestarem sobre o assunto. Se possível, para melhor registro e avaliação da intervenção didática, as aulas deverão ser gravadas ou filmadas.

3.2 Diferenciação progressiva

À medida em que os experimentos apresentados no cronograma de atividades são realizados, o professor estimula os grupos a apresentarem suas hipóteses a respeito dos fenômenos observados, tendo como base os conceitos pertinentes que eles conhecem. Sempre que necessário o professor contribui com esclarecimentos conceituais.

3.3 Reconciliação integradora

Ao final das atividades experimentais, o professor coordena um processo que Ausubel denomina de *Reconciliação Integradora* (MOREIRA, M A, 1979). Essa etapa, conduzida em aproximadamente três aulas, tem por finalidade rever as situações-problemas apresentadas e discutidas nas primeiras aulas. É interessante que cada equipe escreva a respeito dos conceitos envolvidos. O professor deve receber esses relatos para comparar qualitativamente aspectos positivos e negativos de apropriação conceitual durante as fases anteriores. A análise do professor será discutida com a turma, em uma aula tipicamente dialógica, como preconiza Paulo Freire (FREIRE, 1970).

3.4 Universo vivencial / laboral

A ideia de usar procedimentos rotineiros na cozinha como atividades experimentais conecta-se epistemologicamente ao método de alfabetização de Paulo Freire. Em sua apresentação do livro *Pedagogia do Oprimido*, de Paulo Freire, diz o professor Ernani Maria Fiori (FREIRE, 1970):

Um mínimo de palavras, com a máxima polivalência fonêmica, é o ponto de partida para a

conquista do universo vocabular. Essas palavras, oriundas do próprio universo vocabular do alfabetizando, uma vez transfiguradas pela crítica, a ele retornam em ação transformadora do mundo.

Então, se trocarmos *universo vocabular* por *universo laboral* dos aprendizes, podemos imaginar que realizar *experimentos científicos* com práticas de seu cotidiano tem um significado especial para o aprendiz. Ou seja, o universo laboral ou conjunto de práticas dos aprendizes, é equivalente ao universo vocabular definido por Paulo Freire.

3.5 Sociabilidade

As atividades em grupo, a existência de um líder escolhido pelos pares, em função de sua capacidade de articulação e de sua prática, podem ser identificados como elementos vygotskianos, como bem destaca Jófili (2002):

Desenvolvendo sua teoria, Vygotsky demonstra a efetividade da interação social no desenvolvimento de altas funções mentais tais como: memória voluntária, atenção seletiva e pensamento lógico. Sugere, também, que a escola atue na estimulação da zona de desenvolvimento proximal, pondo em movimento processos de desenvolvimento interno que seriam desencadeados pela interação da criança com outras pessoas de seu meio. Uma vez internalizados, esses atos se incorporariam ao processo de desenvolvimento da criança.

Conforme Moreira e Massoni(2015), para Vygotsky:

os processos ou funções mentais superiores (pensamento, linguagem, comportamento volitivo) têm origem em processos ou funções sociais; o desenvolvimento cognitivo é a conversão de relações sociais em funções mentais; é por meio da socialização que se dá o desenvolvimento dos processos mentais superiores.

4 Cronograma de atividades

Aula / Atividade / Situação-problema	Procedimentos experimentais
Aulas 1-4: Relatos de experiências pessoais sobre o tema da disciplina.	
Aula 5: Por que a casca do ovo pode rachar durante o cozimento?	1) Colocar um ovo na água pura e fria, ligar o fogo e marcar 15 minutos. Observar atentamente as primeiras bolhas saindo de diferentes partes do ovo, antes da água começar a ferver. 2) Colocar um ovo em água com sal e fria, de preferência ovo da mesma origem do anterior e na mesma panela anterior, ou em panela com volume similar. Proceder como em (1). 3) Colocar um ovo em água pura e fria, com um pequeno furo na extremidade mais larga. Proceder como em (1).
Aula 6: Discussão dos resultados obtidos na Aula 5.	Nessa aula os grupos apresentaram aos colegas as conclusões exibidas acima.
Aula 7: Ovo cozido (Procedimentos usuais).	Cada grupo cozinha um ovo seguindo um procedimento definido pelos seus componentes.
Aula 8: Ovo cozido (Procedimentos experimentais).	1) Cozimento durante 15 minutos, a partir da água fria, com resfriamento rápido, ou seja, colocar o ovo em água corrente. 2) Repetir o procedimento anterior, mas usar água gelada para o resfriamento rápido. 3) Cozimento durante 15 minutos, a partir da água fria, com resfriamento lento durante 10 minutos, 15 minutos e 30 minutos.
Aula 9: Ovo cozido (Outros procedimentos experimentais).	1) Cozimento durante 10 minutos, após a água entrar em ebulição, com resfriamento rápido. 2) Repetir o procedimento (1), com 15 minutos. 3) Cozimento durante 15 minutos com baixa temperatura, ou seja, temperatura inferior à temperatura de naturalização das proteínas da gema. Uma aproximação dessa temperatura pode ser alcançada colocando água fria sempre que a água do cozimento começar a borbulhar.
Aula 10: Bioquímica e termodinâmica do ovo cozido.	Discussão em sala de aula sobre os experimentos realizados nas aulas 7 a 9, enfatizando os conceitos envolvidos e a metodologia científica dos procedimentos.
Aula 11: Ovo frito (Procedimentos usuais).	Cada grupo fritar um ovo seguindo um procedimento definido pelos seus componentes.
Aula 12: Ovo frito (Procedimentos experimentais).	1) Se em nenhum dos procedimentos usuais (aula 11) a clara ficou com a borda marrom, fritar o ovo em óleo fervente até que a borda comece a ficar marrom. 2) Fritar o ovo em óleo fervente. Imediatamente após colocar o ovo no óleo, colocar duas colheres de água na frigideira; marcar 3 minutos e retirar o ovo. 3) Repetir o procedimento anterior, mas ao final de 2 minutos desligar o fogo e tampar a frigideira. Deixar assim por mais 2 minutos.
Aula 13: Ovo frito (Procedimentos experimentais com frigideira tampada).	1): Colocar o ovo numa mistura de 1 colher de sopa de óleo e duas colheres de sopa de água. Acender o fogo. Quando

aparecerem as primeiras bolhas, tampar a frigideira e contar 1 minuto. Desligar o fogo e deixar a frigideira tampada por 1 minuto.

2): Repetir o procedimento anterior, mas deixar a frigideira tampada por 3 minutos após desligar o fogo.

3): Repetir o procedimento anterior, mas deixar a frigideira tampada por 5 minutos após desligar o fogo.

4): Ovo frito “perfeito”, em 1 colher de sopa de azeite de oliva, durante 2 minutos. Adicionar 2 colheres de sopa de água para evitar o dourado da borda da clara. Depois de desligado o fogo, a frigideira é tampada durante 2 minutos para homogeneizar a temperatura e aquecer a superfície superior da gema.

Aula 14: Teste surpresa.

Relato do que já haviam aprendido sobre o ovo.

Aula 15 e 16: Ovo pochê (procedimentos experimentais).

1) Colocar o ovo em água pura em ebulição na frigideira ou panela e tampá-la. Marcar 1 minuto e desligar o fogo. Deixar resfriando durante 2 minutos. Fotografar o ovo inteiro. Depois, cortá-lo no meio da gema e fotografá-la na transversal. Examinar bem a textura da clara e da gema.

2) Repetir o procedimento anterior, colocando um pouco de vinagre na água.

3) Repetir o procedimento (1), com a frigideira levemente inclinada. Observar se há alguma diferença no resultado obtido. Discutir a razão da diferença.

4) Se os experimentos (1) resultarem em gemas muito moles, determinar o melhor tempo de cozimento em função do vapor de água com clara desnaturadas, e variar o tempo de resfriamento.

Referências

- AUSUBEL, D. P. The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. *Journal of Educational Psychology*, 1960.
- BIANCO, A. A. G. Olhando a tabela periódica como um químico orgânico. *Energia e Matéria: da fundamentação conceitual às aplicações tecnológicas*. São Paulo: Livraria da Física, 2015. p. 139–154.
- DOS SANTOS, C. A.; BOTTON, J. P. Fontes de energia e tecnologias de transformação. In: DOS SANTOS, C. A. (Org.). *Energia e Matéria: da fundamentação conceitual às aplicações tecnológicas*. São Paulo: Livraria da Física, 2015. p. 269.
- FELTRE, R. *Química: Físico-Química*, vol.2. São Paulo: Moderna, 2004.
- FISHER, L. *A ciência no cotidiano*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor Ltda, 2004.
- FREIRE, P. *Pedagogia do Oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1970.
- GOLOMBECK, D.; SCHWARZBAUM, P. *O cozinheiro cientista: Quando a ciência se mete na cozinha*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2009.
- JÓFILI, Z. Piaget, Vygotsky, Freire e a construção do conhecimento na escola. *Educação: Teorias e Práticas*, v. 2, n. 2, p. 191–208, 2002.
- MCGEE, H.; MCINERNEY, J.; HARRUS, A. The virtual cook: modeling heat transfer in the kitchen. *Physics Today*, v. 52, n. 11, p. 30–36, 1999.
- MOREIRA, M. A. A Teoria de Aprendizagem de David Ausubel como Sistema de Referência para a Organização de Conteúdo de Física*. *Revista Brasileira de Física*. [S.l: s.n.], 1979.
- MOREIRA, M. A. UNIDADES DE ENSEÑANZA POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS-UEPS (Potentially Meaningful Teaching Units-PMTU). *Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review*. [S.l: s.n.], 2011. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br>>.
- PAULINO, W. R. *Biologia série novo ensino médio*. São Paulo: Ática, 2000.
- PIFER, A.; AURANI, K. M. A teoria analítica do calor de Joseph Fourier: uma análise das bases conceituais e epistemológicas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 1, p. 1603, 2015.
- RESNICK, R.; HALLIDAY, D. *Física. Volume 1*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984.
- THIS, H. *Um cientista na cozinha*. São Paulo: Editora Ática, 1996.

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*. São Paulo: Livraria Martins Fontes, 1991.

Apêndice B – Íntegra dos textos dos alunos

Na fase de reconciliação integradora os alunos devem retomar as questões apresentadas no início da intervenção didática e reelaborar respostas a partir dos experimentos realizados.

a) O que você entende por um ovo perfeito?

Grupo 1:

Vai depender do paladar de cada pessoa. Podemos dizer que para se fazer um ovo perfeito deve-se seguir as seguintes restrições: manter a temperatura (de preferência fogo médio) e não esquecer de fazer a limpeza da panela ou frigideira, verificar a validade do ovo, o tipo de ovo. Tudo isso, deve-se levar em consideração.

Grupo 2:

Para se ter um ovo perfeito, é muito importante o tipo de preparo, a gema e a clara deve ter a mesma consistência cremosa, quase de geleia. Ou seja, elas não devem estar totalmente cozidas, mas coaguladas de forma idêntica.

Grupo 3:

Fazer um ovo perfeito não é uma tarefa fácil. Deve – se controlar a temperatura da água. Ou seja, a temperatura da água não pode oscilar. Os ovos não podem estar guardado na geladeira. O ideal é manter a temperatura ambiente. Requer paciência. O mais importante é controlar o fogo o tempo inteiro.

Grupo 4:

Dizer o que é um ovo perfeito ou fazer um ovo perfeito é complicado. Depende muito de quem faz ou de quem come. 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).

b) O que vocês sabem a respeito do ovo?

Grupo 1:

O tamanho do ovo importa. Quanto maior for o ovo, mais nutrientes ele terá. Quanto mais fresco for o ovo, maior será também a quantidade de nutrientes. Possui muita vitamina D e muitas proteínas.

Grupo 2:

O ovo, assim como as carnes, possui boa quantidade de proteína e uma proteína de alto valor biológico, ou seja, uma proteína completa, de qualidade, pois contém todos os aminoácidos essenciais. Além disso, possui diversas vitaminas e minerais importantes para a saúde e que pode ajudar quem quer aumentar a massa muscular.

Grupo 3:

Ele tem uma grande quantidade de proteínas. O ovo pode ser a principal fonte de proteína no almoço ou jantar. Ele não é só um complemento alimentar numa refeição. Com o ovo podemos fazer uma série de outras refeições.

Grupo 4:

O ovo é rico em proteínas e pode substituir a carne vermelha. O ovo fornece ao nosso corpo todos os aminoácidos necessários para o pleno funcionamento do corpo. Já a gema reúne as gorduras do ovo.

c) Por que às vezes a casca do ovo racha?

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 por que terá espaço para a gema e para a clara.

Grupo 4:

Ele racha se for armazenado na geladeira e se for colocado imediatamente na água quente. Pois o ovo não foi desenvolvido para ser cozido. Porém, se armazenado de maneira correta, ele não racha não quebra. Ainda que quebrem alguns, acho que a natureza ainda merece os parabéns!

e) O que você entende por proteínas e enzimas?

Grupo 1:

As enzimas são substâncias do grupo das proteínas e atuam acelerando as reações químicas.

Grupo 2:

As enzimas são organelas que estão dentro das proteínas e que servem para aumentar a velocidade das reações.

Grupo 3:

O nosso organismo é lento e pouco espontâneo. A gente precisa das enzimas para acelerar o nosso metabolismo. Proteína é um conjunto de aminoácidos.

Grupo 4:

Proteína é uma substância com várias funções no organismo e as enzimas aceleram as funções que as proteínas desempenham.

f) Qual seria a função do calor no cozimento do ovo?

Grupo 1:

O calor desfigura as moléculas de proteína. É um processo químico.

Grupo 2:

Vai coagular o ovo com um processo químico irreversível.

Grupo 3:

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

Grupo 4:

Quando aquecemos o ovo, acreditamos que a água e o ar que estão dentro do ovo evaporam. Então, as proteínas do ovo se desnaturam e ovo muda de cor.

Apêndice C – Bioquímica e Termodinâmica na Culinária

C.1 – Introdução

Embora se trate de uma temática com possibilidade de inserção em diferentes cenários didáticos, bem como na cultura geral, o texto que se segue tem motivação em sua possível aplicação na Educação de Jovens e Adultos (EJA). Em termos de cultura geral, podemos citar o movimento conhecido como gastronomia molecular⁹, que teve início em um *workshop* na cidade de Erice (Itália) no *Ettore Majorana Center for Scientific Culture*¹⁰. O primeiro evento foi realizado em 1992 e continuou a ser realizado a cada dois anos, com título *Workshop on Molecular & Physical Gastronomy*. Na edição de 1999¹¹, os organizadores definiram os seguintes objetivos:

The object of this workshop will be to bring together a group of reputable chefs de cuisine and scientists to collectively discuss the science behind the practices carried out in the kitchen. Previous workshops have been held on the role of emulsions and the effects of cooking methods on food quality. The 4th IWMPG «N.Kurti» will discuss food flavour, its importance to food and the creation of taste in the kitchen.

Nesses eventos os participantes (em torno de 40) realizam inúmeros experimentos, alguns bastante sofisticados, como o cozimento em vácuo e o uso de nitrogênio líquido, que podem ser usados em turmas avançadas do ensino médio, ou mesmo em cursos superiores de formação de professores de biologia, física e química.

Os conceitos envolvidos nesses experimentos podem cobrir virtualmente toda o conteúdo de termodinâmica. Por exemplo, dependendo da forma de cozimento, teremos transferência de calor por condução, convecção e irradiação. No forno, o calor é transferido para a superfície do alimento por meio de irradiação direta e por convecção nas correntes de ar. Mas, a partir da superfície de um pedaço de carne, o mecanismo dominante de propagação é o da condução.

Apresentaremos neste apêndice os conceitos básicos de bioquímica e termodinâmica que podem ser tratados em experimentos realizados em uma turma de EJA, considerando apenas a transferência de calor por condução.

⁹ https://en.wikipedia.org/wiki/Molecular_gastronomy.

¹⁰ <http://www.curiouscook.com/site/erice.html>.

¹¹ <http://www.ccsem.infn.it/ccsem99/Gastronomy99.html>.

C.2 – Energia e suas transformações

Qualquer que seja o processo na natureza, obrigatoriamente matéria e energia estarão envolvidos. Portanto, qualquer que seja o nível educacional e a disciplina uma discussão geral sobre energia e matéria serve muito bem para uma contextualização. Essa abordagem contextualizante é similar àquilo que Ausubel denomina organizadores avançados (MOREIRA, 1979), e deve portanto ser apresentada em linguagem de apropriada. Um exemplo de linguagem apropriada é apresentado por Santos e Botton (DOS SANTOS; BOTTON, 2015). Quando não for dito o contrário, o texto que se segue é baseado nesta referência.

De um modo geral, qualquer energia surge com uma forma e termina com outra. A forma inicial é a energia potencial, e a forma final pode ser diferentes tipos de energia, incluindo-se a cinética. É importante desde o início, antes de entrarmos no detalhamento das várias fontes de energia, salientarmos algumas questões a respeito do conceito geral de energia:

4. Da energia potencial até à cinética, a energia se transforma por meio de diferentes processos físico-químicos.
5. Nessas transformações, pode haver algum tipo de perda de energia, mas considerando o universo como um todo, não há perda de energia. Tudo o que há é transformação de energia. Portanto, se há alguma perda localizada, essa *energia perdida* vai para outro lugar.
6. O que se denomina de energia potencial é exclusivamente uma energia de configuração, com potencial para se transformar em energia cinética, uma energia de movimento, capaz de realizar trabalho.

Como registro histórico, cabe destacar que a ideia de energia como capacidade de realizar trabalho foi implicitamente apresentada por Lord Kelvin, em 1852, e explicitada por Rankine em 1855: *O termo ‘energia’ compreende todo estado de uma substância o qual constitui a capacidade de realizar trabalho. Quantidades de energia são medidas pelas quantidades de trabalho realizadas.*

Para concluir esta seção, consideramos importante ratificar o item 3 mencionado acima, transcrevendo este trecho de (DOS SANTOS; BOTTON, 2015):

Sabe-se, hoje, que energia é essencialmente consequência das interações gravitacionais, eletromagnéticas e nucleares, e que no seu estado latente, quando recebe a denominação de energia potencial, ela depende unicamente da configuração da matéria envolvida. Ou seja, da

distribuição de massas no caso gravitacional, de cargas elétricas no caso eletromagnético e de partículas elementares, prótons e nêutrons no caso nuclear. É interessante observar que embora pareça recente, essa associação da energia potencial com a ideia de energia de configuração foi elaborada há mais de 140 anos. Exatamente em 1867, Rankine descreveu a energia potencial como uma energia de configuração e a energia cinética como uma energia de atividade.

C.2a – Energia e matéria

Examinando bem as definições acima, energia de configuração e energia como capacidade de realizar trabalho, obrigatoriamente teremos que conectar energia e matéria. Ou seja, temos energia de configuração de algum tipo de matéria, e temos a capacidade de realizar trabalho que se manifesta no movimento de algum tipo de matéria.

No nível escolar, do ensino médio ao universitário, as mais conhecidas expressões conectando energia e matéria são aquelas da energia potencial gravitacional (equação C.1) e da energia cinética (equação C.2).

$$E_p = mgh; \quad (C.1)$$

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2, \quad (C.2)$$

onde m é a massa do corpo, g a aceleração da gravidade, h é a altura em relação ao solo terrestre, e v é a velocidade do corpo. Com relação à equação (C.1), cabe chamar a atenção para um aspecto muito importante. Essa expressão da energia potencial é válida porque a energia potencial na superfície da Terra foi considerada nula. A energia potencial de qualquer sistema é sempre uma grandeza relativa a uma dada configuração. É sempre possível definir uma origem à qual associamos qualquer valor, incluindo zero. Mais importante do que isso, só podemos calcular variações de energia potencial. Quando expressamos o valor da energia potencial em um ponto, como equação (C.1), é porque arbitramos o valor em algum ponto. No caso, consideramos energia nula na superfície da Terra.

Vejamos com um pouco mais de formalismo, como isso pode ser feito no caso gravitacional unidimensional (RESNICK; HALLIDAY, 1984, Cap. 8). Como já foi dito acima, a energia potencial é uma energia de configuração (massas, cargas elétricas, partículas nucleares). Ela depende da interação entre as partículas do sistema. No caso gravitacional a interação é dada pela lei de Newton. A diferença de potencial entre dois pontos é dada pela expressão

$$\Delta E_p = E_{pb} - E_{pa} = - \int_{xa}^{xb} F(x)dx. \quad (C.3)$$

O sinal negativo resulta do teorema do trabalho-energia, detalhadamente discutido no capítulo 8 do livro de Resnick-Halliday. $F(x)$ é a força gravitacional, mg . Para resolver a equação (C.3), precisamos arbitrar a posição inicial, x_a , e o valor da energia potencial nessa posição. Vamos considerar que a posição inicial é o solo terrestre. Ou seja, $x_a=0$. E vamos também considerar que $E_{pa}=0$. Nosso referencial vai da superfície terrestre para cima. Como a força gravitacional aponta para baixo, $F(x)=-mg$. Portanto,

$$E_{pb} = - \int_0^h (-mg) dx = mgh. \quad (C.4)$$

Outra relação famosa entre energia e matéria é aquela obtida por Einstein em 1905, a partir da sua teoria da relatividade restrita, segundo a qual, se um corpo perde uma pequena quantidade de massa, Δm , uma quantidade de energia, E , será liberada, de tal modo que

$$E = \Delta mc^2, \quad (C.5)$$

onde c é a velocidade da luz no vácuo, 3×10^8 m/s, ou 300 mil quilômetros por segundo.

C.2b – Energia e termodinâmica

O tema de nosso produto educacional é bioquímica e termodinâmica na cozinha. De acordo com Santos e Botton (DOS SANTOS; BOTTON, 2015):

O conceito de energia está fortemente relacionado com três conceitos fundamentais da termodinâmica: calor, temperatura e entropia. Em nosso cotidiano, muitas vezes confundimos temperatura e calor, como se fossem sinônimos. Do ponto de vista científico são dois conceitos bem diferentes, embora fortemente relacionados. No formalismo da termodinâmica eles fazem parte de dois grupos conceitualmente diferentes. Temperatura é uma variável de estado, cujo valor é característico de cada estado físico do sistema, e não depende do processo pelo qual o sistema atingiu aquele estado. Já o calor, que não é variável de estado, tem seu valor dependente do processo.

Talvez seja conveniente aqui detalhar um pouco mais a ideia de variável de estado. Qualquer sistema, social, biológico, físico, químico, entre outros, possui determinados atributos que lhes são próprios. No caso de um sistema termodinâmico, ou de um sistema qualquer visto do ponto de vista da termodinâmica, são vários os atributos, entre os quais destacam-se temperatura, pressão, volume, energia interna, calor, trabalho e entropia. Define-se variável de estado aquelas que dependem unicamente das condições do estado e não da forma como o sistema chegou àquele estado. Nesse sentido, tempera-

tura, pressão, volume, energia interna e entropia são variáveis de estado, e calor e trabalho são variáveis do processo. Ou seja seus valores dependem do processo pelo qual o sistema atingiu um determinado estado.

A partir da apresentação formal da termodinâmica, é possível elaborar uma transposição didático para determinado nível de ensino. Nosso produto educacional é uma tentativa nesse sentido. Vejamos os pontos de onde partimos para elaborar nossa transposição didática.

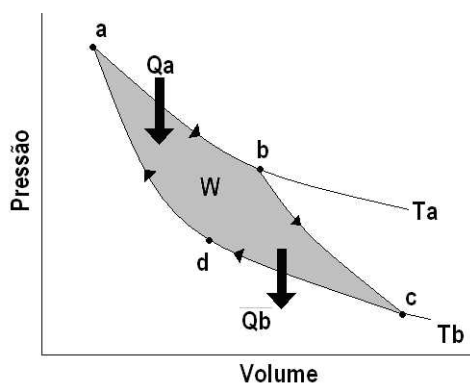
Temperatura, volume e pressão são as mais conhecidas variáveis de estado e costumam ser abordadas nos estudos dos gases ideais, cujo comportamento obedece à equação (C.6):

$$PV = nRT, \quad (C.6)$$

onde n é a massa do gás em moles e R é uma constante universal conhecida como constante dos gases ideais,

$$R = 8,314 \frac{\text{Joule}}{\text{mol K}} = 1,986 \frac{\text{cal}}{\text{mol K}}. \quad (C.7)$$

Figura C.1 – Ciclo de Carnot para um gás ideal. Disponível em <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Imagemgraficonew.jpg>. Acesso em 9/9/2018.



A Figura C.1 representa o ciclo de Carnot para um gás ideal. Sem entrar em detalhe a respeito do ciclo de Carnot, que foge ao objetivo deste capítulo, vamos utilizar esta figura para discutir os conceitos apresentados acima. A figura apresenta quadro estados de equilíbrio termodinâmico: a, b, c, d. Nos estados a e b a temperatura é a mesma, T_a , enquanto nos estados c e d a temperatura é T_b . O que é importante destacar é que não importa o caminho seguido pelo sistema, os valores de P , T e V em cada estado de equilíbrio é sempre o mesmo. Ou seja, os valores em a são os mesmos, quer seja pelo caminho ab ou pelo caminho cda. Isso é assim porque P , T e V são variáveis de

estado. No entanto, as trocas de calor são diferentes. No caminho ab, o sistema recebe calor Q_a , enquanto no caminho cda o sistema libera o calor Q_b . Portanto, calor não é variável de estado.

Por sua complexidade, o conceito de calor merece uma atenção toda especial. Existem muitas concepções alternativas em relação a esse conceito, e a própria comunidade científica se debateu durante longo tempo, até chegar à concepção que hoje consideramos correta. Durante muito tempo se pensou que o calor fosse uma espécie de fluido, denominado calórico. Um corpo a uma temperatura mais alta possuía mais calórico do que outro a uma temperatura mais baixa. O equilíbrio térmico se dava pela transferência de calórico do corpo mais quente para o mais frio, até que as temperaturas se igualassem. Nesse modelo, o calor era uma quantidade física que se conservava.

A teoria do calórico foi superada quando ficou claro que o calor é uma forma de energia, e como tal não se conserva isoladamente. Participa de processos de transformação de energia nos quais o que se conserva é a energia total. Diz-se que calor é energia em trânsito, de um corpo com maior temperatura para outro a baixa temperatura.

À parte os efeitos bioquímicos da temperatura e do calor, que foram discutidos no Capítulo 3, os principais fenômenos termodinâmicos na culinária têm a ver com a condução do calor, que está diretamente associada à equação de Fourier para a condução do calor¹², como veremos na sequência.

C.2c – A equação de Fourier nos processos de cozimento

A famosa lei de Fourier vale para meios isotrópicos e homogêneos. No caso unidimensional, a lei é expressa pela seguinte equação, também conhecida como equação do calor (PIFER; AURANI, 2015):

$$C\rho \frac{dT}{dt} = K \frac{d^2T}{dx^2}, \quad (C.8)$$

onde C é o calor específico, ρ é a densidade e K é a condutividade da substância. Para utilizar esta equação em situações reais, como nos cozimentos de alimentos, ela terá que ser resolvida em três dimensões, e mesmo assim terá que superar as questões de falta de simetria nas peças em cozimento. Em muitos casos, a solução analítica não é possível. Recursos computacionais modernos têm possibilitado várias formas de solução numérica.

¹² Um texto excelente sobre esse tema está disponível em
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Condu%C3%A7%C3%A3o_t%C3%A9rmica>.

Todavia, mesmo simplificada, em uma dimensão, como na equação (C.8), ela pode ser usada para discutir qualitativamente o processo de cozimento, assim como faz Fisher em seu instrutivo livro *A ciência no cotidiano* (FISHER, 2004). Também é possível buscar inspiração no artigo de McGee e colaboradores, publicado na *Physics Today* (MCGEE; MCINERNEY; HARRUS, 1999), para orientar uma transposição didática.

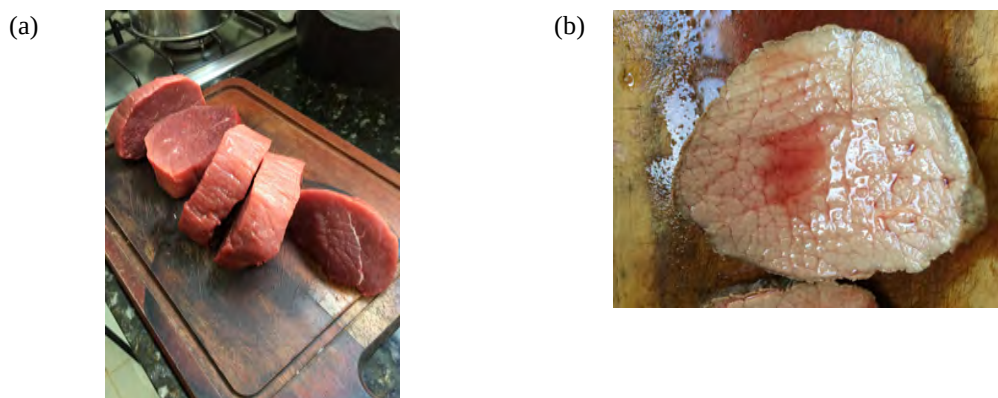
Quando uma peça de carne como essas exibidas na Figura C.2, é colocada no forno, as moléculas superficiais têm suas energias cinéticas aumentadas, proporcionalmente ao valor da temperatura do forno. Por uma espécie de reação em cadeia, parte da energia cinética é transferida para as moléculas mais internas. As diferentes texturas da peça na Figura C.2(b) dão ideia do efeito da difusão do calor durante o tempo que a peça ficou no forno.

A equação de Fourier “mostra que o tempo gasto pela energia calorífica para percorrer uma dada distância por condução é função do quadrado dessa distância. Para percorrer duas vezes a distância, ela leva em média quatro vezes mais tempo”(FISHER, 2004). Essa é a famosa regra dos quadrados que alguns chefes de cozinha aprenderam em um dos encontros de Erice. McGee obteve esse resultado com soluções da equação de Fourier em pedaços de carne com geometria similar a essa exibida na Figura C.2, ou seja discos de 10 cm de diâmetros e 2 cm de espessura.

Portanto, o conhecido hábito dos cozinheiros de deixarem seus assados *descansando* antes de servirem, tem base científica suportada pela equação de Fourier, embora em geral eles não tenham a menor ideia da existência da regra dos quadrados. Em uma pesquisa realizada nos EUA, no início dos anos 1990, a totalidade dos *chefs* consultados respondeu que um filé de peixe com o dobro da espessura de outro levaria menos de duas vezes de tempo para cozinhar.

Do ponto de vista pedagógico, é muito importante discutir essa questão mais detalhadamente, com linguagem apropriada ao público-alvo. Até agora apresentamos os conceitos em um nível que exige algum conhecimento de física. Vamos agora tentar fazer a transposição para uma linguagem do público leigo. E vamos nos referir apenas ao caso da carne, uma vez que a transposição para o caso do ovo é apresentada no Capítulo 3.

Figura C.2 – Exemplos de peças de carne que podem ser utilizadas em testes qualitativos da equação de Fourier.



Pelo que foi dito acima, o cenário geral do processo de cozimento é o seguinte: uma vez que energia térmica atinge a superfície da peça de carne, não importa a forma como isso se deu, se foi por convecção, irradiação ou condução, ela se transmite para o interior da peça por meio da condução do calor. Esse processo é governado pela equação de Fourier, e depende do tempo e da espessura da peça. Depende também do tipo de carne, ou seja, depende do calor específico e da densidade, mas para o que vamos discutir nesse momento isso tem pouca relevância.

O processo pode ser controlado *cientificamente*, por meio de sensores de temperatura colocados em diferentes partes da peça de carne. Mas isso também é pouco relevante. Estamos interessados em discutir situações rotineiras no ambiente culinário. Nesse sentido, é interessante ter em conta a correlação entre fenômenos físico-químicos e aspectos perceptíveis aos sensores humanos, sobretudo o visual, o odor e o sabor. No Capítulo 3 discutimos a questão do odor e do sabor para o caso do cozimento do ovo. Agora vamos concentrarmo-nos no aspecto visual.

As proteínas da carne são excelentes sensores de temperatura, que se manifestam pela cor e pela textura. A Figura C.3 ilustra essa questão com experimentos feitos com os pedaços de carne exibidos na Figura C.2. Os experimentos foram feitos em um forno convencional em temperatura de aproximadamente 200 °C. Todos os pedaços foram ligeiramente aquecidos em frigideira para formar uma fina camada superficial. Esse processo é conhecido no jargão da culinária como *selagem*. Ao sair do forno, cada pedaço foi cortado transversalmente.

Os gradientes de cores e texturas exibidos nas Figuras C.3c e C.3d registram as histórias térmicas dos respectivos pedaços de carne. Aliás, como diz McGee e colabora-

dores (MCGEE; MCINERNEY; HARRUS, 1999), a qualidade do cozimento é função da história térmica da carne, sobretudo a exposição cumulativa acima da temperatura de desnaturação das proteínas e do início da evaporação da água, em torno de 55 °C. Nesse sentido, cabe lembrar o que foi dito acima: o tempo de *descanso* usualmente adotado pelos *chefs*, tem a ver com a definição de uma determinada história térmica da peça submetido ao cozimento.

Figura C.3 – Exemplos de cores e texturas de carne submetida a diferentes cozimentos: (a) – superfície externa após 20 min. no forno; (b) – idem, após 30 min.; (c) – superfície interna após 10 min. no forno; (d) – idem após 30 min. Todos os pedaços foram *selados* antes de ir ao forno. Ver explicação no texto.



(a)



(b)



(c)



(d)

C.3 – Tópicos de bioquímica

A não ser que seja dito o contrário, o texto que se segue foi baseado nos livros de Feltre (FELTRE, 2004) e Paulino (PAULINO, 2000).

C.3a – Compostos orgânicos

A química pode ser dividida em duas grandes áreas: química orgânica e química inorgânica. Depois vêm as subdivisões, principalmente aquelas que tratam de interações entre a química, a biologia e a física, tais como biofísica, físico-química e bioquímica, esta última, um dos objetos do produto educacional que apresentamos nessa dissertação.

Até meados do século 19, a química orgânica era a ciência que tratava os compostos produzidos pelos seres vivos. Daí a denominação orgânica (BIANCO, 2015). Essa concepção evoluiu para o entendimento atual, segundo o qual a química orgânica trata dos compostos de carbono, denominados de compostos orgânicos.

Os meios de comunicação atuais (televisão e veículos de divulgação científica) podem induzir a equívocos a respeito da palavra orgânico, que está muito associada aos *alimentos orgânicos*. Neste caso, cabe chamar a atenção para o fato de que o termo *alimento orgânico*, também conhecido como *alimento biológico* refere-se a alimentos de um modo geral, de origem vegetal ou animal, produzidos sem o uso de produtos sintetizados em laboratório, como agrotóxicos, pesticidas, adubos químicos e outros insumos artificiais ou geneticamente modificados.

O que tratamos aqui como compostos orgânicos inclui todo e qualquer tipo de matéria orgânica, independente de sua origem de produção.

Com exceção da água, a quase totalidade dos compostos formadores dos organismos animais e vegetais são orgânicos. Nosso organismo contém mais de 60% em massa de compostos orgânicos, tais como: álcoois, açúcares, proteínas, lipídeos, vitaminas e enzimas.

C.3a1 – Proteínas

São moléculas grandes (macromoléculas) formadas por aminoácidos fortemente unidos em longas cadeias. Também existem outras forças de união, mais fracas, que permitem às proteínas dobrar-se sobre si mesmas, o que confere à molécula uma estrutura em três dimensões. Por ação do calor ou mudanças de pH, as proteínas podem desnaturizar-se, ou seja, perder as ligações que mantêm sua estrutura tridimensional, e com isso elas se desenrolam. A consequência mais importante desse processo é a perda da solubilidade na água. (GOLOMBECK; SCHWARZBAUM, 2009, p.146).

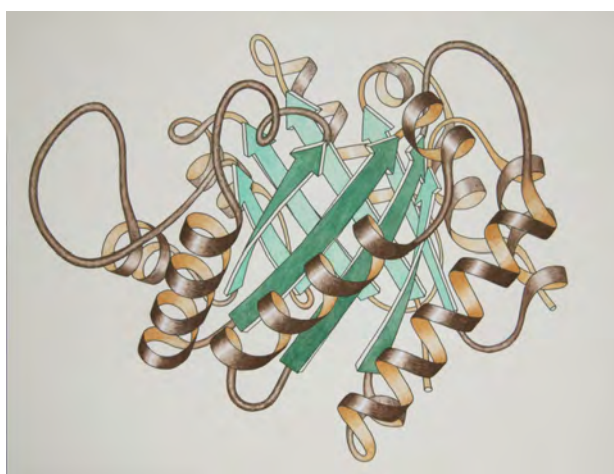
Outra definição interessante é apresentada por This (1996):

[Proteína é uma] cadeia cujos elos são os aminoácidos. Estas moléculas flexíveis se encolhem, nos vegetais e nos organismos animais, segundo conformações específicas. O calor, aumentando os movimentos dos átomos e das diversas partes das moléculas, destrói a conformação natural,

das proteínas. Diz-se então que as proteínas ficaram desnaturadas (p.235).

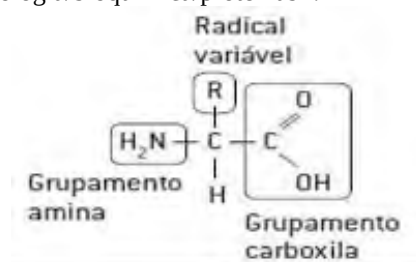
Um tipo muito importante de proteína é a enzima, que acelera processos químicos no organismo. Entre as muitas enzimas existentes, podemos destacar a triose-fosfato isomerase (TPI, na sigla em inglês)¹³, cuja representação esquemática baseada em resultados de difração de raios-X é apresentada na Figura C.4. Essa enzima é essencial para a produção eficiente de energia. Por esta razão, ela é encontrada em todos os organismos de mamíferos, insetos, fungos, plantas e bactérias.

Figura C.4 – Representação esquemática da enzima TPI, baseada em resultados de difração de raios-X. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TriosePhosphateIsomerase_Ribbon_pastel_photo.png>. Acesso em 10/9/2018.



Como ilustra a Figura C.5, os aminoácidos, são formados por um carbono ligado a um hidrogênio, um grupo amina (NH_2), de caráter básico, um grupo carboxila (COOH), de caráter ácido, (de onde vem o nome aminoácido) e uma porção variável, um radical com 20 diferentes tipos de cadeias, já que existem nos seres vivos 20 tipos diferentes de aminoácidos. Em função disso, o número de proteínas diferentes em um organismo é muito grande.

Figura C.5 – Representação esquemática da estrutura de um aminoácido. Extraído em 10/9/2018, de <<https://www.coladaweb.com/biologia/bioquimica/proteinas>>.



¹³ Texto extraído de <https://pt.wikipedia.org/wiki/Triose-fosfato_isomerase>, em 10/9/2018.

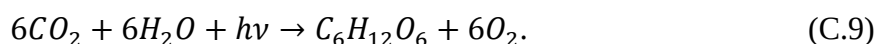
As proteínas são essenciais para o funcionamento de um organismo, e estão presente em alimentos de origem animal, bem como em vegetais.

C.3a2 – Vitaminas

De acordo com Golombeck e Schwarzbaum (2009, p.147), a vitamina é uma “substância orgânica que não pode ser sintetizada por um organismo e que é utilizada em pequenas quantidades para o seu desenvolvimento”. Sua principal função em nosso organismo é catalisar reações bioquímicas, ou seja aumentar a velocidade dessas reações.

C.3a3 – Carboidratos ou hidratos de carbono

Carboidratos são compostos formados por carbono, oxigênio e hidrogênio, em uma fórmula química contendo dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio para cada átomo de carbono. Eles estão na origem da vida na terra, sendo um dos produtos da fotossíntese. A interação da luz solar com água e gás carbônico resulta e carboidrato e oxigênio, de acordo com a seguinte reação:



Um tipo de carboidrato, o amido é uma importante fonte de energia para plantas e animais. Processa carboidratos é a forma fácil de nosso organismo obter energia.

C.3a4 – Lipídios

Família de substâncias orgânicas que se dissolvem pouco ou nada em água, mas que o fazem bem em solventes como o benzeno ou o clorofórmio. Em temperatura ambiente, os lipídios sólidos costumam ser denominados *gorduras*, enquanto os líquidos são denominados *óleos*. A maioria dos lipídios, embora não todos, é formada por ácidos graxos, moléculas que contêm entre 14 e 22 átomos de carbono. Os ácidos graxos essenciais são aqueles que o organismo não pode produzir, e devem, portanto, ser fornecidos pela dieta, como, por exemplo, o ácido linoleico (GOLOMBECK; SCHWARZBAUM, 2009).

Os lipídios funcionam como reserva de energia, para ser usada quando a energia dos carboidratos não estiver disponível. Nos animais, os lipídios formam uma camada de gordura que funciona como isolante térmico, indispensável em regiões de clima frio.

C.3b – A composição química dos alimentos e o pH

O que foi escrito acima tem muito a ver com os alimentos. Embora todos os elementos bioquímicos descritos façam parte dos alimentos, em menor ou maior grau, há que se destacar os carboidratos, as proteínas e os lipídios. Portanto, a ciência dos alimentos obedece aos princípios da físico-química, química orgânica, química analítica e bioquímica.

Todos esses componentes são mediados por diversas enzimas, e suas reações bioquímicas são dependentes das condições ambientais, temperatura, pressão e pH, entre outras.

O pH é a medida de acidez ou de alcalinidade de uma solução, com escala entre 1 (maior acidez) e 14 (maior alcalinidade). Uma solução com $\text{pH}=7$ é considerada neutra. Um exemplo de alta alcalinidade é o bicarbonato dos gargarejos. Já o vinagre e os sucos cítricos pertencem à categoria das soluções ácidas. Na literatura da área, o meio alcalino também é conhecido como básico.

Um experimento interessante, abordado durante a nossa intervenção didática, é mostrar que o aumento do pH baixa a temperatura de desnaturação das proteínas. Isso foi feito misturando água e vinagre na preparação de um ovo pochê.

Na linguagem científica, o pH é a grandeza denominada *potencial hidrogeniônico*.

C.3c – Solute e solvente em soluções

Na abordagem científica dos alimentos, o conceito de solução desempenha papel preponderante. Quase todos os alimentos são cozidos em ambientes com diferentes tipos de solução, geralmente a mistura de água com algum outro tipo de matéria.

Não cabe nesta dissertação um tratamento extensivo deste tópico. O abordaremos naqueles aspectos diretamente relacionados com os experimentos realizados em sala de aula. Por exemplo, não discutiremos aqui o que seja uma solução eletrolítica, por não fazer parte do universo culinário.

Em primeiro lugar deve-se ter em mente que em qualquer solução há um *solute* e um *solvente*. O primeiro é a substância dissolvida, e o segundo é a substância que o dissolve. Na solução água e sal, a água (considerada o solvente universal) é o solvente e sal é o soluto. Uma propriedade interessante, observado nos experimentos realizados

durante a intervenção didática, é que aumentando-se a quantidade do soluto, aumenta-se a temperatura de ebulição da solução.

Esse tipo de comportamento das soluções encontra-se no rol das propriedades coligativas, que estão relacionadas às alterações das constantes físico-químicas de um solvente puro em função da adição de um soluto não volátil. Dependendo dos tipos e das quantidades de soluto e solvente, é possível alterar a temperatura de ebulição, a temperatura de congelamento, a pressão osmótica, a pressão de vapor, entre outras propriedades.

Referências

- BIANCO, A. A. G. Olhando a tabela periódica como um químico orgânico. *Energia e Matéria: da fundamentação conceitual às aplicações tecnológicas*. São Paulo: Livraria da Física, 2015. p. 139–154.
- DOS SANTOS, C. A.; BOTTON, J. P. Fontes de energia e tecnologias de transformação. In: DOS SANTOS, C. A. (Org.). *Energia e Matéria: da fundamentação conceitual às aplicações tecnológicas*. São Paulo: Livraria da Física, 2015. p. 269.
- FELTRE, R. *Química: Físico-Química*, vol.2. São Paulo: Moderna, 2004.
- FISHER, L. *A ciência no cotidiano*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor Ltda, 2004.
- GOLOMBECK, D.; SCHWARZBAUM, P. *O cozinheiro cientista: Quando a ciência se mete na cozinha*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2009.
- MCGEE, H.; MCINERNEY, J.; HARRUS, A. The virtual cook: modeling heat transfer in the kitchen. *Physics Today*, v. 52, n. 11, p. 30–36, 1999.
- MOREIRA, M. A. *A Teoria de Aprendizagem de David Ausubel como Sistema de Referência para a Organização de Conteúdo de Física**. *Revista Brasileira de Física*. [S.l: s.n.], 1979.
- PAULINO, W. R. *Biologia série novo ensino médio*. São Paulo: Ática, 2000.
- PIFER, A.; AURANI, K. M. A teoria analítica do calor de Joseph Fourier: uma análise das bases conceituais e epistemológicas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 1, p. 1603, 2015.
- RESNICK, R.; HALLIDAY, D. *Física. Volume 1*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984.
- THIS, H. *Um cientista na cozinha*. São Paulo: Editora Ática, 1996.

Apêndice D – Artigo para publicação

Como o conteúdo do artigo foi completamente extraído da dissertação, apresentaremos aqui apenas o resumo.

Proposta Pedagógica para Abordagem de Tópicos de Bioquímica e Termodinâmica na Educação de Jovens e Adultos

Pedagogical Proposal for Approaching Biochemistry and Thermodynamics Topics in Youth and Adult Education

Felipe Rodrigues da Silva^{*§} e Carlos Alberto dos Santos^{**1}

^{*}Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – UFERSA, Mossoró, RN

[§]Escola José de Borba Vasconcelos, Maracanaú, Ce

^{**} Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte,
Natal, RN

Resumo:

Apresenta-se uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para abordar tópicos de bioquímica e termodinâmica na Educação de Jovens e Adultos (EJA). A concepção da UEPS tem como referencial pedagógico 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 são explicitamente tratados na 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.

Palavras-chave: EJA; bioquímica; termodinâmica; UEPS.