



# UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS

MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS

Instituto de Física

Instituto de Química

Instituto de Ciências Biológicas

Faculdade UnB Planaltina

## FÍSICA, QUÍMICA E HISTÓRIA: UMA PROPOSTA INTERDISCIPLINAR PARA O ENSINO MÉDIO

Juliano de Almeida Elias

Brasília – DF

2015



# UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS

MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS

Instituto de Física

Instituto de Química

Instituto de Ciências Biológicas

Faculdades UnB Planaltina

## FÍSICA, QUÍMICA E HISTÓRIA: UMA PROPOSTA INTERDISCIPLINAR PARA O ENSINO MÉDIO

Juliano de Almeida Elias

Dissertação realizada sob orientação da Prof.<sup>a</sup>.  
Dr.<sup>a</sup>. Maria de Fátima da Silva Verdeaux e  
apresentada à banca examinadora como  
requisito parcial à obtenção do Título de  
Mestre em Ensino de Ciências – Área de  
Concentração “Ensino de Física”, pelo  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de  
Ciências da Universidade de Brasília.

Brasília – DF

2015

## FICHA CATALOGRÁFICA

ELIAS, Juliano de Almeida.

Física, Química e História - Uma Proposta Interdisciplinar para o Ensino Médio / UnB, Brasília, 2015.

112 P.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Instituto de Física/Química.

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências.

1. Educação em Ciências. 2. Ciências – Estudo e Ensino. 3. Interdisciplinaridade. 4. Química e Física. 5. História e História da Ciência. 6. Ensino de Ciências – Pesquisa – Universidade de Brasília.

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

JULIANO DE ALMEIDA ELIAS

### **Física, Química e História - Uma Proposta Interdisciplinar para o Ensino Médio.**

Dissertação apresentado à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências – Área de Concentração “Ensino de Física”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília.

#### BANCA EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria de Fátima da Silva Verdeaux (Presidente)

---

Prof. Dr. Olavo Leopoldino da Silva Filho  
(Membro Externo ao PPGEC)

---

Prof. Dr. Gerson de Souza Mól  
(Membro Interno Vinculado ao Programa – IQ/UnB)

*Dedico este trabalho*

*À minha mãe Maria Lucilia de Almeida Elias*

*À memória de meu pai José Ary Elias*

*À minha esposa Luciane Nobre Elias*

*Pessoas mais importantes na minha vida.*

## Agradecimentos

Agradeço à minha esposa Luciane, pela sua compreensão, paciência e apoio.

Agradeço à minha mãe por me transmitir o amor pela educação e o desejo de contribuir para a construção de um mundo melhor. Agradeço a meu pai, por deixar, além de saudades, um exemplo de amor e dedicação à família.

Agradeço ao professor Ricardo Gauche pelas críticas sempre oportunas e por acreditar neste trabalho, à professora Patrícia Machado, por plantar uma pequena semente que deu frutos quando propôs que eu usasse como tema unificador “energia”.

E finalmente um grande agradecimento à professora Fátima Verdeaux pela sua paciência, por acreditar em mim (desde a entrevista) e no meu trabalho, por conduzir as orientações com grande firmeza e zelo, fazendo-me perceber quando eu estava perdendo as rédeas do trabalho, dispersando ou mesmo procrastinando.

*“Multidisciplinar, interdisciplinar, transdisciplinar, pluridisciplinar, disciplinaridade cruzada, Ufa. Será que devemos subdividir em categorias um assunto que tem como objetivo justo o oposto?”*

Manifestação de participante de curso de formação de professores (REZENDE; QUEIROZ, 2009)

## RESUMO

Como professores, estamos em uma busca constante de novas ideias, diante da evidente superação do modelo curricular clássico. A prática interdisciplinar é um importante recurso nessa luta, não pela superação das disciplinas, mas pela sua complementação. Esse é o posicionamento que baliza a proposta e a prática deste trabalho. Um posicionamento humilde, mas sem medo de deixar a zona de conforto disciplinar para se tornar aluno novamente e assim, aprender e ensinar. Optando pela interdisciplinaridade, sem contudo ser afetado pelo que se observa em algumas práticas interdisciplinares: a integração apenas aparente das disciplinas, reunidas em torno de um tema, capturando o que dele conseguem aproveitar, sem ultrapassar a barreira disciplinar. Ao contrário, um dos objetivos deste trabalho é estimular a interação com a disciplina alheia, evitando a disciplinarização da interdisciplinaridade. Superar as barreiras de comunicação entre as disciplinas deve ser um dos objetivos de qualquer trabalho que se pretenda interdisciplinar e, certamente, foi objetivo deste. Optou-se pelo tema “energia”, em uma abordagem “tridisciplinar”, a partir da Física, da Química e da História, mas sem descartar a interação com outras disciplinas do Ensino Médio. O tema foi trabalhado na forma de um curso de periodicidade semanal com um semestre de duração para turma de 2º ano em escola pública de Ensino Médio de Brasília. Para evitar que o tema se diluísse em banalidades ou que, por outro lado, se tornasse hermético para os alunos, utilizou-se o instrumento analítico desenvolvido por Yves Chevallard, a teoria da transposição didática. Com o cuidado de realizar uma transposição consistente, que não descambasse nem para o trivial nem para o inextrincável, foi possível desenvolver uma “linha do tempo” da energia, que, utilizando-se da periodização clássica, mas sem se prender a ela, iniciava na Pré-História, passando pela Antiguidade, pela Idade Média, pela Idade Moderna e chegando à Idade Contemporânea, abordando as formas de obtenção de energia que a humanidade utilizou ao longo da sua existência. Em cada aula, procurou-se discutir os aspectos físicos e químicos dos meios encontrados pelo ser humano para suprir suas demandas energéticas. Os resultados que serão aqui descritos foram muito positivos. Um minicurso de dois meses se tornou, a pedido da escola, um curso de um semestre, que em 2015 deve se tornar, também a pedido da escola, um curso de um ano de duração, possibilitando ainda mais aprendizado.

**Palavras-chave:** Interdisciplinaridade, Química, Física, História.

## ABSTRACT

As teachers, we are in a constant search for new ideas in the face of evident overrun of the classic curriculum model. Interdisciplinary practice is an important resource in this fight, not by overcoming the disciplines but for its complementing. This is the position that guides this proposal and the practice of this work. A humble position but with no fear of leaving the disciplinary comfort zone to become a student again and so, learn and teach. Opting for interdisciplinarity, without, however, be affected by what is observed in some interdisciplinary practices: integration only apparent between disciplines gathered around a theme, capturing what it can take, but within the disciplinary barrier. On the contrary, one of the objectives of this work is to encourage interaction with other people's discipline, avoiding the disciplining of interdisciplinarity. Overcoming communication barriers between disciplines should be a goal of any work that is to be interdisciplinary, and was certainly aim of this. We chose the theme "energy" in a "tridisciplinar" approach, from physics, chemistry and history, but without discarding the interaction with other disciplines of high school. We worked up with the theme as a weekly course with a semester-long class for 2nd year in a high school of Brasilia. To avoid the object to dilute in platitudes or, on the other hand, become hermetic for students, we used the analytical tool developed by Yves Chevallard, the theory of didactic transposition. Being careful to perform a consistent transposition, which did not fall on the trivial or the inextricable, it was possible to develop a "timeline" of energy, which, using the classic periodization, but without being attached to it, began in Pre-history, through Antiquity, the Middle Ages, the Modern Age and reaching the Contemporary Age, addressing the ways of obtaining energy that mankind has used throughout its existence. In each class, we tried to discuss the physical and chemical aspects of the means found by humans to meet their energy demands. The results that will be described here were very positive. A short course of two months became, at the request of the school, a one-semester course, which in 2015 is expected to become, also at the request of school, a one-year course, allowing further learning.

**Key words:** Interdisciplinarity; Chemistry; Physics, History.

## ÍNDICE DAS ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Abordagem triangular do tema gerador energia.....	30
Figura 2 Prevalência de termos em busca online. No eixo vertical, o número de resultados.....	44
Figura 3 Sistema de ensino em sentido estrito, englobado pela massa crítica da educação, a noosfera. Ao redor o entorno. Figura traduzida e adaptada de Chevallard (2009, p 28) .....	59
Figura 4 Representação de uma hipotética nota de história da ciência, semelhante às que costumam ser encontrada em livros didáticos .....	67
Figura 5 Capa do Material didático elaborado .....	79
Figura 6 Este monjolo, de 35 cm de largura, foi colocado para funcionar, com água, e serviu para demonstrar o uso da energia hidráulica na antiguidade (acervo pessoal). ...	83
Figura 7 Moinho de vento antigamente usado para drenar o pântano que aparece em primeiro plano na foto. Hoje em dia essa tarefa é executada por uma pequena parcela da energia elétrica produzida pelo parque de turbinas eólicas que aparece ao fundo. Fonte: Wikimedia Commons .....	85
Figura 8 Motor Stirling em miniatura. Acervo pessoal .....	88
Figura 9 Gráfico de preços do Petróleo, mostrando a estabilidade durante cerca de um século e as oscilações provocadas pelas crises do Petróleo no último quartel do século 20 .....	90
Figura 10 Determinação do teor de álcool na gasolina .....	92
Figura 11 Vaso de urânio, sob luz visível nas duas primeiras fotografias, sob luz UV nas demais.....	94
Figura 12 Carrinho "flex" movido a energia solar ou a célula de combustível. Acervo pessoal .....	96

## ÍNDICE DAS TABELAS

Tabela 1 Sequência dos capítulos na obra “Energy”, de Vaclav Smil (2009a), na obra “Sources of Power”, de Weissenbacher, e nas aulas no Curso Interdisciplinar .....	21
Tabela 2 Integração História - Química - Física usando como temas as duas Guerras Mundiais .....	39
Tabela 3 Resultados para busca online dos conceitos relevantes para este trabalho.....	43
Tabela 4 Ocorrência dos termos relevantes no Corpus da Língua Portuguesa .....	45
Tabela 5 Prevalência dos adjetivos.....	46
Tabela 6 Conceitos relacionados à transposição didática.....	58
Tabela 7 Características essenciais de um texto de saber.....	64
Tabela 8 Respostas aos questionários. Cada coluna numérica representa um dos 21 alunos.....	72

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. TEXTOS RELEVANTES PARA ESTE TRABALHO .....	19
<b>3. DEFININDO CONCEITOS .....</b>	<b>43</b>
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>57</b>
<b>5. APLICAÇÃO DO CURSO – DOIS MESES OU UM SEMESTRE? ....</b>	<b>66</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>97</b>
7. REFERÊNCIAS .....	100
<b>APÊNDICE. MATERIAL DIDÁTICO APLICADO NA ESCOLA .....</b>	<b>114</b>

## INTRODUÇÃO

“Feliz é o professor que aprende ensinando.”

Cora Coralina

Diante do esgotamento do modelo curricular clássico, os professores anseiam por novas maneiras de educar alunos que já não conhecem, em um mundo no qual já não se sentem seguros sobre o que ensinar. A distância entre alunos e professores se amplia na medida em que os alunos frequentemente são muito mais "digitais" e obtêm informação de fontes muito mais diversas do que seus professores, que muitas vezes ainda permanecem presos a um paradigma "analógico". Disso resulta um distanciamento crescente em termos de linguagem, de postura social, de modo de enxergar o mundo.

São cada vez mais pertinentes os questionamentos do professor Ático Chassot: A escola mudou? a escola foi mudada? Observamos que há dez anos ela era ainda o centro irradiador do conhecimento, hoje ela é assolada pela informação (CHASSOT, 2014). Pensando nisso, muitos educadores demonstram interesse em superar as barreiras disciplinares em busca de uma educação mais parecida com a vida como se apresenta para o aluno de hoje.

Diante desse interesse, ganham destaque no meio especializado os discursos e textos que tratam da interdisciplinaridade e de suas vizinhas semânticas, multidisciplinaridade, transdisciplinaridade, etc. Muito tem sido escrito e dito sobre interdisciplinaridade. São inúmeros textos, alguns bastante idealistas, destacando a necessidade de derrubar as fronteiras entre as disciplinas, para alcançar um ideal de educação no terceiro milênio. No entanto, como afirma Pereira (2009), "é no mínimo ingênuo pensar que abolir o currículo por disciplina é a solução para acabar com a fragmentação do saber escolar". É preciso buscar soluções reais de integração de conteúdos que permitam tornar a escola mais interessante e mais relevante para os alunos, sem que isso signifique pregar a supressão das disciplinas.

As disciplinas são formas úteis de organizar o conhecimento de forma a facilitar o aprendizado. Essa afirmação pode parecer uma obviedade para alguns educadores e um absurdo para outros. Em geral aqueles que concordam com essa afirmação

professam a fé na educação tradicional e aqueles que discordam enfaticamente são entusiastas da interdisciplinaridade. Os primeiros entendem como causa do colapso da educação básica o abandono do ensino tradicional em prol de práticas pedagógicas "modernistas", enquanto os segundos culpam a manutenção de um ensino tradicional obsoleto por esse mesmo colapso. Este trabalho tenta se posicionar entre os dois extremos.

A opção pela interdisciplinaridade deve resultar, desde um primeiro momento em uma práxis, um “mãos à obra”, como nota Fazenda (2011, p. 13) ao apontar que textos interdisciplinares devem ser “pretexto para o exercício da interdisciplinaridade no ensino”. Mas isso não se verifica em muitos trabalhos sobre o assunto, que teorizam bastante, mas demonstram pouco ou nada. Ao passar por disciplinas do curso de mestrado em educação, Haas (2011) observou: "A primeira surpresa, no curso de pós-graduação, foi de que ninguém se dispunha a falar da prática". Isso ocorre porque a prática interdisciplinar exige uma postura de aluno, um abandono de certezas acadêmicas e uma vontade de conhecer e operar não apenas a sua própria disciplina, mas a disciplina do colega ao lado, um terreno desconhecido a ser explorado. Interdisciplinaridade é humildade e curiosidade. Isso é o que nota Celia Haas:

Pareceu-me que junto com essa estranha palavra – interdisciplinaridade – o professor também surgia, enquanto ser, enquanto sujeito pensante, que concretiza uma prática em sua sala de aula, em sua escola e não mais como uma abstração das proposições que estudava. (HAAS, 2011, p. 56).

Para tornar possível concretizar essa prática, Ivani Fazenda propõe qualificar os educadores, assegurando-lhes uma formação interdisciplinar capaz de superar a fragmentação existente na educação escolar disciplinar (FAZENDA, 1979, p. 99 apud HAAS, 2011, p. 59). Fazenda considera essa superação uma tarefa fundamental da educação.

Outros autores não compartilham dessa visão tão positiva da interdisciplinaridade. Pires (1998) considera a transição da disciplinaridade para a interdisciplinaridade não como uma necessária ruptura com um sistema disciplinar alienante, mas como uma adaptação que acompanha a transição do capitalismo industrial (fordismo) para um capitalismo pós-industrial (toyotismo). A autora traça um paralelo entre a especialização do trabalhador, principal característica do fordismo, para a “tendência de flexibilização

das normas organizativas, [...] gestão participativa”, característica do toyotismo. Ela identifica na necessidade de um trabalhador mais qualificado a demanda do mercado por profissionais multifuncionais e com uma base técnica e científica (DOWBOR, 1994 apud PIRES, 1998). Traça assim, um curioso paralelo entre fordismo e disciplinaridade, e toyotismo e interdisciplinaridade.

Contudo, ela não vislumbra nisso consequências necessariamente negativas para a educação, pelo contrário:

A nova base técnica e científica que vem produzindo modificações profundas na organização da produção [...] representa um certo avanço no que diz respeito ao caráter mecânico e fragmentado das formas organizativas do trabalho moderno. Assim como as formas vigentes até então, de trabalho parcializado e mecânico, influenciaram a organização de toda vida social, inclusive da escola e dos currículos escolares, esta nova situação traz uma tendência de maior flexibilidade na formação dos indivíduos (PIRES, 1998).

Assim, para essa autora, a atual ênfase no tratamento interdisciplinar dos conteúdos é um subproduto educacional das relações de trabalho modernas o que, contudo, representa um avanço em relação à formação tradicional, que entende mecânica e excessivamente compartimentada.

A crítica à fragmentação disciplinar expressa por Pires (1998) é uma virtual unanimidade entre os estudiosos da interdisciplinaridade. Tomaz e David (2008) criticam o conhecimento fragmentado que deixa para o aluno, sozinho, a tarefa de estabelecer as relações entre os conteúdos. Ivani Fazenda pondera que “os currículos organizados pelas disciplinas tradicionais conduzem o aluno apenas a um acúmulo de informações que de pouco ou nada valerão na sua vida profissional” (FAZENDA, 2011, p. 16).

No entanto, Fazenda menciona casos em que escolas aboliram a sistematização dos conhecimentos e partiram para a exploração indiscriminada de conhecimentos do senso comum. “Esquecem-se, com isso, que o senso comum, deixado a si mesmo, é conservador e pode gerar prepotências ainda maiores que o conhecimento científico” (FAZENDA, 2011, p. 17). São dois extremos, de um lado a rigidez disciplinar e de

outro as propostas de abolição das disciplinas. Entre o “disciplinar” e o “adisciplinar” é que deve se situar a proposta interdisciplinar.

Uma crítica que se faz às propostas interdisciplinares quando postas em prática é de que elas muitas vezes não conseguem integrar as disciplinas, restringindo-se ao desenvolvimento de subtemas e questões dentro de um tema comum. Isso é feito sem ultrapassar as barreiras disciplinares. Cria-se um eixo comum, em geral uma situação contextualizada a partir de eventos atuais que, supõe-se, façam parte do cotidiano dos alunos. Esse é o último momento em que algo parecido com interdisciplinaridade aparece. A partir daí cada professor desenvolve questões sobre sua disciplina, sem se atrever a dialogar com a disciplina alheia, com a qual não se sente seguro.

No trabalho que será apresentado aqui tentou-se evitar essa “disciplinarização” da interdisciplinaridade, fazendo com que o material didático e as aulas não reproduzissem fronteiras entre campos de conhecimento. Apesar de ser uma proposta tridisciplinar, evitou-se ao máximo (embora nem sempre com total sucesso) a definição de tópicos específicos de física, de química, de história, a serem explorados pelos respectivos professores. Valorizaram-se sempre os momentos de sobreposição entre as disciplinas, como será mostrado nos capítulos seguintes. Esses momentos foram vários e tornaram as aulas mais interessantes para os alunos e para o próprio professor.

### **1.1 Caracterização da Escola e da Turma**

A proposta inicial era de um minicurso de dois meses para alunos de turma de terceiro ano do Ensino Médio, em uma escola pública distrital da Asa Norte, bairro de Brasília - DF, mas o trabalho acabou sendo aplicado em uma turma de segundo ano dessa escola, com periodicidade semanal e duração de cerca de uma hora e meia por aula (das 7h15 às 8h50 da manhã). O interesse demonstrado pela turma e pela escola em relação às aulas levou à expansão da proposta inicial do trabalho, o qual, a pedido da escola, acabou estendido para um semestre inteiro. O tema era “Energia”, abordado de forma interdisciplinar, com ênfase nas disciplinas de Química, Física e História. A proposta foi executada como “prática diversificada” (PD) em turno matutino, reverso, em uma turma vespertina de segundo ano do ensino médio, com 35 alunos. A “PD” consiste em uma atividade regular em turno reverso, praticada nas escolas distritais do Distrito Federal. Na escola em que foi aplicado o trabalho, a PD é feita geralmente na

forma de aulas, com temática a ser definida pelos próprios professores. Não havia, no segundo semestre de 2014, turma de terceiro ano com horário disponível em “prática diversificada” na disciplina de física e os conteúdos de todas as disciplinas envolvidas tiveram que ser adaptados para abarcar apenas assuntos já trabalhados pelos professores de segundo ano. Isso representou outro desafio, uma vez que o tema proposto, Energia, envolvia vários subtópicos relacionados à química orgânica, com a qual os alunos teriam contato apenas no terceiro ano do ensino médio. Assim, fontes de energia importantes como hidrocarbonetos e álcoois tiveram que aparecer de forma muito mais conceitual do que se pretendia.

Além de inviabilizar o trabalho com conceitos que os alunos só iriam adquirir no terceiro ano, foi necessário tomar cuidado para não explorar o tema de forma excessivamente aprofundada, o que acrescentaria complexidade a uma situação que já era complexa, a abordagem interdisciplinar de um tema em suas muitas nuances, ao longo de todo o semestre. Para atacar esse problema, foi importante o referencial de um autor, Yves Chevallard, e do instrumento analítico que desenvolveu, a teoria da Transposição Didática:

Para que la enseñanza de un determinado elemento de saber sea meramente posible, ese elemento deberá haber sufrido ciertas deformaciones, que lo harán apto para ser enseñado. El saber-tal-como-es-enseñado, el saber enseñado, es necesariamente distinto del saber-inicialmente-designado-como-el-que-debe-ser-ensinado, el saber a enseñar. Este es el terrible secreto que el concepto de transposición didáctica pone en peligro (CHEVALLARD, 2009, p. 16-17).

Chevallard faz uma marcante distinção entre o conhecimento científico original, que ele denomina “saber sábio” da versão adaptada às necessidades da educação básica, que denomina “saber a ensinar”. No trabalho interdisciplinar aqui apresentado foi necessário realizar a transposição didática dos elementos históricos, químicos, físicos presentes no tema energia, a fim de que pudessem ser compreendidos pelos alunos. Isso foi feito no decorrer do trabalho, com base na teoria da transposição didática e no *feedback* dos alunos, que motivaram mudanças de estratégias para manter um bom nível de aprendizado.

Com esses cuidados foi possível desenvolver um trabalho de um semestre, que tomou como eixo central a história da humanidade, da pré-história à atualidade, com

foco no tema energia, discutindo as demandas por energia ao longo da história e os meios físicos e químicos que a humanidade encontrou para suprir essas demandas. O curso começou no início de agosto de 2014 e tinha término previsto para o final de setembro. No entanto, por sugestão da professora de Física da turma e da coordenadora da Escola, o trabalho foi estendido até o final de novembro de 2014, perfazendo todo o semestre letivo. Também por convite da escola, está prevista a repetição das atividades do curso com outra turma no ano letivo de 2015, em sistema de voluntariado.

## 2. TEXTOS RELEVANTES PARA ESTE TRABALHO

### 2.1 Livros

Entre os livros, o "Ensino de Química em Foco" é sempre uma referência, sendo especialmente importantes para este trabalho o capítulo 3, que trata de interdisciplinaridade e Ensino de Química (ABREU; LOPES, 2011), e o capítulo 6, que aborda História e Filosofia da Ciência (PORTO, 2011), em consonância com Badillo et al (2004), que faz parte do repertório de artigos deste trabalho.

Também na direção da interdisciplinaridade, foram muito importantes as obras de Ivani Fazenda "Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: efetividade ou ideologia?", de 1979, que trabalha em um plano mais analítico, discutindo o significado atribuído pelos teóricos e educadores à interdisciplinaridade, e "Práticas Interdisciplinares na Escola", publicado em 2011, que analisa a viabilidade da aplicação de projetos interdisciplinares como o que é proposto e discutido no presente trabalho.

Neste trabalho, a obra-prima de Chevallard (2009), "La transposición didáctica", serviu como referencial teórico na busca da adequação conceitual do tema proposto (Energia) ao ensino em turma de nível médio, uma vez que possibilitou uma reflexão sobre a transposição didática, esse ato tão importante da atividade de professor e que poucas vezes é elaborado em um plano consciente.

Em relação aos aspectos institucionais e legais do trabalho, foram importantes os trabalhos de Demerval Saviani, "Plano de Desenvolvimento da Educação: Análise crítica da política do MEC", de 2009, e "Sistema Nacional de Educação e Plano Nacional de Educação: Significado, controvérsias e perspectivas", de 2014. Esses trabalhos permitiram ainda vislumbrar a necessidade de buscar uma visão sistêmica da educação, do território onde atua e do desenvolvimento da comunidade e da sociedade (SAVIANI, 2009) e uma renovação do Ensino Médio através de práticas pedagógicas com abordagens interdisciplinares (SAVIANI, 2014).

Para desenvolver o tema energia, várias obras foram consultadas. Provavelmente a obra mais utilizada foi "Energy", de Vaclav Smil (2009a), um guia conciso e muito claro do uso (e do mau uso) da energia ao longo da História. O material didático que produzimos apresenta uma sequência de aulas que deve muito à disposição dos capítulos da obra de Smil, conforme mostrado na tabela 1.

Para as aulas 7 e 8, em que falou-se muito sobre petróleo, o livro “Oil”, do mesmo Vaclav Smil (2009b), também foi muito útil ao analisar a história desse combustível fóssil e as causas e consequências políticas, econômicas e sociais das flutuações de preços dessa *commodity* ao longo do século XX. Para a análise dos aspectos econômicos da energia, além dos trabalhos de Smil também foi muito útil o texto “Uma História da Energia”, de Hémeri *et al* (1993). Enquanto Smil adota uma abordagem que evita compromissos ideológicos com linhas de pensamento que se identificam pela dicotomia esquerda e direita, a obra de Hémeri *et al* adota uma abordagem histórico-crítica da produção e do consumo da energia em suas diversas formas ao longo do tempo.

A tese de que o controle da energia determina o destino das nações é defendida por Manfred Weissenbacher em sua obra de dois volumes “Sources of power: how energy forges human history”, de 2009. Junto com o livro “Energy”, de Vaclav Smil, a obra de Weissenbacher ajudou a estruturar o nosso curso interdisciplinar, conforme indicado na tabela 1. O texto procura desenvolver sua teoria do determinante energético para o desenvolvimento dos povos, dividindo a história em quatro eras: “the foraging age”, “agricultural age”, “coal age”, e “oil ages”, associando cada uma delas à fonte de energia mais importante do período e fazendo extrapolações para a geopolítica (WEISSENBACHER, 2009). No capítulo final “Beyond the Oil Age”, discute o problema do aquecimento global e analisa as alternativas energéticas para o futuro.

Com um foco nas consequências negativas do uso irracional da energia, a obra de autoria coletiva do Post Carbon Institute (2012), intitulada “Energy: overdevelopment and the delusion of endless growth”, apresenta um panorama sombrio da realidade energética atual. Com mais de 150 fotografias coloridas em alta resolução ocupando suas páginas gigantes, o livro funciona como um álbum de horrores, um dossiê fotográfico dos crimes cometidos contra o planeta. Essas fotografias inspiraram o cuidado visual dedicado à “apostila” do curso interdisciplinar e os slides usados nas aulas. Uma dessas fotos, disponibilizada pela Wikimedia Foundation, foi utilizada na capa da “apostila” (Apêndice, capa).

Também destacando o aspecto visual do trabalho, foi importante reler o livro “A Energia”, de Mitchell Wilson (1969). Como parte da famosa biblioteca científica LIFE, a obra utilizava uma formatação muito colorida, visualmente agradável, ainda hoje moderna, e utilizava situações curiosas para contar a História da Energia.

**Tabela 1 Sequência dos capítulos na obra “Energy”, de Vaclav Smil (2009a), na obra “Sources of Power”, de Weissenbacher, e nas aulas no Curso Interdisciplinar**

Capítulo de “Energy”, de Vaclav Smil	Capítulo de “Sources of Power”, de Weissenbacher	Aula Interdisciplinar relacionada
Energy in our minds: concepts and measures	Volume 1. Before Oil: The Ages of Foraging, Agriculture, and Coal Introduction	Aula 1 – Introdução - Afinal, o que é ENERGIA? Mas afinal, o que é este CURSO?
Energy in the biosphere: how nature works	Introduction (continuação)	Aula 1 (continuação).
Energy in human history: muscles, tools and machines	Part I. Foraging Age Part II. Agricultural Age	Aula 2 – Pré-História, da caça à agricultura Aula 3 – A Idade dos Metais Aula 4 – Antiguidade Aula 5 – Idade Média
Energy in the modern world: fossil fueled civilization	Part III. Coal Age Volume 2. The Oil Age and Beyond Part IV. Oil Age	Aula 6 – Idade Moderna – das Grandes Navegações à Revolução Industrial Aula 7 – Idade Contemporânea e a Consolidação da Revolução Industrial - a era da Eletricidade e do Petróleo – Parte 1 Aula 8 – Idade Contemporânea e a Consolidação da Revolução Industrial - a era da Eletricidade e do Petróleo – Parte 2
Energy in everyday life: from eating to emailing	Part IV. Oil Age (continuação)	Aula 8 (continuação).
Energy in the future: trends and unknowns	Part V. Beyond the Oil Age	Aula 9 – Energia Nuclear Aula 10 – Alternativas energéticas para o futuro

Ainda no contexto das demandas e ofertas energéticas ao longo da História, foi muito relevante a leitura da síntese de História Geral feita em “Uma Breve História do Mundo” (BLAINEY, 2012), a qual permitiu selecionar eventos relevantes da História Humana que tivessem relação com as soluções energéticas encontradas, e selecionar algumas das singularidades que fazem a seta do tempo, que formam a História (GOULD, 1991). As obras de referência do National Geographic (2005), intitulada “Visual History of the World”, do Times, editada por Richard Overy (2011), e mesmo o Almanaque Abril, organizado por Fabio Volpi (2014), também ajudaram, por seu poder de síntese, na escolha de eventos “fundamentais” a serem desenvolvidos. Também serviram de inspiração na elaboração dos *slides* das aulas, com suas ricas ilustrações, fotos históricas, mapas, diagramas e gráficos. A partir da seleção de eventos “fundamentais” foi possível analisar os aspectos energéticos desses eventos, seu alcance temporal e espacial e os elementos da Química e da Física relevantes para uma compreensão mais “holística” desses eventos.

Ao contrário da síntese feita por Blainey (2012) e das obras do National Geographic (2005), de Overy (2011) e de Volpi (2014), a análise detalhada do *ethos* dos povos da Antiguidade feitas em “A Cidade Antiga” permitiu uma análise mais profunda de características desses povos, especialmente em relação à importância do fogo para as famílias e comunidades (COULANGES, 1961). No contexto dessa análise foi possível apresentar a combustão de matéria orgânica (lenha, turfa, entre outros combustíveis), como uma das primeiras formas de transformação de energia realizadas pelo homem.

Uma visão igualmente detalhada, só que da História mais recente, é dada por Eric Hobsbawm, em suas quatro “Eras”: “A Era das Revoluções: 1789-1848”, “A Era do Capital: 1848-1875”, “A Era dos Impérios: 1875-1914” e “A Era dos Extremos - O Breve Século XX: 1914-1991”, leituras recomendáveis para a compreensão da complexidade inerente à Idade Contemporânea, que ocupou os últimos dois meses da atividade interdisciplinar aqui relatada. Comentários sobre as produções artísticas dos períodos históricos abordados no Curso devem muito ao livro didático História da Arte, de Graça Proença (2012).

Outros livros têm uma participação mais na filosofia deste trabalho do que propriamente como fontes de elementos objetivos utilizados no curso. É o caso de “A Magia da Realidade”, de Richard Dawkins (2012), que propõe maneiras instigantes e menos convencionais de ensinar Ciência para adolescentes, que é justamente o que se

procurou fazer no curso que embasa este trabalho. É o caso também de “Freakonomics”, de Dubner e Levitt (2005), no qual os autores procuram apresentar “o lado oculto e inesperado de tudo que nos afeta” (DUBNER; LEVITT, 2005, página de capa). Apesar de se dizer “adisciplinar” a obra é intensamente “interdisciplinar”, ao alimentar a curiosidade do leitor com temas dos diversos campos do conhecimento humano, em uma abordagem que, se aplicada em sala de aula, permite ao mesmo tempo atualizar o conhecimento de professores e alunos e infundir nos estudantes o interesse pelo conhecimento (DUSCHL, 1997). A maneira como as aulas foram executadas deve muito às provocações do professor Pierluigi Piazzzi, feitas em seu livro “Ensinando Inteligência”, no qual o professor destaca a importância de todos os tipos de leituras para o desenvolvimento da inteligência dos alunos, e propõe o estabelecimento de vínculos entre as ciências “humanas” com as ciências “exatas” (PIAZZI, 2009).

Outras obras tiveram uma participação mais pontual, mas ainda assim importante. Por exemplo, a obra “Physics of Sailing”, de John Kimball (2010) foi útil na elaboração do capítulo do curso que tratava do aproveitamento da energia cinética do vento na propulsão de embarcações a vela.

O livro “Looking at Art and Artifacts” (CYCLEBACK, 2013) trouxe elementos para avaliar-se a segurança do experimento com o vaso de urânio, confirmando a informação de que as quantidades de urânio depletado presentes no material (vidro de urânio), apesar de suficientes para produzir o belo efeito do experimento demonstrativo, são pequenas demais para oferecer qualquer risco mensurável aos alunos ou ao professor.

Entre as possíveis matrizes energéticas para o futuro, foi discutida, na última aula a viabilidade da utilização dos hidratos de metano e também as sérias consequências ambientais do uso em larga escala desse combustível. A aula utilizou como subsídio a obra “Realizing the Energy Potential of Methane Hydrate for the United States”, produzida pelo Governo dos Estados Unidos (2010).

## **2.2 Dissertações do PPGEC-UnB**

Das dissertações do PPGEC-UnB, foram selecionadas nove que apresentam pontos de afinidade com este trabalho. Abaixo estão elencadas, por ano de publicação:

Em relação à história da ciência, destaca-se “O Uso de Casos Históricos no Ensino de Física: Um Exemplo em Torno da Temática do Horror da Natureza ao Vácuo”, trabalho de Sebastião Portela, que procura valorizar a História da Ciência no Ensino de Ciências, através do estudo de casos históricos (PORTELA, 2006).

O trabalho “O Uso de Experimentos Históricos no Ensino de Física: Integrando as Dimensões Histórica e Empírica da Ciência na Sala de Aula”, de Ronaldo C. O. Paula, aborda experimentos históricos que podem ser aplicados no ensino de física, articulando a dimensão histórica do conhecimento científico em sala de aula (PAULA, 2006). Esse trabalho lembra-nos de que uma abordagem histórica e uma abordagem empírica são perfeitamente compatíveis, orientação que procuramos seguir no Curso aqui relatado.

Na mesma linha, e identificando no desinteresse dos alunos pelo estudo da Química Orgânica um sintoma da crise do ensino de ciências, Cláudio N. Pereira propõe o ataque ao problema através de um módulo de ensino. Através de seu módulo de ensino procura aliar a perspectiva histórica à experimentação (PEREIRA, 2008). Esse é o tema de sua dissertação “A História da Ciência e a Experimentação no Ensino de Química Orgânica”.

A temática histórica também está presente em “Aprendizagem da Lei da Gravitação Universal com Uso de Hipermídia de Abordagem Histórica”, de Elvis Vilela Rodrigues. O autor propõe ferramenta de hipermídia de abordagem histórico-temática para o ensino de gravitação universal no Ensino Médio (RODRIGUES, 2008).

A interdisciplinaridade e a contextualização que defendemos neste trabalho também aparecem em “A Radioatividade como tema em uma perspectiva Ciência-Tecnologia-Sociedade com foco em História e Filosofia da Ciência”, de Luciana Machado da Silva. A autora apresenta estratégia para melhorar a compreensão dos alunos de Ensino Médio sobre o conceito de radioatividade, em um contexto interdisciplinar (SILVA, 2009).

Outro trabalho que associa história e ciência experimental é “História da Ciência e a Experimentação na Constituição do Conhecimento Escolar: A Química e as Especiarias”, de autoria de Ronaldo da Silva Rodrigues. Propõe um módulo de ensino que possa auxiliar o trabalho de ensino aprendizagem do conteúdo funções orgânicas, valorizando a experimentação e a relação entre a Ciência e a História (RODRIGUES,

2009). Esse triângulo Experimentação, Ciência e História também está presente em nosso Curso.

“Uma proposta de plano de curso para conteúdos de Física em Nível Médio, através do trabalho articulado entre professores de Física e de Matemática, em situação de coordenação pedagógica, visando a Aprendizagem Significativa” é o título da dissertação defendida em 2012 por Wilker Dias Oliveira. Nela o autor desenvolve um plano de curso articulado entre as disciplinas de Física e Matemática, trabalhando de forma integrada os conceitos de dinâmica e cinemática, da física, e funções, da matemática (OLIVEIRA, 2012).

No mesmo sentido de articular as disciplinas de física e matemática, surge em 2013 “Grandezas, Funções e Escalas - Uma Relação Entre a Física e a Matemática”, de Cristiano Pereira da Silva. O autor toma como meta a formação de cidadãos críticos, e propõe material didático instrucional com abordagem cultural integradora da física e da matemática (SILVA, 2013).

Naquele ano também foi defendida a dissertação “Contribuições Didático-Pedagógicas do Cinema para o Ensino das Ciências da Natureza na Educação Básica por uma Abordagem Histórico-Filosófica das Ciências”, de Ester de Albuquerque. A autora desenvolve abordagem histórico-filosófica das ciências, com o objetivo de contribuir para o ensino em e sobre as ciências da natureza, ampliando a leitura de mundo dos alunos (ALBUQUERQUE, 2013). A articulação das artes (cinema, teatro, pintura...) com as Ciências Naturais é proposta que também defendemos. Em nosso trabalho o cinema, por exemplo, apareceu como elemento da aula sobre energia nuclear, quando foram discutidos pelo menos dois filmes sobre o tema.

### **2.3 Outras Dissertações**

Entre as dissertações externas a este programa de pós graduação que foram pesquisadas, destacam-se as seguintes:

Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de Pernambuco (PPGE - UFPE), com a dissertação intitulada "A Autoridade Docente nas Representações Sociais de Professores(as): Implicações no Espaço da Sala de Aula", de autoria de Márcio Albuquerque, especialmente importante para nosso trabalho no que tange à significação do termo "contextualização" (ALBUQUERQUE, 2009).

Mestrado em Educação Aplicada às Geociências, do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp. Dissertação de Vívian Branco Newerla intitulada “RIOS VISTOS E REVISTOS: as expedições de exploração do sertão da Comissão Geográfica e Geológica na história da ciência e ensino de ciências naturais”. Na dissertação destaca-se a história da ciência como parte da estrutura orientadora para a alfabetização em ciências (NEWERLA, 2000). Destaca-se também a presença de elementos da História Geral, e não apenas da História da Ciências, como elementos auxiliares no Ensino de Ciências.

Programa de Mestrado do Instituto de Física e da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo – USP. Dissertação “O Ensino do Conceito de Tempo: Contribuições Históricas e Epistemológicas. “De André F. P. Martins. Publicado em 1998, sob orientação do Prof. Dr. João Zanetic, que também é referência neste trabalho, o autor discute o conceito de tempo e seu ensino através da utilização em sala de aula da história da ciência (MARTINS, 1998).

Mestrado Universidade de Aveiro. Dissertação intitulada “O recurso à história da física para uma aprendizagem por mudança conceptual no contexto da formação contínua de professores: um exemplo para a queda dos graves.” Autor A. M. Cardoso, 1996. Outro texto que sai em defesa do ensino de História da Ciência, particularmente da Física (CARDOSO, 1996).

## **2.4 Revistas**

Segue, abaixo, uma lista em ordem alfabética das revistas das quais foram obtidos os principais artigos, a partir de uma pesquisa de dez anos (2004 a 2014) mas que se estendeu para anos anteriores para abranger artigos que nos pareceram particularmente interessantes.

- Caderno Catarinense de Ensino de Física
- Ciência e Educação (Bauru) – Publicação da Universidade Estadual Paulista (UNESP)
- Estudios Pedagógicos – Publicação da Universidade Austral do Chile
- Interface - Comunicação, Saúde, Educação - publicação interdisciplinar, da UNESP
- International Journal of Science Education
- International Studies on Law and Education
- Journal of Chemical Education

- Proposições – Revista da Faculdade de Educação da Unicamp
- Psicologia & Sociedade – Publicação da Associação Brasileira de Psicologia Social
- Química Nova na Escola
- Revista Delta (Documentação de Estudos em Linguística Teórica e Aplicada)
- Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias
- Revista Nova Escola
- Saúde e Sociedade
- Studies in Science Education

## 2.5 Repositórios dos artigos selecionados

Inicialmente foram selecionados 88 artigos, a partir de bancos de dados como a Scientific Electronic Library Online - Scielo ([www.scielo.org](http://www.scielo.org)), o Google Acadêmico ([scholar.google.com](http://scholar.google.com)), a Biblioteca Digital da Unicamp ([www.bibliotecadigital.unicamp.br](http://www.bibliotecadigital.unicamp.br)) e o Portal de Periódico CAPES/MEC, com acesso remoto ao conteúdo assinado pelo Portal via "CAFe" ([www.periodicos.capes.gov.br](http://www.periodicos.capes.gov.br)). Em geral optou-se por trabalhar com artigos a partir de 2004 até o final de 2014. Alguns textos de anos anteriores a 2004 foram mantidos em razão de serem especialmente interessantes para o trabalho. Desses 88 artigos, 48 foram descartados após a leitura, por apresentarem propostas que nos pareceram bastante válidas, mas que tinham objetivos e concepções de interdisciplinaridade ou de transposição didática muito diferentes dos que subsidiam o presente trabalho. Restaram, portanto, 40 artigos. Alguns já fazem parte deste capítulo, outros serão acrescentados à versão final do texto, que será apresentada em breve.

A seguir são apresentados vários desses artigos, dos quais a maioria apresenta propostas de abertura da física e da química para a interdisciplinaridade. É desse tipo de propostas que este trabalho se aproxima.

## 2.6 Artigos

**Quando o Sujeito se Torna Pessoa: Uma Articulação Possível entre Poesia e Ensino de Física** (LIMA et al, 2004) – Os autores partem da interpretação do texto “Mensagem”, de Fernando Pessoa, para desenvolver discussão de tópicos que

preocupam os pesquisadores de Ensino de Física. As condições apresentadas pelo poeta – simpatia, intuição, etc. foram usadas para auxiliar o entendimento de símbolos e seus rituais, de forma viva.

O texto faz uma interessante alusão ao “reconhecimento da grande distância existente entre a Física do físico e aquela ensinada na escola” (LIMA et al, 2004). Essa premissa vai ao encontro do conceito de transposição didática, como entendido por Chevallard (2009). Os autores propõem através da articulação entre física e poesia, um caminho mais criativo, mais imaginativo, para alcançar essa transposição.

Para o trabalho aqui proposto, de interação entre a Física, a Química e a História, é instigante perceber que já existem propostas fundamentadas e postas em prática, que também buscam a superação das barreiras entre as ciências “naturais” e as ciências “humanas”. No caso do texto aqui analisado, de Lima et al (2004), e do próximo texto, de Zanetic (2011), a superação das barreiras é feita pela aproximação interdisciplinar entre a física e a literatura.

**Física e Literatura** (ZANETIC, 2011) –O autor, professor do instituto de física da Universidade de São Paulo (USP), procura construir pontes entre a física e a arte, esta representada pela literatura e pelas letras de música. Busca com essa iniciativa uma forma alternativa de ensino da física e um caminho para superar a crise de leitura que percebe entre os jovens.

Zanetic (2011) manifesta “convicção de que a física deve participar da formação cultural do cidadão contemporâneo, independente das eventuais diferenças de interesses individuais e das mais variadas motivações acadêmicas e/ou profissionais”. O autor propõe atividades interdisciplinares entre o professor de física e o de português, na análise de obras científicas com forte teor literário, como é o caso dos *Diálogos* e dos *Discursos*, de Galileu. Ou de obras literárias com forte teor científico, como é o caso de *Da Terra à Lua*, de Júlio Verne.

**El Concepto de Valencia: Su Construcción Histórica y Epistemológica y La Importancia De Su Inclusión em la Enseñanza Ciência & Educação** (BADILLO et al, 2004) – Através da análise de proposta didática de ensinar a história do conceito de valência em Química, os autores destacam a importância da história e da filosofia dos

modelos, teorias e conceitos científicos no ensino de ciências, uma discussão que em diversos países perpassam os objetivos educacionais há décadas (PORTO, 2011).

Contudo, Badillo et al (2004) salientam também os riscos de se apresentar a história da ciência de modo fragmentado e parcial, que conduziria ao outro extremo, à defesa da omissão completa da história da ciência nos livros didáticos, para evitar esses riscos. Contudo, discordam dessa posição extremada e propõem a utilização da história interna associada à história externa, posição que este trabalho também defende.

Fazemos eco ainda à recomendação de cautela presente no texto – recomendação que esperamos ter seguido neste trabalho – no sentido de evitar a apresentação fragmentada e parcial de fatos da história da ciência. Essa preocupação estendemos à análise que fizemos de fatos da história geral, sempre cuidadosa e fundamentada em obras reconhecidas e em análises razoavelmente pacificadas entre os historiadores.

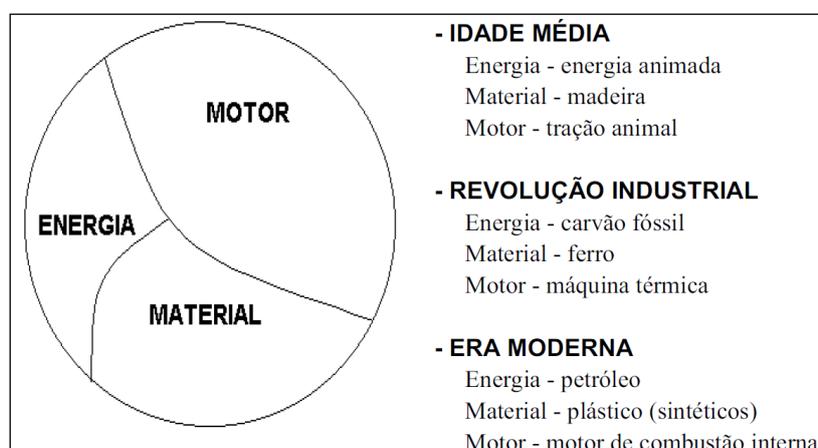
**A Interdisciplinaridade no Ensino das Ciências a Partir de uma Perspectiva Histórico-Filosófica** (GUERRA et al, 1998) – Nesse artigo critica-se a compartimentalização exagerada do conhecimento em disciplinas isoladas que, segundo os autores, “produz nos estudantes a falsa impressão de que o conhecimento e o próprio mundo são fragmentados.”

Propõem, para superar essa compartimentalização e permitir um trabalho integrado entre a física e as demais disciplinas, a elaboração de textos de história da ciência e o trabalho integrado com um tema gerador. Optam pelo mesmo tema adotado neste trabalho, ENERGIA. Diferentemente deste trabalho, que tem como destinatários alunos do Ensino Médio, Guerra et al (1998) propõem um trabalho de formação continuada de professores. Assim como ocorre nos textos mencionados anteriormente, os autores buscam fazer o aluno compreender que a produção de conhecimento (e destacam que isso se aplica a qualquer conhecimento, não apenas científico) ocorre no contexto das sociedades onde é produzido.

Justificam a opção pelo tema Energia por ser um conteúdo que pode ser amplamente trabalhado por diferentes disciplinas e que ao mesmo tempo tem relevância como ferramenta auxiliar na compreensão da realidade (GUERRA et al, 1998). Os autores propõem a divisão histórica em três épocas, Idade Média, Revolução Industrial, e Era Moderna. Ao lado da ilustração, listam os três subtemas (energia-material-motor) para cada época (figura 1). Esta lista de subtemas é, no nosso entendimento, um dos

aspectos mais interessantes da proposta, porque serve de canal para a participação de outras disciplinas, como a História, no aspecto das lutas por obtenção de fontes de energia (primeiro subtema: energia) e a Química, no aspecto da composição das diferentes matérias-primas e combustíveis empregados ao longo da história (segundo subtema: material). A física perpassa os três subtemas, mas é a disciplina dominante quando se fala de forças envolvidas nos equipamentos empregados (terceiro subtema: motor).

**Figura 1 Abordagem triangular do tema gerador energia (energia-motor-material) proposta por Guerra et al (1998, p 42)**



**Repensando uma proposta interdisciplinar sobre ciência e realidade (ROCHA FILHO et al, 2006)** – Assim como o texto anteriormente analisado, de Guerra et al (1998), este também trata de um projeto interdisciplinar para formação de professores. O público foram professores de Química, Física, Biologia e Matemática. Optou-se pelos temas geradores LUZ E VIDA e A NATUREZA DA REALIDADE. Rocha Filho et al (2006) propõem que o professor “assuma-se como um profissional ampliado, aberto a questões próprias do seu tempo, historicamente situadas”.

Propõem ainda o trabalho com Unidades de Aprendizagem, que definem como “um conjunto de atividades estrategicamente escolhidas para trabalhar um tema, a fim de se obter aprendizagens significativas em termos de conteúdos, habilidades e atitudes” (ROCHA FILHO et al, 2006, p 325). Descrevem a participação dos professores em torno do tema gerador LUZ E VIDA, com os professores de Química abordando a cor nos diversos compostos, os de Física trabalhando ondulatória e mecânica quântica, os de Biologia trabalhando a fotossíntese, os de Matemática trabalhando a modelagem

matemática, linha de pesquisa em educação matemática capaz de integrar-se às demais disciplinas, quando aquelas utilizam instrumental matemático.

Nota-se que a participação dos professores foi fundamentalmente multidisciplinar, cada um apresentando aspectos do tema gerador pertinentes à sua própria disciplina, com exceção de matemática, que, conforme infere-se do relato contido no texto, pôde avançar na modelagem de elementos matemáticos presentes nos conteúdos abordados pelas demais disciplinas a partir do tema proposto.

**Apropriação discursiva do tema 'interdisciplinaridade' por professores e licenciandos em fórum eletrônico** (REZENDE; QUEIROZ, 2009) – As autoras relatam o transcurso de um projeto de formação docente com licenciandos em Física e professores de várias disciplinas da escola pública, a fim de engajá-los na implementação de um projeto pedagógico interdisciplinar nas escolas. Como nos trabalhos anteriormente analisados (GUERRA et al, 1998; ROCHA FILHO et al, 2006), aqui temos também o estabelecimento de um tema integrador das disciplinas. O tema escolhido foi “100 anos do 14-bis”.

Os participantes deveriam planejar coletivamente as aulas interdisciplinares em torno do tema proposto, o que seria feito usando como plataforma um fórum eletrônico. As fortes divergências que surgiram e assumem importância central no relato, mostram como é desafiador, e eventualmente frustrante, reunir um grupo de professores para uma prática interdisciplinar.

Transparecem tensões subjacentes entre professores das disciplinas de ciências naturais e professores das disciplinas de ciências humanas, e o ceticismo dos primeiros em relação ao discurso dos segundos. Conforme manifestações dos licenciandos transcritas pelas autoras, esse ceticismo acaba alcançando a própria interdisciplinaridade, vista pelos participantes do projeto como muito bonita na teoria e inviável na prática. A superação de eventuais barreiras de comunicação entre as disciplinas deve ser um dos objetivos de um projeto que se pretenda interdisciplinar, como o que é proposto no presente trabalho.

**Disciplinaridade, sim!** (KAWAMURA, 1997) – No caminho inverso ao que propõem os demais artigos analisados, Maria Regina Kawamura (1997) propõe a construção da ideia de ciência analisando os limites da interdisciplinaridade. A autora

observa que a educação em ciência é fortemente influenciada pela educação em física, de modo que química, biologia e outros conhecimentos sofrem um processo de erosão de suas especificidades, processo que entende ser ampliado pela moderna defesa da interdisciplinaridade.

Em razão do processo erosivo que observa nas especificidades das disciplinas, propõe que “ao invés de ir buscar uma composição forçada com outros saberes, caberia ao ensino de física ensinar a reconhecer o âmbito da própria física, para assim revelar a existência de outros âmbitos, permeados inevitavelmente por valores sociais” (KAWAMURA, 1997, p 5).

Tal observação parece-nos pertinente e relevante, uma vez que muitos trabalhos interdisciplinares, especialmente aqueles que se baseiam em temas unificadores, aos quais os professores tentam se adaptar do jeito que acham possível, o que torna a interdisciplinaridade um processo forçado, artificial, o que tentamos evitar – e esperamos ter conseguido – no trabalho aqui apresentado.

**Congressos Internacionais sobre Transdisciplinaridade: reflexões sobre emergências e convergências de idéias e ideais na direção de uma nova ciência moderna** (ALVARENGA; SOMMERMAN; ALVAREZ,2005) - o texto traz uma crítica ao que entende ser o paradigma dominante da ciência moderna, “considerado fragmentador e redutor da realidade, porque centrado em disciplinas cujo pressuposto é ignorar o que existe ‘entre’ e ‘além’ de suas fronteiras. Entende a transdisciplinaridade como a congregação de cientistas e humanistas em prol da integração do conhecimento e da humanização da ciência, sem que isso signifique criar uma hiperdisciplina.

Os autores consideram que a metodologia transdisciplinar se sustenta em três pilares: a complexidade, os diferentes níveis de realidade e a lógica do terceiro incluído. Procuram mostrar que os Congressos Internacionais sobre Transdisciplinaridade mobilizaram a reflexão crítica - sob influência de pensadores como Jürgen Habermas, Cornelius Castoriadis, Boaventura de Sousa Santos, Edgard Morin, entre outros - na busca da superação da estreita concepção de racionalidade que entendem ser o fundamento da ciência moderna.

Atribuem ao racionalismo cartesiano e ao empirismo baconiano as formulações que desembocam no pensamento positivista hegemônico a partir do século XIX nas ciências naturais e, crescentemente, também nas ciências humanas. Entendem que esse

pensamento positivista, racionalista, é o que estabelece as fronteiras entre as disciplinas cada vez mais especializadas.

Alvarenga, Sommerman e Alvarez (2005) denunciam ainda o sistema capitalista como responsável pela imposição dessa crescente especialização da ciência “normal”, para usar a terminologia de Kuhn, e vislumbram no pensamento interdisciplinar, emergente nos anos 1960, e no transdisciplinar, mais recente, a ruptura com esse modelo de fragmentação do conhecimento, e a busca por uma pedagogia que contemple um pensamento articulado que ultrapasse o formalismo e o racionalismo estrito.

O trabalho aqui apresentado também entende como desejável ultrapassar as barreiras disciplinares como forma de alcançar um pensamento menos fragmentado, embora não compartilhe da visão negativa da organização do conhecimento em disciplinas, organização que entende necessária para a sistematização do ensino.

**Possíveis em Machado de Assis: Teatro e Ciência na Educação Científica** (GARDAIR; SCHALL, 2009) - As autoras analisam o uso do teatro como catalisador de uma atividade interdisciplinar envolvendo conteúdos científicos. Citam as peças "Vida de Galileu", de Bertold Brecht, "Os Físicos", de Friedrich Dürrenmatt, e "O Caso Oppenheimer", de Heinar Kipphardt como exemplos dessa interação. Entendem que a linguagem teatral é muito atual, porque sintetiza “tantas faculdades criativas do homem, na medida em que reúne variadas formas de expressão, como a literatura, a música, a dança, a arquitetura ou a pintura”(GARDAIR, SCHALL, 2009).

Afinadas com as propostas interdisciplinares que também subsidiam o trabalho aqui apresentado, entendem o estímulo ao diálogo entre atores e educadores como canal para o desenvolvimento de métodos de aprendizagem e descobrimento mais ricos.

No nosso trabalho também observamos essa empatia educador-ator, especialmente quando se trabalha com temas instigantes como a sobrevivência humana, que é, em última análise, o motivo da busca por formas de “produzir” energia. A curiosidade dos alunos em relação a nosso discurso é provavelmente tão gratificante quanto é a atenção catártica do público para os atores. Como dizia Ariano Suassuna (2012), “todo professor deve ter um pouco de ator”.

**História da Ciência: Elo da Dimensão Transdisciplinar no Processo de Formação de Professores de Ciências** (GOULART, 2005) – A autora critica a ciência ensinada na escola, como anacrônica, fragmentada, fechada ao questionamento,

dogmática. Infere-se do texto que o entendimento do pensamento científico passa pela compreensão da evolução das ideias filosóficas, sociais, políticas, ou seja, da cultura do meio em que esse pensamento foi gerado.

Disso resulta a necessidade de se estudar a história da ciência, enquanto processo não linear de ruptura com a interpretação meramente sensorial do mundo. Entre as evidências que apresenta para suas afirmações, nota-se o uso da famosa frase de Isaac Newton “Subi nos ombros de gigantes” como reconhecimento da necessidade de conhecer o pensamento antecedente. Identifica como um dos problemas fundamentais do ensino de ciência a construção do conhecimento comum e a persistência desse conhecimento enquanto o professor tenta produzir uma mudança conceitual para a compreensão científica da realidade. Traça um paralelo entre o erro do cientista e o erro do aluno, que deve servir para revisões do processo, e não ser tratado como algo censurável, castigável. Lembra que o conhecimento científico evoluiu assim, a partir de sucessivas correções de ideias erradas.

Em relação à integração ciência-história, a autora afirma que “a dimensão da transdisciplinaridade é inerente à compreensão da evolução do conhecimento científico”. Essa afirmação se justifica porque só assim “é possível entender as pré-condições e as conseqüências de um fato histórico, como por exemplo, o newtonianismo, no século XVIII, que influenciou a Literatura e as Artes.” Entende que essa relação é bilateral, a teoria marcando o meio em que surgiu e o meio cultural influenciando o desenvolvimento científico (GOULART, 2005). Defende, assim como fazemos neste trabalho, que o conhecimento da História contextualiza a disciplina científica, atribui sentido a ela e deve fazer parte das estratégias de ensino e de aprendizagem do professor de ciências.

**A História da Ciência na Prática de Professores Portugueses: Implicações para a Formação de Professores de Ciências** (DUARTE, 2004) –As limitações da educação científica tradicional para atuar na sociedade da informação e a necessidade da recuperação da “alfabetização científica” devem conduzir a uma reflexão mais ampla sobre como ensinar ciência para a formação de um cidadão cientificamente culto no século XXI (JUSTI; GILBERT, 2000, apud DUARTE, 2004). Maria da Conceição Duarte (2004) vê na história da ciência um instrumento para essa formação, tomando como base cinco argumentos que desenvolve ao longo do texto:

1. A apresentação histórica contextualiza as teorias científicas e enriquece a compreensão conceitual. Existem mesmo indícios importantes de que a construção histórica dos conceitos científicos e a construção psicológica desses conceitos pelos alunos seguem caminhos semelhantes (MAS et al, 1987, apud DUARTE, 2004).

2. A aprendizagem DE ciências precisa ser acompanhada de uma aprendizagem SOBRE ciência, se quisermos que os alunos percebam a ciência como construção humana (HODSON, 1998, apud DUARTE, 2004), recomendação que também aparecerá no próximo texto analisado neste capítulo: "O Ensino de História da Química: Contribuindo Para a Compreensão da Natureza da Ciência", de Maria C. Oki e Edílson Moradillo (2008, apud DUARTE, 2004).

3. A história da ciência pode ser uma arma no combate ao cientismo, a exaltação da ciência percebida como onipotente, e o dogmatismo, que considera ingênuas ou mesmo ridículas teorias de outras épocas, julgadas com os dados e ideias disponíveis hoje.

4. Mostrar a ciência como empreendimento histórico diminui a visão negativa que muitas pessoas têm da ciência e dos cientistas.

5. A história da ciência oferece ao aluno uma visão do desenvolvimento das ciências com importante potencial interdisciplinar, porque mostra esse desenvolvimento sendo influenciado pelos outros campos do conhecimento e influenciando esses mesmos campos.

Além disso, o estudo da história da ciência contribui para a conscientização em relação às concepções alternativas trazidas pelos alunos (GILBERT; WATTS, 1983, apud DUARTE, 2004), e para as propostas de mudança conceitual (POSNER et al, 1982, apud DUARTE, 2004), colocando "a ênfase nas concepções individuais dos estudantes e nas condições para a sua mudança ou desenvolvimento" (DUARTE, 2004, p 320).

A partir de estudos diagnósticos de Cardoso (1996), Martins et al (2002) e Cachapuz et al (2000), Duarte (2004) observa vários problemas na implementação da história da ciência nas salas de aula portuguesas, problemas certamente aplicáveis também à realidade brasileira. Entre esses problemas destacam-se:

- A incompatibilidade entre o discurso dos professores que atribuem valor à história da ciência mas pouco a utilizam na prática;

- A falta de formação adequada e de material didático para trabalhar história da ciência;
- A omissão de temas de ciência, tecnologia e sociedade (CTS) nas aulas;
- A visão a-histórica dos professores em relação às ciências;
- A atribuição ao experimento de papel apenas confirmatório ou ilustrativo; e
- A não problematização pelos professores da questão da neutralidade do conhecimento científico.

Recomenda mudanças nas estratégias de formação dos professores que possibilitem "uma formação multidisciplinar e multifacetada que terá que contemplar não só uma vertente educacional geral e específica, mas também uma formação cultural, pessoal, social e ética." (DUARTE, 2004, p 326) Essas novas estratégias, preconiza, deverão se estender à formação contínua e especializada (HODSON, 1998, apud DUARTE, 2004).

**O Ensino de História da Química: Contribuindo Para a Compreensão da Natureza da Ciência** (OKI; MORADILLO, 2008) – A história da química é usada pelos autores para fazer seus alunos compreenderem melhor a ciência, despertando para "concepções menos simplistas e mais contextualizadas sobre a natureza da ciência" e alcançando uma "melhor compreensão de conceitos, como a quantidade de matéria e mol". Procuram ainda humanizar a ciência e conecta-la à sociedade.

Criticam, porém, o ensino de história da ciência de forma desarticulada da filosofia da ciência, defendendo, a partir do pensamento de Michael Matthews, a importância do ensino SOBRE as ciências e não apenas do ensino DE ciências, como também havia notado Maria da Conceição Duarte (2004), no texto anterior analisado neste capítulo "A História da Ciência na Prática de Professores Portugueses: Implicações para a Formação de Professores de Ciências", a partir das observações de Hodson (1998).

Propõem, assim, a partir da obra de Matthews, discutir não apenas a ciência em suas hipóteses, leis, etc. mas também a validação e a legitimação do conhecimento científico. Apresentam uma breve "história da história da ciência", lembrando os trabalhos pioneiros de James Connant, na década de 1940, com seus "History of Science Cases", Gerald Holton, no pós-guerra, com sua "abordagem conectiva", que buscava relacionar a Física à Química, à História, etc.

Consideram que a história da ciência e a filosofia da ciência são de grande valor na superação do realismo notado por Bachelard (1991), aquele realismo ingênuo que confunde os modelos com os objetos de investigação e assume posições dogmáticas em relação às teorias. Também entendem que essa articulação entre história e filosofia da ciência é grande utilidade na transposição didática dos conteúdos, compreensão que compartilhamos.

**Subsídios para o uso da História das Ciências no Ensino: Exemplos Extraídos das Geociências** (SILVA et al; 2008) – Esse é um dos artigos que mais se aproximam do ideal do nosso trabalho, de uma abordagem histórica da ciência que alcance a história geral e não apenas a história da ciência, ainda que não se desvinculando inteiramente desta. As autoras discutem a utilização da história da ciência no ensino de História, Língua Portuguesa, Ciências, etc., apresentando interessantes exemplos dessa integração. Declaram seu entusiasmo pelo tema, admitindo-se “militantes” da história da ciência em todos os níveis de ensino e combatem a visão tradicional da a-historicidade da Ciência. Entre os autores que fundamentam sua linha de investigação, está Vivian Branco Newerla (2000):

A visão tradicional, ainda muito presente no senso comum e mesmo entre a comunidade científica, nos apresenta a ciência como uma atividade neutra que funcionaria somente por uma lógica interna, independentemente de forças sócio-históricas e econômicas. Esta mesma visão considera os cientistas como pessoas absoluta e constantemente objetivas, abertas à comunidade, libertas de pressões sociais e econômicas, voltadas para a busca de verdades desinteressadas e possuidores de um método infalível (NEWERLA, 2000).

Contrapõem-se a essa visão de neutralidade adotando o conceito de ciência como objeto de abordagem historiográfica a partir da influência de fatores internos e externos à produção científica (KUHN, 1978). Entendem que é fundamental notar as relações de poder, as negociações na comunidade científica, que sustentam as “verdades” aceitas por essa mesma comunidade, mais do que – acreditam – o reflexo da natureza “como ela é”.

Percebem a História da Ciência como um recurso humanizador da Ciência, capaz de desfazer a ideia de uma ciência remota, produzida por gênios, na esteira do pensamento de Michael Matthews (1994):

Humanizar as ciências e aproximá-la mais dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos; tornar as aulas mais estimulantes e reflexivas, incrementando a capacidade do pensamento crítico; contribuir para uma compreensão maior dos conteúdos científicos, [...]; melhorar a formação dos professores contribuindo para o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, isto é, a um melhor conhecimento da estrutura de ciência e seu lugar no marco intelectual das coisas. (MATTHEWS, 1994 p 72 apud SILVA et al, 2008)

Percebem ainda na História da Ciência um recurso útil não apenas para o ensino, mas até mesmo para o trabalho científico, uma vez que “o conhecimento da história de uma ciência permite desenvolver a capacidade crítica, o espírito de análise e de precisão e a atitude atenta e curiosa indispensável para o pensamento científico” (OBREGÓN, 2006, p 543 apud SILVA et al, 2008).

Com base em Hodson (1985), identificam no que chamam de *teaching style* dos professores um possível motivador da internalização de mitos sobre ciência e cientistas pelos alunos, uma vez que os próprios professores frequentemente reproduzem esses mitos “ao projetar uma imagem de ciência como produto acabado, e não como um processo que envolve seres humanos e contextos”, acabando por criar ou reforçar “a imagem da ciência enquanto atividade neutra, imparcial e superior” (SILVA et al, 2008, p 500).

A superação dessa imagem mítica da ciência só se daria na mudança nesse *teaching style*, e uma das ferramentas para essa mudança seria o incentivo ao uso da História das Ciências em sala de aula.

As concepções Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) fazem parte do marco teórico das pesquisadoras, uma vez que

as histórias das ciências e da tecnologia são (...) parte integral das histórias das nossas sociedades, em seus diferentes tempos e lugares, revelando as relações complexas, necessárias e tantas vezes conflituosas entre os componentes técnicos, científicos, culturais, políticos, econômicos, individuais e sociais que as constroem. (FIGUEIRÔA, 2003, p. 153)

No nosso entendimento são profundamente felizes quando exemplificam a historicidade da ciência com uma análise da posição da Química e da Física na Primeira e na Segunda Guerra Mundial, respectivamente. Propõem trabalhar em Química o uso

de armas químicas na Primeira Guerra Mundial e em Física o uso de armas nucleares. Transformamos essa análise na tabela 2, expandindo a proposta e introduzindo outros subtemas. Essa tabela deverá futuramente servir de balizador para uma aula interdisciplinar:

**Tabela 2 Integração História - Química - Física usando como temas as duas Guerras Mundiais**

Evento Histórico	História + Química	História + Física
Primeira Guerra Mundial	Armas Químicas: gás lacrimogêneo, cloro, fosfogênio, gás mostarda. Novas tecnologias: síntese da amônia, borracha, explosivos, avanços na metalurgia...	Uso do avião, projéteis balísticos, submarinos...
Segunda Guerra Mundial	Polímeros: borracha sintética, nylon, teflon...	Mísseis/foguetes, avião a jato, radar, energia nuclear, bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki...

Silva et al (2008) propõem ainda valorizar a ciência nacional através da análise das contribuições para a Ciência de figuras históricas. Exemplificam com a biografia de José Bonifácio, muito lembrado nos livros de História como o “patriarca da independência”, mas desconhecido como cientista que prestou contribuições para a mineralogia e para o desenvolvimento da mineração (VARELA, 2006).

**Resolución de Problemas Científicos desde la Historia de la Ciencia: Retos y Desafíos para promover Competencias Cognitivo Lingüísticas em la Química Escolar** (GONZÁLEZ; QUINTANILLA, 2008) – A proposta do artigo é abordar a utilidade para o ensino de química do estabelecimento de relações entre os problemas enfrentados pelos estudantes e pelos cientistas em momentos da História da Ciência contextualizados para o desenvolvimento em sala de aula, em uma perspectiva construtivista.

Os autores manifestam o objetivo de oferecer aos alunos uma educação científica destinada à formação de cidadãos capazes de contribuir de maneira autônoma

e participativa nas decisões da vida cotidiana e criticam a escola atual porque "se evidencia que la enseñanza de las ciencias en la escuela poco promueve estas finalidades." (GONZÁLEZ; QUINTANILLA, 2008).

A partir dos estudos de Dushchl (1997, apud GONZÁLEZ; QUINTANILLA, 2008) notam que os professores de ciências geralmente se preocupam mais com a falta de tempo para tratar conteúdos do que com o desenvolvimento de processos reflexivos sobre a importância desses conteúdos para a formação científica dos estudantes, acabando por não obterem uma aprendizagem significativa.

Entendem como uma das causas da crise de identidade pela qual passa o ensino de Química "la enseñanza desde una perspectiva demasiado dogmática, alejada de las finalidades y valores de los estudiantes". Observam também uma teorização excessiva no ensino de Química, a falta de relação com a prática, a perspectiva a-histórica dos conteúdos desenvolvidos e a falta de uma preocupação com a utilidade desses conteúdos para os alunos:

la enseñanza de la Química se ha visto sólo desde la perspectiva de la enseñanza de ideas teóricas sin explicar suficientemente a qué tipo de intervención se refieren, por lo que la práctica se convierte para los alumnos en un ejercicio irracional conectando conocimientos que no son comprendidos ni útiles para ellos. (GONZÁLEZ; QUINTANILLA, 2008, p 199).

Consideram necessário praticar reconstruções históricas a partir de "interpretaciones serias, rigurosas e intencionadas y que pueden utilizarse como aporte para la enseñanza de la ciencia y la promoción de competencias cognitivo lingüísticas". No entanto, entendem que essa prática esbarra na frágil formação histórico-epistemológica dos professores de ciência, os quais

sin ser historiadores deben conocer los orígenes de la ciencia que enseñan, ser autónomos para seleccionar las temáticas que consideran relevantes dentro de la disciplina, articularlas con otros contextos y saber eruditos que sean importantes para los alumnos, promover actividades problematizadoras que los estimulen para que construyan conocimientos científicos con las teorías que se proponen desde la Química. (GONZÁLEZ; QUINTANILLA, 2008, p 202).

Somente o investimento na formação de professores capazes de alcançar essa práxis poderá viabilizar o uso da história da ciência como catalisador da aprendizagem da Química, para possibilitar ao aluno do Ensino Médio, "aprender a aprender, (...) promover de maneira significativa competencias cognitivolingüísticas para la

construcción y reelaboración conciente de conceptos y teorías científicas que permitan interpretar y transformar el mundo real”. (GONZÁLEZ; QUINTANILLA, 2008, p 209).

**Cómo utilizar la Historia de las Ciencias en la Enseñanza de las Ciencias** (GAGLIARDI, 1988) – O autor propõe o ensino da história da ciência como recurso para melhorar os resultados da aprendizagem nas disciplinas científicas. Observa que a abordagem da história da ciência permite discutir “sobre la producción, la apropiación y el control de los conocimientos a nivel social e individual”, bem como complementar o ensino de outras disciplinas, em particular história e geografia (GAGLIARDI, 1988), proposta muito próxima da que é apresentada neste trabalho.

Seguindo uma linha construtivista, propõe que a história da ciência seja apresentada não como mais um conteúdo, mas como uma nova maneira de organizar a aula para possibilitar aos próprios alunos desenvolverem novas estruturas cognitivas, novos esquemas que lhes permitam construir novos conhecimentos. Acredita que a partir da análise das teorias científicas e de sua história,

la historia de las ciencias permite visualizar cuáles han sido los conceptos que han permitido la transformación de una ciencia, la elaboración de nuevas teorías, la utilización de nuevos métodos y nuevos instrumentos conceptuales. (GAGLIARDI, 1988, p 294)

Diante do argumento de que o tempo disponível já é escasso para completar os extensos programas de ciências, insurge-se, considerando essa alegação correta apenas sob uma perspectiva tradicional “en la cual se trata de lograr que los alumnos aprendan el máximo posible”. Na perspectiva que idealiza, ao contrário, os professores não estão vinculados a extensos programas, mas aderem a um esquema flexível, “que permite al enseñante adecuarse al proceso de aprendizaje concreto de sus alumnos, dándoles el tiempo necesario para desarrollar sus capacidades.” (GAGLIARDI, 1988, p 294)

O ensino de história das ciências como complemento das disciplinas de história e de geografia se justifica para Gagliardi (1988), porque “la construcción de conocimientos y su aplicación a la tecnología son parte importante de las transformaciones sociales.” Também considera útil “ligar la historia de las ciencias a la geografía para mostrar las transformaciones del territorio provocadas por la utilización de esas técnicas y los límites que el propio territorio impone”. Como razão adicional para utilizar a história da ciência como complemento para as ciências sociais, menciona

“la importancia cada vez mayor de la ciencia en la sociedad actual, y las transformaciones que se producen a nivel de la apropiación de los conocimientos científicos” (GAGLIARDI, 1988, p 295), para uma população que precisa compreender o que está acontecendo com o mundo, especialmente pela ação humana, e tomar decisões fundamentadas a respeito.

Em praticamente todos os textos aqui analisados, observa-se uma crítica recorrente à fragmentação do conhecimento provocada pela compartimentalização disciplinar e pela falta de diálogo entre as disciplinas. Vários deles propõem o uso da história da ciência como ferramenta didática para humanizar a ciência e para fomentar o diálogo entre as disciplinas científicas umas com as outras e com as humanidades.

É de se notar que em nenhum dos textos a proposta se estende para além da história da ciência, em nenhum dos textos existe proposta de utilização da história geral, que é o objetivo, talvez pretensioso, do curso de um semestre aplicado em 2014 e cujos resultados serão aqui discutidos. Assim, o que propomos é a utilização da história GERAL e não apenas da história da ciência, como ferramenta didática para as disciplinas científicas e, evidentemente, para o diálogo dessas disciplinas com a disciplina de História. Nesse processo, durante o curso aplicado para alunos de Ensino Médio, percorreu-se toda a linha do tempo do desenvolvimento humano, fazendo paradas estratégicas em momentos nos quais as ciências, particularmente a química e a física, tiveram uma participação especial no desenrolar do tempo histórico.

Vários dos trabalhos aqui analisados propunham o uso de um tema unificador. O nosso curso seguiu essa orientação, adotando como tema unificador, ENERGIA. O trabalho discutiu as formas de energia utilizadas ao longo da história; mas não se limitou a isso, tendo também analisado aspectos culturais, éticos, até mesmo estéticos das sociedades cujas soluções energéticas foram analisadas. O trabalho foi interdisciplinar, e por isso foi frutífero e belo. Acreditamos na interdisciplinaridade porque acreditamos na beleza inerente ao conhecimento humano. Nas palavras de Jacob Bronowski (1974), “Man is unique not because he does science, and his is unique not because he does art, but because science and art equally are expressions of his marvelous plasticity of mind.”

### 3. DEFININDO CONCEITOS

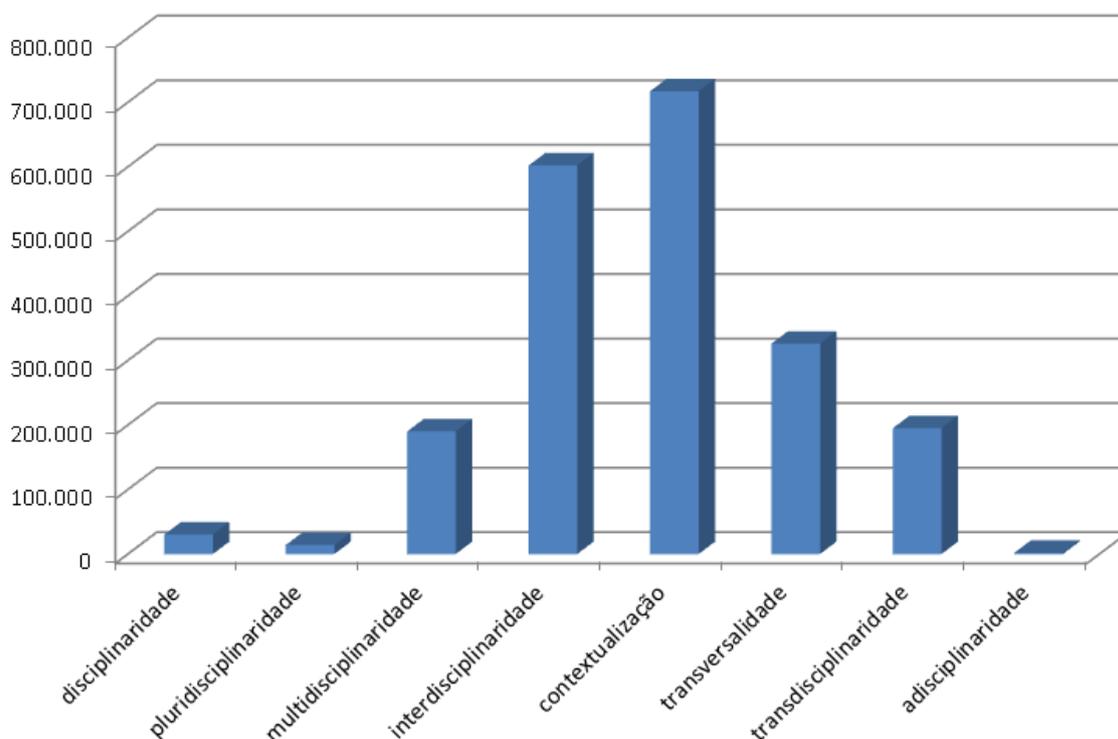
O jargão deve sempre se limitar ao estritamente necessário. No entanto, para dar clareza ao texto deste trabalho, é necessário definir os seguintes conceitos, alguns usados como sinônimos (ou quase sinônimos), outros usados como antônimos (ou quase antônimos): disciplinaridade, pluridisciplinaridade, multidisciplinaridade, interdisciplinaridade, contextualização, transdisciplinaridade e adisciplinaridade. Antes de definir os termos, procurou-se neste trabalho avaliar a prevalência deles em língua portuguesa, como forma de estimar indiretamente, a importância para a literatura especializada. A tabela 3, montada a partir de uma pesquisa simples no Google, mostra a prevalência de cada um dos termos nas respostas oferecidas pelo buscador:

**Tabela 3 Resultados para busca online dos conceitos relevantes para este trabalho**

Palavra pesquisada no buscador Google	Número de resultados
disciplinaridade	30.300
pluridisciplinaridade	14.000
multidisciplinaridade	190.000
<b>interdisciplinaridade</b>	<b>602.000</b>
<b>contextualização</b>	<b>717.000</b>
transversalidade	326.000
transdisciplinaridade	195.000
adisciplinaridade	1.840

Plotando em um gráfico os resultados obtidos na tabela 3 fica clara a prevalência do termo “interdisciplinaridade”, só superado por “contextualização” provavelmente porque essa última palavra é muito utilizada em outros contextos, com outros significados (figura 2).

**Figura 2** Prevalência de termos em busca online. No eixo vertical, o número de resultados.



Em suas análises, os linguistas utilizam largamente os *corpora*, repositórios das palavras frequentes em diversos idiomas, organizados de forma científica. A tabela 4 foi montada a partir de pesquisa dos substantivos disciplinaridade, pluridisciplinaridade, multidisciplinaridade, interdisciplinaridade, contextualização, transdisciplinaridade e adisciplinaridade no Corpus da Língua Portuguesa (DAVIES e FERREIRA, 2015), repositório que contém 45 milhões de palavras:

Tabela 4 Ocorrência dos termos relevantes no Corpus da Língua Portuguesa

Substantivo pesquisado no Corpus	Ocorrência	Exemplo de frase em que a palavra aparece no Corpus
disciplinaridade	1	Somente é possível compor um todo juntando as partes quando você conhece as partes. A <b>disciplinaridade</b> é o ato de conhecer essas partes. (KAWAMURA, 1997 apud MARTINS, 1998)
pluridisciplinaridade	0	-
multidisciplinaridade	2	as visitas monitoradas, em que, por intermédio de palestras introdutórias, os alunos são conduzidos a conhecer a <b>multidisciplinaridade</b> dos estudos oceânicos; as exposições itinerantes, que para citar dois exemplos, temos: a do “Ambiente Marinho” (apresenta a biodiversidade e a distribuição dos organismos nos oceanos) e a “Expo-Antártica” (painéis fotográficos relatando as expedições científicas do IO às terras geladas). (autor não localizado)
interdisciplinaridade	13	A verdadeira problematização passa, acreditamos, pela <b>interdisciplinaridade</b> . Como problematizar um determinado conteúdo de física, por exemplo, sem efetivamente incorporar os elementos dessa problematização em uma prática subsequente? E não refletirão esses elementos uma riqueza conceitual e lingüística (cultural, enfim) própria dos estudantes, e que não pode ser desprezada? Não poderão esses elementos contribuir para a “delimitação” do conhecimento em física, numa prática interdisciplinar? Para nós, a resposta às duas últimas questões é a mesma: sim! (MARTINS, 1998)
contextualização	29	enquanto conteúdo e significado, que adquirem uma carga semântica específica por meio da sua <b>contextualização</b> (ZAVAGLIA, 2003 apud ALBUQUERQUE, 2009)
transversalidade	2	É impressionante como as pessoas usam o ensino a distância mas não conseguem, nem mesmo produzir um conteúdo reticular, quanto mais uma <b>transversalidade</b> ao nível dos saberes. (PARENTE, 2004)
transdisciplinaridade	0	-
adisciplinaridade	0	-

Uma vez que não houve resultado no Corpus para os substantivos pluridisciplinaridade, transdisciplinaridade e adisciplinaridade, buscaram-se os adjetivos correspondentes a todos os substantivos pesquisados anteriormente, que foram compilados na tabela 5:

**Tabela 5 Prevalência dos adjetivos**

Adjetivo pesquisado no Corpus	Ocorrência	Exemplo de frase em que a palavra aparece no Corpus
disciplinar	184	“E, mesmo dentro de cada "disciplina", o conteúdo é subdividido de modo " estanque ", fazendo com que um determinado estudo (a mecânica de Newton, por exemplo) pouca ou nenhuma relação pareça ter com o seguinte (a óptica, por exemplo). A fragmentação é tamanha que, muitas vezes, "cinemática" parece absolutamente não se relacionar com "dinâmica", que se apresenta aos alunos como "outra matéria"! Certamente que (e é bom deixarmos isso bem claro) a perspectiva <b>disciplinar</b> é importante, no sentido de que o professor de física precisa ser conhecedor da física, para que possa estabelecer claramente os limites de tal conhecimento, seu âmbito de atuação, sua perspectiva do "real ".” (MARTINS, 1998)
pluridisciplinar	2	O homem que não é capaz de conviver com as gentes que não dominam a sua linguagem não é necessariamente um homem culto. Os homens das Ciências Humanas já não prescindem da informática, tem de se olhar o mundo de forma <b>pluridisciplinar</b> . (autor não localizado)
multidisciplinar	25	A geologia ambiental é uma área <b>multidisciplinar</b> que especializa seus conhecimentos na dinâmica dos rios, processos de sedimentação e de erosão, participando de equipes que elaboram relatórios ambientais analisando o nível de poluição nos lençóis freáticos, o impacto causado por atividades mineradoras numa determinada região ou a ocupação de um espaço físico.(autor não localizado)
interdisciplinar	37	A ecologia é uma ciência essencialmente <b>interdisciplinar</b> , ou seja, necessita de informações integradas das mais diversas áreas das ciências, como matemática, física, química, estatística, zoologia, botânica, bioquímica, entre outras. (CAMPOS, 2011)
contextual	20	que se processa a continuidade técnica do modernismo juntamente com preocupações de carácter histórico e <b>contextual</b> . (BIBLIOTECA UNIVERSAL, 2015)
transversal	116	Este é um problema complexo, multidisciplinar e <b>transversal</b> à sociedade e às instituições.(autor não localizado)
transdisciplinar	4	O contato com as técnicas e preceitos da Administração teve grande valor no constante aprimoramento do Dr. José Reis na prática da divulgação científica, frisa Jacques Marcovitch. O reitor da USP e ex-diretor da FEA (1983-86) faz uma analogia entre a fundação da Faculdade e o trabalho de J. Reis: assim como a FEA se originou de um projeto que juntou profissionais de diversos ramos do conhecimento, como o Direito, a Engenharia e a Filosofia, o mestre da divulgação científica no Brasil destaca-se por seu carácter <b>transdisciplinar</b> . "Ele, pelo fato de transitar entre o rigor administrativo, de um lado, e a pesquisa científica, que é tipicamente inovadora, de outro, conseguiu conciliar o formalismo da Administração, que é útil para disciplinar o raciocínio científico, e a capacidade inovadora do cientista que permite saltos qualitativos para as instituições que se pautam por uma lógica gerencial." (autor não localizado)
adisciplinar	0	-

Em todos os estudos realizados, observa-se a prevalência do termo interdisciplinaridade em relação aos seus quase sinônimos multidisciplinaridade e pluridisciplinaridade. Observa-se ainda o pequeno uso do termo transdisciplinaridade. Essas tendências foram mantidas ao se passar do substantivo para o adjetivo correspondente. Abaixo, são apresentadas definições para os termos na forma de substantivo.

### **3.1 Disciplinaridade**

Pode-se entender disciplinaridade como uma abordagem do conhecimento que busca organizá-lo, classificá-lo em campos mais ou menos especializados, denominados disciplinas. Por disciplina entende-se um ramo/campo do conhecimento, da instrução, da aprendizagem (CHOI et al, 2006). Segundo Menezes e Santos (2002), no campo da educação, disciplina é “um conhecimento organizado e ordenado didaticamente, classificado por graus de dificuldades e dirigidos a públicos com idades e capacidades cognitivas diferenciadas.” O embrião desse ordenamento didático do conhecimento surge nas universidades medievais. Em determinado momento da história, durante a Idade Média, o conhecimento ensinado nas universidades foi classificado em duas categorias, o Trivium e o Quadrivium. O Trivium tratava de assuntos da mente (dialética, gramática e retórica) e o Quadrivium tratava de assuntos da matéria (aritmética, teoria numérica musical, geometria e astronomia).

Essa divisão em dois grandes campos, que dariam origem a várias disciplinas mais específicas, teria originado a classificação atualmente utilizada entre “humanas”, o trivium, e “exatas”, o “quadrivium”. Teria originado ainda a palavra “trivial” associada a algo fácil (PIAZZI, 2009). Muitos professores das ciências naturais, as ditas “exatas”, ainda mantêm essa imagem caricata das ciências humanas, o que pode gerar resistências e atritos na elaboração de propostas interdisciplinares que tenham a pretensão de unir o “trivium” e o “quadrivium”. Exemplos dessas vicissitudes são encontrados no artigo “Apropriação discursiva do tema 'interdisciplinaridade' por professores e licenciandos em fórum eletrônico”, de Rezende e Queiroz (2009).

### 3.2 Multidisciplinaridade

Multidisciplinaridade pode ser definida como o trabalho concomitante de várias disciplinas, “sem fazer aparecer [SIC] as relações que possam existir entre elas, destinando-se a um sistema de um só nível e de objetivos únicos, sem nenhuma cooperação.” (MENEZES; SANTOS, 2002). O dicionário Aurélio dá uma definição sucinta para o adjetivo multidisciplinar, que define como "referente a, ou que abrange muitas disciplinas" (FERREIRA, 2004), definição que não sugere cooperação entre as disciplinas. O dicionário Houaiss segue no mesmo caminho, definindo multidisciplinar como aquilo “que contém, envolve ou distribui-se por várias disciplinas ou pesquisas” (HOUAISS e VILLAR, 2009). Ainda que as várias disciplinas se debrucem sobre um mesmo tema, não há preocupação de interliga-las, de modo que “cada matéria contribuiu [em relação ao tema] com informações próprias do seu campo de conhecimento, sem considerar que existe uma integração entre elas” (MENEZES e SANTOS, 2002). Na acepção de Choi e Pak (2006), a multidisciplinaridade "draws on knowledge from different disciplines but stays within their boundaries." No entanto, essa ideia restritiva de multidisciplinaridade não é universal ou consensual.

Para exemplificar a falta de universalidade, de consenso, em relação aos conceitos aqui examinados, tomemos o *website* do Imperial College, de Londres, que estabeleceu (entre suas metas para o período 2010-2014) a abordagem multidisciplinar (multidisciplinary) como objetivo a ser adotado pelas várias faculdades daquela instituição, ponderando o texto eletrônico que, embora seja fundamental a pesquisa em disciplinas-núcleo, a instituição estimula o trabalho “cross-disciplinary”, adjetivo que poderia ser traduzido como “interdisciplinar”. Essa aproximação do significado de multidisciplinar ao que vamos mais adiante tentar definir como interdisciplinar aparece já no primeiro parágrafo da página web da instituição tratando de multidisciplinaridade:

Whilst research within core disciplines is fundamental, we have always drawn upon the strength and depth of our knowledge within these areas to foster **cross-disciplinary** working. We encourage new multidisciplinary teams to come together in a timely manner in response to identified opportunities.” (IMPERIAL COLLEGE, 2014 – grifos nossos)

Choi e Pak (2006), por meio de revisão de literatura sobre multi, inter e transdisciplinaridade, percebem essa confusão semântica ao afirmarem que “[t]He

*terms multidisciplinary, interdisciplinary and transdisciplinary are increasingly used in the literature, but are ambiguously defined and interchangeably used.”*

### **3.3 Pluridisciplinaridade**

Pluridisciplinaridade é um conceito não menos ambigualmente definido, que se confunde com o de multidisciplinaridade. Pode-se tentar fazer uma distinção se entendermos a pluridisciplinaridade como um passo além, já que “possui disciplinas justapostas situadas geralmente no mesmo nível hierárquico, e agrupadas de modo a fazer aparecer [sic] as relações existentes entre elas” (MENEZES; SANTOS, 2002). O termo pluridisciplinar é pouco popular na literatura e não é referenciado na edição de 2004 do dicionário Aurélio, enquanto o termo multidisciplinar possui verbete próprio (FERREIRA, 2004). O mesmo ocorre no dicionário Houaiss, no entanto no verbete multidisciplinar o termo pluridisciplinar é apontado como sinônimo ou variação (HOUAISS e VILLAR, 2009). Menezes e Santos (2002), consideram que o termo pluridisciplinar seria aplicado a disciplinas afins (por exemplo, psicologia da educação e psicologia geral) ao passo que o termo multidisciplinar seria aplicado a disciplinas de menor proximidade (por exemplo, geografia e química). Consideram que nem a multidisciplinaridade nem a pluridisciplinaridade apresentam integração de conhecimentos, que seria característica da interdisciplinaridade.

### **3.4 Interdisciplinaridade**

Menezes e Santos (2002) definem interdisciplinaridade como uma “perspectiva de articulação interativa entre as diversas disciplinas no sentido de enriquecê-las através de relações dialógicas entre os métodos e conteúdos que as constituem”. Os autores consideram a busca pela interdisciplinaridade um movimento de oposição à especialização sem limites das disciplinas científicas que resulta na fragmentação do conhecimento (MENEZES; SANTOS, 2002).

Comparado com os termos correlatos multidisciplinaridade, pluridisciplinaridade e transdisciplinaridade, o termo interdisciplinaridade é o mais popular, conforme sugere o estudo comparativo sintetizado nas tabelas do início deste capítulo. Junto com essa prevalência da palavra interdisciplinaridade, nota-se a recorrente confusão com outros

termos, como multidisciplinaridade. O dicionário Aurélio, por exemplo, define interdisciplinar como "comum a duas ou mais disciplinas ou ramos do conhecimento" (FERREIRA, 2004), definição que não se distancia muito do que se entende por multidisciplinar, diferentemente da definição dada pelo dicionário Houaiss, no qual interdisciplinar é aquilo "que estabelece relações entre duas ou mais disciplinas ou ramos de conhecimento" (HOUAISS e VILLAR, 2009).

Autores de artigos sobre o tema costumam adotar uma definição que se afasta da acepção passiva do dicionário Aurélio (comum a duas ou mais disciplinas) e se aproxima da acepção ativa do dicionário Houaiss (que estabelece relações entre duas ou mais disciplinas), associando o termo interdisciplinaridade à análise, síntese e harmonização das conexões entre as disciplinas em um todo coordenado e coerente (CHOI e PAK, 2006). Em educação, essa definição relacional é adotada pelos professores entusiastas da interdisciplinaridade, infelizmente ainda raros e solitários no ambiente escolar, como notou Ivani Fazenda, em suas pesquisas (FAZENDA, 2007). É importante que a escola ofereça espaço para esses profissionais estimularem outros a ousar, a integrar uma proposta interdisciplinar.

A defesa da interdisciplinaridade enquanto desafio de ousar além do seu próprio campo disciplinar é belamente significada por Chevallard (2009):

Creo que una de las razones tenaces de esa obstinación en defender el espacio propio al tiempo que se ignora al resto del mundo —que la fuerza de las cosas nos obliga sin embargo a frecuentar—, fue el miedo de verse un día expulsados de esos verdes paraísos —de las matemáticas, de la física— en los que cada cual había crecido y madurado. Esforzándonos muy especialmente por no mirar hacia afuera, conservando la orientación de nuestra mirada hacia el alma mater, alfa y omega de toda la empresa, esperábamos ser vistos y amados finalmente por ella. El período en que vivimos debería acabar de denunciar la extrema ingenuidad de una apuesta semejante. No puede ser el hijo pródigo quien se limita a jugar entre las faldas de su madre (CHEVALLARD, 2009, p 142)

A oportunidade de experimentar “o medo de ver-se expulso do verde paraíso disciplinar”, como poeticamente descreveu Chevallard, serviu-nos não como um freio, mas como um impulso à aventura de ser “filho pródigo” e aprender e ensinar uma disciplina fora da nossa zona de conforto da física e da química, a disciplina de História, em torno da qual se construiu todo o trabalho aqui relatado. É uma aventura para um

professor das ciências naturais, trabalhar com as disciplinas das ciências humanas, uma busca de elementos em comum que favoreçam o aprendizado dos alunos.

Essa busca tem o respaldo e o incentivo da norma legal para ser implementada. Apesar de a atual LDB – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (1996) não citar diretamente o termo interdisciplinaridade, e de nos Parâmetros Curriculares Nacionais (1997) para o Ensino Fundamental mencionar-se a organização disciplinar do Ensino Fundamental nos Estados, com exceção de “alguns Municípios (que) optam por princípios norteadores, eixos ou temas, que visam tratar os conteúdos de modo interdisciplinar” (BRASIL, 1997), nos Parâmetros Curriculares Nacionais (2000) para o Ensino Médio procura-se “incentivar práticas pedagógicas com **abordagens interdisciplinares**” (BRASIL, 2000. Grifo nosso), texto que se repete no Plano Nacional de Educação (2014). Assim, o Ensino Médio parece ser, para o legislador, uma instância privilegiada para a aplicação de propostas interdisciplinares.

### 3.5 Contextualização

Entende-se contextualização como a proposta de discussão no ambiente escolar de um fenômeno cotidiano, de um evento relacionado à vida da comunidade em que a escola está inserida, entendendo o fenômeno e interferindo quando necessário. Existe uma confusão entre contextualização e interdisciplinaridade. Abreu e Lopes (2011) notam que a interdisciplinaridade é vista pela comunidade científica como decorrência da perspectiva da contextualização, uma vez que os fenômenos complexos do cotidiano não podem ser abordados satisfatoriamente por uma única disciplina.

Advertem, porém, para o risco do discurso que torna obrigatória a vinculação entre interdisciplinaridade e contextualização:

Como já discutido em Lopes (2008), a integração dos saberes pode também ser desenvolvida em um contexto essencialmente de enfoque acadêmico e/ou voltada a finalidades estritamente associadas ao campo científico e aos saberes prévios dos alunos, como defendem perspectivas vinculadas à contextualização (ABREU; LOPES, 2011, p. 92)

Assim, interdisciplinaridade e contextualização podem andar juntas, da contextualização, muito provavelmente decorre a interdisciplinaridade, mas é possível que a interdisciplinaridade não gere contextualização, na medida em que é possível integrar disciplinas em um âmbito acadêmico. Por exemplo: há interdisciplinaridade sem contextualização quando professores de matemática e de química de ensino médio trabalham juntos o conceito de logaritmo e suas propriedades a partir do equilíbrio iônico da água e ao conceito de pH. A contextualização passa a acompanhar a interdisciplinaridade quando esses conceitos (de logaritmo e pH) surgem a partir do estudo da acidez da água do rio da cidade, contaminado por dejetos domésticos e industriais.

Os PCN (2000) para o Ensino Médio deixam bastante clara a distinção entre contextualização e interdisciplinaridade: “buscamos dar significado ao conhecimento escolar, mediante a contextualização; evitar a compartimentalização, mediante a interdisciplinaridade” (BRASIL, 2000, p 4) Essa distinção entre os conceitos e a busca pela implementação de ambos na prática docente aparece em vários pontos do documento, como nos seguintes excertos:

Na proposta de reforma curricular do Ensino Médio, a interdisciplinaridade deve ser compreendida a partir de uma abordagem relacional, em que se propõe que, por meio da prática escolar, sejam estabelecidas interconexões e passagens entre os conhecimentos através de relações de complementaridade, convergência ou divergência. (BRASIL, 2000, p 21)

- organizar os conteúdos de ensino em estudos ou áreas interdisciplinares e projetos que melhor abriguem a visão orgânica do conhecimento e o diálogo permanente entre as diferentes áreas do saber;
- tratar os conteúdos de ensino de modo contextualizado, aproveitando sempre as relações entre conteúdos e contexto para dar significado ao aprendido, estimular o protagonismo do aluno e estimulá-lo a ter autonomia intelectual; (BRASIL, 2000, p 75)

### **3.6 Transversalidade**

Segundo Menezes e Santos (2002), transversalidade é “uma forma de organizar o trabalho didático na qual alguns temas são integrados nas áreas convencionais de forma a estarem presentes em todas elas”. Esses temas são denominados *temas transversais*.

O legislador contemplou pelo menos um tema transversal na Lei de Diretrizes e Bases da Educação (1996): “Conteúdos relativos aos direitos humanos e à prevenção de todas as formas de violência contra a criança e o adolescente serão incluídos, **como temas transversais**, nos currículos escolares de que trata o caput deste artigo” (BRASIL, 1996, art. 26, § 9º, grifo nosso).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais – 5ª a 8ª série (1998) dedicam um capítulo inteiro aos temas transversais, com o título “A abordagem de questões sociais urgentes: os Temas Transversais”. Nesse capítulo procura-se “evidenciar a necessidade de tratar de temas sociais urgentes — chamados Temas Transversais — no âmbito das diferentes áreas curriculares e no convívio escolar” (BRASIL, 1998, p 11) e exemplificam-se, “as problemáticas sociais em relação à ética, saúde, meio ambiente, pluralidade cultural, orientação sexual e trabalho e consumo (...) como Temas Transversais.” (BRASIL, 1998, p 65).

Menezes e Santos (2002) destacam que transversalidade e interdisciplinaridade são conceitos que não se confundem:

A transversalidade se difere da interdisciplinaridade porque (...) a primeira se refere à dimensão didática e a segunda à abordagem epistemológica dos objetos de conhecimento. Ou seja, se a interdisciplinaridade questiona a visão compartimentada da realidade sobre a qual a escola se constituiu, mas trabalha ainda considerando as disciplinas, a transversalidade diz respeito à compreensão dos diferentes objetos de conhecimento, possibilitando a referência a sistemas construídos na realidade dos alunos. (MENEZES; SANTOS, 2002)

Nesse sentido, o termo transversalidade se aproxima mais do termo contextualização, por apresentar referências a situações e problemas centrados na realidade da comunidade em que os alunos estão inseridos.

### **3.7 Transdisciplinaridade**

A superação das barreiras entre as disciplinas tem sido uma bandeira defendida por diversos educadores, sendo a transdisciplinaridade a variante mais utópica do processo integrador. Menezes e Santos (2002) definem transdisciplinaridade como “princípio teórico que busca uma intercomunicação entre as disciplinas, tratando efetivamente de um tema comum (transversal)”. Assim, entendem que “na

transdisciplinaridade não existem fronteiras entre as disciplinas”. (MENEZES; SANTOS, 2002).

Assim como no caso da multi e da interdisciplinaridade, a transdisciplinaridade também pretende atacar as fronteiras disciplinares, que fragmentam e tornam artificial o conhecimento. Se for vista como uma postura de diálogo, de partilha e de humildade diante das diversas disciplinas e diante dos diversos tipos de conhecimento, a transdisciplinaridade pode conferir novos significados à prática pedagógica, como propõem Morinetal (1994), no artigo 3º de sua Carta da Transdisciplinaridade, adotada no Primeiro Congresso Mundial de Transdisciplinaridade, em Arrábida, Portugal, em 1994:

A transdisciplinaridade é complementar à aproximação disciplinar: faz emergir da confrontação das disciplinas dados novos que as articulam entre si; oferece-nos uma visão da natureza e da realidade. A transdisciplinaridade não procura o domínio sobre as várias outras disciplinas, mas a abertura de todas elas àquilo que as atravessa e as ultrapassa. (MORIN et al, 1994, p 2, art. 3º)

Se os ideais expressos no art. 3º da Carta da Transdisciplinaridade forem colocados em prática, a expectativa é de que se alcancem resultados promissores. No entanto, se esses valores forem esquecidos, e a transdisciplinaridade for adotada sem reflexão, com base na simples supressão de disciplinas, pode ocorrer uma superficialização, uma banalização do conhecimento, e uma perda de significados no lugar do esperado ganho, como no caso real ocorrido em 2001 e mencionado por Zanetic (2006):

No ano de 2001, em muitas escolas de ensino médio da rede pública de São Paulo, a atribuição de aulas de física, por exemplo, ocorreu segundo a área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, dos Parâmetros Curriculares Nacionais. Dessa forma, um professor de biologia de uma determinada escola ficaria também com as aulas de química, física e matemática. É o retorno do professor polivalente que tanto foi combatido pela comunidade científica educacional, em meados da década de 70, quando, através da Resolução 30/1974 do Conselho Federal de Educação (CFE), tentou-se introduzir as licenciaturas de curta duração em ciências nas universidades públicas do País. Naquela época vários conselheiros do CFE, entre eles o professor Walnir Chagas, defendiam o ensino da Ciência Integrada. Em julho de 1975 a Assembléia Geral da Sociedade Brasileira de Física (SBF) manifestava-se sobre essa noção,

num documento contrário à Resolução 30, através das seguintes palavras:

“A resolução fundamenta-se num conceito de ciência integrada. (física, química, biologia e geologia ensinadas como uma única ciência) que não parece baseado na atual situação em que se encontra a ciência como pesquisa. Explicando melhor: a ciência é pesquisada em departamentos estanque que guardam fracos laços de integração entre si. **Portanto, se não existe uma ciência integrada sendo pesquisada, como entender uma ciência integrada sendo ensinada?**” (ZANETIC, 2006, p 41, nota de rodapé nº 2, grifo nosso)

A tendência é de que uma ciência integrada no Ensino Médio, como aquela que foi proposta na rede pública de São Paulo, conduza a situações em que professores que tiveram formação acadêmica em área científica específica se vejam forçados a trabalhar conteúdos com os quais muitas vezes não têm contato desde que eles próprios eram alunos de Ensino Médio. Isso se caracteriza em uma violência contra esses professores e contra os seus alunos, gerando angústia e eventualmente insegurança por parte dos alunos em relação ao conhecimento do professor, insegurança essa que nem sempre é infundada.

A superação das barreiras disciplinares deve ser feita pelo professor, em caráter voluntário, movida pela curiosidade científica, pela vontade de aprender, que geralmente não se limita à disciplina em que o professor se formou. É um processo de crescimento intelectual que não pode ser imposto, sob pena de se quebrar completamente a relação afetiva do professor com o conhecimento externo. A imposição da interdisciplinaridade ou, no limite, da transdisciplinaridade, pode resultar em efeito contrário ao desejado, fechando ainda mais o professor na sua zona de segurança disciplinar.

### **3.8 Adisciplinaridade**

Fazenda (2011) critica a opção radical de determinadas escolas pela aplicação indiscriminada dos conhecimentos do senso comum, que considera causadoras de equívocos e prepotências ainda maiores que aquelas causadas pela atribuição de legitimidade exclusiva ao conhecimento científico. A adisciplinaridade, negação das disciplinas e substituição do conhecimento científico pelo do senso comum, seria assim uma opção bem intencionada em seus objetivos, mas profundamente equivocada em seus meios.

Mas o termo adisciplinar não necessariamente significa um mergulho caótico no senso comum. Para autores como o economista Steven Levitt, o termo adisciplinar (ou a-disciplinar) pode ter um significado completamente diferente:

Alguns anos atrás, quando passei um período sabático no Centro de Estudos Avançados de Ciência do Comportamento em Stanford, fiz uma palestra para alguns colegas sobre a minha pesquisa. Alguns ficaram indignados e perguntaram como eu poderia me intitular economista, dado o que fazia. Para eles, eu era, na verdade, um sociólogo. Qualquer um que visse, porém, o olhar de horror no rosto dos sociólogos presentes entenderia que também não sou sociólogo. Mas, ao partir do pressuposto de que não entendo de muita coisa, tenho abertura suficiente para ser coautor de um etnógrafo (Sudhir Venkatesh), de um econometrista (Jack Porter), de um cientista político (Tim Groseclose) e agora de um jornalista (Stephen Dubner). E quem sabe, além de tornar mais fácil para alguém no futuro publicar um livro sem um tema, eu também não torne mais fácil para acadêmicos de todas as ciências sociais adotarem o tipo de caminho "a-disciplinar" (em oposição a interdisciplinar) que escolhi. (DUBNER; LEVITT, 2005, E-book Kindle - Posição 2763 de 3695)

Esse significado de adisciplinar, apesar da acepção de Steven Levitt se considerar “em oposição a interdisciplinar”, vai ao encontro daquilo que Ivani Fazenda chama de “pensar interdisciplinar”, que tenta “o diálogo com outras formas de conhecimento, deixando-se interpenetrar por elas” (FAZENDA, 2011, p 17). Tanto na obra de Fazenda quanto na de Levitt fica evidente que qualquer projeto do gênero deve surgir de um ato de vontade, livre, sem amarras, em que o conhecimento científico disciplinar interaja com outros conhecimentos disciplinares e, cautelosamente, com o senso comum, com ou sem um tema unificador, um projeto no qual se sinta prazer em produzir e prazer em dialogar, importando pouco que chamemos isso de “pensar interdisciplinar” ou “caminho adisciplinar”.

#### 4. REFERENCIAL TEÓRICO

Todo conhecimento precisa ser adaptado à realidade do aluno para ser ensinado. O conhecimento precisa ser acomodado em termos de linguagem, de seleção de conteúdos que se consideram essenciais, ajustado em termos de omissão de conteúdos que se consideram secundários e/ou herméticos, seletividade e omissão que pode ser voluntária, mas que também pode se situar abaixo do planejamento consciente do professor. Nesse processo, o conhecimento se transforma tanto que a academia não o reconhece, o chama de deturpação, enquanto o professor que vive a realidade de trabalhar no ensino básico considera essa adaptação um mal necessário, resignado pelo senso de realidade construído pelo contato com o aluno.

Yves Chevallard, professor dos Institutos Universitários de Formação de Professores e Investigação Matemática da Universidade de Aix Marseille, França, identificou como poucos essa relação tensa entre o conhecimento de referência e o conhecimento que é efetivamente ensinado. Em 1985 publicou “La transposición didáctica – Del Saber Sabio Al Saber Enseñado” (CHEVALLARD, 2009), obra que popularizou o conceito de transposição didática, essa ação transformadora que o conhecimento de referência sofre para poder ser ensinado (RODRIGUES, 2009).

Compreender essa transformação permite uma análise crítica do enfraquecimento que o conhecimento sofre no processo, da perda de sua força epistemológica que pode resultar da transposição didática. Por isso esse conceito tem estado sob escrutínio desde a publicação de “La transposición didáctica”.

O conceito de transposição didática foi tão fecundo quanto polêmico nessas três décadas que nos separam da publicação da obra. A partir dele foram redigidos artigos críticos em diferentes graus, alguns questionando a arbitrariedade da classificação de saberes (sábio, a ensinar) proposta por Chevallard. Outros concordando com o autor, mas adaptando a proposta de modo a acomodar suas próprias ideias, fazendo uma transposição didática do próprio conceito de transposição didática.

O próprio Chevallard observou, no prefácio à segunda edição da obra, redigido em 1991:

Indubitablemente, en el curso de estos últimos años, la teoría de la transposición didáctica sin duda fue objeto de diversas transposiciones institucionales y hubo buenos observadores que se creyeron con

derecho a considerar-las ambiguas dado que podían parecer oportunas, cuando no francamente oportunistas. (CHEVALLARD, 2009, p. 9)

Em que pesem as transposições sofridas pelos próprios conceitos da teoria de Chevallard, é preciso definir com clareza esses conceitos. Esse é o objetivo da tabela 6.

**Tabela 6 Conceitos relacionados à transposição didática**

Saber sábio	Conhecimento gerado nas comunidades científicas.
Saber a ensinar	Recontextualização e seleção responsável dos conhecimentos produzidas por quem ensina, com o objetivo de construir um modelo menos complexo, adequado tanto ao contexto local quanto ao saber sábio, para transforma-lo em um saber adequado para ensinar.
Saber aprendido	Representa o modelo construído pelo aluno como produto do trabalho intelectual em sua interação com o modelo ensinado.

Tabela construída a partir de definições de Cabrera et al (2010, p 57), traduzidas livremente e adaptadas.

É importante notar que para Chevallard a passagem do saber sábio para o saber a ensinar não começa com o professor, mas já está feita antes. Chevallard (2009, p. 20) exemplifica com o planejamento de uma aula sobre logaritmos, na qual o professor geralmente trabalha sobre uma transposição didática dada, o livro texto, apenas transcrevendo o conteúdo transposto com suas próprias palavras, dando continuidade ao processo. Ao longo dos anos, o processo transpositivo causa enormes modificações no saber sábio, restando, porém, segmentos suficientemente abrangentes para permitir sua identificação dentro do discurso transposto.

Uma dessas modificações é a despersonalização, a desvinculação do saber sábio de seu produtor. Essa despersonalização, para Chevallard, é um requisito para a publicidade do saber. Ele cita o exemplo do desenvolvimento da mecânica clássica, por Newton, para ilustrar o fenômeno:

Se olvida demasiado, por ejemplo, que lo que llamamos hoy la mecánica clásica fue primero el saber personal, casi esotérico, de Isaac Newton, y que fue de las presiones de su entorno que nacieron finalmente los Principia.(...) Sin duda el proceso de despersonalización no se realiza nunca tan completamente como durante el momento de la enseñanza (CHEVALLARD, 2009, p 24).

Mais grave do que a despersonalização é o desgaste provocado no conceito por sucessivas transposições didáticas. A distância que o saber ensinado deve manter tanto do saber sábio quanto do saber banalizado está sendo gradativamente erodida (CHEVALLARD, 2009). Acaba-se ultrapassando limites difíceis de definir e

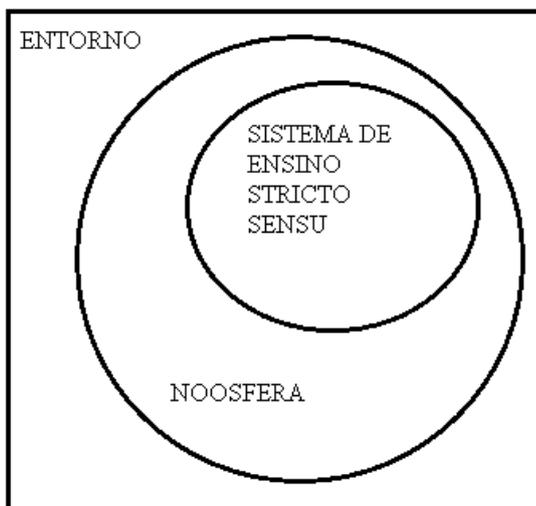
comprometendo a correção do que se ensina, tanto em termos de precisão conceitual quanto de atualidade. A obsolescência é outro fantasma assombrando o saber ensinado, como notam pais preocupados e alunos entediados.

Não basta, então apenas observar a transposição didática acontecendo. É preciso analisar criticamente até que ponto estamos apenas ensinando o conceito de forma mais inteligível ou se estamos ensinando outro conceito, dotado de coerência interna, mas cientificamente errado.

Essa análise não pode se limitar ao conteúdo que está sendo ensinado, para além disso, deve levar em consideração o sistema de ensino em sentido estrito, a escola enquanto instituição na qual interagem professores e alunos, e também a noosfera (termo cunhado por Chevallard), a instância "onde se pensa" o funcionamento didático, onde se encontram professores, pedagogos, representantes do sistema escolar, mas também os representantes da sociedade, pais de alunos, especialistas em determinadas disciplinas, representantes do governo, entre outros (CHEVALLARD, 2009).

O entorno representa o mundo exterior a esse ambiente. Muitas vezes a noosfera funciona como um filtro entre o entorno e o sistema de ensino *stricto sensu*, mediando as interações e as tensões entre a escola e o “mundo exterior”. Esses entes são representados como diagramas de Venn, na figura 3.

**Figura 3 Sistema de ensino em sentido estrito, englobado pela massa crítica da educação, a noosfera. Ao redor o entorno. Figura traduzida e adaptada de Chevallard (2009, p 28)**



É na noosfera que a transposição didática acontece. Nela o saber é escrutinado e é escolhido aquele que deve ser transformado em saber a ensinar. Essa parte do saber então é manipulada, é submetida ao trabalho de transposição que será feito no interior do sistema de ensino *stricto sensu*. Os resultados dessa transposição (bons ou ruins) em algum momento irradiarão para o entorno no sentido de que irão interagir com o senso comum, fundindo-se com ele, ajudando a formar (ou a deformar) o tecido cultural da sociedade.

Isso não é apenas um jogo de palavras. A transposição didática ajuda a deformar o tecido cultural da sociedade quando é usada como arma para sanar as dificuldades do ensino. Isso é feito quando a escola identifica os conteúdos como culpados pela crise no ensino, uma crise que provavelmente é mais visceral, situada em um plano quase inconsciente, uma crise de autoimagem dos professores e dos alunos, no sentido de que cada um não mais tem certeza de seu lugar na escola e no mundo. Dessa crise de autoimagem resulta uma crise de imagem do outro, ou seja, o professor já não tem certeza se sabe quem é o aluno, o que ele quer e do que ele precisa, tampouco se sente seguro para exercer autoridade por receio de ser autoritário, por sua vez o aluno já não sabe mais quem é o professor e a que ponto esse professor é relevante para sua formação, já não se sente mais obrigado a ouvi-lo, a aprender com ele, sequer a respeitá-lo.

Então a transposição didática surge como uma forma de tentar recuperar essa relação, tornando o saber mais “atraente”, suprimindo tópicos que representem desafios, tornando banais assuntos originalmente consistentes, transformando o saber em um produto efêmero para consumo irrefletido. E é assim que o saber a ensinar se afasta demais do saber sábio, e perde sua capacidade de conduzir o aluno a um nível de conhecimento que lhe permitiria um dia adquirir – e produzir – o saber sábio. Isso é muito desonesto com o próprio aluno, que muitas vezes frequenta a escola com sacrifício para si e para seus familiares, acreditando que está aprendendo algo que será importante para sua profissão e para sua educação posterior, quando o que está recebendo é uma sequência de trivialidades de pouca utilidade fora dos limites da noosfera.

A transposição didática é formadora (e não deformadora) quando é usada como um instrumento de aproximação (e não de afastamento) do aluno em relação ao saber sábio. Ela deve ser feita de forma responsável de modo a manter o interesse do aluno,

mas sem engana-lo, sem omitir saberes importantes porque são “difíceis” ou porque o aluno pertence a um grupo no qual sua mobilidade social é reduzida e “não adianta” ensinar certas coisas. O objetivo de compatibilizar a escola com a vida deve ser buscado efetivamente, mas isso deve instrumentalizar o aluno com conhecimentos consistentes, não com banalidades. Chevallard observa muito criticamente a busca da noosfera por uma mudança “terapêutica”, “compatibilizante”, “modernizante”:

Los requisitos de compatibilidad quedan al margen de la intención reformadora. Cuando afloran a la consciencia del reformador es bajo la forma de un travestismo estereotipado, convertidos en consignas que designan y enmascaran a la vez su sentido: de la “modernización” a la “apertura de la escuela a la vida” – expresión polémica que proclama atolondradamente, a sus espaldas, el cierre del orden didáctico. (CHEVALLARD, 2009, p 42-43)

A constatação autocrítica, verdadeira ou não, de que aquilo que está sendo ensinado possa ser insuficiente ou estar distorcido é uma importante causa da resistência dos professores à ideia de transposição didática. Professores usualmente prezam muito a fidedignidade de suas aulas. Admitir que fazem transposição didática parece para alguns admitir que suas aulas não são assim tão fiéis à realidade.

Essa “consciência” pode (talvez deva) ficar mais pesada se o professor se der conta de que a despeito de suas boas intenções de tornar o objeto de ensino “atraente” e “moderno” o que fez foi omitir informações que um dia seriam importantes para a vida do aluno. É uma profecia que se auto-realiza a crença (baseada na estratificação social) de que se deve ensinar menos para quem tem menos chances de utilizar esses conhecimentos na vida. Ao tomar essa decisão, a transposição didática se torna um instrumento de perpetuação, de congelamento da estratificação social, da conversão de classes em castas. Muitos professores poderão tentar enganar essa “consciência pesada” observando egressos de escolas de comunidades carentes assumirem posições subalternas na sociedade. Dirão então esses professores, “de que ia ter adiantado ensinar termodinâmica para esse aluno, para ele sair da escola e virar ‘serviços gerais’? ... ia ser uma perda de tempo ensinar uma coisa que ele nunca ia usar!”

Essa “consciência” não precisaria ficar pesada se o professor tivesse feito na sala de aula um recorte crítico do conhecimento disponível no seu campo de saber, fornecendo ao seu aluno um saber transposto, simplificado e que não esgota o assunto, mas um saber consistente com o mundo e que instrumentalize o aluno a se posicionar no

mundo. Como mundo se entende algo que vai além dos limites do entorno próximo. A noosfera precisa se dar conta de que é muito cruel usar o sistema de ensino para condenar o aluno a não enxergar além do horizonte do entorno próximo, a não buscar oportunidades de formação superior, de qualificação técnica, porque a escola não acreditou na sua capacidade de ir além desses limites.

Para que haja uma boa transposição didática, o “recorte crítico” mencionado no parágrafo anterior deve ser feito mantendo uma certa reserva deontológica, na acepção de Chevallard:

(...) debemos en principio absternos de enseñar temas, incluso ‘interesantes’ (desde el punto de vista del enseñante), para los cuales no se dispondría (o no todavía) de una transposición didáctica satisfactoria. (...) Esa consideración se halla bien expresada en la fina observación que citamos, perteneciente a sir Richard Livingstone (The Future of Education, 1941): ‘Se reconoce al buen maestro por el número de temas valiosos que se abstiene de enseñar (CHEVALLARD, 2009, p 54)

A abstenção de ensinar temas para os quais não se dispõe de uma boa transposição didática não significa, contudo, uma adesão incondicional ao lema “ensinar menos para ensinar melhor”. “En sentido inverso y correlativamente, de la misma concepción se desprende la exigencia de *buscar buenas transposiciones* de los saberes correspondientes a las *demandas didácticas de la sociedad*”. (CHEVALLARD, 2009, p 54) Um objeto de saber não deve, portanto, ser descartado *a priori* como objeto a ensinar apenas porque o problema de sua transposição didática **ainda** não foi resolvido.

Evidentemente, essa busca pela transposição didática pode se mostrar infrutífera em casos muito específicos, levando-nos a aceitar o fato de que estamos diante de um saber não ensinável ou, ao menos “não escolarizável”, expressão preferida por Chevallard.

Parâmetros interessantes do que é escolarizável e do que não é escolarizável são fornecidos por Verret (1975, apud CHEVALLARD, 2009):

Una transmisión escolar burocrática supone, en cuanto al saber  
 1º - la división de la práctica teórica en campos de saberes delimitados dando lugar a las prácticas de enseñanza especializadas –es decir, la desincretización del saber.  
 2º - en cada una de estas prácticas se presenta la separación del saber y de la persona –es decir la despersonalización del saber-;

3° - la programación de los aprendizajes y de los controles siguen las secuencias razonadas que permiten una adquisición progresiva de los aprendizajes –es decir, la programación de la adquisición del saber.

En cuanto a la transmisión, supone:

1° - La definición explícita, en comprensión y extensión, del saber a transmitir, es decir, la publicidad del saber.

2° - El control regulado de los aprendizajes según procedimientos de verificación que autoricen la certificación de los conocimientos expertos, es decir, el control social de los aprendizajes.

(VERRET, 1975, p 146-147, apud CHEVALLARD, 2009)

Chevallard (2009) nota que esses mesmos parâmetros acabam definindo, por exclusão, o que não é escolarizável:

“esas condiciones, al mismo tiempo que definen el campo de transmisibilidad escolar, definen su campo de intransmisibilidad:

-serán socialmente no escolarizables

1° - los saberes reservados (saberes esotéricos, saberes iniciáticos), en tanto escaparían a la publicidad.

2° - los saberes aristocráticos, en tanto pretenderían eludir las exigencias de un control social públicamente definido según normas universales que excluyen todo privilegio sectorial.

-serían gnoseológicamente no escolarizables

1° - los saberes totales o con pretensión de totalidad, en tanto oponiéndose a los procedimientos analíticos; sus aprendizajes se resistirían también a las programaciones organizadas y en secuencias progresivas.

2° - los saberes personales, en tanto estarían consustancialmente vinculados con personas, por definición insustituibles.

3° - los saberes empíricos, en tanto su sincretismo los conduce precisamente a la adquisición global y personal, por los medios intuitivos de la familiaridad mimética, sin que se sepa nunca precisamente cuándo se aprende ni exactamente qué se aprende. ¿Sabemos siquiera que aprendemos a hablar, a escuchar, a vestirnos, a hacer bromas?” (VERRET, 1975, p 147-148, apud CHEVALLARD, 2009)

Assim, observa-se que:

- a) São escolarizáveis saberes que podem ser delimitados em disciplinas, que podem sofrer uma dessincretização (podem ter seus “emaranhados” desintrincados), que podem ser despersonalizados, que podem ser aprendidos de forma progressiva, que podem ser "transmitidos" explicitamente, que podem ter sua aprendizagem avaliada, certificada;
- b) São não escolarizáveis saberes herméticos, dogmáticos, pessoais e empíricos.

Os saberes sábios, saberes científicos de referência, enquadram-se na primeira categoria, ou seja, são escolarizáveis e devem ser escolarizados. Isso deve ser feito

através de uma transposição didática capaz de fornecer ao aluno o melhor saber possível para sua atuação na sociedade.

Para tanto um passo importante no processo transpositivo é a produção de um “texto do saber”. As características essenciais de um texto de saber são mostradas na tabela 7:

**Tabela 7 Características essenciais de um texto de saber**

Característica do texto de saber	Definição
Dessincretização	Desintrincação, reorganização do conhecimento de modo a separar o que estava misturado, organizando assuntos e tópicos de modo a facilitar sua compreensão.
Despersonalização	Desvinculação do saber de seu produtor, que ocorre quando o saber é compartilhado com a comunidade acadêmica. A despersonalização é um requisito da publicidade do saber.
Relação com o tempo didático	Programabilidade da aquisição de saber. O processo didático existe como a interação entre um texto e uma duração.

Tabela construída a partir de definições de Chevallard (2009, p 75), traduzidas livremente e adaptadas.

Um texto de saber adequado é um instrumento importante que o professor tem à disposição no processo de transposição didática. É importante que o professor apresente novidades, em suas aulas e em seus materiais escritos. Ele é que deve “surpreender” continuamente se quiser levar a cabo a renovação didática. Ele é aquele que “sabe mais”, que “sabe antes”, que antecipa o conhecimento, que traz o novo. Deve garantir sua hegemonia de conhecimentos, quantitativa e qualitativamente, se não quiser cair nas baixezas da coerção (Chevallard, 2009). Pelo menos é assim que deve ser.

No contexto da busca por um texto de saber adequado, a teoria da transposição didática de Yves Chevallard foi essencial. A compreensão da necessidade de adaptar a linguagem, de selecionar conteúdos, de omitir conteúdos permitiu que o curso se desenvolvesse em um todo coerente e coeso.

Com o tema unificador “energia” e com a linha do tempo que começava na pré-história e chegava ao presente e terminava com as perspectivas para o futuro, era inevitável que certos temas, alguns deles preciosos tivessem que ser omitidos, outros reduzidos em abrangência e profundidade. Quando se compreende a necessária passagem do saber sábio para o saber ensinado, se aceita melhor a necessidade dessas modificações no saber de referência para que possa ser ensinado, e procura-se evitar o enfraquecimento epistemológico do conhecimento nesse processo.

Ainda que operando dentro da necessária despersonalização do conhecimento, procurou-se não desumanizá-lo, ao contrário, o objetivo do trabalho foi abordar as demandas por energia ao longo da história humana, e como as pessoas conseguiram, na prática, suprir essas demandas, apresentando as principais contribuições da química e da física para o processo. Procurou-se assim apresentar a física e a química não como saberes estanques, mas como conhecimentos que fazem parte da herança cultural humana.

Isso foi feito dentro da profundidade possível e dentro do rigor científico necessário, evitando a banalização do conhecimento científico ou a sua submissão à trivialidade e ao senso comum. Procurou-se trazer conhecimentos consistentes, relevantes e com várias novidades, conhecimentos vivos, que não padecem de obsolescência nem de incorreção, e que utilizam uma abordagem dialógica e interdisciplinar que a maioria dos alunos não está acostumada a encontrar.

No material escrito também se tomou o cuidado de selecionar entre os saberes “escolarizáveis” o que de mais relevante havia sobre o tema “energia”, com textos leves, mas consistentes, e com uma composição gráfica colorida e agradável. Procurou-se “dessincretizar” o assunto desde a primeira aula, quando foi definido um vocabulário básico sobre energia dos pontos de vista químico e físico. O processo de “desfazer amarras” prorrogou-se por todo o curso.

A relação com o tempo didático foi a mais problemática. O interesse por parte dos alunos foi grande, as aulas acabaram se prolongando por mais de um dia letivo, tornando necessária a redistribuição para a semana seguinte de conteúdos em pelo menos duas ocasiões, houve feriados e eventos da escola em mais de um dia da aula e o curso, até então um minicurso que estava planejado para acontecer em dois meses, acabou sendo estendido para todo o semestre.

## **5. APLICAÇÃO DO CURSO – DOIS MESES OU UM SEMESTRE?**

O objetivo inicial do projeto era elaborar e aplicar um minicurso interdisciplinar com dois meses de duração, optou-se por subsidiar a metodologia do trabalho na teoria da transposição didática, desenvolvida por Chevallard (2009). Ainda que no decorrer das aulas tenham surgido oportunidades de trabalhar com outras disciplinas, a proposta era "tridisciplinar", envolvendo as disciplinas de Física, Química e História.

### **5.1 Por que Física e Química?**

Os campos de conhecimento associados às disciplinas de Química e de Física apresentam fronteiras pouco nítidas e notáveis interpenetrações. É célebre a frase dita pelo físico Ernest Rutherford, ao ser laureado com o Prêmio Nobel de Química por seus trabalhos, traduzida aqui livremente: "Lidei com muitas diferentes transformações em vários períodos, mas a mais rápida com que me defrontei foi a minha própria transformação instantânea de físico em químico" (Citado por Jarlskog, 2008). Os trabalhos de Marie Curie com substâncias radioativas transformaram-na na primeira pessoa a receber dois prêmios Nobel, um de Química e um de Física.

Tanto a Física quanto a Química estudam a matéria, embora com abordagens diferentes. Essas diferenças vão se tornando difusas na medida em que se trabalha com campos fortemente interconectados, como a físico-química, a mecânica quântica, a física e a química nucleares, a espectroscopia, entre outros. Ambas as disciplinas também se ocupam da energia, tema deste trabalho, cada uma à sua maneira.

Assim, a Química e a Física são campos do conhecimento que apresentam diversas similaridades, exploradas, mas não esgotadas, na experiência pedagógica interdisciplinar para alunos de Ensino Médio apresentada nesta dissertação.

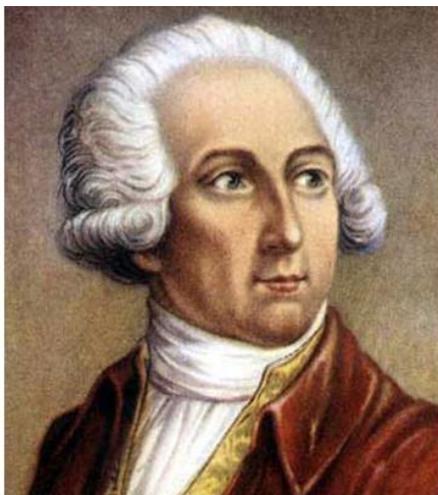
### **5.2 Por que História?**

Pozo e Crespo (2009) observam que os conhecimentos prévios, as ideias que os alunos trazem e que muitas vezes vão de encontro ao conhecimento científico são muito persistentes, e frequentemente se mantêm mesmo após muitos anos de instrução. Segundo esses autores, essas concepções "en algunos casos guardan una notable

similitud con concepciones ya superadas en la propia historia de las disciplinas científicas." (POZO; CRESPO, 2009). Assim, perceber o desenvolvimento da ciência como empreendimento histórico pode auxiliar o aluno a integrar suas concepções ao conhecimento científico onde há possibilidade de harmonização ou repensa-las onde não há.

Além disso, as ciências se tornam mais interessantes e fazem mais sentido para os alunos se contextualizadas historicamente. Mas para que essa contextualização seja efetiva, não basta apresentar elementos de história da ciência nas aulas como ilustração do conteúdo que esteja sendo abordado. E é isso que se vê com bastante frequência, a história da ciência sendo apresentada de forma fragmentada, como mera "curiosidade", para ilustrar conceitos científicos. Geralmente são notas biográficas, como a apresentada na figura 4.

**Figura 4 Representação de uma hipotética nota de história da ciência, semelhante às que costumam ser encontrada em livros didáticos**



Antoine Laurent de Lavoisier, químico francês, nasceu em 26 de agosto de 1743 e morreu em 8 de maio de 1794. Por suas geniais descobertas científicas, como a Lei da Conservação das Massas, é considerado o pai da química moderna.

Esses recortes de história da ciência muitas vezes são simplificações grosseiras para acomodar os objetivos do livro didático, como observam Badillo et al (2004):

(...) hay quienes manifiestan que es preferible prescindir totalmente de la historia, ante la imposibilidad de conocer todos los elementos involucrados en la historia misma de la formulación de un concepto, lo que llevaría a hacer una “casi historia” o “mala historia” o a presentar una reacomodación de algunos factores de ésta, según sus compromisos e intereses, que terminaría siendo una historia simplificada y recortada. (BADILLO et al, 2004, p 571)

A proposta de curso aqui apresentada busca inserir a Ciência na História, de maneira mais consistente e menos fragmentada do que pela inserção míope da história da ciência através de notas bibliográficas como a da figura 4. Procuram-se discutir elementos científicos que permeiam os cinco estágios da divisão convencional da cronologia humana: Pré-História, História Antiga, Idade Média, Idade Moderna e Idade Contemporânea. Em que pese as críticas à periodização clássica, essas divisões foram escolhidas por razões didáticas, para organizar as aulas. Não foi dedicado o mesmo número de aulas a cada divisão. Assim, a Idade Contemporânea, em razão da revolução científica e tecnológica que abriga, exigiu para ser abordada um tempo quatro vezes maior do que a Idade Média, por exemplo.

O trabalho se afina à proposta de associação da história interna (das ciências) à externa (do mundo),

seleccionando aquellos contenidos estructurantes que permitan al estudiante abordar problemas significativos, generando ámbitos pedagógicos y didácticos, planteando situaciones que posibiliten, por parte de dichos estudiantes, la reconstrucción permanente de sus estructuras conceptuales y metodológicas relacionadas con los conocimientos científicos. (BADILLO et al, 2004, p 572)

A ideia de associar a história interna das ciências, especificamente da física e da química à história externa do mundo nos fez inicialmente buscar todos os principais eventos da história humana para os quais fosse possível encontrar relações com a física e a química, o que logo se mostrou pouco realista, demandando-se a delimitação para um tema unificador. Assim, manteve-se a proposta de abordar eventos da história geral, e não apenas da história da ciência, que foram importantes para o desenvolvimento da química e da física, no campo da “produção” e do “consumo” de energia, que foi o tema escolhido. A redução do escopo para eventos históricos relacionados ao tema energia

viabilizou o trabalho, que foi sendo organizado dentro da cronologia histórica a partir dos subtemas discutidos a seguir.

### 5.3 Um roteiro

Para o período denominado pré-história, que não tem um início definido e que se convencionou terminar com o surgimento da escrita, optou-se inicialmente por explorar os seguintes subtemas:

- a) A Energia dos Alimentos – carboidratos, lipídios, proteínas, o papel das enzimas.
- b) Coletores, caçadores, pescadores e o senso de grupo.
- c) A Descoberta do Fogo e o uso da lenha como fonte de energia.
- d) Revolução agrícola.
- e) Animais de Tração e de Transporte – bois versus cavalos.
- f) Arados.

Para o período identificado como a Idade Antiga, que se inicia com o surgimento da escrita (4000 a 3000 a.C.) e termina com a queda do Império Romano do Ocidente (invasões bárbaras de 476 d.C.), foram escolhidos os seguintes subtemas:

- g) A Energia da Água – rodas d'água.
- h) A Energia do vento – barcos a vela.

Para a Idade Média, período que se convencionou iniciar com a queda do Império Romano do Ocidente (queda de Roma) e terminar com a queda do Império Romano do Oriente (tomada de Constantinopla pelos turcos, em 1453), tem-se:

- i) Madeira versus Carvão.
- j) Energia do vento – moinhos de vento.
- k) A turfa, um velho combustível fóssil.

A Idade Moderna geralmente é identificada como um período iniciado com a tomada de Constantinopla pelos turcos e finalizado com a Revolução Francesa, em 1789. Para esse período os subtemas selecionados foram os seguintes:

- l) A energia hidráulica levada aos seus limites.
- m) O tear mecânico.
- n) A máquina a vapor.
- o) A Energia do Carvão Mineral.

A Idade Contemporânea, da Revolução Francesa até os dias de hoje, foi o período mais trabalhoso e também o mais frutífero em termos de interesse dos alunos pelos subtemas trabalhados, que foram os seguintes:

- p) A expansão das máquinas a vapor – navios e trens.
- q) Mecanização – das rodas d'água e moinhos de vento às turbinas hidrelétricas e eólicas.
- r) A energia que vem do petróleo – motor a combustão interna.
- s) A energia elétrica.
- t) Os biocombustíveis.
- u) Energia nuclear.
- v) Energias alternativas e perspectivas para o futuro.

#### **5.4 Cronograma do minicurso que se transformou em curso**

O cronograma preliminar do minicurso abrangia os meses de agosto e setembro de 2014. As aulas de prática diversificada (PD) ocorriam às quartas feiras, no turno matutino, das 7h30min às 8h45min. Em agosto seriam trabalhadas as fontes de energia na Pré-História, na Idade Antiga e na Idade Média. Em setembro seria trabalhadas a Idade Moderna e a Idade Contemporânea. Contudo, nas primeiras aulas já ficou claro que o trabalho demandaria mais tempo. Essa constatação veio ao encontro do desejo da professora de física e da coordenação da escola de que a atividade se estendesse por um semestre. Assim, foi sendo construído um cronograma *ad hoc*, dimensionado conforme

os tópicos iam sendo desenvolvidos. O que era um minicurso acabou abrangendo os meses de agosto a novembro de 2014, ou seja, tornou-se um curso de um semestre:

#### AGOSTO

6 de agosto – Aula introdutória

Afinal, o que é ENERGIA? Mas afinal, o que é este MINICURSO?

13 de agosto – Da caça à agricultura (Pré-História)

#### SETEMBRO

03 de setembro – A Idade dos Metais

17 de setembro – Antiguidade (A Idade Antiga)

#### OUTUBRO

08 de outubro – Idade Média

22 de outubro – Idade Moderna – das Grandes Navegações à Revolução Industrial

29 de outubro – Idade Contemporânea e a Consolidação da Revolução Industrial - a era da Eletricidade e do Petróleo – Parte 1

#### NOVEMBRO

04 de novembro – Idade Contemporânea e a Consolidação da Revolução Industrial - a era da Eletricidade e do Petróleo – Parte 2

12 de novembro – Energia Nuclear

19 de novembro – Alternativas energéticas para o futuro

### **5.5 Feedback dos Alunos**

Foi solicitado aos alunos que respondessem a um questionário atribuindo notas de zero a dez aos seguintes itens:

- Adequação do conteúdo ao tema proposto (energia)
- Adequação do material didático
- Carga horária
- Andamento do curso
- Conhecimento do instrutor

- Didática
- Relacionamento com os alunos
- Experimentos
- Recursos audio-visuais

Dos 35 alunos da turma, 21 devolveram o questionário respondido, conforme a tabela 8.

**Tabela 8 Respostas aos questionários. Cada coluna numérica representa um dos 21 alunos.**

Tema \ aluno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	média	
Adequação do conteúdo ao tema proposto (energia):	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	<b>9,90</b>
Adequação do material didático:	10	10	10	10	10	10	8	10	10	10	9	10	10	10	10	9	10	10	8	10	10	10	<b>9,71</b>
Carga horária:	7	8	10	8	7	9	7	10	8	10	6	10	10	10	10	10	10	10	7	10	10	10	<b>8,90</b>
Andamento do curso:	9	9	10	9	10	10	9	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	8	10	10	10	<b>9,67</b>
Conhecimento do instrutor:	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	<b>10,00</b>
Didática:	9	10	10	10	10	10	9	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	7	10	10	10	<b>9,71</b>
Relacionamento com os alunos:	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	<b>9,95</b>
Experimentos:	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	7	10	10	10	10	8	9	10	8	10	10	10	<b>9,52</b>
Recursos audio-visuais:	10	10	10	10	10	10	7	10	10	10	10	10	10	10	10	9	0	10	7	5	10	10	<b>8,95</b>

## 5.6 Análise da Tabela 8

Note-se que os únicos itens com nota média inferior a 9 na tabela 8 foram carga horária e recursos audio-visuais. No caso da carga horária, os alunos manifestaram descontentamento com o pouco tempo dedicado ao Curso (2 horas-aula, durante 10 quartas-feiras espalhadas ao longo do semestre, perfazendo 20 horas-aula). No caso dos recursos audio-visuais atribui-se o descontentamento à má qualidade da conexão na escola, que dificultava o uso da internet quando surgia algum tema interessante a ser pesquisado.

Note-se ainda que o único item com média 10 foi “conhecimento do instrutor”, com os 21 alunos atribuindo nota 10, seguido de “relacionamento com os alunos”, média 9,95, com 20 alunos atribuindo nota 10 e um aluno atribuindo nota 9. Não vemos

na média dez a identificação de um conhecimento extraordinário por parte do instrutor do curso, mas o reconhecimento de um trabalho de pesquisa que foi exaustivo e muito abrangente, e que serviu para estruturar um Curso que acreditamos tenha sido interessante para a turma em que foi aplicado. Em relação ao item “relacionamento com os alunos”, acreditamos que tenha se concretizado a necessária empatia entre professor e alunos, o que se confirma com o preenchimento do “espaço para observações pessoais”.

### **5.7. Observações pessoais dos alunos**

Foi solicitado que os alunos preenchessem um “espaço para observações pessoais”, que transcrevemos integralmente abaixo, com a redação original, sem alterar ortografia ou gramática:

Aluno(a) 1 Todas as aulas, muito boa, ótima explicação, porém pouco tempo para o aprendizado.

Aluno(a) 2 muito bom o curso,a ideia de mescla as matérias foi muito boa ,ajudo muito no aprendizado não somente na física como nas outras matéria relacionadas,poderia ter um tempo maior de aula .

Aluno(a) 3 Gostei muito do mini curso,apesar de o tempo curto, aprendemos muitas coisas de diversas matérias, o uso de apostilas me ajudou muito na hora dos estudos e esse curso me ajudou bastante.

Aluno(a) 4 Olá , Juliano. De fato seu trabalho foi maravilhoso, pode-se perceber com a satisfação da turma. Todos os conteúdos apresentados foram de grade ajuda no amplo de nosso conhecimento. Foi realmente uma experiência gratificante.

Aluno(a) 5 Carga horária: 07 Obs: Podia ter mais tempo :/ Relacionamento com os alunos: 10 Obs: Daria 12 Foi um prazer trabalhar com você professor.

Aluno(a) 6 De uma maneira única e muito bem bolada, o instrutor passou seu vasto conhecimento e nos intreteve com curiosidades gerais relacionadas ao tema central. Se fosse para definir o curso em uma palavra, seria épico. Foi de extrema importância para o ENEM e muito mais que isso, irei levar para a vida o aprendido em sala.

Aluno(a) 7 Adequação do material didático: “8” - Poderia ter usado mais as apostilas, porém, o jeito com que foi passado foi mais interativo e menos massivo, mas

sempre com o conteúdo em dia. Carga horária: “7” - Foram poucas aulas, infelizmente. Mas também por causa do calendário da escola. Andamento do curso: “9” - Sempre chegou no horário, as vezes atrasava, mas não de modo que atrapalhasse o andamento das aulas. Conhecimento do instrutor: “10” - O professor sabia totalmente o tema que estava ensinando, e ainda acrescentava alguns fatos sobre história, geografia e conhecimentos gerais. Didática: “9” - Sempre lecionou muito bem, as vezes saía do tema, mas nunca se aprofundava em algo que não fosse importante. Relacionamento com os alunos: “10” - Sempre foi simpático e tirava dúvidas dos alunos quando necessário, virou amigo dos alunos. Experimentos: “10” - Fizemos muitos experimentos interessantes. Recursos áudio-visuais: “7” - A nota não foi causada pelo conteúdo oferecido pelo professor, e sim pela internet da escola, que não deixou com que pudesse demonstrar todo o conteúdo áudio-visual. Juliano, desculpa pela demora, só consegui responder agora. Eu ia mandar para mais pessoas, mas a Liza já o fez, então só estou mandando o meu. =D

Aluno(a) 8 Espero que o Juliano volte logo.

Aluno(a) 9 Conhecimento do instrutor: “10” (valendo mil) :-) Muito bom, amei o projeto, melhor que tive.

Aluno(a) 10 Adequação do conteúdo ao tema proposto: “10” superinteressante. Carga horária: “10” pontual, porém não tínhamos muito tempo. Conhecimento do instrutor: “10” - Muito inteligente Relacionamento com os alunos: “10” - Divertido. Parabéns por tudo, continue assim

Aluno(a) 11 sem observações

Aluno(a) 12 “10”

Aluno(a) 13 sem observações

Aluno(a) 14 “10”

Aluno(a) 15 Adequação do conteúdo ao tema proposto: “10” Foi um tema muito interessante. Andamento do curso: “10”. foi um curso muito interessante. Adequação do material didático: “10” As apostilas serem de grande aproveitamento para mim. Conhecimento do instrutor: “10” - Parabéns por nos ensinar de uma forma tão legal . Juliano eu gostaria de agradecer a oportunidade que eu tive de participar desse curso, Parabéns por dedicar algumas horas para ensinar um pouquinho do que você sabe. obrigada de verdade. Que você tenha muito sucesso e que todos os seus sonhos possam se tornar reais, e que você seja muito feliz. :-)

- Aluno(a) 16 sem observações
- Aluno(a) 17 sem observações
- Aluno(a) 18 Carga Horária: “10”. Podia ter mais aulas. Conhecimento do Instrutor: “10.000”
- Aluno(a) 19 “8”
- Aluno(a) 20 sem observações
- Aluno(a) 21 sem observações

### **5.8. Análise das observações pessoais dos alunos**

Os alunos 1, 2, 3, 5, 7, 10 e 18 observaram que o tempo foi curto, alguns mencionando o pouco tempo de cada aula (cerca de uma hora e meia, ou duas horas-aula) e outros fazendo referência ao pouco número de aulas. Acreditamos que essas reclamações indiquem que os alunos estavam realmente gostando das aulas, o que se confirma pelos comentários elogiosos em relação às aulas em si, feitos pelos alunos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 15, entre os quais destacamos as frases:

“De fato seu trabalho foi maravilhoso, pode-se perceber com a satisfação da turma.”

“Se fosse para definir o curso em uma palavra, seria épico. Foi de extrema importância para o ENEM e muito mais que isso, irei levar para a vida o aprendido em sala.”

“Espero que o Juliano volte logo.”

“Muito bom, amei o projeto, melhor que tive.”

“Parabéns por nos ensinar de uma forma tão legal . Juliano eu gostaria de agradecer a oportunidade que eu tive de participar desse curso, Parabéns por dedicar algumas horas para ensinar um pouquinho do que você sabe. obrigada de verdade. Que você tenha muito sucesso e que todos os seus sonhos possam se tornar reais, e que você seja muito feliz. :-)”

## 5.9 Resultados

Os alunos costumam apresentar grande dificuldade no entendimento de conceitos abstratos como o de energia (AMARAL; MORTIMER, 2001), apesar de ser um conceito básico para a ciência (MORTIMER; AMARAL, 1998). Assim, em um primeiro momento procurou-se oferecer uma conceituação simples e suficientemente clara para permitir o desenvolvimento subsequente do tema. Tendo em vista a natureza interdisciplinar do trabalho buscou-se definir energia a partir de seus aspectos físicos (energia associada à capacidade de realizar trabalho) e químicos (energia térmica liberada ou absorvida nas reações químicas). Acreditamos que tenhamos conseguido oferecer aos alunos a oportunidade de visualizar a natureza artificial das barreiras disciplinares.

Em relação aos aspectos físicos discutiram-se brevemente os conceitos de massa, aceleração, força, distância, para só então introduzir o conceito de trabalho e de energia.

Em relação aos aspectos químicos começou-se indagando aos alunos o que eles entendiam por “calor”. Nesse ponto surgiu a clássica confusão, descrita por Mortimer e Amaral (1998) entre os conceitos de calor e temperatura. Nas palavras do aluno A1:

“Se um dia tá 40 graus de calor... então... tá calor” Interrompeu-se, constrangido, mais provavelmente por imaginar ter cometido uma tautologia através da repetição da palavra “calor”, do que por identificar uma imprecisão conceitual.

Então fomos para o quadro negro e procuramos fazer uma diferenciação convincente entre calor e temperatura, começando pela análise dimensional, e em seguida associando calor à energia e temperatura à vibração das partículas. Acreditamos, pela reação dos alunos, que passaram a atribuir corretamente exemplos de calor e de temperatura, que tenhamos pacificado esses conceitos.

Tendo consolidado a separação conceitual entre calor e temperatura, e a relação de pertinência entre calor e energia, partiu-se para a identificação de reações endotérmicas e exotérmicas. Sempre embalados pelo espírito interdisciplinar, utilizamos como exemplos dessas reações dois processos estudados na disciplina de biologia, a fotossíntese e a respiração, aproveitando ainda para desenvolver a ideia de fluxo de energia em uma cadeia alimentar, e também elementos de citologia, ao notar que a “produção de energia é tarefa realizada pelas mitocôndrias.” (SANTOS et al, 2006, p 53)

Procurou-se manter o vínculo entre a maneira como a física e como a química percebem a energia, notando que “a energia que nos permite realizar trabalho vem da glicose dos alimentos que ingerimos, que reage com o oxigênio que respiramos.” (ELIAS, 2014, p 4)

Indagou-se aos alunos qual eles achavam que era a fonte de energia primária mais importante para a vida na Terra. Vários alunos responderam que era o Sol, que fornecia energia para uma reação que se concluiu em um processo dialógico ser a fotossíntese.

A partir do fluxo de energia nos seres vivos e da relação entre a energia acumulada na fotossíntese e da energia liberada na respiração, desenvolveu-se o importante princípio da conservação da energia.

Procurou-se sempre deixar clara a natureza do calor como “energia em trânsito entre corpos de diferentes temperaturas”, evitando a confusão com um fluido, que na história da ciência enganou importantes cientistas como Carnot (AMARAL; MORTIMER, 2001).

Uma autocrítica que deve ser feita é que durante o primeiro dia de aula, quando esses conceitos complexos eram desenvolvidos, procurou-se insistentemente seduzir os alunos com o aspecto utilitário do curso, com frases como a seguinte:

“Olha, isso que a gente tá vendo aqui não é ‘só’ uma prática diversificada, isso [batendo com a mão no quadro negro] vai ser muito útil no ENEM”

E o “canto da sereia” continuou, enfatizando-se a importância do minicurso para o ENEM:

“Vocês sabem qual é um dos temas que mais cai no ENEM?... É isso aqui, energia!”

Procurou-se enfatizar que o foco do trabalho não é a história da ciência, mas a ciência na história, particularmente a ciência por trás da “produção” e do “consumo” de energia, o que os alunos compreenderam bem.

Discutiu-se a relação do calor com o metabolismo humano e animal, ao contar-se para os alunos a anedota sobre Julius Mayer fazendo sangrias em regiões frias e quentes, aproveitando-se para a partir daí relacionar também calor a trabalho, sua interconversão e a partir daí estabeleceu-se a conservação da energia e enunciou-se a 1ª Lei da Termodinâmica.

O conceito de entropia foi trabalhado de forma muito básica, para a partir dele enunciar a 2ª Lei da Termodinâmica e a espontaneidade ou não de processos termodinâmicos.

De maneira cuidadosa (por envolver assuntos religiosos) procurou-se refutar as alegações criacionistas de que a evolução das espécies violaria a 2ª Lei da Termodinâmica, por ser um processo que produziria menor entropia. Procurou-se, esquematizando com diagramas no quadro, explicar que a redução local da energia tem um custo energético na vizinhança que acaba por aumentar a entropia global, não violando a 2ª Lei. É provável, contudo que os alunos em geral não tenham alcançado a abstração exigida por esse tópico em particular. Alguns pareceram um pouco perplexos.

Partiu-se então para a 3ª Lei e para a Lei Zero da Termodinâmica, abordadas de maneira menos dialógica e mais expositiva que a forma como a 1ª e a 2ª Leis haviam sido discutidas.

A equação geralmente atribuída a Einstein,  $E = mc^2$  foi apresentada no quadro e relacionada à conversão de massa em energia, como uma forma contemporânea de entender a 1ª Lei da Termodinâmica.

Os alunos manifestaram interesse sobre a relação entre a conversão de massa em energia e a bomba atômica. Usou-se um exemplo de efeito dramático, que despertou a curiosidade dos alunos:

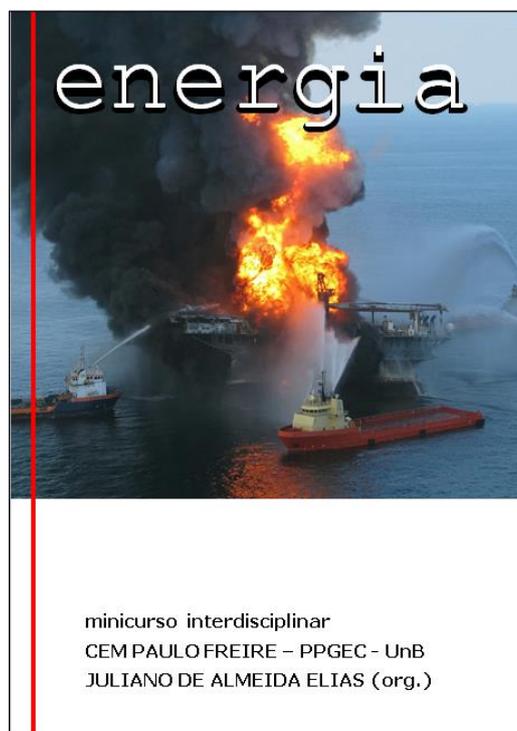
“Se fosse possível transformar toda a energia contida na matéria de um pedacinho de papel como esse [levantou-se um pedaço de papel, mostrando-o aos alunos] ... imagina que esse papel fosse um bilhete de trem... a energia obtida do bilhete de trem seria suficiente pra fazer o trem ir, sei lá... de Brasília a Canguçu, no Rio Grande do Sul, a cidade da professora [fez-se um gracejo com a cidade natal da professora de Física, que estava presente na aula]”

Foram deixados exercícios para casa, constituídos de questões abertas e fechadas sobre a aula de introdução ao tema energia (ELIAS, 2014, p 6 e 7; vide apêndice). A ideia inicial era resolver esses exercícios em aula, mas em razão da limitação do tempo não foi possível. Uma autocrítica pertinente está relacionada à gestão deficiente do tempo.

Na aula seguinte, como forma de retomar o tema e também de fortalecer a ideia da transformação de uma forma de energia em outra, um dos focos do material didático elaborado. A partir da capa do material didático (figura 5), procurou-se exemplificar a

transformação da energia química do petróleo em energia térmica (calor), através da combustão (SMIL, 2009a; ELIAS, 2014, p 8; vide apêndice).

**Figura 5 Capa do Material didático elaborado**



Tomando como ponto de partida a tabela contida na página 8 do material didático (SMIL, 2009a; ELIAS, 2014, p 8; vide apêndice), também foi possível solicitar aos alunos exemplos de transformações de uma forma de energia em outra, cruzando linhas e colunas da tabela. Aproveitamos para retomar a aula passada, lembrando que “energia não se perde nem se cria, apenas se transforma de um tipo em outro”.

A partir daí, iniciou-se propriamente a nova aula, relacionando a alimentação a uma maneira de consumir a energia armazenada pelas plantas através da fotossíntese, ou pelos animais que ingeriram essas plantas. Acreditamos que com os exemplos dados e as perguntas orientadas à estruturação de conceitos, feitos pelo professor aos alunos, foi possível consolidar ideias como catabolismo e anabolismo e fluxo energético entre os seres vivos. Fez-se também uma interessante comparação entre respiração e combustão, lembrando que o domínio do fogo pelo homem remonta à Pré-História.

Identificou-se a Pré-História como o período que antecede ao surgimento da escrita e fez-se uma diferenciação básica entre o período Paleolítico (idade da pedra lascada) e o período Neolítico (idade da pedra polida). Aproveitou-se para introduzir o

conceito de pressão, como a razão entre força e área. A redução da área pelo polimento tornava as ferramentas do Neolítico tecnologicamente mais avançadas e eficientes para perfurar e cortar do que as ferramentas mais primitivas do Paleolítico.

Discutiram-se as vantagens e desvantagens da sedentarização promovida pela Revolução Verde ou Revolução Agrícola do Neolítico para a espécie humana (BLAINEY, 2012, p 19; PROENÇA, 2012, p 10-11).

Foram apresentados slides e vídeos a partir da plataforma online “Prezi”, nos quais eram feitas interessantes distinções em diversos aspectos entre o Paleolítico e o Neolítico. Um aspecto que chamou a atenção dos alunos foi a arte do período Paleolítico, com objetos de pequenas dimensões, como a Vênus de Willendorf (PROENÇA, 2012, p 11), que à parte de representarem símbolos religiosos, refletem a inviabilidade de arcar com o custo energético transportar grandes objetos em uma vida nômade, lógica que mudaria com a sedentarização, a partir do Neolítico, permitindo por exemplo a construção de grandes fornos para fabricação de cerâmica e mais tarde para a fundição de metais. Deixou-se a questão dos metais para discutir na aula seguinte.

Destacou-se o elevado valor energético (ainda que reduzido valor nutritivo) dos cereais produzidos, geralmente na forma de monocultura, pelas novas civilizações agrícolas do Neolítico. Pela atenção dos alunos notou-se um interesse premente pelo tema Pré-História, talvez parte da imagem de “paraíso perdido” que povoa nosso imaginário. Surgiu mesmo, em diálogo com alunos evangélicos, a comparação entre o modo de vida nômade dos caçadores-coletores do Paleolítico e a lenda judaico-cristã do Jardim do Éden (que alguns desses alunos entendem verdadeira em sua literalidade). A vida presa à terra e de trabalho mais intenso do homem do Neolítico seria comparável à expulsão de Adão e Eva do Paraíso (a partir da expulsão do paraíso o casal e seus descendentes teriam que produzir alimento pelo próprio suor, em uma curiosa analogia com as populações neolíticas). Essa analogia (limitada como toda analogia) foi feita de maneira muito respeitosa e prudente, não sendo registrado qualquer ruído de desentendimento por razão religiosa entre a turma e o professor ou entre os alunos.

Discutiu-se o surgimento da agricultura em diferentes regiões do globo a partir de gramíneas selecionadas pelo homem do Neolítico, conscientemente ou não, de modo a aumentar seu teor energético em amido. Aproveitou-se para discutir o teor energético do amido, contido no trigo do Crescente Fértil, no arroz da China e no milho do México (BLAINEY, 2012) e o surgimento de civilizações marcadamente urbanas nessas três

regiões, civilizações que floresciam a partir da capacidade de estocar alimentos, porque podiam contar com um suprimento constante de energia.

Fazendo uma ponte entre a Biologia, a Química e a História, discutiu-se a intolerância a lactose por pessoas que não produzem a enzima lactase na fase adulta (aproveitou-se para trabalhar o catalisador como conceito fundamental na química e a enzima como exemplo de catalisador) e a relação evolutiva desse problema com o desenvolvimento ou não do pastoreio e da criação de gado leiteiro nas populações do Neolítico, que resultou em uma distribuição étnica diferenciada dessa característica genética (ALMEIDA, 2012).

A partir do estudo do surgimento da roda na Mesopotâmia, durante o Neolítico (BLAINEY, 2012), fosse para girar cerâmica ou para mover carroças, passou-se a estudar o atrito e a vantagem da roda na localização do atrito não no carrinho que está sendo transportado, mas na interface entre o eixo fixo e a roda. Discutiram-se também as estratégias para reduzir o atrito, por exemplo, com o uso de líquidos apolares viscosos, insolúveis em água, como as graxas. Os alunos pareceram entender bem a ideia apresentada.

Em retrospecto uma autocrítica que pode ser feita em relação a esse tópico sobre a água é o desperdício da oportunidade de discutir velocidade linear e angular, tanto no contexto das rodas de girar cerâmica, usadas pelos artesãos do Neolítico para a fabricação de vasos, quanto no contexto do uso da roda em meios de transporte.

Passou-se então a discutir as consequências da sedentarização. Entre elas o surgimento de desenhos geométricos cada vez mais esquemáticos que originariam a primeira forma de escrita, a escrita pictográfica (PROENÇA, 2012), marcando a linha imaginária que separa a Pré-História da História, o surgimento da escrita, por volta do ano 4000 - 3000 a.C., dependendo do que o autor adotado entende por escrita (WEISSENBACHER, 2009; BAINEY, 2012; VOLPI, 2014).

Discutiu-se ainda outra consequência importante da sedentarização: a melhoria do cozimento do barro, com fornos para cerâmica cada vez maiores e eventualmente a descoberta de que esses mesmos fornos, adaptados, poderiam ser usados para fundir metais a partir de seus minérios, com pequenas adaptações (BAINEY, 2012; VOLPI, 2014). Esse foi um salto tecnológico tão importante que esse período entre a Pré-História e a História é identificado pelos historiadores como “Idade dos Metais”.

O estudo da Idade dos Metais, particularmente do surgimento da metalurgia, permitiu discutir em física as formas como o calor se propaga nos altos-fornos, (condução, convecção, irradiação), e em química a relação entre a existência de certos metais na forma de minérios e a fila de reatividade dos metais, a razão química para as Idades do Cobre e do Bronze precederem a Idade do Ferro, as variedades alotrópicas dos metais, as ligas metálicas, os diagramas de estados físicos, reações redox, poder calorífico, o uso do bronze em trocadores de calor, entre outros aspectos da física e da química que o estudo da Idade dos Metais permitia abordar.

Aqui cabe novamente uma autocrítica muito honesta: Na aula em que se trabalhou Idade dos Metais tentou-se trabalhar uma quantidade muito grande de tópicos de física e de química, de modo que alguns precisaram ser abordados de maneira um tanto superficial, valendo aqui a observação de Chevallard (2009), de que a quantidade de assuntos tratados vem frequentemente em detrimento da qualidade da transposição didática. Essa percepção obrigou-nos a redimensionar as aulas seguintes de modo a torna-las mais leves, como se percebe já na próxima aula, na qual se trabalhou a energia na Idade Antiga. A percepção da densidade da aula “Idade dos Metais” também foi um dos motivos que nos levaram a expandir o minicurso de um bimestre para um semestre.

Trabalhou-se com as três principais civilizações da Antiguidade, a egípcia, a grega e a romana.

Em relação à civilização egípcia foi possível, a partir da dinâmica da navegação no Rio Nilo, abordar, de forma muito básica, os conceitos de módulo (intensidade), direção e sentido de vetores, especialmente em relação a deslocamento e velocidade, fazendo uma aproximação com a geografia física, ao associar o sentido da correnteza do rio com os pontos cardeais. Trabalhou-se a força do vento sobre a vela e da correnteza sobre o casco. Ao se discutir a partir de um desenho no quadro o conceito de quilha e sua importância para a navegação, fomos interrompidos por um aluno com deficiência motora, que não coordena braços e pernas e fala com certa dificuldade.

“Isso não é quilha, é bolina.” E contou que ele navega há bastante tempo e explicou a diferença entre quilha e bolina, para uma turma atenta à sua explicação e presumivelmente admirada do exemplo de vida que representa um cadeirante navegando em um barco a vela. Naquele dia todos nós, alunos e professor, aprendemos muito mais que a diferença entre quilha e bolina.

Em relação aos gregos, destacou-se o desenvolvimento dos moinhos d'água no período helenístico, a partir de dispositivos semelhantes a monjolos, dotados de pás, já usados no extremo Oriente havia bastante tempo (WEISSENBACHER, 2009). O experimento com o monjolo (figura 6) deu a tônica da aula sobre Antiguidade. Discutiu-se a evolução do monjolo, que se tornou uma das pás da roda d'água, que por sua vez evoluiu para as modernas turbinas das usinas hidrelétricas. Levar (e usar) esse dispositivo, adquirido de um artesão do interior de Goiás, permitiu abordar aspectos da física, como o equilíbrio (o cocho e o socador, destacados na figura 6 precisam estar balanceados para o monjolo funcionar e moer o grão no interior do pilão), a energia potencial gravitacional, a energia cinética e a energia mecânica como composição das duas. Permitiu também mensurar o grande interesse que a experimentação, mesmo a mais singela, desperta sobre o aluno:

“Professor, apressa a aula, que a gente quer ver o experimento.”, foi um pedido feito mais de uma vez, provocado pela simples presença de um dispositivo rústico de madeira, uma garrafa PET com água e uma bacia de plástico.

**Figura 6** Este monjolo, de 35 cm de largura, foi colocado para funcionar, com água, e serviu para demonstrar o uso da energia hidráulica na antiguidade (acervo pessoal).



Usando o monjolo foi possível também trabalhar o conceito de centro de massa, normalmente situado no lado do socador, mas que fica deslocado para o lado do cocho enquanto ele vai enchendo de água. Explicou-se que ao descer e derramar a água o cocho volta a ficar com menos massa e o centro de massa vai novamente para o lado do socador, que desce, repetindo-se todo o processo.

Em relação aos romanos trabalhou-se sua conhecida capacidade prática e adaptativa de tecnologias de outros povos, que se apropriou do moinho d'água dos gregos e do moinho de vento dos persas (WEISSENBACHER, 2009), assim como de várias tecnologias desenvolvidas por outros povos dominados por Roma. Entre suas

obras de engenharia mencionaram-se os canais de água afluentes , os aquedutos (PROENÇA, 2012) e efluentes, a famosa “cloaca magna”. Mencionou-se ainda o controle da energia potencial gravitacional nas construções, com a adaptação da coluna dos gregos, ao arco dos etruscos (PROENÇA, 2012) e a prevalência da energia humana para as tarefas mais corriqueiras, com o largo uso da mão de obra escrava.

Na aula seguinte discutiu-se a Idade Média, iniciada com a queda do Império Romano do Ocidente, em 476 d.C. (WEISSENBACHER, 2009; VOLPI, 2014). Abordou-se a manutenção do emprego da energia mecânica proveniente da mão de obra humana, com a substituição da escravidão pela servidão. Nesse período de atrofiamiento das cidades europeias, com a hegemonia da religião e a marginalização da ciência, uma tecnologia que evoluiu surpreendentemente foi a que aproveitava a energia eólica, os moinhos de vento (BLAINEY, 2012). Copiados pelos romanos a partir da tecnologia desenvolvida pelos persas (antepassados dos atuais iranianos), os moinhos de vento foram ofuscados pelos moinhos d’água durante o apogeu de Roma e só apresentaram notável evolução após a queda do Império Romano, durante a Idade Média e a Idade Moderna (WEISSENBACHER, 2009).

Assim, a forma de energia escolhida para a aula em que foi abordada a Idade Média foi a eólica. Abordou-se a transformação do fluxo quase linear do vento em um movimento circular dos sistemas de eixos e engrenagens do moinho. Procurou-se destacar o fato de esses moinhos, que basicamente transferiam a energia cinética do ar em movimento para as pás da hélice, são de certa maneira os ancestrais de uma tecnologia moderna altamente promissora de “produção” de energia elétrica: as turbinas eólicas (figura 7).

**Figura 7** Moinho de vento antigamente usado para drenar o pântano que aparece em primeiro plano na foto. Hoje em dia essa tarefa é executada por uma pequena parcela da energia elétrica produzida pelo parque de turbinas eólicas que aparece ao fundo. Fonte: Wikimedia Commons



A figura 7, projetada na parede, foi usada para alimentar uma discussão sobre a “produção” de energia no passado e no presente, a drenagem de regiões alagadas como ocorre nos Países Baixos e a modificação do espaço geográfico pelo ser humano, e também uma análise da própria composição artística presente na fotografia, a motivação do fotógrafo para posicionar os elementos da fotografia da maneira como fez.

Foi realizado também um exercício de análise da potência de um moinho de vento, utilizando a fórmula semi-empírica  $P = k \times V^3$ , na qual associa-se potência do moinho de vento ou turbina eólica ( $P$ ) a uma constante ( $k$ ) característica do equipamento e ao cubo da velocidade do vento ( $V$ ). Isso serviu para trabalhar os conceitos de potência e velocidade e a utilidade de uma constante para a modelagem de um fenômeno. Serviu também para mostrar o quanto a energia eólica é dependente do regime de ventos em uma região, já que a potência não depende tão somente da velocidade do vento, mas da velocidade do vento ao cubo.

Nessa aula a química também participou, quando se discutiu uma das causas dos alagamentos nos Países Baixos: a eliminação da cobertura florestal para a produção de lenha e posteriormente o uso da turfa, “um combustível proveniente da madeira em

decomposição. A extração da turfa do solo e dos rios deixou o território pontilhado de crateras que, alagadas, se transformavam em pântanos, agravando ainda mais o problema dos Países Baixos” (ELIAS, 2014, p 27; vide apêndice). Aproveitou-se a questão da queima da lenha e da turfa para discutir combustão e poder calorífico dos diferentes combustíveis, e também a natureza do carvão, sua origem e as principais variedades de carvão, a turfa, o linhito, a hulha e o antracito (SMIL, 2009a).

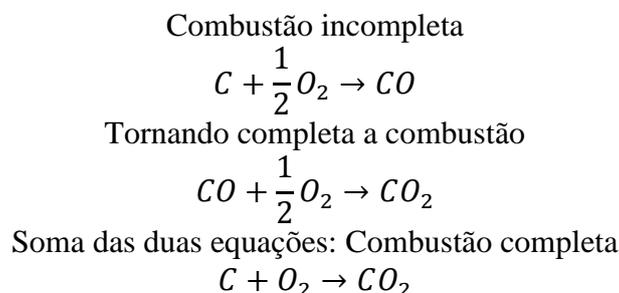
Não foi possível nessa aula e na seguinte fazer uma delimitação nítida entre as Idades Média e Moderna, uma vez que a “produção” de energia não toma consciência de nossa compartimentalização arbitrária do tempo histórico, assim a discussão sobre moinhos de vento invadiu a Idade Moderna, marcada também por uma enorme proliferação de moinhos d’água, a ponto de esgotar muitos cursos d’água em diversas regiões da Europa. Ainda assim, procurou-se deixar claro para os alunos em que momento deixava-se o período identificado como Idade Média e iniciava-se a Idade Moderna, fronteira temporal convencionalmente geralmente no ano de 1453, com a tomada de Constantinopla pelos turcos (WEISSENBACHER, 2009; BLAINEY, 2012; VOLPI, 2014).

Procurou-se mencionar, com o auxílio de apresentações Prezi, os principais eventos do período, Desencadearam-se uma série de eventos, o Renascimento, a conquista da América pelos europeus, o Mercantilismo, o Capitalismo, a Reforma Protestante, o Iluminismo, a Revolução Industrial, a Independência Americana e a Revolução Francesa, em 1789 (WEISSENBACHER, 2009; BLAINEY, 2012), que marca o limite didático clássico entre a Idade Moderna e a Idade Contemporânea (VOLPI, 2014).

Em termos energéticos deu-se destaque à otimização do aproveitamento da energia do vento para a navegação, que permitiu a descoberta da América, a relação complexa entre colônias e suas metrópoles, o mercantilismo e o surgimento do capitalismo. Com o super-aproveitamento da energia hidráulica com as rodas d’água cobrindo os saturados e irregulares canais ingleses (MOSLEY, 2011) teve início a Revolução Industrial, na segunda metade do século XVIII. Um fato notável e pouco conhecido é que a máquina a vapor ganharia importância na indústria e no transporte só no século XIX, antes disso, sua principal aplicação ainda era na drenagem de minas (WEISSENBACHER, 2009).

Ao discutir a energia da máquina a vapor voltou-se a analisar o carvão como combustível, em uma abordagem mais estequiométrica na qual, em uma típica medida de transposição didática simplificadora (Chevallard, 2009), passou-se a representar o

carvão como se fosse a substância simples carbono, em uma hipotética variedade alotrópica monoatômica. Com esse carvão “simplificado” foi possível avançar na discussão sobre a reação de combustão, introduzindo as categorias combustão completa e combustão incompleta, bem como os conceitos de reação exotérmica e endotérmica:



“Todas [as reações acima] são reações muito exotérmicas, ou seja, que liberam grande quantidade de calor ou energia térmica.” (ELIAS, 2014 p 31)

No espírito da interdisciplinaridade, foram analisadas também as consequências biológicas da inalação de carbono particulado (fagocitose pelos macrófagos pulmonares), de monóxido de carbono (ligação irreversível à hemoglobina do eritrócito) e de dióxido de carbono (ligação reversível à hemoglobina do eritrócito), problemas crescentes a partir da Revolução Industrial.

Em relação à Revolução Industrial, discutiu-se ainda a metalurgia do ferro e do aço, em seus aspectos químicos (natureza química do ferro e do aço) e físicos (retomada da discussão sobre propagação de calor nos altos-fornos por condução, convecção e irradiação). Abordaram-se as propriedades do aço que permitiram que fosse utilizado na fabricação de máquinas a vapor.

Iniciou-se então um relato histórico muito breve sobre as máquinas a vapor, mencionando os trabalhos de Newcomen e os aperfeiçoamentos implementados por Watt, que tornou-as práticas (MOSLEY, 2011). Discutiram-se as vantagens das máquinas a vapor em relação aos moinhos d’água, a aplicabilidade em máquinas fixas industriais e em máquinas móveis autopropulsionadas, como trens e navios a vapor.

Explicou-se, através de esquemas e diagramas, o funcionamento básico de uma máquina a vapor, e as inovações introduzidas no século XIX. Uma inovação importante foi o desenvolvimento do motor Stirling, um motor de quatro fases em um ciclo termodinâmico, que representamos por um diagrama volume x pressão, projetado na parede da sala de aula. Esse motor é um exemplo especialmente bom de máquina

térmica, por funcionar em um ciclo muito próximo do Ciclo de Carnot, a máquina térmica de máximo rendimento teórico. Observou-se que no motor Stirling o fluido térmico não é vapor d'água, mas ar.

Estando os alunos razoavelmente familiarizados com o motor Stirling, foi feita uma demonstração com uma versão miniaturizada desse tipo de máquina térmica, aquecida por uma vela (figura 8). Novamente despertou-se grande interesse nos alunos.

**Figura 8 Motor Stirling em miniatura. Acervo pessoal**



Apesar das diferenças entre uma máquina a vapor de Watt e um motor Stirling, esse experimento foi provavelmente mais eficaz para demonstrar o funcionamento aproximado de uma máquina a vapor do que uma explicação no quadro negro seria.

Considerando a relevância dos eventos da Idade Contemporânea para os alunos, as quatro aulas seguintes foram dedicadas a esse período.

Inicialmente foi feito um “panorama” global e brasileiro do período, iniciando-se na Revolução Francesa, em 1789, e nas conquistas de Napoleão, que obrigaram a família real portuguesa a fugir para o Brasil, acelerando o processo de independência. A Revolução Industrial mostrava sua face mais cruel, como reação surgiam os movimentos de trabalhadores, e o socialismo adquiria consistência interna, com os escritos de Marx.

Destacou-se que no final do século XIX, no campo da energia, surgiam o motor a combustão interna (a gasolina) e os motores elétricos, paralelamente ao desenvolvimento das primeiras usinas hidrelétricas. O motor a gasolina, mais leve que o motor a vapor, tornava viável a fabricação de automóveis e, em seguida, de aviões. O petróleo ia gradativamente substituindo o carvão como combustível fóssil mais

utilizado. Os motores elétricos davam origem a inúmeros produtos de consumo, que no século XX seriam chamados eletrodomésticos, e gerariam um mercado por energia elétrica, que até hoje não para de crescer.

Procurou-se mesclar o panorama global com o nacional, que era bem diferente. No Brasil agrícola de fins do século XIX, o uso da energia muscular humana através do trabalho escravo ainda era considerado tão importante que a abolição da escravatura, em 1888, seria um dos motivadores da derrubada da monarquia e da proclamação da república.

Na virada do século XIX para o XX, cresciam as rivalidades entre as potências imperialistas europeias, tensão que desembocaria na Primeira Guerra Mundial, entre outras razões pela posse de regiões estratégicas para o controle das fontes de energia, além, é claro, de matérias primas e mercados consumidores (WEISSENBACHER, 2009). Essa tendência de orientar as prioridades estratégicas geopolíticas e militares a partir das necessidades energéticas parece ter chegado até os nossos dias. Nos últimos meses da guerra, a monarquia Rússia era derrubada, dando espaço para o surgimento do primeiro regime socialista do mundo: a União Soviética.

Passou-se a abordar o período entreguerras, quando a quebra da bolsa de Nova York desencadeava uma crise econômica global, a chamada Grande Depressão. Na esteira da crise econômica, na Alemanha, Hitler assumia o poder e invadia vários países, dando motivação para o início da Segunda Guerra Mundial. A guerra terminaria com uma demonstração trágica da energia contida no átomo e que a ciência é capaz de despertar: as bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki.

Explicou-se que, após a guerra, Estados Unidos e União Soviética deixavam de ser aliados *ad hoc* e passavam a potenciais inimigos na dinâmica perigosa da Guerra Fria. Enquanto as bombas nucleares ganhavam potência destrutiva, a energia nuclear ganhava aplicações pacíficas na medicina e como “fonte” de energia elétrica, com o desenvolvimento das polêmicas usinas nucleares. Surgiram entre os alunos dúvidas e curiosidades sobre o funcionamento da energia nuclear. O professor não esclareceu algumas dessas dúvidas, mediante a promessa de que haveria uma aula específica para tratar da energia nuclear, inclusive com um pequeno experimento, o que os deixou ainda mais curiosos.

A valorização do petróleo como fonte de energia tornou explosiva a relação entre os povos no Oriente Médio, região em que estão situadas importantes reservas do

combustível e que já tem uma situação sensível em razão de disputas religiosas e territoriais. As duas grandes crises do petróleo foram usadas em aula como exemplo dessa complexa realidade. A primeira está associada à Guerra do Yom Kippur:

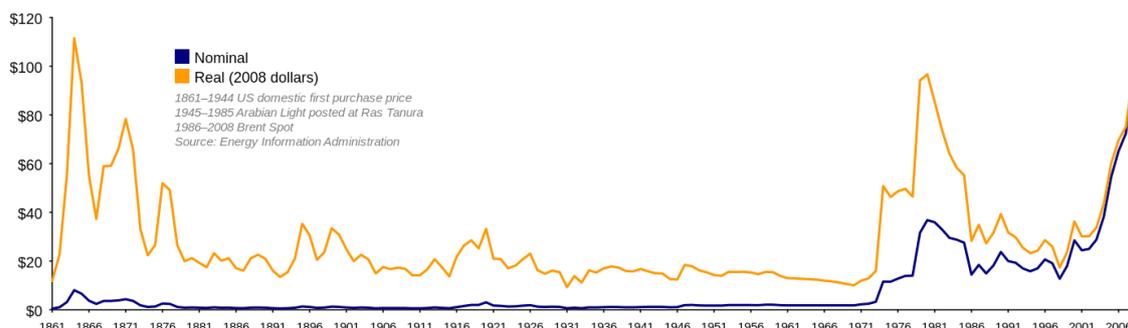
A Guerra do Yom Kippur é iniciada quando Síria e Egito atacam Israel, em 1973, os países da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) aumentam o preço e restringem o fornecimento de petróleo para os países ocidentais, aliados de Israel, causando uma crise energética e uma recessão global; (ELIAS, 2014, p 36; vide apêndice)

A segunda crise do petróleo ocorreu quando o mundo ainda se recuperava dos efeitos da primeira, e estava associada à Revolução Iraniana:

- Em 1979 o xá do Irã, Reza Pahlevi é deposto e, em seu lugar, assume o comando do país o Aiatolá Khomeini, um líder espiritual islâmico radical, no ano seguinte, o ataque pelo Iraque de Saddam Hussein dá início à guerra Irã-Iraque (1980-1988) e desencadeia-se nova crise do petróleo; (ELIAS, 2014, p 36; vide apêndice)

Após a discussão sobre as duas crises do petróleo pediu-se para os alunos identificarem em um gráfico projetado na parede os dois eventos (figura 9). Foi possível observar que após quase um século de relativa estabilidade, de 1879 a 1973, Os preços reais apresentaram dois grandes picos, associados com as já mencionadas crises de 1973 e 1979 em diante.

**Figura 9 Gráfico de preços do Petróleo, mostrando a estabilidade durante cerca de um século e as oscilações provocadas pelas crises do Petróleo no último quartel do século 20**  
Fonte: Wikimedia Commons



Discutiram-se então que consequências econômicas o aumento dos preços poderia ter, e que países encontraram soluções criativas para o problema, e se o petróleo é o único combustível disponível.

“Tem o álcool, no Brasil a gente usa o álcool” A partir da constatação dos alunos de que o Brasil havia encontrado uma alternativa para as crises do petróleo, passou-se a discutir a motivação, a implementação e os resultados, positivos e negativos, do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) e o *status* atual do programa. Procurou-se chamar a atenção para o fato de que o álcool não é comercializado no Brasil apenas na bomba de álcool, mas que é legalmente misturado à gasolina.

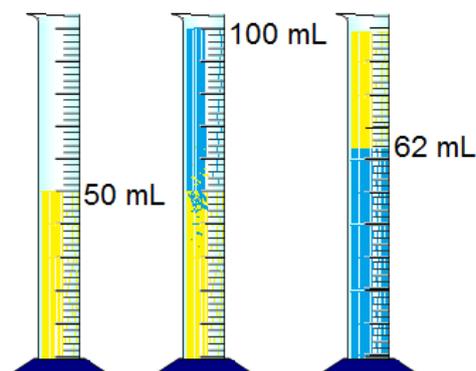
Para demonstrar isso e ainda trabalhar com a classificação das substâncias em polares e apolares, realizou-se uma versão bastante simplificada do experimento da determinação do teor de álcool na gasolina (figura 10). Colocaram-se 50 mL de gasolina em uma proveta e, em seguida, 50 mL de água, totalizando aproximadamente 100 mL. Em razão da dinâmica das ligações intermoleculares esse valor pode ter sido um pouco menor, talvez 98 mL, mas em razão da necessidade de simplificação, condizente com a necessidade adaptativa do saber ensinado (Chevallard, 2009), desprezou-se essa diferença.

Uma vez que a gasolina é insolúvel em água e menos densa que a água, após agitação e repouso a gasolina posicionou-se na fase superior da mistura. Os alunos provavelmente imaginavam uma fase gasolina de volume 50 mL. No entanto, verificou-se uma “perda” de 12,5 mL na “fase gasolina” e um acréscimo correspondente na fase aquosa. Questionou-se aos alunos qual seria a causa dessa diferença.

“É o álcool misturado na gasolina, que saiu”, respondeu uma aluna. Aproveitou-se a resposta da aluna para desenvolver os conceitos de volume, massa, densidade, solubilidade e polaridade, explicando que a diferença de polaridade causa a separação da fase aquosa (polar) da fase gasolina (apolar). Mostrou-se na fórmula do etanol representada no quadro, qual parte é apolar e solúvel com a gasolina e qual parte por ser polar é solúvel na água. Mencionaram-se então as ligações intermoleculares, de Van der Waals, em substâncias apolares, e pontes de hidrogênio, em substâncias polares.

**Figura 10 Determinação do teor de álcool na gasolina**

Fonte: Wikimedia Commons (adapt.)



Solicitou-se aos alunos calcular o teor de álcool na gasolina, usando regra de três. Isso foi feito, chegando-se a 24% de álcool na gasolina, valor no teto do permitido pela legislação da época.

Feita a análise do experimento, retomou-se a “linha do tempo” que tinha sido desenvolvida até as crises do petróleo. Mencionou-se a construção das usinas nucleares em Angra e os projetos de duas novas usinas a serem construídas na região Nordeste do Brasil. Citaram-se as vantagens da energia nuclear, entre as quais a emissão quase nula de poluentes quando em situação de funcionamento normal e com adequada armazenagem de material descartado, a constância do fornecimento de energia, e outras características a serem discutidas na aula seguinte, sobre energia nuclear. Em contraposição às vantagens da energia nuclear, lembraram-se os acidentes nucleares de Chernobyl, em 1986 e de Fukushima, em 2011.

Tratou-se do colapso da União Soviética, em 1991, da globalização, dos atentados de 11 de setembro de 2001, e das intervenções militares que se seguiram. Mencionaram-se ainda os tsunamis de 2004 e de 2011, esse último associado à já mencionada explosão da usina nuclear de Fukushima, no Japão, “acidente que lembra o pesadelo de Chernobyl e realimenta dúvidas sobre a segurança das usinas nucleares” (ELIAS, 2014; vide apêndice). Essa reflexão foi deixada como “gancho” para a penúltima aula, sobre energia nuclear.

Na aula seguinte, iniciou-se avisando que seria uma aula sobre energia nuclear, deixando-se sobre a mesa do professor uma caixa, que explicou-se ser um experimento sobre o tema. Alguns alunos começaram a afastar suas carteiras, jocosamente, como se estivessem com medo do conteúdo da caixa.

Passou-se então a analisar os fenômenos associados à energia nuclear, com base nos desdobramentos do Projeto Manhattan, que levou à bomba de Hiroshima detonada em 1945, causando centenas de milhares de mortes. Explicou-se a busca pela fissão, com o bombardeamento do urânio 235 por nêutrons térmicos e sua fissão em núcleos menores, de criptônio e bário, com liberação de outros nêutrons e de enormes quantidades de energia (a equação foi projetada na parede, acompanhada de desenho ilustrativo do núcleo fissionando).

Passou-se a abordar então a bomba de hidrogênio, e o desenvolvimento da fusão nuclear a partir de 1952. Foi montada no quadro-negro uma tabela comparativa entre a fissão e a fusão e mencionou-se o fato da fusão estar acontecendo há milhões de anos em estrelas como o nosso familiar Sol. Passou-se então a abordar o uso pacífico da energia nuclear:

Também na década de 1950 teve início o uso pacífico da energia nuclear, para a produção de eletricidade na URSS (1954), no Reino Unido (1956) e nos EUA (1957). O Brasil se juntaria tardiamente ao grupo, em 1984, com a inauguração de Angra 1. Hoje estamos construindo Angra 3, réplica modernizada de Angra 2, que já está funcionando. 2 novas usinas devem ser construídas no Nordeste. (ELIAS, 2014; vide apêndice)

Com base em esquema projetado na parede procurou-se explicar os processos de conversão de energia que ocorrem em uma usina nuclear clássica, que utiliza a fissão do urânio e apresenta circuito primário com fluido pressurizado. Mencionou-se novamente o acidente nuclear de Chernobyl. Indagou-se então dos alunos:

“E acidente envolvendo medicina nuclear, aqueles isótopos usados em tratamentos radiológicos, sabe...? Vocês sabem em que país foi o mais grave acidente desse tipo no mundo?”

Alguns alunos mencionaram “Rússia”, outros “Estados Unidos”. O professor então respondeu, para surpresa de alguns alunos e confirmação de outros, que sabiam a resposta, que o acidente envolvendo medicina nuclear mais grave do mundo aconteceu no Brasil. Passou então a contar como foi o acidente com o Césio 137, em Goiânia.

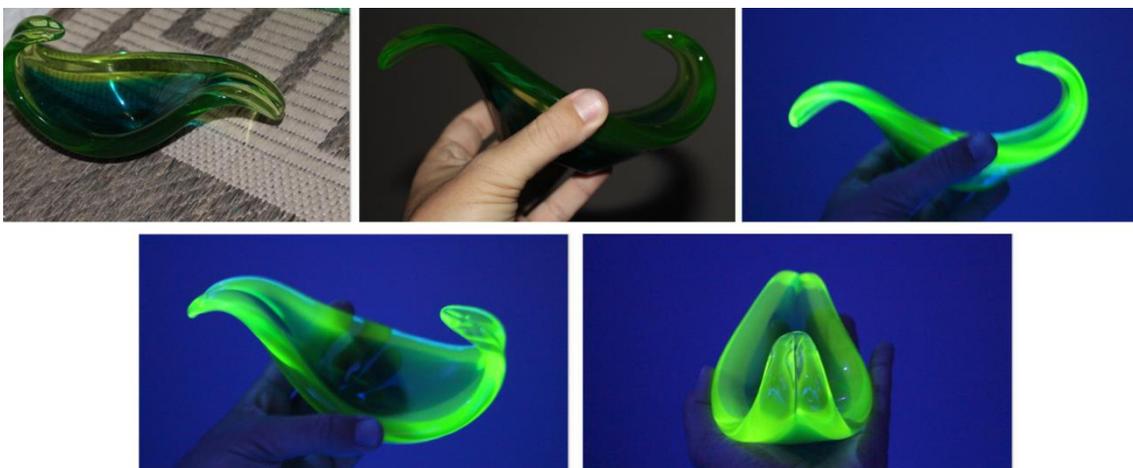
O desastroso evento em Goiânia, no ano seguinte ao acidente de Chernobyl intensificou no Brasil o medo da energia nuclear, contribuindo para o impasse político e

administrativo em que já se encontrava o programa nuclear brasileiro. Esse medo voltou a se intensificar a partir de 2011, com o acidente na usina de Fukushima.

Ao final da aula, explicou-se aos alunos que nos primórdios da energia nuclear, objetos decorativos foram fabricados em urânio. Os mais perigosos foram recolhidos pelas autoridades, mas algumas variedades, consideradas inofensivas pelo baixo teor do elemento radioativo, ainda podem ser adquiridas. Um exemplo disso é o “vaseline glass”, usado para a fabricação de vasos de cristal e considerado seguro para o manuseio, uma vez que as quantidades de urânio depletado ou empobrecido (traços a 2% em massa) são pequenas (CYCLEBACK, 2013).

Então o conteúdo da caixa foi apresentado aos alunos, explicou-se que era uma peça de cristal de Murano, fabricada na década de 1950, na Itália, adquirida em site de compra e venda online, por valor consideravelmente baixo. A sala dispunha de cortinas para projeção, e foi solicitado aos alunos que fechassem as cortinas. O professor acendeu uma lâmpada UV (luz negra) direcionando-a para a peça, que imediatamente pareceu se tornar translúcida e adquiriu um brilho verde fosforescente (figura 11).

**Figura 11 Vaso de urânio, sob luz visível nas duas primeiras fotografias, sob luz UV nas demais.**  
Acervo pessoal



Os alunos ficaram fascinados pelo brilho verde provocado pelo urânio. Explicou-se a natureza quântica do brilho, pela absorção de *quanta* de radiação ultravioleta pelos elétrons externos da extensa eletrosfera do urânio e liberação desses mesmos “pacotes” de energia na forma de luz visível verde quando os elétrons retornavam para seu estado fundamental. Também se procurou refletir sobre o deslumbramento que esse tipo de material provoca, uma vez que as mortes provocadas

pelo manuseio do Césio também foram em grande parte motivadas pelo fascínio que o material despertava por brilhar no escuro:

“A gente [eu, o professor e vocês os estudantes] sabe que o vidro de urânio brilha no escuro, por que motivo ele brilha e a gente sabe que ele é inofensivo, mas as pessoas que manusearam o césio em 1987 não tinham a menor ideia do que era aquilo... e ficaram encantadas... é fácil a gente julgar quando não é com a gente.”

Os comentários de “é muito legal...” e equivalentes continuaram. A campanha tocou como sinal para o intervalo, mas alguns alunos permaneceram em aula, encantados com a vasilha brilhante. Duas alunas pediram para tocar no vidro de urânio e uma falou “nossa, toquei em urânio...”

A aula seguinte representou o fechamento de um semestre intenso em aprendizado. Intitulada “alternativas energéticas para o futuro”, representou um chamado para a valorização de alternativas de fornecimento de energia com menor impacto para o planeta do que têm as que são majoritárias atualmente.

Abordou-se o gás natural, sua composição química, a distribuição geográfica das regiões produtoras, seu transporte e utilização no Brasil, com destaque para o gasoduto Brasil-Bolívia.

Partiu-se então para os hidratos de metano. Todos conheciam o gás natural, mas nenhum aluno manifestou conhecer os hidratos de metano. Fotos do “gelo que pega fogo” foram projetadas e despertaram a atenção dos alunos para esse novo combustível, abundante no leito oceânico.

Procurou-se deixar claro que nenhum dos dois representa uma real alternativa aos combustíveis fósseis mais utilizados (petróleo e carvão) quanto aos danos ambientais provocados pela liberação de gases estufa. Na verdade, a produção em larga escala de hidratos de metano, provavelmente aceleraria o aquecimento global, embora ainda não se saiba exatamente em que nível (ESTADOS UNIDOS, 2010).

Entre as alternativas renováveis de obtenção de energia trabalharam-se a energia fotovoltaica, a energia heliotérmica (fazenda solar), e a célula de combustível. A energia fotovoltaica já era conhecida da maioria dos alunos, ao contrário da energia heliotérmica, a concentração da luz solar em um ponto por espelhos, com água sendo vaporizada nesse ponto, movendo uma turbina.

Para produzir uma compreensão razoável do conceito de célula de combustível foi preciso recordar conteúdos de reação de óxi-redução que haviam sido trabalhadas meses antes, quando se estudou a metalurgia na Idade dos Metais.

O tema complexo, o pouco tempo restante e limitações práticas como o tempo parcialmente nublado, impediram um aproveitamento melhor da última prática de laboratório do semestre, na qual era apresentado um carrinho que permitia a utilização tanto da energia solar direta, para mover o motor, quanto para produzir eletrólise da água, obtendo hidrogênio como combustível e oxigênio como comburente para alimentar uma célula de combustível existente no carrinho (figura 12).

As nuvens só permitiram uma janela de insolação suficiente para mover o carrinho diretamente através do painel solar, ilustrando a energia fotovoltaica, mas a luz solar não durou tempo suficiente para produzir por eletrólise da água destilada volumes razoáveis de hidrogênio e oxigênio, sendo impraticável a demonstração do funcionamento de uma célula de combustível real, infelizmente.

**Figura 12 Carrinho "flex" movido a energia solar ou a célula de combustível. Acervo pessoal**



Ainda foram mencionadas brevemente a energia geotérmica, utilizada em países com vulcanismo importante, como Filipinas e Islândia, a energia eólica, retomando-se a descrição dos moinhos de vento, a energia das marés, com fotografias da usina de

Pecém, no Ceará e a energia da biomassa, mencionando-se e apresentando as reações químicas do biodiesel e do etanol, combustível que já havia sido trabalhado inclusive experimentalmente na aula sobre a crise do petróleo. Reforçou-se o que já havia sido falado durante a discussão sobre o etanol, que os combustíveis derivados de biomassa vegetal liberam carbono na atmosfera, mas de uma maneira equilibrada e sustentável, uma vez que todo o CO<sub>2</sub> liberado pela queima do biocombustível um dia foi capturado pela planta da atmosfera por fotossíntese e está apenas sendo devolvido para a atmosfera. Encerrou-se esta aula rápida com o *feedback* dos alunos, sempre muito positivo, agradecimentos do professor para a turma por terem sido sempre atentos e curiosos, e finalizou-se com uma confraternização preparada pela própria turma, com uma quantidade enorme de bebidas e alimentos, muitos feitos pelos próprios alunos.

A repercussão da Prática Diversificada junto à escola foi excelente, tendo sido criado um mecanismo de “tira-dúvidas” de química e física em horário alternativo e estando prevista a continuidade do curso sobre Energia em outra turma em 2015, a título de voluntariado. Os alunos também foram sempre muito participativos, perguntando bastante, o que às vezes produzia adoráveis desvios do assunto para temas como indústria aeroespacial, escrita taquigráfica ou saudações em vietnamita. Temos certeza de que, embora tenha havido momentos em que o curso pode ter sido cansativo, contamos com o interesse da maioria dos alunos a maior parte do tempo, verificamos o cuidado deles em quase nunca esquecer de trazer e usar o material escrito disponibilizado (ELIAS, 2014; vide apêndice) e tivemos o reconhecimento de toda a turma com relação à importância da temática e a maneira como foi trabalhada, sempre procurando fazer uma transposição didática apropriada para a faixa etária e para os conhecimentos que os alunos trazem da escola e da vida extra-escolar.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O curso pode ter sido denso e cansativo em alguns momentos, especialmente na terceira aula, sobre a Idade dos Metais, e na última aula, quando se procurou tratar todos os temas que faltavam, fazer um experimento complexo com duas fontes diferentes de energia dependentes de um Sol que se escondia sob as nuvens e ainda guardar tempo para despedidas e confraternização, mas ainda assim foi delicioso trabalhar com essa turma e com esse tema.

Além disso, estamos certos de que os alunos ficaram com uma ideia mais precisa do que é energia, da impossibilidade de criar ou destruir energia, e das infinitas possibilidades de transformação de uma forma de energia em outra. Conseguiu-se fazer uma boa diferenciação entre os dois períodos mais relevantes para a compreensão da dinâmica básica da Pré-História humana, o Paleolítico e o Neolítico, abordando-se as soluções energéticas para cada período.

Tópicos de termodinâmica e de eletroquímica foram desenvolvidos a partir da análise dos avanços na produção de energia e da aplicação desses avanços na produção de metais e suas ligas, na transição da Pré-História para a História, no período conhecido como Idade dos Metais.

A Antiguidade Clássica serviu de pano de fundo para o estudo de soluções energéticas encontradas por suas três principais civilizações, a egípcia, a grega e a romana, nas quais a mecanização coexistiu com o aproveitamento da energia humana através do instituto da escravidão.

Analisou-se a transição da escravidão para a servidão no período de um milênio conhecido como Idade Média e outras soluções energéticas que não iniciaram nessa época, mas que tiveram importância no período. Entre essas soluções, encontram-se a obtenção de energia da combustão da lenha e, na falta desta, da turfa, e o aperfeiçoamento dos moinhos de vento, que prosseguiria na Idade Moderna.

Sobre o início da Idade Moderna destacou-se o aproveitamento da energia do vento nas Grandes Navegações e sobre o seu final abordou-se o aproveitamento da energia obtida da combustão do carvão nas máquinas a vapor. Trabalharam-se importantes tópicos da física (termodinâmica) e da química (termoquímica) do desenvolvimento da máquina a vapor, iniciado na Idade Moderna e que, junto com as revoluções burguesas, moldaria as relações de trabalho das sociedades humanas, e a própria Idade Contemporânea com repercussões até os dias de hoje.

A complexa Idade Contemporânea teve que ser dividida em várias aulas para que se conseguisse organizar um panorama de mais de dois séculos de estonteante evolução, no aspecto energético e em muitos outros. Destacou-se o período áureo da energia do carvão e sua gradativa substituição pelo petróleo e pela eletricidade, trabalhando aspectos da química, como as reações de combustão dos diferentes combustíveis, e da física, como a transformação de energia mecânica em energia elétrica nas usinas hidrelétricas, entre outros processos estudados.

A partir do estudo das crises do petróleo, tendo como ponto de partida as convulsões no Oriente Médio na década de 1970, fez-se um estudo de preços ano a ano e foi possível associar os eventos importantes das crises energéticas à modelagem gráfica anual dos preços da *commodity*. Com esse estudo os próprios alunos identificaram os biocombustíveis como possíveis soluções.

Temos certeza que os alunos, em sua maioria, ficaram com uma ideia mais clara das diferenças entre fissão e fusão nuclear, das vantagens e perigos do uso da energia nuclear e recordaram (ou tomaram conhecimento pela primeira vez) que a humanidade já se defrontou com acidentes relacionados a materiais radioativos, como o de Chernobyl e o de Fukushima, e num nível mais local, o de Goiânia.

Ainda conseguiu-se apresentar possíveis soluções para os dilemas da produção de energia para o desenvolvimento e a degradação do planeta provocada pelo consumo de energia, com destaque para a energia eólica, solar e da biomassa, abordando aspectos físicos e químicos pertinentes a cada uma.

O trabalho interdisciplinar assim realizado deve muito a teoria da transposição didática de Chevallard (2009) que começou com a matemática mas que não é negada por ele como realidade das demais disciplinas. Foi possível em diversos momentos verificar as dificuldades de se partir do conhecimento de referência para o conhecimento a ser ensinado, verificar o “saber realmente ensinado” e o “conhecimento aprendido” (Chevallard, 2009).

Em um período de incertezas alimentadas pelo fetiche do novo milênio, pelo encantamento trazido pela sociedade da informação, a obra de Yves Chevallard ganha ainda mais relevância porque ataca os problemas da docência, mas sua abordagem não desvaloriza o conteúdo disciplinar do ensino básico, ela o compreende como necessário, até mesmo para superá-lo e alcançar uma interdisciplinaridade responsável e substantiva, que foi o que tentamos fazer nesse curso de um semestre. Na nossa leitura, tivemos razoável sucesso nessa busca. Foi um curso de um semestre que poderia ter sido de um ano, como vai ser em 2015, motivando novos aprendizados e pesquisas.

## 7. REFERÊNCIAS

ABREU, R. G.; LOPES, A.C. A Interdisciplinaridade e o Ensino de Química: Uma leitura a partir das políticas de currículo. In: SANTOS, W.L.P.; MALDANER, O. A. (Orgs.) Ensino de Química em Foco. Ijuí, Editora Unijuí, 2011.

ALBUQUERQUE, Ester A. F. Contribuições Didático-Pedagógicas do Cinema para o Ensino das Ciências da Natureza na Educação Básica por uma Abordagem Histórico-Filosófica das Ciências. 33 folhas. Proposição – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília (PPGEC – UnB). Brasília, 2013. Disponível em

<<http://ppgec.unb.br/images/sampled/data/dissertacoes/2013/proposicao/Ester%20Alves.pdf>>. Acesso em 10 fev. 2015.

ALBUQUERQUE, Márcio C. A Autoridade Docente nas Representações Sociais de Professores(as): Implicações no Espaço da Sala de Aula. 252 folhas. Dissertação de Mestrado. Centro de Educação. Programa de pós-graduação em Educação. Mestrado em Educação. Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

ALMEIDA, João Paulo P. Intolerância a Lactose: como a evolução explica por que o leite, essencial aos bebês, se torna um veneno para muitos adultos? Informativo PetBio. Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2012. Disponível em:

<[http://www.petbio.ufv.br/informativo/67/artigo-02.html?KeepThis=true&TB\\_iframe=true](http://www.petbio.ufv.br/informativo/67/artigo-02.html?KeepThis=true&TB_iframe=true)>. Acesso em 12 fev. 2015

ALVARENGA, Augusta Thereza; SOMMERMAN, Américo & ALVAREZ, Aparecida M. S. Congressos Internacionais sobre Transdisciplinaridade: reflexões sobre emergências e convergências de idéias e ideais na direção de uma nova ciência moderna. Saúde e Sociedade v.14, n.3, p.9-29, set-dez 2005.

AMARAL, Edenia Maria R.; MORTIMER, Eduardo F. Uma Proposta de Perfil Conceitual para o Conceito de Calor. Atas III Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (III ENPEC), 2001.

BACHELARD, G. A filosofia do não: a filosofia do novo espírito científico. 5. ed. Trad. Joaquim José Moura Ramos. Lisboa: Editorial Presença, 1991.

BADILLO, R.G., MIRANDA, R.P., BELTRÁN, M.V.U., FERNANDEZ, L.C., RODRÍGUEZ, R.Y.A. El Concepto de Valencia: Su Construcción Histórica y Epistemológica y La Importancia De Su Inclusión en la Enseñanza Ciência & Educação, v. 10, n. 3, p. 571-583, 2004

BIBLIOTECA UNIVERSAL. Arquitectura Inglesa (verbete) In. Biblioteca Universal. 2015. Disponível em <[http://www.universal.pt/main.php?id=160&art\\_hom=26155](http://www.universal.pt/main.php?id=160&art_hom=26155)> Acesso em 02 fev. 2015.

BLAINEY, Geoffrey. Uma Breve História do Mundo. São Paulo: Editora Fundamento, 2012.

BRASIL. A Eletrobras Eletronuclear. Website institucional. 2015. Disponível em <<http://www.eletronuclear.gov.br/AEmpresa.aspx>>. Acesso em 14 fev. 2015

BRASIL. LDB. Lei 9394/96 – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. MEC, 1996. Disponível em < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9394.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm)>. Acesso em: 02 fev. 2015.

BRASIL. PCN. Ensino Fundamental. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros curriculares nacionais: introdução aos parâmetros curriculares nacionais / Secretaria de Educação Fundamental. – Brasília : MEC/SEF, 1997.126p. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro01.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2015.

BRASIL. PCN. Ensino Fundamental. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros curriculares nacionais: introdução aos parâmetros curriculares nacionais / Secretaria de Educação Fundamental. – Brasília : MEC/SEF, 1998.174p. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/introducao.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2015.

BRASIL. PCN. Ensino Médio. Brasília: MEC, 2000. 109 p. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2015.

BRASIL. PNE. 2014. Plano Nacional de Educação. Lei Nº 13.005, de 25 de junho de 2014. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2014/Lei/L13005.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Lei/L13005.htm)>. Acesso em: 02 fev. 2015.

BRONOWSKI, Jacob. The Ascent of Man. Direção: Dick Gilling, Mick Jackson, David Kennard e David Paterson. Londres: BBC e Time-Life Films, 1973 [produção]. 13 filmes (aprox. 50 min, cada), 16 mm, colorido.

Disponível em <<http://www.brainyquote.com/quotes/quotes/j/jacobbrono124547.html>> e <<http://vimeo.com/103992816>>. Acesso em 08 fev. 2015

CABRERA, E.; GONZÁLEZ, J.; MONTENEGRO, E. NETTLE, A. Una Didactica del Saber: Un Camino Hacia la Optimizacion de Las Transposiciones Didacticas. Estudios Pedagógicos, Vol. XXXVI, nº 2. p. 51-61, Chile, Universidade Austral do Chile, 2010. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173518942003>>. Acesso em: 22 jan. 2015.

CACHAPUZ, A. et al Uma visão sobre o ensino das ciências na pós-mudança conceptual: contributos para a formação de professores. Inovação, Lisboa, v. 13, n. 2-3, p. 117-137, 2000.

CAMPOS, Lucilo. Estudo dos Ecossistemas. Artigo de Blog. 17 ago. 2011. Disponível em <[http://lucilocamposbiologo.blogspot.com.br/2011\\_08\\_01\\_archive.html](http://lucilocamposbiologo.blogspot.com.br/2011_08_01_archive.html)> Acesso em 02 fev. 2015.

CARDOSO, A. M. O recurso à história da física para uma aprendizagem por mudança conceptual no contexto da formação contínua de professores: um exemplo para a queda dos graves. 1996. Dissertação (Mestrado)-Universidade de Aveiro, Aveiro, 1996.

CHASSOT, Ático. A Escola Mudou ou Foi Mudada? Porto Alegre, 4 de nov. 2014. Disponível em:

<<http://mestrechassot.blogspot.com.br/2014/11/04-escola-mudou-ou-foi-mudada.html>>

CHEVALLARD, Yves. La transposición didáctica. 3ª Edição. 3ª Reimpressão. Buenos Aires: Aique Grupo Editor, 2009.

CORALINA, C. Vintém de cobre: meias confissões de Aninha. 9. ed . São Paulo: Global. 2007.

COULANGES, Numa-Denys Fustel. A Cidade Antiga. São Paulo: Editora das Américas, 1961.

CYCLEBACK, David. Looking at Art and Artifacts. Londres: Hamerweit Books, 2013.

DAVIES, Mark e Ferreira, Michael. Corpus do Português: 45 million words, 1300s-1900s. NEH (United States National Endowment for the Humanities). O Corpus do Português. Washington, 2015.

Disponível em <<http://www.corpusdoportugues.org/>>. Acesso em 01 de fev. 2015

DAWKINS, Richard. A Magia da Realidade. 1ª Edição. São Paulo: Cia. das Letras, 2012.

DUARTE, Maria da Conceição. A História da Ciência na Prática de Professores Portugueses: Implicações para a Formação de Professores de Ciências. Ciência & Educação, v. 10, n. 3, p. 317-331, 2004.

DUBNER, S.; LEVITT, s. Freakonomics: O Lado Oculto e Inesperado de Tudo que nos Afeta. São Paulo: Elsevier Campus, 2005. [E-book versão Kindle / Amazon Brasil]Disponível em <[http://www.amazon.com.br/Freakonomics-Lado-Oculto-Inesperado-Afeta-ebook/dp/B009WLCLCS/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1422197434&sr=8-1&keywords=Freakonomics](http://www.amazon.com.br/Freakonomics-Lado-Oculto-Inesperado-Afeta-ebook/dp/B009WLCLCS/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1422197434&sr=8-1&keywords=Freakonomics)>. Acesso em: 25 jan. 2015

DUSCHL, R. Renovar la enseñanza de las ciencias: importancia de las teorías y su desarrollo. España: Narcea, 1997.

ELIAS, Juliano de Almeida (org.) Energia: Minicurso Interdisciplinar. Material Didático. Centro de Ensino Médio Paulo Freire – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília (PGEC – UnB). 2014.

ESTADOS UNIDOS. Realizing the Energy Potential of Methane Hydrate for the United States. Washington: National Research Council of the National Academies, 2010.

FAZENDA, Ivani Catarina Arantes (Org.). Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: efetividade ou ideologia? São Paulo: Loyola, 1979.

FAZENDA, Ivani Catarina Arantes (Org.). Práticas Interdisciplinares na Escola. 12ª Edição. São Paulo: Cortez Editora, 2011.

FIGUEIRÔA, S. F. M. História das ciências e ensino de (geo)ciências: relatos de algumas experiências. In: ANDRADE, A. M. R. (Org.). Ciência em perspectiva: estudos, ensaios e debates. Rio de Janeiro: MAST/SBHC, 2003. p. 151-6.

GAGLIARDI, R. Cómo utilizar la Historia de las Ciencias en la Enseñanza de las Ciencias. L.D.E.S. Universidad de Ginebra. Enseñanza de las Ciencias, 1988, 6 (3), 291-296

GARDAIR, Thelma L.C.; SCHALL, Virgínia T. Possíveis em Machado de Assis: Teatro e Ciência na Educação Científica. Ciência & Educação, v. 15, n. 3, p. 695-712, 2009

GILBERT, J.; WATTS, M. Concepts, misconceptions and alternative conceptions: change perspectives in science education. Studies in Science Education, Leeds, Inglaterra, v. 10, p. 61-98, 1983.

GONZÁLEZ, Johanna Patricia Camacho & QUINTANILLA, Mario. Resolución de Problemas Científicos desde la Historia de la Ciencia: Retos y Desafíos para promover Competencias Cognitivo Lingüísticas en la Química Escolar. *Ciência & Educação*, v. 14, n. 2, p. 197-212, 2008.

GOULART, Silvia M. História da Ciência: Elo da Dimensão Transdisciplinar no Processo de Formação de Professores de Ciências. In: *Educação na era do conhecimento em rede e transdisciplinaridade*. LIBANEO, J.C & SANTOS, Akiko (orgs). Campinas, SP: Alínea, 2005.

GOULD, S. J. Seta do tempo, ciclo do tempo: mito e metáfora na descoberta do tempo geológico. São Paulo: Cia. das Letras, 1991.

GUERRA, Andréia; FREITAS, Jairo; REIS, José c.; BRAGA, Marco Antônio. A Interdisciplinaridade no Ensino das Ciências a Partir de uma Perspectiva Histórico-Filosófica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 15, n. 1: p. 32-46, abr. 1998.

HAAS, Celia Maria. A Interdisciplinaridade em Ivani Fazenda: construção de uma atitude pedagógica. *International Studies on Law and Education*. CEMOrOc-Feusp / IJI-Universidade do Porto, 2011.

HÉMERY, D.; DEBEIR, J.; DELÉAGE, J. Uma História da Energia. 2ª Edição. Brasília: Editora UNB, 1993.

HOBSBAWM, Eric. A Era das Revoluções: 1789-1848. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2014a.

HOBSBAWM, Eric. A Era do Capital: 1848-1875. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2014b.

HOBSBAWM, Eric. A Era dos Extremos - O Breve Século XX: 1914-1991. São Paulo: Cia. das Letras, 2014c.

HOBSBAWM, Eric. A Era dos Impérios: 1875-1914. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2011.

HODSON, D. Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, Leeds, v. 12, p. 25-57, 1985.

HODSON, D. Teaching and learning science: towards a personalized approach. Buckingham: Open University Press, 1998.

JARLSKOG, C. Rutherford's Nobel Prize and the one he didn't get. *Cern Courier*, Bristol, Reino Unido, 8 de dez. 2008. Disponível em: <<http://cerncourier.com/cws/article/cern/36678>>. Acesso em: 02 jan. 2015.

JUSTI, R.; GILBERT, J. History and philosophy of science through models: some challenges in the case of "the atom". *International Journal of Science Education*, London, v. 22, n. 9, p. 993-1009, 2000.

KAWAMURA, Maria Regina D. Disciplinaridade, Sim!, em: *Ciência & Ensino* nº 2. *Jornal do gepCE - FE - Unicamp*, 1997. p 5. Disponível em: <<http://prc.ifsp.edu.br/ojs/index.php/cienciaeensino/article/download/10/16>>. Acesso em: 02 fev. 2015.

KIMBALL, John. *Physics of Sailing*. Boca Raton (EUA): CRC Press, 2010.

KUHN, T. *Estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1978.

LIMA, M.C.B., BARROS, H.L., TERRAZAN, E.A. Quando o sujeito se torna pessoa: uma articulação possível entre poesia e ensino de física. *Ciência & Educação*, v. 10, n. 2, p. 291-305, 2004.

LOPES, Alice Casimiro. O Ensino Médio em questão. *Química Nova na Escola*, n. 7, p. 11-14, maio 1998

LOPES, Alice Casimiro. *Políticas de integração curricular*. Rio de Janeiro, UERJ, 2008.

MARTINS, A. et al. O livro branco da física e da química. [S.l.]: Sociedade Portuguesa de Física e Sociedade Portuguesa de Química, 2002.

MARTINS, André F. P. O Ensino do Conceito de Tempo: Contribuições Históricas e Epistemológicas. 148 folhas. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo – Instituto de Física – Faculdade de Educação. São Paulo, 1998. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-02042003-133924/publico/dissertacao.pdf>>. Acesso em 11 fev. 2015

MAS, C.; PEREZ, J. H.; HARRIS, H. H. Parallels between Adolescents' Conceptions of Gases and the History of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, Easton, v. 64, n. 7, p. 616-618, 1987.

MATTHEWS, M. M. Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 12, n. 2, p. 255-77, 1994.

MENEZES, Ebenezer Takunode; SANTOS, Thais Helena dos. “Disciplina”, “Multidisciplinaridade”, “Transversalidade”, “Interdisciplinaridade” (verbetes). *Dicionário Interativo da Educação Brasileira - EducaBrasil*. São Paulo: Midiamix Editora, 2002. Disponível em <<http://www.educabrasil.com.br/eb/dic/dicionario.asp?id=90>>. Acesso em 01 fev. 2015.

MORIN, Edgar; FREITAS, Lima de; NICOLESCU, Basarab. Carta da Transdisciplinaridade. Adotada no Primeiro Congresso Mundial de Transdisciplinaridade. Convento de Arrábida, Portugal, 2-6 nov. 1994. Disponível em <[http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/39/39133/tde-21052012-093302/publico/ANEXO\\_A\\_Carta\\_Transdisciplinaridade.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/39/39133/tde-21052012-093302/publico/ANEXO_A_Carta_Transdisciplinaridade.pdf)>. Acesso em: 03 fev. 2015

MORTIMER, Eduardo F.; AMARAL, Luiz O. F. Quanto Mais Quente Melhor: Calor e Temperatura no Ensino de Termoquímica. *Química Nova na Escola*, nº 7, maio 1998.

MOSLEY, Michael. Uma história da ciência: experiência, poder e paixão. Rio de Janeiro, Zahar, 2011.

NATIONAL GEOGRAPHIC. Visual History of the World. Cingapura: National Geographic Books, 2005.

NEWERLA, V. B. Rios vistos e revistos: as expedições de exploração do Sertão da Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo na história da ciência e no ensino de ciências naturais. 2000. 175f. Dissertação (Mestrado em Educação Aplicada às Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000. Disponível em

<<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000195820>>.

Acesso em 11 fev. 2015

OBREGÓN, D. Ciencia e historia de las ciencias. In: URIBE, J. J.; QUEVEDO, E.(Orgs.).Historia social de la ciencia en Colombia. Tomo X. Colômbia: Colciencias, 1996. p. 543-56.

OKI, Maria C. M.; MORADILLO, Edílson F. O Ensino de História da Química: Contribuindo Para a Compreensão da Natureza da Ciência. Ciência & Educação, v. 14, n. 1, p. 67-88, 2008.

OLIVEIRA, Wilker D. Uma proposta de plano de curso para conteúdos de Física em Nível Médio, através do trabalho articulado entre professores de Física e de Matemática, em situação de coordenação pedagógica, visando a Aprendizagem Significativa. 137 folhas. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília (PPGEC – UnB). Brasília,2012. Disponível em

<[http://ppgec.unb.br/images/sampled/data/dissertacoes/2012/versaocompleta/wilker\\_dias\\_oliveira.pdf](http://ppgec.unb.br/images/sampled/data/dissertacoes/2012/versaocompleta/wilker_dias_oliveira.pdf)>. Acesso em 10 fev. 2015.

OVERY, Richard. Complete History of the World. 8ª Edição. Londres: Times Books, 2011.

PARENTE, André. Entrevista com André Parente. Entrevistadoras: Virgínia Kastrup e Cleci Maraschin. *Psicol. Soc.* [online]. 2004, vol.16, n.2, pp. 7-11. ISSN 1807-0310. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-71822004000200002>>. Acesso em 01 fev. 2015.

PAULA, Ronaldo C. O. O Uso de Experimentos Históricos no Ensino de Física: Integrando as Dimensões Histórica e Empírica da Ciência na Sala de Aula. 140 folhas. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília (PPGEC – UnB). Brasília, 2006. Disponível em <<http://ppgec.unb.br/images/sampled/data/dissertacoes/2006/versaocompleta/ronaldo%20cesar.pdf>>. Acesso em 10 fev. 2015.

PEREIRA, Cláudio Luiz N. A História da Ciência e a Experimentação no Ensino de Química Orgânica. 125 folhas. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília (PPGEC – UnB). Brasília, 2008. Disponível em <<http://ppgec.unb.br/images/sampled/data/dissertacoes/2008/versaocompleta/claudsonbraga.pdf>>. Acesso em 10 fev. 2015.

PEREIRA, Isabel B. Interdisciplinaridade. In: *Dicionário da Educação Profissional em Saúde*. Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.epsjv.fiocruz.br/dicionario/verbetes/int.html>>. Acesso em 06 jan. 2015.

PIAZZI, Pierluigi. *Ensinando Inteligência*. Coleção Neuropedagogia. Vol. 3, 1ª Edição, 2ª Reimpressão. São Paulo: Aleph, 2009.

PIRES, Marília Freitas de Campos. Multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade no ensino. *Interface (Botucatu)* [online]. 1998, vol.2, n.2, pp. 173-182. ISSN 1807-5762.

PORTELA, Sebastião I.C. O Uso de Casos Históricos no Ensino de Física: Um Exemplo em Torno da Temática do Horror da Natureza ao Vácuo. 96 folhas. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília (PPGEC – UnB). Brasília, 2006. Disponível em

<<http://ppgec.unb.br/images/sampled/data/dissertacoes/2006/versaocompleta/sebastiao%20ivaldo.pdf>>. Acesso em 10 fev. 2015.

PORTO, Paulo Alves. História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: Em busca dos objetivos educacionais da atualidade. In: SANTOS, W.L.P.; MALDANER, O. A. (Orgs.) Ensino de Química em Foco. Ijuí, Editora Unijuí, 2011.

POSNER, G. et al. Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, New York, v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.

Disponível em

<<http://www.fisica.uniud.it/URDF/laurea/idifo1/materiali/g5/Posner%20et%20al.pdf>>.

Acesso em 10 fev. 2015.

POST CARBON INSTITUTE. Energy: overdevelopment and the delusion of endless growth. Sausalito – California: Foundation for Deep Ecology / Watershed Media / Post Carbon Institute, 2012.

POZO, J.I.; CRESPO, M.A. Aprender y Enseñar Ciencia. 6ª Edição. Madri: Ediciones Morata, 2009.

PROENÇA, Graça. História da Arte. 17ª Edição, 13ª Reimpressão. São Paulo: Editora Ática, 2012.

REZENDE, Flavia; QUEIROZ, Glória Regina Pessoa Campello. Apropriação discursiva do tema 'interdisciplinaridade' por professores e licenciandos em fórum eletrônico. *Ciênc. educ. (Bauru)* [online]. 2009, vol.15, n.3, pp. 459-478. ISSN 1516-7313

ROCHA FILHO, João Bernardes; BASSO, Nara Regina de Souza; BORGES, Regina Maria Rabello. Repensando uma proposta interdisciplinar sobre ciência e realidade. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. 2006, vol. 5 nº 2.

RODRIGUES, Elvis V. Aprendizagem da Lei da Gravitação Universal com Uso de Hipermídia de Abordagem Histórica. 212 folhas. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília (PPGEC – UnB). Brasília, 2008. Disponível em

<[http://ppgec.unb.br/images/sampled\\_data/dissertacoes/2008/versao\\_completa/elvis\\_v\\_rodrigues.pdf](http://ppgec.unb.br/images/sampled_data/dissertacoes/2008/versao_completa/elvis_v_rodrigues.pdf)>. Acesso em 10 fev. 2015.

RODRIGUES, Ronaldo da Silva. A História da Ciência e a Experimentação na Constituição do Conhecimento Escolar: A Química e as Especiarias. 2009. 65 folhas. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília (PPGEC – UnB). Brasília, fev. 2009. Disponível em

<[http://ppgec.unb.br/images/sampled\\_data/dissertacoes/2009/proposicao/ronaldo\\_s\\_rodrigues.pdf](http://ppgec.unb.br/images/sampled_data/dissertacoes/2009/proposicao/ronaldo_s_rodrigues.pdf)>. Acesso em 10 fev. 2015.

SANTOS, Cecília H. V.; BAGANHA, Denise E.; DURÃES, Dione A. S.; FERRARI, Iara S.; WEÇOLOVIS, Joel, PIRES, Marilene M. Y. Biologia. 2ª Edição. Curitiba: SEED-PR, 2006.

SAVIANI, Demerval. PDE. Plano de Desenvolvimento da Educação: Análise crítica da política do MEC. – Campinas: Autores Associados, 2009.

SAVIANI, Demerval. Sistema Nacional de Educação e Plano Nacional de Educação: Significado, controvérsias e perspectivas. Campinas: Autores Associados, 2014.

SILVA, C. P. A visão de ciência em textos didáticos de história do Ensino Médio. Cadernos IG/Unicamp, Campinas, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2001.

SILVA, C. P. Visões de ciência em livros de história utilizados na rede oficial do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO ESTADUAL PAULISTA SOBRE FORMAÇÃO DE EDUCADORES, 8., 2005, Águas de Lindóia. Resumos... São Paulo, 2005. p. 214.

SILVA, Cristiano P. Grandezas, Funções e Escalas - Uma Relação Entre a Física e a Matemática. 203 folhas. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília (PPGEC – UnB). Brasília, 2013. Disponível em <<http://ppgec.unb.br/images/sampledada/dissertacoes/2013/versaocompleta/CRISTIANO%20PEREIRA%20DA%20SILVA.pdf>>. Acesso em 10 fev. 2015.

SILVA, Luciana C.M. A Radioatividade como tema em uma perspectiva Ciência-Tecnologia-Sociedade com foco em História e Filosofia da Ciência. 60 folhas. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília (PPGEC – UnB). Brasília, 2009. Disponível em <[http://ppgec.unb.br/images/sampledada/dissertacoes/2009/proposicao/luciana\\_c\\_machado.pdf](http://ppgec.unb.br/images/sampledada/dissertacoes/2009/proposicao/luciana_c_machado.pdf)>. Acesso em 10 fev. 2015.

SMIL, Vaclav. Energy: a beginner's guide .Oxford - UK: Oneworld Publications, 2009a.

SMIL, Vaclav. Oil: a beginner's guide .Oxford - UK: Oneworld Publications, 2009b.

SUASSUNA, Ariano. Entrevista com Ariano Suassuna. Entrevistador: Paulo Araújo. Revista Nova Escola [versão online]. 2012 Disponível em: <<http://revistaescola.abril.com.br/lingua-portuguesa/pratica-pedagogica/ariano-suassuna-todo-professor-deve-ter-pouco-ator-610096.shtml>>. Acesso em 4 fev. 2015.

TOMAZ, Vanessa S.; DAVID, Maria Manuela M.S. Interdisciplinaridade e aprendizagem da Matemática em sala de aula. 3ª Edição. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2013.

VARELA, A. G. Juro-lhe pela honra do bom vassalo e bom português: análise das memórias científicas de José Bonifácio de Andrada e Silva. São Paulo: Annablume, 2006.

VERRET, Michel. Le temps des études. 2 volumes. Paris: Honoré Champion, 1975.

VOLPI, Fabio (Org.) Almanaque Abril 2014. São Paulo: Editora Abril, 2014.

WEISSENBACHER, Manfred. Sources of power: how energy forges human history. E-book Kindle. Santa Barbara, California. ABC Clio, 2009.

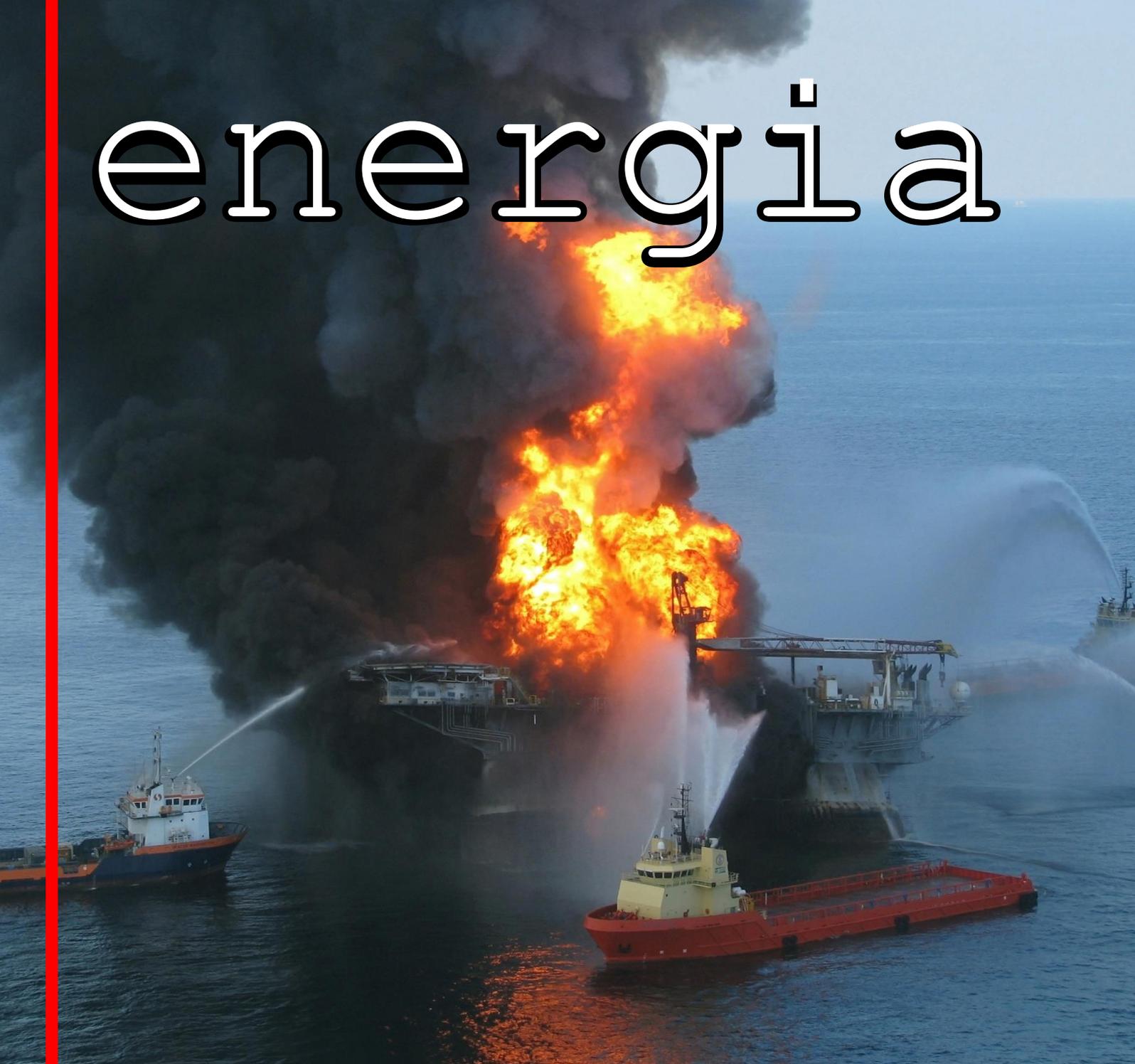
WILSON, Mitchell. A Energia. Biblioteca Científica Life. Rio de Janeiro, José Olympio Editora, 1969.

ZANETIC, João. Física e Arte: uma ponte entre duas culturas. Pro-Posições, v. 17, n. 1 (49) - jan./abr. 2006

ZAVAGLIA, Cláudia. Ambiguidade gerada pela homonímia: revisão teórica, linhas limítrofes com a polissemia e proposta de critérios distintivos. DELTA, São Paulo, v. 19, n° 2, 2003. Disponível em  
<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-44502003000200001](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-44502003000200001)>. Acesso em 02 fev. 2015.

**APÊNDICE. MATERIAL DIDÁTICO APLICADO NA ESCOLA**

# energia



**curso interdisciplinar**

**PPGEC - UnB**

**JULIANO DE ALMEIDA ELIAS**

# Sumário

Aula 1 – Introdução.....	3
Afinal, o que é ENERGIA?.....	3
Mas afinal, o que é este CURSO?.....	4
Aula 2 – Pré-História, da caça à agricultura.....	9
Aula 3 – A Idade dos Metais.....	15
Aula 4 – Antiguidade.....	22
Aula 5 – Idade Média.....	25
Aula 6 – Idade Moderna – das Grandes Navegações à Revolução Industrial.....	29
Aula 7 – Idade Contemporânea e a Consolidação da Revolução Industrial - a era da Eletricidade e do Petróleo – Parte 1.....	34
Aula 8 – Idade Contemporânea e a Consolidação da Revolução Industrial - a era da Eletricidade e do Petróleo – Parte 2.....	36
Aula 9 – Energia Nuclear.....	38
Aula 10 – Alternativas energéticas para o futuro.....	39
Atividades complementares e exercícios – Para serem desenvolvidos no caso de sobrar tempo no curso.....	41
ÍNDICE DAS FIGURAS.....	44

# energia

## curso interdisciplinar

### Aula 1 – Introdução

#### Afinal, o que é ENERGIA?

Se a gente conseguisse pegar na mão um copo com energia pura e mostrar a cor, a forma, etc. seria mais fácil de dizer o que ela é.



Figura 1 O SOL É A PRINCIPAL FONTE DE ENERGIA PRIMÁRIA NA TERRA. Fonte: Wikimedia Commons. Todas as figuras neste trabalho têm essa fonte, exceto quando indicado de outra maneira.

Apesar da dificuldade em explicar o que é energia, nós sabemos que ela existe por toda a parte.

Sem energia não haveria vida, não haveria nem mesmo matéria. Se energia é uma coisa tão importante, é preciso dizer o que é, ou pelo menos o que ela faz.

Durante muitos séculos o conceito de energia se confundiu com conceitos como o de força e potência. Hoje a ciência consegue distinguir energia de força e de potência. Nós sabemos hoje que força é, dito de forma simplificada, o produto da massa de um corpo pela aceleração produzida nesse corpo, e que potência é a energia fornecida dividida pelo tempo necessário para fornecer essa energia. A explicação do que é energia foi surgindo no século XVII, com Isaac Newton (1642-1727), e foi aperfeiçoada no século XVIII, por experimentos não só dos físicos, mas também dos engenheiros, como James Watt (1736-1819), que aperfeiçoou a máquina a vapor.

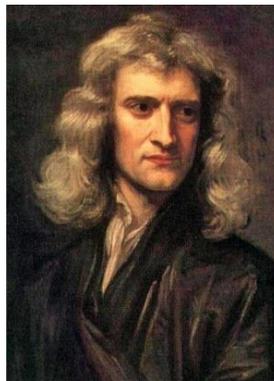


FIGURA2: ISAAC NEWTON

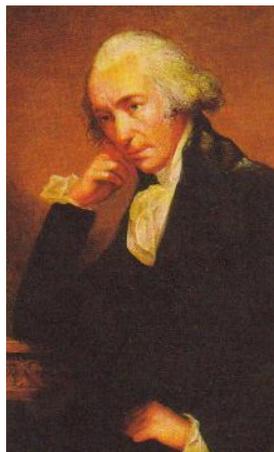


FIGURA 3: JAMES WATT

Por ser uma coisa difícil de definir, desde aquela época os cientistas preferem falar de energia não pelo que ela é, mas pelo que ela faz, então podemos dizer que energia é aquilo que realiza trabalho (move ou modifica a matéria).

**Energia é a capacidade de realizar trabalho.**

Mas ao definir energia dessa maneira, ficamos com outro problema. O que é trabalho?

Pode-se dizer, de início, que o trabalho é o resultado de uma força que atua em um objeto, o qual se move ao longo de uma trajetória.



FIGURA 4 EXISTE TRABALHO QUANDO PUXAMOS UMA MALA

Uma pessoa que puxa uma mala, como mostrado na figura 4, está exercendo trabalho sobre a mala se esta se move. Para uma força aplicada no sentido do movimento, o trabalho ( $W$ ), em joules, é o produto da força, em newtons, pela distância, em metros.

$$W = F d$$

Quando um(a) halterofilista levanta um peso acima da sua cabeça, o trabalho que ele ou ela exerce é o produto da força necessária para erguer o peso pela distância do chão até o alto.



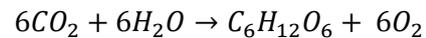
FIGURA 5 QUANDO A HALTEROFILISTA SVETLANA PODOBEDOVA ERGUE UM HALTERE DO CHÃO ATÉ O ALTO, NO HALTERE OCORRE ACÚMULO DE ENERGIA POTENCIAL

Podemos entender o trabalho como uma transferência de energia e entender a energia como "algo" empregado para realizar trabalho. Por exemplo, a energia que a halterofilista Svetlana Podobedova (figura 5) utilizou para realizar o trabalho de erguer o haltere foi retirada dos alimentos que ingeriu. Essa energia foi transformada em energia potencial, a energia que o haltere tem após ser erguido, em razão da sua distância até o chão. Se a atleta largar o haltere, a energia potencial se transforma em energia cinética, relacionada ao movimento do haltere. Em razão da transformação da energia potencial em energia cinética, é muito mais difícil interromper a queda de um haltere que caiu de uma altura de dois metros do que de uma altura de dois centímetros.

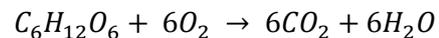
Mas de onde obtemos a energia para mover uma mala ou levantar um haltere?

Os seres vivos que possuem uma substância chamada clorofila, de cor verde, são capazes de utilizar a energia solar para transformar gás carbônico ( $CO_2$ ) e água ( $H_2O$ ) em glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ) capaz de armazenar energia química, produzindo ainda oxigênio ( $O_2$ ) no processo.

Os organismos que fazem isso são as plantas, o plâncton dos oceanos, etc. Essa reação é chamada fotossíntese e é representada, de forma simplificada, abaixo:



Através da fotossíntese, as plantas transformam a energia solar em energia química, armazenada na glicose. Os animais convertem essa forma de energia em outras (como energia cinética ou térmica) quando se alimentam de plantas (ou de outros animais que se alimentaram de plantas). A energia dos alimentos é liberada através de uma reação química chamada oxidação, que é o inverso da fotossíntese. A reação de oxidação da glicose é representada pela seguinte equação química:



A quebra da glicose ocorre através da sua oxidação (às vezes chamada de combustão ou queima), ou seja, da reação da glicose com oxigênio gasoso ( $O_2$ ). A glicose vem dos alimentos que ingerimos e o oxigênio do ar que entra nos pulmões quando a gente inspira. Ao expirar, a gente elimina gás carbônico ( $CO_2$ ) e água ( $H_2O$ ).

A energia que nos permite realizar trabalho vem da glicose dos alimentos que ingerimos, que reage com o oxigênio que respiramos.

Como a gente viu, uma forma de energia pode se transformar em outra. No entanto, energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada de uma forma em outra. Esse é o importante princípio da conservação da energia.

A energia não se cria nem se perde, apenas se transforma.

### Mas afinal, o que é este CURSO?

Este curso tratará do tema energia, trabalhando com aspectos da Física, da Química e da História que vão ser úteis no estudo dessas três disciplinas do Ensino Médio e também, certamente, na sua preparação para o ENEM. Não é um curso sobre História da Ciência, mas sobre a Ciência na História. Vamos nos concentrar na História e nessas duas ciências, Química e Física, mas nada impede que a conversa se estenda para outras disciplinas (por exemplo, Biologia ou Geografia) nas quais o nosso tema central – energia – é importante.

O foco não é a história da ciência, mas a Ciência na História.

Mas voltando à nossa conversa sobre energia, o conceito passou a ser compreendido melhor a partir do trabalho do engenheiro francês Sadi Carnot (1796-1832), que entendeu a transformação de calor (energia térmica) em energia cinética (de movimento). Mais ou menos na mesma época, Justus von Liebig (1803-1873), um dos fundadores da ciência química, explicou o metabolismo humano e animal pela oxidação dos alimentos, ricos em energia, gerando dióxido de carbono e água.

O médico alemão Julius Mayer (1814-1878), estudando a diferença de cor do sangue humano em regiões frias e quentes, chegou à conclusão de que a oxidação de substâncias presentes no sangue, provenientes dos alimentos, libera calor e também fornece energia para as células musculares se contraírem e alterarem o estado de repouso ou movimento de objetos que manipulam, possibilitando a realização de trabalho.



FIGURA 6 JULIUS VON MAYER

A partir da constatação de Julius Mayer, surgiu a ideia de que calor e trabalho devem ser equivalentes e podem ser convertidos um no outro, o que gerou a lei da conservação da energia. Essa lei afirma que energia não pode ser criada ou destruída, apenas transformada de uma forma em outra. Já falamos isso antes nesse curso, mas essa ideia é tão importante que vale a pena repetir:

A energia não pode ser criada ou destruída, apenas transformada.

O valor correto da equivalência entre calor e energia foi determinado pelo físico inglês James Joule (1818-1889).



FIGURA 7: JAMES JOULE

O trabalho de Joule permitiu confirmar a lei da conservação da energia como menos de 1% de erro. Hoje, essa lei é conhecida como 1ª Lei da Termodinâmica, e joule é o nome da unidade de energia no Sistema Internacional de Unidades (SI), como homenagem ao cientista.

Na metade do século XIX, o físico alemão Rudolf Clausius (1822-1888) demonstrou que não é possível transferir espontaneamente calor de um corpo frio para um corpo quente, e desenvolveu o conceito de entropia, a medida do grau de desordem de um sistema.

Entropia é a medida do grau de desordem de um sistema

Do conceito de entropia surgiu a 2ª Lei da Termodinâmica: “A entropia do universo é crescente.”

Para um sistema isolado isso significa, entre outras coisas, que as diferenças de temperatura tendem a desaparecer, com o corpo mais quente (de maior temperatura) transferindo energia na forma de calor para o corpo mais frio (de menor temperatura).

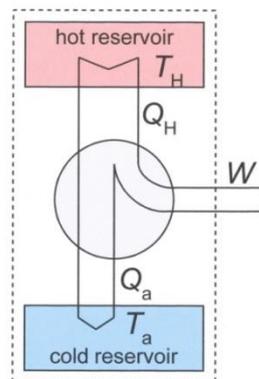


FIGURA 8 DE ACORDO COM A 2ª LEI DA TERMODINÂMICA, O CALOR PASSA ESPONTANEAMENTE DO RESERVATÓRIO QUENTE (HOT RESERVOIR) PARA O FRIO (COLD RESERVOIR)

A tendência à desordem cada vez maior parece ser contrariada pelos organismos vivos, que crescem (como indivíduos) e evoluem (como espécies e ecossistemas) para formas de vida mais ordenadas, mais complexas. Isso tem sido usado até mesmo para tentar negar a existência da evolução das espécies. No entanto, não existe conflito entre a evolução e a termodinâmica porque a biosfera da Terra é um sistema aberto, que recebe constantemente energia do sol, na forma de radiações, entre elas a luz visível. Essa energia solar é usada na fotossíntese para produzir estruturas orgânicas complexas (plantas). É essa "entrada" de energia que torna possível "organizar" a matéria viva, ou seja, produzir uma redução local da entropia.

A **3ª Lei da Termodinâmica** foi formulada inicialmente em 1906 a partir do teorema do calor, de Walther Nernst (1864-1914), que diz que todos os processos param, e não há variação de entropia, quando a temperatura se aproxima do zero absoluto (0 kelvin ou aproximadamente  $-273^{\circ}\text{C}$ ).

Curiosamente, a próxima lei não é chamada de 4ª Lei, mas de **Lei Zero da Termodinâmica**, a qual relaciona a energia térmica dos corpos em contato com as suas temperaturas. Assim, essa lei afirma que se dois objetos entrarem em contato com um determinado corpo e trocarem energia térmica (calor) com esse corpo, os dois objetos, e o corpo, após algum tempo terão atingido a mesma temperatura e não mais trocarão calor. A gente chama esse estado de equilíbrio térmico. A Lei Zero (ou antepimeira lei) pode ser enunciada assim: "Se dois corpos A e B estão separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro corpo T, A e B estão em equilíbrio térmico entre si".

A 1ª Lei da Termodinâmica ganhou um novo significado quando Albert Einstein (1879-1955) identificou a massa como uma forma de energia, identificada como o produto da massa pelo quadrado da velocidade da luz, de acordo com a famosa equação  $E = mc^2$ .

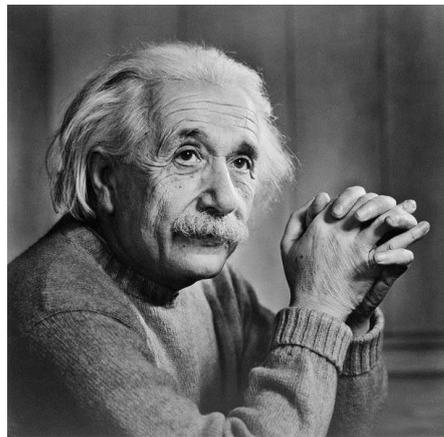


FIGURA 9: ALBERT EINSTEIN

Não temos condições de converter toda a massa em energia. O que se pode fazer é converter uma pequena parcela da massa de isótopos instáveis, como  $^{235}\text{U}$ , em energia, em reatores nucleares ou em bombas atômicas, através da fissão nuclear (ou da fusão, no caso das bombas de hidrogênio).



FIGURA 10 EXPLOSÃO NUCLEAR

### Exercícios em dupla:

Tomando por base o texto e os seus conhecimentos, responda ao que se pede (para entregar na aula seguinte, de preferência em duplas, com tolerância para grupos de até três alunos).

1. Explique com suas palavras o que é energia.
2. Qual é a fonte de energia primária na Terra? Como essa energia é armazenada?
3. Escreva as duas reações responsáveis, respectivamente, pelo armazenamento de energia química e pelo seu consumo. Identifique cada reagente e produto nas duas reações.

4. Associe a segunda coluna com a primeira.

Leis da Termodinâmica	Descrição
0 - Lei zero	( ) Quando um sistema se aproxima da temperatura do zero absoluto, todos os processos cessam, e a entropia atinge um valor mínimo.
1 - Primeira Lei	( ) O Universo tem uma tendência natural à desordem, aos estados menos organizados.
2 – Segunda Lei	( ) Não é possível criar ou destruir energia, apenas transformar uma forma de energia em outra.
3 – Terceira Lei	( ) Se uma faca e um garfo são imersos em uma cuba de água quente, para limpeza, os dois talheres atingirão em pouco tempo a mesma temperatura da cuba, e estarão com a mesma temperatura um do outro.

**TABELA DAS FORMAS DE ENERGIA E DOS TIPOS DE CONVERSÃO DE ENERGIA**

Traduzido e adaptado de SMIL, Vaclav. ENERGY, Oxford. One World 2009

de \ para	eletro-magnética	química	térmica	Cinética	elétrica	nuclear	gravitacional
eletromagnética		quimioluminescência	radiação térmica (por exemplo, quando um objeto fica incandescente)	aceleração de uma carga elétrica gerando emissão de radiação eletromagnética	eletroluminescência - LED	emissão de radiação gama, bomba nuclear	
química	fotossíntese, fotoquímica (reações químicas que usam a luz como energia de ativação)	reações químicas em geral	calor como energia de ativação	dissociação por radiólise (por exemplo, bombardeio da água por part. alfa para formar H+ e OH-)	eletrólise	radiação como energia de ativação em reações químicas, ionização	
térmica	absorção solar (causando aumento de temperatura de objetos expostos ao sol)	combustão	troca de calor	fricção ou atrito	efeito joule - dissipação da energia elétrica na forma de calor em resistores como a "resistência" de chuveiro	fissão, fusão	
cinética	radiômetros (dispositivos que se movem quando atingidos por radiação eletrom.)	metabolismo, atividade muscular	expansão térmica, combustão interna	engrenagens, correias	motor elétrico	radioatividade, bombas nucleares	objetos caindo
elétrica	efeito fotoelétrico - células solares	célula de combustível, pilhas e baterias	termoeletricidade, termoiônica	gerador comum		baterias nucleares	
nuclear		reações gama-nêutron					
potencial gravitacional				objetos sendo erguidos			

## Aula 2 – Pré-História, da caça à agricultura

Nas sociedades tradicionais (por exemplo, populações pré-históricas e agrupamentos indígenas isolados) a maior parte da energia útil vinha (ou vem, considerando populações atuais) da luz solar capturada anualmente pelas plantações e florestas; as pessoas exerciam trabalho (transferiam energia potencial ou cinética para objetos) através do poder muscular e obtinham energia química dos alimentos, e térmica (calor) das fogueiras.

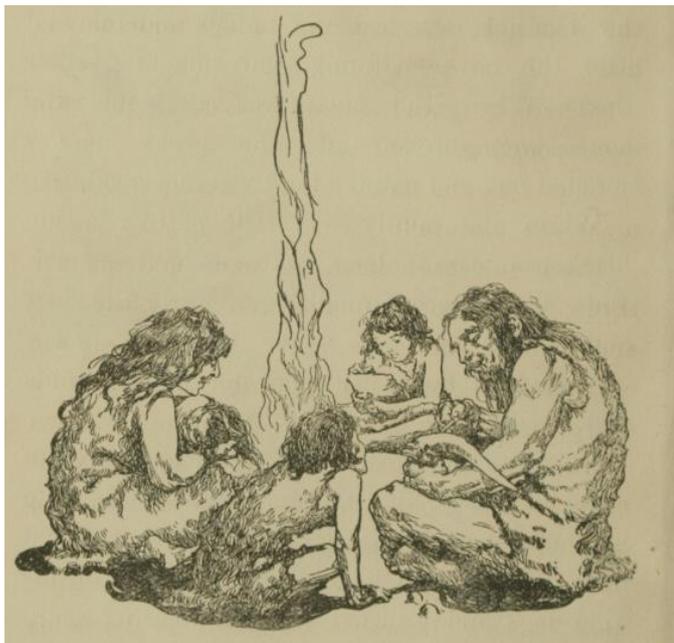
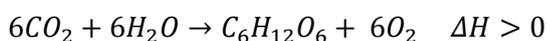


FIGURA 11: REPRESENTAÇÃO DE UMA FAMÍLIA PRÉ-HISTÓRICA

Nós já discutimos na aula passada a importância de duas reações antagônicas, a fotossíntese e a respiração, mas vale a pena aprofundar um pouco:

Na fotossíntese, a energia solar é necessária para ativar a reação entre o  $CO_2$  do ar, capturado pelas folhas das plantas, e a água do solo, captada pelas raízes.

Como existe energia entrando, que fica acumulada no produto mais complexo, podemos dizer que essa é uma reação endotérmica (absorve calor, variação de entalpia  $\Delta H$  positiva) e anabólica (usa energia para criar substâncias mais complexas e altamente energéticas, de importância biológica, como a glicose).



Na respiração, o que se observa é a reação inversa, que é exotérmica (libera calor, variação de entalpia  $\Delta H$  negativa) e catabólica (quebra as ligações de

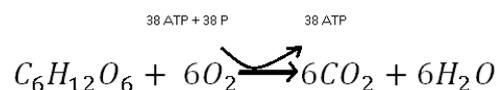
substâncias complexas energéticas, como a glicose, originando substâncias mais simples).



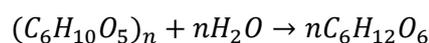
### Fotossíntese – endotérmica - anabólica

### Respiração – exotérmica - catabólica

A energia liberada na quebra da glicose não é utilizada diretamente nas funções do organismo, ela é usada para a síntese de ATP (adenosina trifosfato), substância que costumamos chamar de moeda energética do organismo. Essa síntese produz 38 ATPs por uma série de reações complexas, que inclui o ciclo de Krebs e a cadeia respiratória, processos estudados na disciplina de Biologia. Na cadeia respiratória o oxigênio funciona comoceptor final de elétrons, daí a grande importância do  $O_2$  que inspiramos através da respiração pulmonar. O ATP é chamado de "moeda energética" porque transporta energia para o metabolismo da célula.  $38 ADP + 38 P \rightarrow 38 ATP$



Então nós precisamos de glicose para viver. É por isso que os seres vivos evoluíram aprimorando as formas de obtenção de glicose. Uma fonte importante de glicose é o amido. A glicose é classificada como monossacarídeo (unidade de açúcar), enquanto o amido é um polissacarídeo (pode ser quebrado em muitas moléculas de glicose). A fórmula molecular do amido é  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . O "n" fora dos parênteses significa que os átomos dentro dos parênteses se repetem um número grande e indefinido de vezes. A quebra do amido se dá em presença de água e enzimas (catalisadores biológicos). Essa quebra começa na boca, com o contato do amido com a enzima amilase salivar, que a gente tem na saliva. A equação que mostramos abaixo é a hidrólise do amido, representada de maneira bem simplificada, sem os estágios intermediários.



O amido existe em vários cereais, mas a gente vai falar um pouquinho sobre três dos mais importantes, o trigo, o arroz e o milho.

### Revolução Agrícola do Neolítico

O gênero Homo, como o Homo habilis, surgiu há cerca de 200 mil anos, período muito mais longo do que o

que vai do surgimento da agricultura até hoje, com cerca de 10 mil anos.

Durante centenas de milhares de anos, pequenos bandos de seres humanos percorriam a Terra como caçadores e coletores. Uma ordem social básica e o uso de ferramentas de pedra simples preservaram a espécie humana contra predadores e calamidades naturais. Características dessa cultura caçadora coletora foram preservadas em petroglifos (figuras representadas na pedra).



**FIGURA 12 A VÊNUS DE WILLENDORF -ESTATUETA COM PROVÁVEL FUNÇÃO RELIGIOSA PARA AS PESSOAS DO PALEOLÍTICO**

O período em que lascas de pedras duras, como o sílex, eram utilizadas como ferramentas é conhecido como Período Paleolítico (antiga idade da pedra ou idade da pedra lascada). É o mais antigo e mais duradouro tipo de sociedade humana. Um estudo publicado na revista *Science*, de 13 de agosto de 2010 apresentam “evidências inequívocas” de que o uso de ferramentas de pedra pode ser ainda mais antigo que o gênero *homo*, uma vez que ossos de animais fossilizados há 3,4 milhões de anos apresentam cortes por instrumento de pedra feitos por hominídeos (primatas anteriores ao homem moderno).

O período em que as pedras passaram a ser trabalhadas, polidas, é conhecido como Período Neolítico (nova idade da pedra ou idade da pedra polida). Acredita-se que nesse período surgiu a agricultura.

Os arqueólogos estimam que a transição do paleolítico para o neolítico tenha ocorrido há mais de 12 mil anos, mas isso varia entre os grupos humanos de diferentes regiões. Existem comunidades isoladas vivendo em

condição análoga ao paleolítico até hoje, como algumas tribos isoladas na Amazônia.

**Paleolítico (paleo = antigo) – idade da pedra lascada**

**Neolítico (neo = novo) – idade da pedra polida**

O polimento da pedra é um avanço tecnológico na fabricação de instrumentos cortantes ou perfurantes porque permite aumentar a pressão exercida sem aumentar a força, diminuindo a energia necessária para lutar contra um predador ou abater uma presa e separar couro, carne, ossos, etc. da presa abatida.

A vantagem do polimento se explica pelo aumento da pressão. Nós sabemos, da física, que pressão é a razão entre a força e a área em que é aplicada:

Mantendo a força (F) e diminuindo a área (A), para manter a relação F/A, a pressão (P) cresce.

$$P = \frac{F}{A}$$

Ao polir os instrumentos de pedra (cortantes ou perfurantes), eles ficam mais afiados, com uma área de contato muito pequena com o material que vão cortar. Com isso realizando uma pequena força, o homem do neolítico obtinha uma grande pressão.

A melhoria dos instrumentos permitiu que as pessoas do neolítico modificassem a natureza ao seu redor. Assim elas iam se sentindo mais seguras, não precisavam mais fugir de predadores. Passaram a fabricar, armazenar, conservar equipamentos cada vez mais complexos e menos portáteis. Isso tornou possível e mesmo necessário que essas pessoas fossem ficando mais sedentárias (no sentido de que se fixavam em uma determinada região), deixando a vida nômade, ou seja, abandonando os hábitos de andarilhos sem rumo, perseguindo a caça e fugindo dos predadores. Mas a mudança no uso da pedra, apesar de importante, não foi o principal fator a promover a fixação do homem na terra. A sedentarização não seria possível sem uma fonte constante e suficiente de energia, na forma de alimentos cultivados. No neolítico os seres humanos aprenderam a cultivar o solo e a domesticar os animais, passando gradativamente de caçadores coletores a agricultores. Os agrupamentos de agricultores permitiram o surgimento das primeiras cidades, no Crescente Fértil, região da antiga Mesopotâmia, atual Iraque.

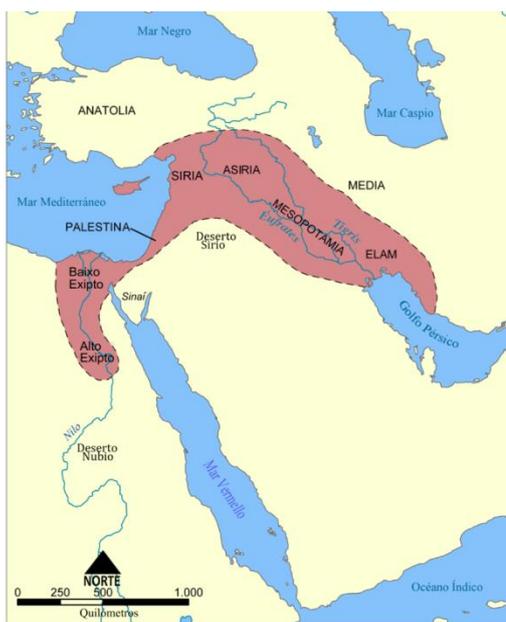
Uma das invenções que possibilitaram a revolução agrícola do neolítico foi o arado. Puxado por animais de tração ou empurrado pelo agricultor, o arado permitiu revolver a terra, descompactando-a e permitindo o

desenvolvimento das plantas semeadas. Conferiu aos animais um aproveitamento maior do que como fonte de alimento, os animais passaram a realizar trabalho, tracionando o arado, daí o nome animais de tração. Uma ponta de pedra cuidadosamente polida (mais tarde substituída por metal) era a parte mais importante do arado, penetrando o solo até uma profundidade de algumas dezenas de centímetros, para possibilitar a semeadura.



**FIGURA 13 ARADO PUXADO POR UMA JUNTA DE DOIS BOIS, REPRESENTADO EM PETROGLIFO (DESENHO NA PEDRA) DA IDADE DO BRONZE**

O arado possibilitou multiplicar por mil (aproximadamente) a produtividade da terra, permitindo uma superprodução de alimentos. Na nova sociedade sedentária esses alimentos poderiam ser armazenados, o que não era possível no nomadismo. A disponibilidade de alimentos causou uma incrível expansão da população humana. Somente durante a Revolução Industrial no final do século XVIII a humanidade experimentaria mudanças tecnológicas e sociais comparáveis à Revolução Agrícola do Neolítico.



**FIGURA 140 CRESCENTE FÉRTIL, INCLUI ESPECIALMENTE A MESOPOTÂMIA, ENTRE OS RIOS TIGRE E EUFRATES, OÁSIS**

**GIGANTE ENTRE DESERTOS, BERÇO DA AGRICULTURA E DA CIVILIZAÇÃO HUMANA. MESOPOTÂMIA SIGNIFICA "ENTRE RIOS".**

A agricultura surgiu em diferentes regiões com a domesticação de diferentes plantas selvagens, usadas como fonte de amido (polímero da altamente energética glicose). Surgiu primeiro no Crescente Fértil, cerca de 11 mil anos AP (AP significa antes do presente, definindo-se presente como o ano 1950, início da era nuclear e da datação por carbono 14), com a domesticação da gramínea que por seleção artificial iniciada no neolítico se tornaria o trigo como conhecemos hoje. Na China, entre os rios Yang Tsé e Amarelo, surgiu por volta de 9 mil AP, com a domesticação e seleção artificial de outra gramínea, o arroz. Nas Américas, surgiu no México, entre 5 mil e 4 mil AP, com a domesticação e seleção artificial do milho.

**SURGIMENTO DA AGRICULTURA NO NEOLÍTICO – Trigo, arroz, milho, etc. deixam de ser selvagens e adquirem a forma atual graças à intervenção humana.**

**Trigo – Crescente Fértil – 11000 anos AP**

**Arroz – China –9000 anos AP**

**Milho – México – 5000 a 4000 anos AP**

Nas três regiões acima surgiram importantes civilizações marcadamente urbanas, a mesopotâmica, a chinesa e a asteca. Alguém já observou que é meio irônico o surgimento da agricultura ter possibilitado o desenvolvimento da vida urbana. Mas parece que foi isso mesmo que aconteceu, embora não de maneira tão linear como a gente poderia pensar. Cada região teve seu tempo e seu modo de transição da caça-coleta para a agropecuária. Mas em todas elas, a partir da revolução agrícola, as pessoas que não mais precisavam caçar ou procurar frutos e raízes (e que também não precisavam se dedicar à agricultura, porque outros estavam fazendo isso por elas) puderam dedicar suas energias a outras atividades como a arte não portátil (em maior escala, já que os objetos artísticos não precisavam mais ser transportados conforme as andanças da tribo nômade), a religião (começam a surgir os templos, grandes estátuas dos deuses, rituais funerários mais sofisticados, etc.), o comércio (havia excedente, inicialmente a ser trocado, na prática do escambo, mais tarde a ser comprado ou vendido, com o surgimento das moedas de troca), a observação e interpretação do mundo ao seu redor (aquilo que viria a ser chamado de ciência). Um dos resultados desse salto

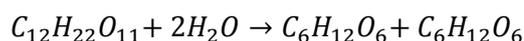
cultural foi o surgimento da técnica da metalurgia, a produção de metais a partir de minérios e os diversos usos desses metais. Essa técnica foi tão importante que deu nome a uma era: a Idade dos Metais, que será discutida na próxima aula.

Estima-se que a domesticação de animais tenha ocorrido por volta de 15000 anos AP. Cães, ovelhas, cabras, porcos, e posteriormente, cavalos e camelos. Alguns animais serviam apenas como fonte de glicogênio (“amido animal”, fonte de glicose presente na carne), proteínas (polímeros de aminoácidos, necessários para formar tecido muscular, enzimas, células sanguíneas, etc.) e gorduras (ésteres de ácidos graxos e glicerol, que servem como fonte de energia secundária quando a glicose é consumida e ficam armazenados no tecido adiposo). É importante a gente notar que a transição da caça pra agricultura de certa forma reduziu a qualidade dos alimentos, embora tenha aumentado a quantidade. Trigo, milho e arroz são fontes, principalmente, de amido, polissacarídeo da glicose. Existem estudos arqueológicos que mostram uma redução da estatura do homem neolítico em relação à época pré-revolução agrícola, que só seria superada no século XX. Essa redução de estatura tem sido associada à falta de proteínas e vitaminas, típica de uma dieta baseada quase unicamente em determinado cereal como o trigo ou o arroz, e ao excesso de trabalho agrícola (estima-se que os caçadores coletores do paleolítico precisavam trabalhar apenas 20 horas por semana para garantir uma dieta diversificada, enquanto os agricultores do neolítico trabalhavam muito mais para tentar garantir uma dieta menos rica e mais incerta). Os animais de abate supriam essa carência alimentar, embora a um custo elevado, uma vez que consumiam grandes quantidades de alimentos e água, e exigiam cuidado e vigilância. Não é de hoje que a carne é o alimento mais caro da cesta básica.



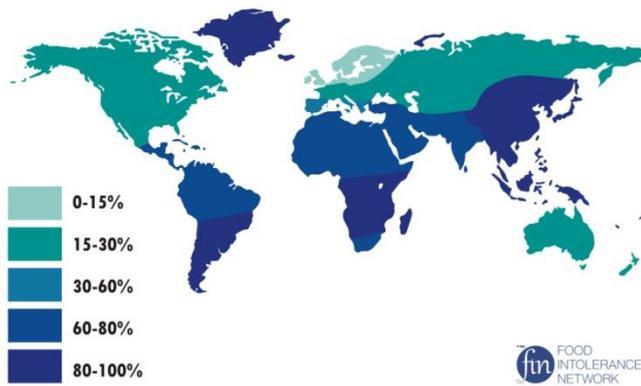
**FIGURA 15** AGRICULTOR NA INDONÉSIA USANDO UM ARADO PUXADO POR UM BOI, SEMELHANTE AOS QUE ERAM USADOS NO NEOLÍTICO

Além da carne, alguns animais também forneciam leite, fonte de proteína e de lactose, um dissacarídeo de fórmula  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , fonte dos monossacarídeos glicose e galactose, de mesma fórmula molecular, mas diferenças na estrutura.



A hidrólise do amido, mostrada acima, precisa de uma enzima, chamada lactase. A maioria dos mamíferos, inclusive o *homo sapiens*, produz essa enzima enquanto é amamentada, e deixa de produzir na fase adulta. Acredita-se que populações do neolítico que consumiam leite de animais foram evoluindo em direção à persistência da produção de lactase até a fase adulta. Outras populações, que não tinham essa opção de alimentação, deixaram descendentes (que hoje constituem a maioria da população humana), que têm o que se chama de intolerância à lactose, que nada mais é que a incapacidade dos adultos de digerir lactose, devido à falta da enzima lactase. A lactose não é absorvida pela parede intestinal, decompõe-se gerando resíduos ácidos que irritam o intestino aumentando o peristaltismo, faz ligações de hidrogênio com a água, deixando as fezes liquefeitas. Ou seja, a pessoa tem diarreia.

Worldwide prevalence of lactose intolerance in recent populations (schematic)



**FIGURA 16** MAPA DA INTOLERÂNCIA À LACTOSE. QUEM TEM NO SEU DNA OS GENES HERDADOS DAS POPULAÇÕES NEOLÍTICAS DO NORTE DA EUROPA, QUE CRIAVAM GADO LEITEIRO, PODE INCLUIR LEITE E DERIVADOS EM SUA DIETA SEM SOFRER OS EFEITOS INTESTINAIS DESAGRADÁVEIS DA INTOLERÂNCIA À LACTOSE.

O gado bovino, criado para fornecer carne, leite, couro, etc. logo se mostrou útil também para o transporte de bens e pessoas. Bois passaram a ser usados como animais de tração. Eles podiam se alimentar da celulose presente no capim que ingerem. A celulose, o amido e o glicogênio são polissacarídeos de mesma fórmula mínima ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>, mas com estruturas diferentes, que exigem diferentes enzimas para sua hidrólise. Nós, humanos, não temos celulase - a enzima que quebra a celulose - e o gado também não tem. NO entanto, no trato digestivo de herbívoros existem bactérias vivendo em simbiose nas câmaras de ruminação. Essas bactérias fornecem a enzima, e assim os herbívoros (o gado, por exemplo) conseguem obter energia na forma de glicose a partir da celulose das pastagens. A energia química da glicose é transformada em energia cinética nos músculos poderosos do animal, energia que é aproveitada para o transporte. Dromedários e cavalos também passaram a ser aproveitados como animais de tração e de montaria ao redor do mundo, exceto no continente americano, onde haviam se extinguido. A presença de 16 cavalos nas tropas dos conquistadores espanhóis deixou aterrorizados os astecas, que acreditavam serem o cavalo e o cavaleiro um único ser monstruoso. Isso ajudou a garantir a supremacia de centenas de soldados espanhóis contra centenas de milhares de soldados do império asteca no México.

Uma consequência da Revolução Agrícola do Neolítico que merece destaque é o aprofundamento das divisões sociais e da desigualdade entre os sexos.

O desenvolvimento de sociedades sedentárias espalhou doenças mais rapidamente e o contato com os animais

domesticados trouxe novas doenças (gripes, sarampo, etc.) que passaram dos animais para os humanos durante o neolítico. A seleção natural tornou os europeus e africanos mais resistentes a essas doenças. Os índios americanos, que não domesticaram grandes mamíferos, sucumbiram às doenças quando os europeus chegaram à América nos séculos XV e XVI.

O grande uso de gramíneas como o trigo ou o arroz como fonte de energia alimentar fez com que os agricultores fossem selecionando, de forma intencional ou não, espigas mutantes maiores e aquelas nas quais os grãos ficavam mais presos à espiga, não se dispersando quando a espiga era colhida. Isso facilitou muito a vida do agricultor e fez com que as espécies domésticas de trigo, por exemplo, se tornassem incapazes de se reproduzir na natureza (o trigo não caía espontaneamente da espiga), dependendo inteiramente do homem para serem semeadas.

### A Roda

Por volta de 11500 AP a 8500 AP não há registro de cerâmica no neolítico.

De 8500 AP a 6500 AP pode ter surgido a cerâmica, com roda de madeira. Por volta de 6500 AP teria sido inventada a roda capaz de girar o pote. De 6500 AP a 5300 AP a roda começava a ser utilizada em veículos, na época em que o cavalo era domesticado. Isso permitiu transportar melhor pessoas e mercadorias, e representou também uma vantagem militar, permitindo a hegemonia dos povos que dominavam essa tecnologia.

Os fornos de cerâmica podem causar derretimento de metais, o que permitiu a descoberta do bronze (liga metálica, mistura homogênea entre sólidos, formada por cobre e estanho). Os arqueólogos acreditam que isso tenha acontecido entre 5300 e 4200 AP, marcando o início da Idade dos Metais (que será discutida na próxima aula).



**FIGURA 17 CARRINHO PUXADO A MÃO, CIVILIZAÇÃO DO VALE DO RIO INDO (5000–3500 AP). NATIONAL MUSEUM OF NEW DELHI.**

A invenção da roda torna o transporte menos dispendioso em termos de energia gasta porque o atrito que seria produzido entre o chão e a "caçamba" de madeira da foto acima passa a ser exercido entre a roda e o eixo, em uma pequena área que pode ser facilmente lubrificada, por exemplo, com gordura animal. Ou seja, o atrito pode ser facilmente reduzido. Isso reduz a dissipação de energia na forma de calor, permitindo à pessoa do neolítico aproveitar melhor a energia cinética obtida do movimento da carroça.

## Aula 3 – A Idade dos Metais

Com a Revolução Agrícola, as pessoas adotaram um estilo de vida sedentário. Isso causou grandes mudanças tecnológicas.

Uma dessas mudanças foi no uso da energia térmica (calor) do fogo. As pessoas do paleolítico já usavam o fogo, mas em fogueiras improvisadas no chão.

Com a sedentarização e o surgimento das cidades foi possível substituir as fogueiras por fornos para assar pão (o pão não existia no paleolítico, ele apareceu com a domesticação do trigo), para assar carne, etc. As pessoas também observaram que podiam usar a energia térmica do fogo para deixar utensílios de barro mais resistentes. A cerâmica, que já existia em versão primitiva no paleolítico, teve um grande salto durante o neolítico, com o uso de fornos cada vez maiores para assar o barro. Os fornos também passaram a ser usados para assar blocos de barro usados na construção, os primeiros tijolos.

O próximo salto tecnológico é o uso da energia do fogo para a metalurgia, produção de metal a partir de seus minérios. Uma cidade resume todo esse processo. Jericó, descrita na Bíblia, é muito mais antiga que a própria Bíblia. Uma cidade fortificada, Jericó teve suas muralhas construídas e reconstruídas durante milhares de anos. Uma torre dessa muralha foi construída por

Metais Alcalinos e alcalino-terrosos > Metais comuns (Al, Zn, Fe, Ni, Sn, Pb...) > H > Metais Nobres (Cu, Hg, Pt, Pd, Ag, Au)

Assim, por exemplo, o ferro é mais reativo que o cobre. Isso significa que um pedaço de ferro em contato com o ar se oxidaria, ao contrário do cobre, que permaneceria intacto por ser muito pouco reativo.

Por isso o cobre era encontrado em pepitas com elevada pureza e o ferro não. Assim os primeiros objetos de metal fabricados no neolítico eram feitos de cobre nativo, martelado para a forma desejada. O cobre também era obtido por aquecimento de minérios, necessitando de temperaturas superiores a 1000 graus Celsius para ser fundido.

Na sequência, utilizou-se uma liga metálica entre cobre e estanho, que apresentava vantagens em relação ao cobre. Era o bronze, material usado até hoje. O bronze apresenta como enorme vantagem a maior resistência física em relação ao cobre, o que é geralmente desejável na fabricação de instrumentos.

volta de 9 mil anos AP. O historiador da ciência Jacob Bronski relata que em seus dez metros escavados pelos arqueólogos, a torre conta a história do passado da civilização: Na parte mais profunda da escavação, populações que não conheciam a cerâmica, mais acima o início do uso de cerâmica, por volta de 7 mil anos AP, a seguir populações utilizando o metal cobre e a liga metálica bronze (mistura homogênea dos metais cobre e estanho).

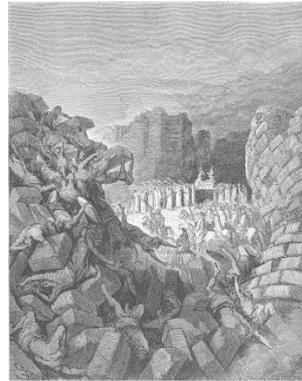


FIGURA 18 REPRESENTAÇÃO DA QUEDA DAS MURALHAS DE JERICÓ. POR GUSTAVE DORÉ. DOMÍNIO PÚBLICO.

A gente acha que o cobre foi usado primeiro porque é encontrado como pepitas nativas, que não precisam ser aquecidas para fornecer o metal. Só são encontrados como pepitas os metais que têm pouca reatividade. A **fila de reatividade dos metais** segue mais ou menos a seguinte sequência, dos mais reativos para os menos reativos:

No gráfico a seguir, no eixo das abscissas é representada a percentagem em massa de estanho no bronze, e no eixo das ordenadas a temperatura. L significa líquido. As letras gregas indicam as várias formas alotrópicas do material metálico sólido. Da química, você deve lembrar que **alotropia** é quando um mesmo elemento químico origina substâncias simples diferentes. No lado esquerdo do gráfico, aparece uma das variedades alotrópicas do cobre sólido, o cobre alfa ( $\alpha$ ). No lado direito, no canto inferior, aparece uma das variedades alotrópicas do estanho sólido, o estanho beta ( $\beta$ ). A diferença entre variedades alotrópicas de um mesmo metal sólido, por exemplo, entre o estanho beta ( $\beta$ ) e o estanho alfa ( $\alpha$ ), que não é representado no gráfico, está na estrutura cristalina do material. L significa líquido.

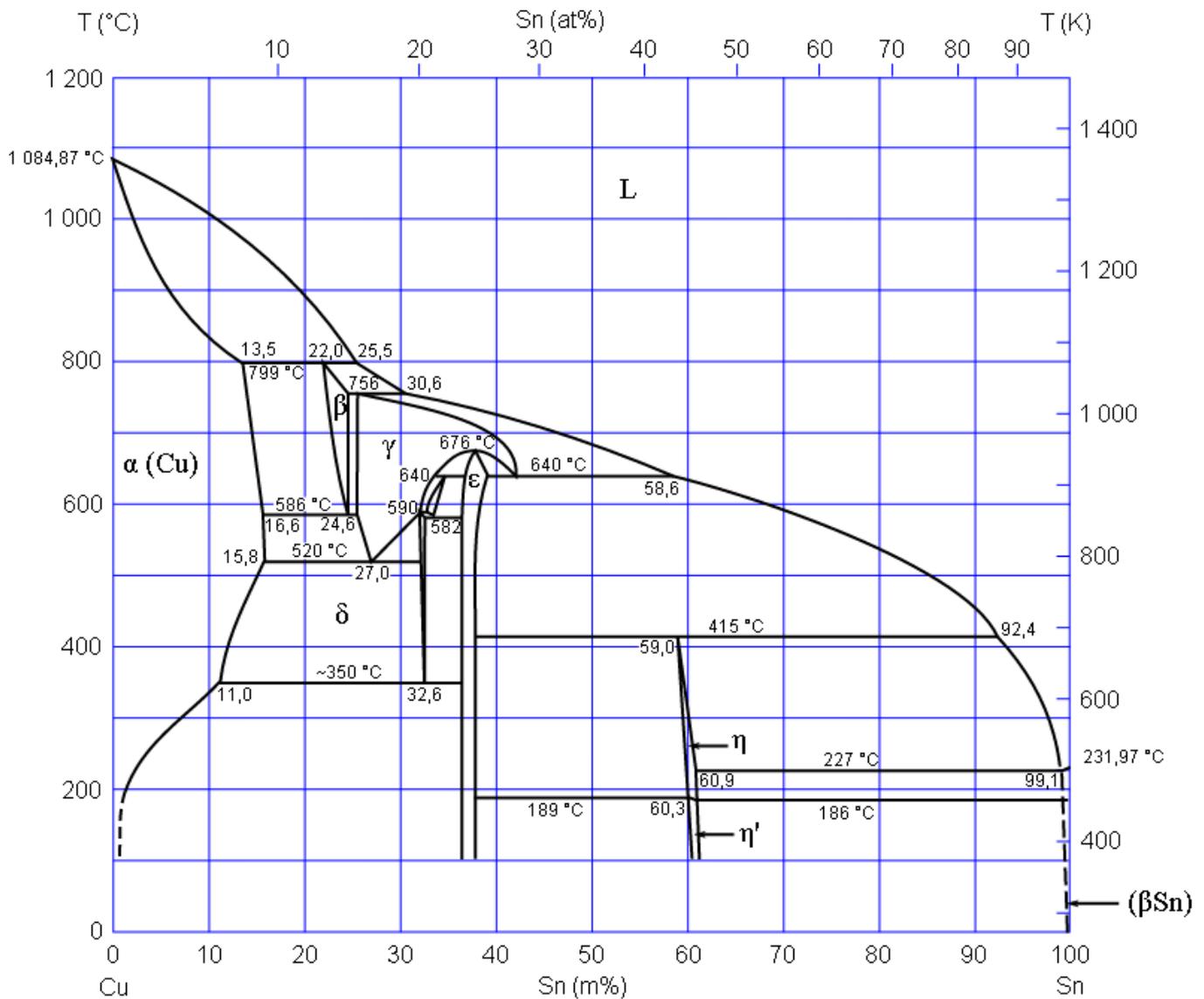


FIGURA 19 DIAGRAMA DE FASES DO BRONZE (COBRE COM ESTANHO)

O gráfico parece bem complicado, mas existem coisas importantes e fáceis de entender a respeito dele. Ele mostra o ponto de fusão do cobre puro. Ponto de fusão é a temperatura em que um sólido se transforma em líquido. Como ele nunca é exatamente um ponto, essa expressão vem sendo substituída por temperatura de fusão ou mesmo faixa de fusão.

Vamos responder juntos a algumas questões, com base no texto e no diagrama de fases acima.

**QUESTÕES**

1. Qual a temperatura de fusão do cobre puro?
2. Será que as pessoas do Neolítico, do início da idade dos metais, conseguiriam facilmente atingir uma temperatura tão alta com seus fornos primitivos?
3. Como foi possível o cobre ser o primeiro metal usado para fazer ferramentas e armas?
4. Qual a temperatura de fusão de uma liga estanho cobre, contendo 99,1% de estanho (e 0,9% de cobre)?
5. Como se chama a liga metálica formada pela mistura homogênea entre estanho e cobre?
6. Em relação à resistência física, o que é melhor para a fabricação de instrumentos, cobre puro ou essa liga metálica?
7. Qual o efeito geral do aumento da porcentagem de estanho na mistura em termos de temperatura de fusão?
8. Se o primeiro estágio da idade dos metais é chamado idade do cobre, como é chamado o segundo estágio?



**FIGURA 20 MINA DE COBRE DA IDADE DOS METAIS, SITUADA EM ISRAEL**

É na idade do bronze que se acredita que tenham surgido as primeiras formas viáveis de escrita. Na Mesopotâmia surgiu a escrita cuneiforme e no Egito a escrita hieroglífica. O surgimento da escrita é usado (de maneira esquemática e meio arbitrária) para separar a Pré-História da História. Portanto, a partir da Idade do Bronze já estamos entrando no estudo das formas de energia e suas implicações na História Humana, e não mais na Pré-História. A escrita vai ter um desenvolvimento importante na Idade do Ferro, que a gente vai discutir a seguir. Os primeiros textos preservados em manuscritos são da Idade do Ferro, período em que floresceram as literaturas chinesa e indiana (em sânscrito).



**FIGURA 21 NO JOGO MINECRAFT, O PERSONAGEM STEVE COMEÇA USANDO FERRAMENTAS DE MADEIRA, DEPOIS DE PEDRA, E DEPOIS DE METAL, UMA REFERÊNCIA À SEQUÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO HUMANO.**

### Idade do Ferro

O uso amplo do ferro para a fabricação de ferramentas e armas é identificado dentro da Idade dos Metais pelo termo Idade do Ferro.

Na idade do bronze os objetos eram fabricados despejando o bronze derretido em formas, e eram pouco trabalhados depois disso. As propriedades do ferro, que se tornava muito maleável quando aquecido, permitiram desenvolver um trabalho mais sofisticado nesse metal do que o que era possível com o bronze. O trabalho dos ferreiros permitiu moldar os objetos de ferro aquecendo o metal em fornalhas especiais (transformação da energia química do carvão em calor ou energia térmica) e martelando-o (transformação da energia cinética em energia térmica). Isso permitiu modificar os padrões fixos dos objetos de bronze que eram feitos com o uso de formas.

Por volta de 5000 AP, o ferro era raro, e considerado um metal precioso. Os primeiros objetos de ferro que se conhecem são feitos de pedaços de meteoros, nos quais o ferro não sofreu oxidação por ter estado muito tempo no espaço onde não há oxigênio, encontrando-se quase puro ou formando liga com níquel e outros metais.

Para entender o passo seguinte, a fabricação do ferro a partir dos seus minérios, é importante a gente conhecer os conceitos de átomo, íon, nox e as reações de oxidação e de redução (redox). Vamos fazer isso a seguir.

### Átomo

Menor partícula da matéria, eletricamente neutro. Vários átomos podem se unir para formar uma molécula.

### Íon

Derivado de um átomo pela perda ou ganho de um ou mais elétrons. Um íon positivo é chamado de cátion, um íon negativo é chamado de ânion.

### Cátion

Íon positivo, resultante da perda de um ou mais elétrons pelo átomo.

### Ânion

Íon negativo, resultante do ganho de um ou mais elétrons pelo átomo.

### Nox

Número de oxidação, uma carga elétrica que um elemento assume em uma fórmula. Abaixo existe uma representação da tabela periódica, onde aparecem, em vermelho, os nox dos elementos de cada família.

### Redox

Reação Redox ou reação de oxido-redução é o nome que se dá a uma reação química que ocorra com variação de nox. Apresenta sempre duas semi-reações, a oxidação e a redução.

### Oxidação

Semi-reação onde acontece perda de elétrons e aumento do nox. Substância que sofre oxidação é o agente redutor.

### Redução

Semi-reação onde acontece recebimento (ganho) de elétrons e redução (diminuição) do nox. Substância que sofre redução é o agente oxidante.

A seguir, vemos que algumas famílias têm nox fixo. São elas:

#### Família 1 (metais alcalinos)

Nox 1+. A gente costuma colocar o hidrogênio junto com os metais alcalinos, mas na verdade ele não tem família. Geralmente o nox do hidrogênio é 1+, como seus falsos parentes metais alcalinos, mas às vezes o hidrogênio pode ter nox 1-.

#### Família 2 (metais alcalino-terrosos)

Nox 2+.

#### Famílias 11, 12, 13

Só a prata (Ag), o zinco (Zn) e o alumínio (Al) têm nox que dá para considerar constante nessas famílias. Os nox são, respectivamente 1+, 2+ e 3+, para a prata, o zinco e o alumínio.

#### Família 16 (calcogênios)

	1+	2+							3+	2-	1-	0						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1ºP																		
2ºP																		
3ºP													Al					
4ºP												Zn						
5ºP											Ag							
6ºP																		
7ºP																		
6ºP																		
7ºP																		

A fabricação do ferro por redução a partir de seus minérios iniciou possivelmente em Anatólia, na atual Turquia, há cerca de 4 mil anos. É um processo mais

Nox 2-. Isso quando o calcogênio é o elemento mais eletronegativo, representado geralmente à direita na fórmula. O oxigênio, elemento mais importante entre os calcogênios, geralmente é 2-, mas há situações em que apresenta nox diferente. Por exemplo, nos peróxidos o nox do oxigênio é 1-.

#### Família 17 (halogênios)

Nox 1-. Isso quando o halogênio é o elemento mais eletronegativo, representado geralmente à direita na fórmula. O flúor, um halogênio, é o elemento mais eletronegativo da tabela periódica.

#### Família 18 (gases nobres)

Nox 0 (zero). Por terem estabilidade, esses elementos não ganham nem perdem elétrons espontaneamente.

#### Elementos importantes de nox variável

Existem alguns elementos importantes para este curso que não estão representados na tabela abaixo por terem nox variável. Eles são representados abaixo com seus principais nox:

Cobre (Cu): nox 1+ e 2+

Ferro (Fe): nox 2+ e 3+

Ouro (Au): nox 1+ e 3+

Estanho (Sn) nox 2+ e 4+

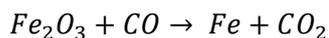
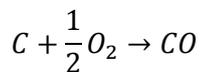
Chumbo (Pb) nox 2+ e 4+

Carbono (C) nox muito variável, de 4- a 4+

#### Substâncias simples têm nox zero.

complexo que a extração do cobre ou do estanho para produzir bronze.

Envolve a combustão incompleta exotérmica do carvão, com produção de monóxido de carbono (CO) e a redução endotérmica do minério de ferro a ferro metálico. A energia térmica produzida pela queima do carvão (carvão vegetal, nessa época) era aproveitada para a reação de redução do ferro.



Com a ajuda do professor, identifique os nox de todos os constituintes das reações acima, quem se oxida e quem se reduz, e quem é o agente oxidante e o agente redutor.



**FIGURA 22 RÉPLICA DE COMO TERIA SIDO UMA FORNALHA PARA PRODUÇÃO DE FERRO. O CARVÃO VEGETAL E O MINÉRIO DE FERRO ERAM INSERIDOS PELA CHAMINÉ, O AR ERA ASSOPRADO NA ABERTURA INFERIOR, PARA PROMOVER A COMBUSTÃO INCOMPLETA DO CARVÃO, PRODUZINDO CO USADO NA REDUÇÃO DO MINÉRIO A FERRO METÁLICO. O FERRO, SEMILÍQUIDO ERA MUITO DENSO, DESCIA E ERA RECOLHIDO NA PARTE INFERIOR DA FORNALHA. O PROCESSO DEIXAVA MAIS OU MENOS 1% DE CARBONO, PERMITINDO PRODUZIR AÇO (Fe+C)**

Ao contrário do bronze, que pode ser trabalhado em temperaturas não tão altas, o ferro exige muito mais energia para ser extraído e trabalhado, e tem que ser moldado a quente. Isso ajuda a explicar por que aprendemos primeiro a trabalhar o bronze e só muito depois o ferro (milhares de anos depois), ou seja, isso

ajuda a explicar por que a Idade do Bronze vem antes da Idade do Ferro.

Os materiais encontrados são muitas vezes uma mistura de ferro e cerca de 1% de carbono, sendo assim aço-carbono (mistura de ferro e carbono). A presença de carbono melhora a resistência física das ferramentas ou armas (ferro desprovido de carbono é tão mole quanto o bronze, e não serve para fazer uma boa espada). Além disso, a presença de carbono aumenta a resistência à corrosão (oxidação espontânea do ferro de volta aos óxidos que constituíam o minério original). Em resumo: armas que não quebram nem amassam facilmente e enferrujam muito pouco.

O aço trabalhado por sucessivos aquecimentos e resfriamentos ficava ainda mais resistente (dizemos que era temperado, adquiria têmpera). Além das vantagens que foram mencionadas acima, a densidade do aço também é menor que a do bronze (7,8 contra 8,8), e a maior resistência do aço permite fazer ferramentas e armas bem mais leves (uma espada de bronze tinha que ser mais espessa, e portanto mais pesada e desajeitada). O uso de menos material e a abundância de minério de ferro também tornaram o aço mais barato que o bronze. Assim, o domínio da tecnologia de produção de aço com carbono e do processo de têmpera deu grande vantagem em aplicações civis e militares aos povos que possuíam esse conhecimento.

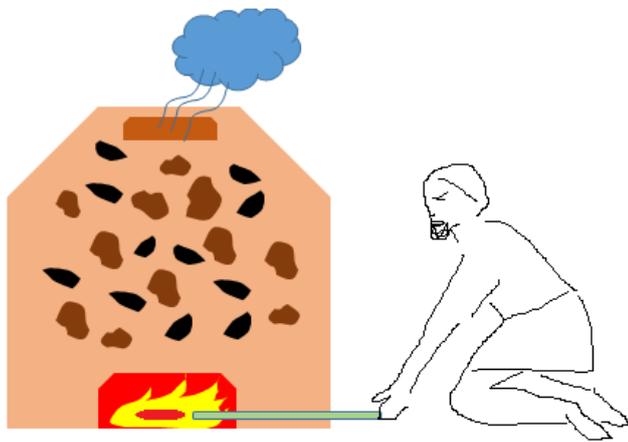
Cerca de duzentos anos depois de Anatólia, foi a vez da Índia desenvolver uma impressionante tecnologia de produção de aço de alta qualidade. Um exemplo dessa tecnologia é o Pilar de Ferro de Délhi, construído entre os anos de 375 e 413, e que está de pé até hoje, sem corrosão, exceto por um filme superficial de oxidação extremamente fino. Depois de Turquia e Índia, outras regiões foram aprendendo a produzir ferro e aço (algumas independentemente). A produção de aço foi se espalhando pelo mundo e superando definitivamente a de bronze.

Hoje o bronze encontra aplicação limitada em instrumentos de condução térmica (trocadores de calor), sonoros (sinos), objetos artísticos (estátuas, placas comemorativas), etc.



**FIGURA 23 PILAR DE FERRO DE DÉLHI. ESSE PILAR, EXEMPLO DA TÉCNICA DOS FERREIROS INDIANOS DA ANTIGUIDADE, MEDE 7 METROS DE ALTURA E RESISTE A SOL E CHUVA HÁ MAIS DE 1600 ANOS. HOJE, SE A GENTE INSTALA UM PORTÃO DE FERRO EM UMA CASA EM UMA REGIÃO ÚMIDA, FICA FELIZ SE ELE NÃO SE DESMANCHAR EM FERRUGEM EM DEZ ANOS.**

Em uma fornalha de barro para produção de ferro a energia térmica produzida pela queima do carvão e aproveitada para a redução do minério a ferro metálico se propagava na fornalha de três formas, por condução, convecção e irradiação.



**FIGURA 24 ESQUEMA DE FORNALHA PARA PRODUÇÃO DE FERRO. O AR ERA SOPRADO POR BAIXO E SAÍA PELA CHAMINÉ SUPERIOR, O CARVÃO (EM PRETO) ERA MISTURADO AO MINÉRIO (EM MARROM), NO INTERIOR DA FORNALHA. O FERRO OBTIDO SAÍA POR BAIXO, E ERA RECOLHIDO EM ESTADO PASTOSO. DESENHO (HORROROSO) DO AUTOR**

### Condução

A energia térmica era transmitida entre os pedaços de carvão vegetal, as pedras de minério e as paredes do forno, pelo contato direto entre as superfícies.

### Convecção

O ar era soprado em tubos (mais tarde com o uso de foles) por aberturas na parte de baixo do forno, era aquecido, passava nos espaços entre o carvão e o minério e saía pela chaminé por ser menos denso. O ar aquecido transferia calor de baixo para cima, por convecção, movimento de fluido (líquido ou gás) causado por diferenças de densidades.

### Irradiação

O carvão, o minério e a própria fornalha, aquecidos, emitem radiação eletromagnética, a única das três formas de propagação de calor que não exige meio material para acontecer. Somada com as outras duas formas de propagação, a irradiação ajuda a alcançar uma temperatura uniforme em todas as pedras de minério, aumentando o rendimento da redução a ferro metálico.

### Lenha, carvão vegetal e carvão mineral

Para alguns isso pode parecer óbvio, mas não é todo mundo que diferencia com clareza lenha de carvão vegetal e de carvão mineral. A lenha é a madeira seca obtida diretamente da árvore. O nome em inglês firewood (pronúncia faiãruúud) já indica seu destino, madeira para o fogo.

O carvão vegetal é obtido de fogueiras ou através do uso de carvoeiras, buracos cobertos por barro ou pedra com orifícios de ventilação onde é feita a queima controlada da lenha para obter um combustível de melhor desempenho. Já o carvão mineral é um combustível fóssil sólido, proveniente do soterramento há milhões de anos, de grandes extensões de florestas, sem a intervenção humana. Se alguém falar "carvão" só saberemos se é carvão vegetal ou mineral analisando o contexto. Por exemplo, se alguém falar "traz o carvão pro churrasco", estamos falando de carvão vegetal. Se falarmos "o carvão possibilitou a revolução industrial", estamos falando de carvão mineral.

A diferença entre carvão vegetal e carvão mineral aparece em vários idiomas antigos e modernos. Por exemplo, em inglês, o substantivo que designa o carvão vegetal, **charcoal** (pronúncia tchárcuúl) significa provavelmente do inglês antigo "charren", transformar(-se) em carvão, indicando que o carvão vegetal pode ser produzido pelo homem, através do fogo. O carvão mineral, combustível fóssil obtido da natureza, em inglês é **coal** (pronúncia cuúl), significando mineral de carbono fossilizado.

Assim, o carvão "original" é o coal, o carvão "fabricado" a partir da lenha é o charcoal.

## Poder calorífico

O poder calorífico de um combustível é quantidade de calor liberado por quilograma de combustível queimado:

Combustível	Poder calorífico
Lenha	16200 kJ/kg
Carvão vegetal	30000 kJ/kg
Carvão mineral	35000 kJ/kg

Observe que existe um ganho significativo em poder calorífico ao transformar a lenha em carvão vegetal em uma carvoeira. Uma fornalha para metalurgia do ferro não é viável com lenha, mas funciona usando carvão vegetal como combustível.

As necessidades de lenha para produzir carvão vegetal para os ferreiros a partir da idade do ferro eram imensas, a ponto de comunidades na Idade Média banirem os ferreiros de suas aldeias porque eles aniquilavam a floresta para produzir carvão. A comunidade precisava da lenha para aquecimento no inverno.

## Aula 4 – Antiguidade

A gente costuma identificar o início da Antiguidade, e da História, pela invenção da escrita, por volta de 6 mil AP. O fim da Antiguidade e início da Idade Média é identificado geralmente com a queda do Império Romano do Ocidente, em 476 DC (depois de Cristo, contagem de anos comum). Vamos nos concentrar nesta aula em apenas poucos povos e em suas contribuições relativas à energia, o que não retira a importância de povos não citados. Não há tempo, infelizmente.

**Início da Antiguidade – Invenção da Escrita – Cerca de 6000 anos AP ou cerca de 4000 anos AC**

**Fim da Antiguidade – Queda do Império Romano do Ocidente – 476 DC**

Por volta de 6 mil AP surge a escrita pictográfica, na Mesopotâmia, representando a realidade como desenhos simplificados riscados em tábuas de argila. Também sobre tábuas de argila surge a escrita cuneiforme, para registrar transações comerciais. No vale do Rio Nilo surge a civilização egípcia, com sua escrita hieroglífica.

Forma ancestral reconstruída												
Fenício												
Possível acrofonia	alp boi	bet casa	gaml bastão	digg peixe	haw, hill hurra!	waw gancho	zen, ziqq algebra	het pátio	tēt roda	yad braço	kap mão	lamd espora

Forma ancestral reconstruída										
Fenício										
Possível acrofonia	mem água	nahš cobra	samek peixe	en olho	pi't curva	sad planta	qup macaco	ra's cabeça	šannuma arco	taw assinatura

FIGURA 25 EVOLUÇÃO DE ALGUMAS LETRAS DO ALFABETO

A civilização egípcia aproveitava o Rio Nilo para a irrigação e fertilização de suas plantações, através das conhecidas enchentes periódicas do rio. Na navegação, utilizavam a energia humana (através de remadores) e também a eólica (do vento, através das velas).

O desenho mais antigo de um barco a vela que a gente tem notícia é egípcio, de cerca de 3100 AC. Os barcos eram usados regularmente no Rio Nilo. O rio corria do sul para o norte, então nesse sentido não era necessário usar as velas, elas só eram usadas navegando do norte para o sul.

Os egípcios eram hábeis navegadores. No entanto seus barcos não possuíam quilha sob o casco, o que causava

problemas estruturais e dificultava a navegação, exigindo o uso frequente de um longo leme para manter o barco no curso. A introdução da quilha representaria um avanço tecnológico importante na navegação a vela.

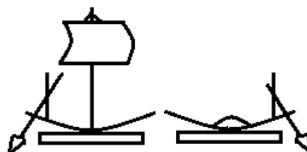


FIGURA 26 HIERÓGLIFOS EGÍPCIOS SIGNIFICANDO, RESPECTIVAMENTE, "VIAJAR PARA O SUL" E "VIAJAR PARA O NORTE". DESENHO DO AUTOR.

Na época dos egípcios, a navegação a vela era baseada no conhecimento prático. Hoje a gente entende as teorias da física que explicam essa forma de aproveitamento da energia do vento.



FIGURA 27 MAPA DO EGITO ANTIGO

O ar em movimento tem energia cinética que pode, através de sua interação com a vela, ser transferida para o barco. Assim como a asa de um avião, a vela inflada é quase sempre curva, e apresentada para o vento a um ângulo de ataque. O vento na parte convexa da vela é forçado a percorrer um caminho mais longo

do que o vento na parte côncava. Isso causa uma redução da pressão na parte convexa, resultando em uma força de "sustentação" que ajuda a "puxar" o barco. ( $F_{\text{vela}}$ ). Na quilha ocorre uma diferença de pressão semelhante entre as superfícies opostas, que também contribui para a direção do movimento ( $F_{\text{quilha}}$ ). Administrando bem o posicionamento do barco, um marinheiro experiente pode navegar em velocidades maiores que a do próprio vento ou até mesmo navegar "contra" o vento.

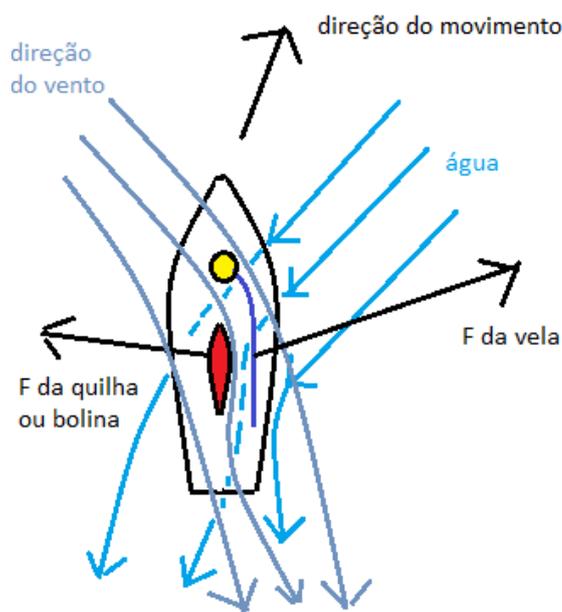


FIGURA 28 FORÇAS NA NAVEGAÇÃO A VELA.

Na figura acima são mostradas, em uma vista de cima, as principais forças envolvidas na navegação a vela (em vermelho, a quina ou bolina, situada abaixo do barco, em amarelo o mastro, na parte superior do barco, sustentando a vela, em azul).

A seguir, é mostrado um gráfico de vetores ou diagrama de forças, mostrando com as três principais forças envolvidas:  $F_{\text{quilha}}$  é a força na quilha produzida pelo movimento relativo entre a água e o barco.  $F_{\text{arrasto}}$  é a força de arrasto ou de resistência da água em relação ao barco. É semelhante à força de atrito entre sólidos.  $F_{\text{vela}}$  é a força produzida pelo empuxo do ar sobre a vela.  $F_{\text{res}}$  é a força resultante.

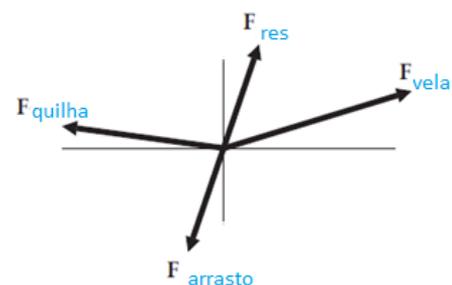
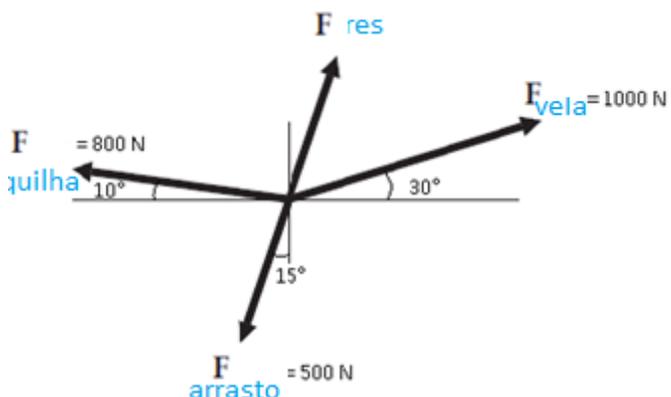


FIGURA 29 DIAGRAMA DE FORÇAS

### EXERCÍCIO DESAFIO

Considerando que a força resultante é a soma vetorial dos vetores  $F_{\text{quilha}}$ ,  $F_{\text{arrasto}}$  e  $F_{\text{vela}}$ , Para o diagrama de forças de um veleiro, representado abaixo, você seria capaz de determinar a intensidade da força resultante  $F_{\text{res}}$ ? (Rta. 527,5N)



### Os Gregos

Da sedentarização de nômades nos Bálcãs, entre os mares Jônico, Egeu e Mediterrâneo, surge a civilização grega. Esse povo desenvolveu a democracia, a arte, a filosofia, a ciência, e racionalizou o uso da energia. Vivendo em penínsulas e em uma infinidade de ilhas, aperfeiçoaram o uso da energia do vento na navegação a vela, conquistando riquezas através do comércio com todo o Mediterrâneo. Entre as várias cidades-estados gregas, Atenas era um importante centro de difusão da cultura grega. Atenas entrou em processo de decadência após ser derrotada por Esparta na Guerra do Peloponeso (431-404 AC), decadência que afetou toda a civilização grega. O vazio de poder deixado pela decadência das cidades-estados permitiu que Felipe II, rei da Macedônia, conquistasse a Grécia. Foi assassinado e seu filho, Alexandre (Alexandre Magno ou o Grande), assumiu o trono. Alexandre valorizou a cultura grega, e a difundiu por onde passou, ainda que respeitando a cultura dos povos dominados e permitindo a mistura entre a cultura grega e a desses povos. Fundou mais de 70 cidades em seu vasto império, a mais famosa delas é a cidade de Alexandria, no Egito, sede da famosa Biblioteca de Alexandria, polo irradiador da cultura helenística, criada por Alexandre. Após a morte de Alexandre, em 323 AC, aos 33 anos, o império se divide e acaba caindo sob o domínio romano.

### Moinhos d'água

Assim como os egípcios aproveitaram a energia das correntes de água para impulsionar seus barcos para o norte e a energia do vento para impulsioná-los para o sul, as pessoas na antiguidade também aproveitavam a energia mecânica da água e, posteriormente, do vento para mover máquinas usadas inicialmente para transformar cereais em farinha, e depois para outras tarefas.

O **monjolo** exemplifica o uso da energia potencial gravitacional e a energia cinética. Nessa forma primitiva de moinho d'água, a energia potencial gravitacional está associada à altura da água, no nível acima do monjolo. Quando a água cai no coxo do monjolo, a energia potencial gravitacional dessa água é transformada em energia cinética, transferida ao monjolo, pelo seguinte mecanismo: Quando o cocho enche de água, sua extremidade (inicialmente mais leve que a extremidade oposta) fica momentaneamente com peso maior, o que faz com essa extremidade desça e a extremidade oposta, que contém o socador, levante. Quando o cocho chega na parte de baixo e a água cai, essa extremidade fica subitamente mais leve e a extremidade do socador cai rapidamente sobre o pilão, triturando o arroz, milho, etc.



**FIGURA 30** MINIATURA DE MONJOLO, MOSTRANDO SUAS PRINCIPAIS PARTES. ATÉ HOJE SÃO ENCONTRADOS MONJOLOS FUNCIONANDO NO INTERIOR DO BRASIL. ACERVO PESSOAL

No período helenístico, os gregos, com a substituição de um único cocho por diversas pás, desenvolveram os moinhos de água mais comuns, as rodas d'água, que atravessaram milênios e seguiram populares até a Revolução Industrial. Os modelos se sofisticavam, mas eram sempre baseados no mesmo princípio, o aproveitamento da energia mecânica da água (ou energia hidráulica), através da transformação da energia potencial gravitacional em energia cinética. As modernas usinas hidrelétricas seguem esse modelo básico, de transformação da energia potencial em energia cinética de rotação de pás de uma turbina, mas inserindo uma nova transformação: de energia cinética em energia elétrica, como vamos ver em aulas seguintes.



**FIGURA 31** MAPA DA GRÉCIA, MOSTRANDO A LESTE O MAR EGÉU, A OESTE O MAR JÔNIO E AO SUL O MAR MEDITERRÂNEO

### Os Romanos

Roma foi o maior e o último grande império da Antiguidade. Começou com a lendária fundação, em 753 AC, pelos gêmeos Rômulo e Remo, que quando bebês teriam sido abandonados no rio Tibre, onde sobreviveram mamando em uma loba. Conquistando a Grécia, os romanos aderiram à cultura grega, adaptando seus deuses, sua arte, sua ciência. Seguiram aperfeiçoando os moinhos d'água que copiaram dos gregos, embora não tenham dedicado a mesma atenção aos moinhos de vento dos persas.

Roma passou por um período de monarquia, depois de república, quando se expandiu por três continentes, Europa, Ásia e África. A república entrou em crise e foi substituída por um império, quando o poderio militar se fortaleceu. No entanto, a expansão territorial sofreu um refluxo por volta do ano 200 DC. A economia se fragilizou, os preços inflacionaram, a corrupção e a politização do exército causaram uma decadência generalizada que resultou na tomada de Roma pelos Bárbaros, em 476, evento conhecido como queda do Império Romano do Ocidente. Esse evento marcou o fim da Idade Antiga. É significativo notar que os romanos chamavam os povos germânicos de bárbaros porque esses povos não falavam latim ou grego. Esses povos chegaram aos limites de Roma de forma pacífica, no início. Os germânicos onviveram bem com os romanos, trabalhando na agricultura e muitos prestando serviço militar para Roma, chegaram a liderar tropas romanas. É só a partir do século V que as penetrações germânicas em Roma se tornam agressivas.

## Aula 5 – Idade Média

Séculos antes das invasões de Roma pelos bárbaros, o Império Romano já era dividido em Império Romano do Ocidente (sede em Roma) e Império Romano do Oriente (sede em Constantinopla, cidade fundada por Constantino em 324-330 para materializar a inclinação da civilização romana para o ocidente). A queda do Império Romano do Ocidente, invadido pelos bárbaros em 476, marca a transição da Idade Antiga (ou Antiguidade) para a Idade Média (também chamada Período Medieval ou, pejorativamente, Idade das Trevas ou Noite de Mil Anos). O Império Romano do Oriente, ou Império Bizantino, sobrevive através da Idade Média e só é derrubado em 1453, quase mil anos depois do Império Romano do Ocidente, com a tomada da capital, Constantinopla, pelos turcos. Se o fim do

Império Romano do Ocidente (queda de Roma) marca o início da Idade Média, o fim do Império Romano do Oriente (queda de Constantinopla) marca o fim da Idade Média e início da Idade Moderna.

**Início da Idade Média – Queda do Império Romano do Ocidente – 476**

**Fim da Idade Média – Tomada de Constantinopla pelos Turcos– 1453**

Durante a Idade Média se expandem os reinos bárbaros pela Europa, a escravidão é substituída pela servidão no sistema feudal, os bárbaros vão sendo cristianizados, ampliando o poder da igreja no continente europeu, o islamismo se expande e compete com o cristianismo. No final do período ressurge o comércio e as cidades. Na América a civilização maia floresce.

25



FIGURA 32 MAPA DA EUROPA NO ANO 814. NOTE A FRAGMENTAÇÃO POLÍTICA DA PENÍNSULA ITÁLICA APÓS A QUEDA DO IMPÉRIO ROMANO DO OCIDENTE E A PERSISTÊNCIA DA UNIDADE POLÍTICA DO IMPÉRIO BIZANTINO OU IMPÉRIO ROMANO DO ORIENTE. DOMÍNIO PÚBLICO

A expressão “Idade das Trevas” remete a um retrocesso tecnológico e cultural que se costuma identificar com esse período. Com as invasões bárbaras houve uma desarticulação do sistema energético romano, que era mecanizado mas baseado em trabalho escravo. O sistema escravocrata se desorganizou com a queda de Roma, o mercado de escravos se desarticulou com o atrofamento das cidades, sendo substituído pelo sistema de servidão. Os reinos se isolam e por séculos não se observam grandes avanços na produção e no

aproveitamento da energia, pelo menos no continente europeu.

Em outros lugares, como a China, a racionalização do uso da energia avança significativamente. No ano 609 é concluído o Grande Canal chinês. Com 1776 quilômetros e 24 eclusas é até hoje o maior canal artificial do mundo, permitindo o aproveitamento racional da energia hidráulica e a disponibilização de energia química alimentar na forma de cereais (seu objetivo original) para a capital Beijing (Pequim).

Usualmente, o ano 1000 divide a Idade Média, de forma convencional e bastante arbitrária, em dois períodos, a Alta Idade Média e a Baixa Idade Média.

O período de atrofiamento das cidades, isolamento e fragmentação política dos reinos corresponde à Alta Idade Média, que termina no ano 1000. O período seguinte, a baixa Idade Média, a partir do ano 1000, é marcado pelo ressurgimento do comércio, das cidades e da tecnologia na produção e consumo de energia.

No entanto, nos dois períodos as pessoas continuam usando a força bruta de animais e humanos. Usa-se ainda a energia térmica da biomassa (principalmente na forma de lenha) e a energia cinética da água e do vento.

## Moinhos de vento

Na Idade Antiga, inventores da Pérsia (atual Irã) haviam desenvolvido um modelo de moinho de vento com as pás horizontais semelhantes a velas de barco. Esse modelo foi aperfeiçoado na Europa, durante a Idade Média, e deu origem aos moinhos de vento de pás verticais que existem até hoje, embora atualmente sirvam mais como atrações turísticas do que como moinhos de verdade. Desse modelo derivam também as atuais turbinas eólicas, que serão discutidas em aulas seguintes.

26



**FIGURA 33** DETALHE DE UMA CENA BAS-DE-PAGE (DE RODAPÉ) MOSTRANDO UM EREMITA BÊBADO E UMA MULHER SE ABRAÇANDO NO CHÃO AO LADO DE UM MOINHO DE VENTO; O MOLEIRO (OPERADOR DO MOINHO) SURGE PARA TIRAR SATISFAÇÃO, CARREGANDO UMA MARRETA.

A finalidade primordial do moinho, como o nome sugere, é moer cereais. Na Idade Média o trigo continua sendo o principal cereal usado como fonte de energia química, em razão da elevada proporção de amido na semente. Conforme visto em aulas anteriores, o amido é o polímero da glicose, açúcar de alto teor energético.

As pás (ou velas) da hélice (ou cata-vento) estão ligadas a um eixo horizontal de madeira, também chamado pião ou mastro. O eixo horizontal penetra na cúpula móvel (ou capelo). A cúpula pode ser girada pelo moleiro (operador do moinho) para posicionar as velas na direção do vento. As velas ou pás têm uma inclinação que permite que a energia cinética do vento seja utilizada para imprimir à hélice um movimento de rotação.

Um sistema de rodas dentadas ou engrenagens permitem transmitir o movimento de rotação do mastro horizontal para um eixo central vertical, que tem em sua parte inferior uma pedra esculpida como anel cilíndrico achatado (mó móvel) de cerca de uma tonelada, que gira sobre uma pedra semelhante, que permanece em repouso (mó fixa). As sementes de trigo são colocadas com o auxílio de uma calha na parte central de uma pequena folga que existe entre as mós. O movimento de rotação da mó superior móvel sobre a inferior fixa é responsável por moer as sementes, transformando-as em farinha. Em razão da aceleração centrípeta imprimida pela mó superior, a farinha sai pela parte externa do espaço entre as mós, de onde é recolhida.

O moinho de vento é um dispositivo que transforma a energia cinética das partículas do ar em movimento (energia eólica ou energia do vento) em energia cinética de rotação. Os artesãos que esculpiam os

mastros, as sofisticadas engrenagens e outras peças em madeira nobre e montavam os moinhos ou engenhos com admirável precisão eram chamados engenheiros. Daí surgiu o nome da profissão de engenheiro.



FIGURA 34 INTERIOR DE UM MOINHO DE VENTO

Inicialmente, a energia cinética de rotação dos moinhos era usada apenas para moer as sementes de trigo e produzir farinha. Posteriormente foram descobertas outras formas de utilizar essa energia.

#### Bombeamento de Água

A partir da Baixa Idade Média muitos moinhos de vento passaram a ser acoplados não a mós, mas a dispositivos de bombear água que remontam pelo menos à Grécia Antiga, os parafusos de Arquimedes.

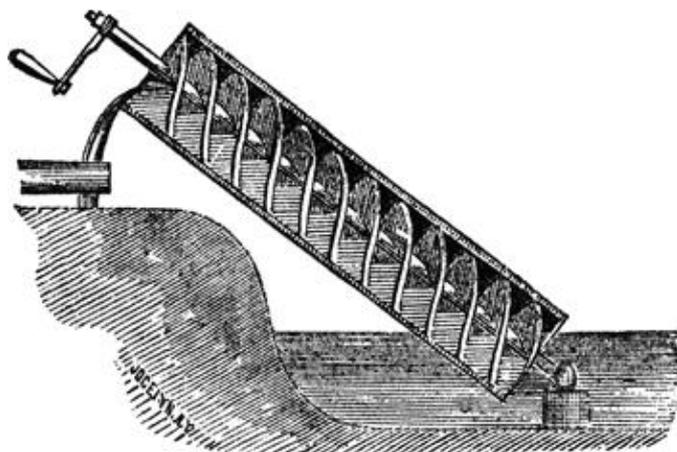


FIGURA 35 PARAFUSO DE ARQUIMEDES

Os Países Baixos, que incluem a Holanda, sempre sofreram com os alagamentos por estarem situados ao nível do mar (daí deriva o nome Países Baixos). Essas regiões são chamadas de polders. Alguns polders situam-se até abaixo do nível do mar. O problema do alagamento dos polders se agravou na Idade Média com a destruição das florestas da região para obtenção de energia (lenha). Isso ocorreu porque no lugar da lenha os holandeses começaram a usar turfa, um combustível proveniente da madeira em decomposição. A extração da turfa do solo e dos rios deixou o território pontilhado de crateras que, alagadas, se transformavam em pântanos, agravando ainda mais o problema dos Países Baixos. O uso da energia eólica para bombear água permitiu drenar parte dessas regiões degradadas, transformando-as em terras secas e próprias para a agricultura. Hoje o parafuso de Arquimedes (tecnologia da Antiguidade) segue sendo usado para drenar regiões alagadiças, mas não mais acoplado a moinhos de vento mas a motores elétricos.

#### Moinho de vento, o avô das turbinas eólicas

Na atualidade hélices em movimento são usadas para transformar a energia eólica em energia elétrica, nas chamadas turbinas eólicas, dispositivos inspirados nos

milenarios moinhos de vento. O funcionamento da turbina eólica será estudado em aulas seguintes. Por hora, nos limitaremos a comentar que na turbina eólica não há necessidade de converter a rotação horizontal do mastro ou eixo em rotação vertical, como no caso do

moinho de vento. Na turbina eólica um gerador elétrico é acoplado diretamente ao eixo horizontal, para transformar a energia cinética da sua rotação em energia elétrica.



**FIGURA 36**MOINHO DE VENTO UTILIZADO INICIALMENTE PARA DRENAR O PÔLDER QUE APARECE NO CANTO INFERIOR ESQUERDO DA FOTO. HOJE ESSE TRABALHO É EXECUTADO PELA ELETRICIDADE ORIGINADA DAS TURBINAS EÓLICAS QUE APARECEM AO FUNDO.

### PARA DISCUSSÃO

1. Qual a consequência para os Países Baixos da destruição das florestas na Idade Média? Qual a importância da turfa nesse processo?
2. Qual o impacto da extração de turfa para o solo dos Países Baixos?
3. Como uma tecnologia aperfeiçoada na Idade Média foi associada a uma tecnologia desenvolvida na Antiguidade para combater o problema das áreas alagadas?
4. Observe a foto acima. Considere a intenção do autor (fotógrafo). Por que razão você imagina que o autor enquadrado (posicionou na imagem) os elementos da foto dessa maneira? (Resposta pessoal)

### EXERCÍCIO DESAFIO

Mantendo-se inalteradas as demais condições, a potência gerada por um moinho de vento é diretamente proporcional ao cubo da velocidade do vento. Isto é,  $P = k \times V^3$

Medindo-se  $P$  em watts e  $V$  em km/h, 0,0036 poderia ser um valor razoável para  $k$ .

- a) Admitindo-se esse valor para  $k$ , quanto de potência seria gerada a um vento estável de 10 km/h?
- b) A que velocidade deveria soprar o vento para produzir 100 watts de potência?

## Aula 6 – Idade Moderna – das Grandes Navegações à Revolução Industrial

Considera-se que a Idade Moderna tem início com a tomada de Constantinopla pelos turcos (queda do Império Romano do Oriente), em 1453 e acaba em 1789, com a Revolução Francesa.

**Início da Idade Moderna – Tomada de Constantinopla pelos Turcos – 1453**

**Fim da Idade Moderna – Revolução Francesa – 1789**

Com a tomada de Constantinopla pelos turcos o acesso à Ásia pelo Mar Vermelho e pelo oriente médio foi interrompido. Assim, foi necessário buscar novas rotas para o Oriente, o que impulsionou as grandes navegações usando a energia do vento. Desencadearam-se uma série de eventos, o Renascimento, a conquista da América pelos europeus, o Mercantilismo, o Capitalismo, a Reforma Protestante, o Iluminismo, a Revolução Industrial, a Independência Americana e a Revolução Francesa.

Durante esse período temos:

- O poder passando dos pequenos feudos para os grandes Estados Nacionais, poder total aos reis em detrimento dos senhores feudais (absolutismo);
- Grandes navegações com a descoberta de novas rotas e novos territórios, entre os quais o Novo Mundo (América);
- Crença em que um Estado forte é aquele que intervém na economia de modo a exportar mais do que importa e acumular metais preciosos (mercantilismo);
- Estabelecimento de colônias nos novos territórios e comércio exclusivo entre a colônia e o Estado dominante ou metrópole (colonialismo, associado ao mercantilismo);
- Gradativo abandono do teocentrismo medieval e recuperação do antropocentrismo da Antiguidade Clássica (greco-romana), bem como da cultura, da ciência e da arte da Antiguidade (Renascimento);
- Valorização do antropocentrismo - humanismo, do conhecimento científico, da liberdade, da democracia, muito além do que havia na Antiguidade, com o surgimento de importantes ideias novas (Iluminismo);



**FIGURA 37 CONQUISTA DA AMÉRICA PELOS ESPANHÓIS, RETRATADA POR ILUSTRADOR ASTECA DA ÉPOCA DOMÍNIO PÚBLICO**

- Estímulo pelos Estados nacionais à rebelião contra a igreja, dentro da lógica absolutista na qual esses Estados buscam poder para si e não para a igreja, e dentro da lógica mercantilista, na qual os Estados nos primórdios do capitalismo querem que a usura deixe de ser um pecado (Reforma Protestante);
- Importante desenvolvimento científico (mecânica newtoniana, surgimento da química como ciência, estudos astronômicos de Galileu, Kepler, etc.) e tecnológico (aperfeiçoamento das embarcações a vela, dos instrumentos de navegação, das máquinas em geral);
- Surgimento de importantes inovações como a invenção do tear mecânico, o aperfeiçoamento da máquina a vapor usando o carvão como fonte de energia, a ampliação da produção industrial de bens de consumo durante a transição da Idade Moderna para a Idade Contemporânea, primeiro na Inglaterra, depois no resto do mundo (Revolução Industrial);
- Declaração por revolucionários iluministas americanos da Independência dos Estados Unidos (1776), país que viria a se tornar rapidamente uma das mais ativas economias industriais, científicas e tecnológicas, e hoje a única superpotência;
- Início da Revolução Francesa, por revolucionários iluministas, pelo povo e pela burguesia contra os privilégios da nobreza e do clero (1789), marco da passagem da Idade Moderna para a Idade Contemporânea;

## Grandes Navegações

Durante quase todo o período medieval a Europa esteve atrasada em relação a outros povos, como os chineses, no uso da energia do vento para a navegação. Somente no final da Idade Média os portugueses aprenderam a navegar “contra” o vento, combinando velas triangulares e retangulares em suas pequenas caravelas.

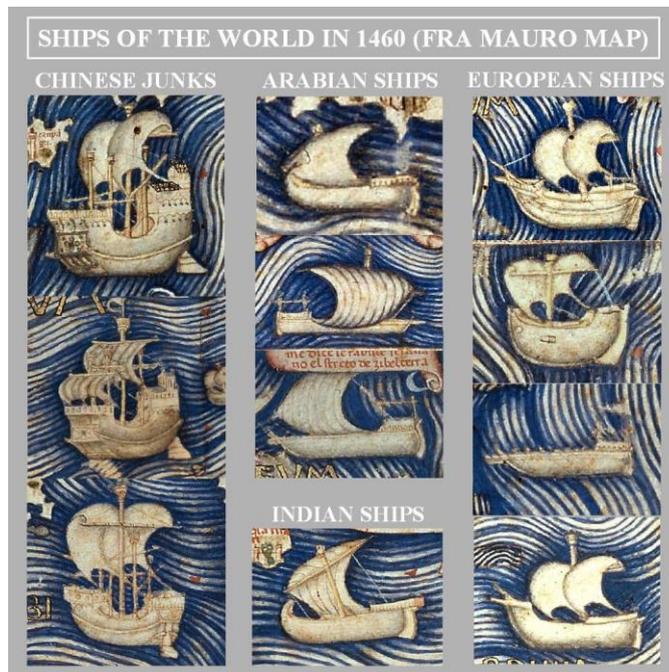
Entre outras inovações chinesas, os europeus adotaram a bússola para orientação e a pólvora para defesa e ataque, levando os canhões de bronze para suas embarcações. Assim, na virada da Idade Média para a Idade Moderna, a Europa começou sua trajetória de descoberta e dominação, que conformaria a geopolítica mundial, com consequências que chegam até os dias de hoje.

## Estradas e Máquinas

Durante a Idade Moderna, o transporte terrestre foi feito basicamente com o uso da energia muscular de animais de tração (cavalos, bois, etc.) e de montaria (basicamente cavalos). Com o reaparecimento das cidades na baixa Idade Média, houve um estímulo para a comunicação e o transporte de pessoas e mercadorias. A consequência é que Durante a Idade Moderna houve o aperfeiçoamento das estradas, racionalizando o uso desses meios de transporte.

Equipamentos baseados na alavanca, no parafuso e em outras máquinas simples foram muito aperfeiçoados na Idade Moderna. Combinando madeira e metal, essas máquinas possibilitaram o desenvolvimento da elegante arquitetura do período, que inicialmente copiou a grandiosidade da arquitetura clássica mas depois desenvolveu novos estilos arquitetônicos.

Nos séculos XVI, XVII e na maior parte do século XVIII, a propulsão humana e animal, o vento e, crescentemente, as rodas d'água forneceram a maior parte da energia para o funcionamento das máquinas da Idade Moderna. A roda d'água, e não a máquina a vapor, forneceu a maior parte da energia na fase inicial da Revolução Industrial.



**FIGURA 38 NAVIOS DO MUNDO RETRATADOS POR FRA MAURO. AS FIGURAS SUGEREM QUE OS NAVIOS CHINESES (À ESQUERDA) ERAM UM POUCO MAIORES QUE OS EUROPEUS (À DIREITA). NA VERDADE AS EMBARCAÇÕES CHINESES GERALMENTE TINHAM MUITO MAIS QUE O DOBRO DO TAMANHO DAS EUROPEIAS.**

## O Carvão Mineral: primeiro combustível fóssil usado em larga escala

Quando estudamos a Idade dos Metais, fizemos uma discussão sobre as diferenças entre carvão vegetal e carvão mineral. Uma diferença que precisa ser destacada é que no caso do carvão vegetal, todo carbono que ele libera para a atmosfera em sua queima, em um passado recente foi capturado pela planta através da reação de fotossíntese, estudada nas primeiras aulas deste curso. No caso do carvão mineral, as florestas que o originaram foram soterradas há milhões de anos. Isso significa que não há compensação para o carbono liberado para a atmosfera através da fotossíntese, como ocorreria no carvão vegetal. Essa é uma das razões pelas quais o carvão mineral é especialmente poluente.

A seguir, apresentamos uma lista com os tipos de carvão mineral.

Tipos de carvão mineral, em ordem crescente de antiguidade, profundidade em que costuma ser encontrado, teor de carbono, teor energético e preço

Turfa



Linhito



Hulha



Antracito



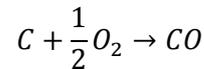
O carvão mineral é um combustível fóssil, originado da decomposição de florestas, que ficaram cobertas por sedimentos durante centenas de milhões de anos.

Em razão do elevado teor de carbono, é um combustível mais nobre que a madeira e o carvão vegetal.

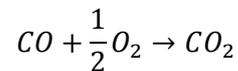
O melhor tipo de carvão é o antracito, composto por cerca de 95% de carbono. Em comparação, a turfa, cujo uso foi discutido na aula sobre Idade Média, tem pouco mais de 50% de carbono, tendo limitado uso como combustível.

Abaixo, equações representando a combustão completa do carvão (na forma antracito, aproximado para 100% de carbono):

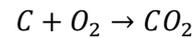
Primeira parte: combustão incompleta



Segunda parte: tornando completa a combustão



Soma das duas equações: Combustão completa



Todas são reações muito exotérmicas, ou seja, que liberam grande quantidade de calor ou energia térmica.

É importante observar que a combustão incompleta libera monóxido de carbono (CO) na atmosfera, muito mais tóxico que o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que é facilmente expelido pela respiração. O monóxido de carbono se liga irreversivelmente à hemoglobina da hemácia, não é liberado pela respiração e causa graves problemas respiratórios, podendo levar à morte rapidamente. Também o carbono não queimado pode ser inalado e vai se acumulando nos pulmões, o que pode ser fatal. Problemas respiratórios associados à queima de combustíveis são observados há muitos séculos, mas tornaram-se endêmicos (atingindo grande número de pessoas em determinadas regiões) somente a partir da Revolução Industrial, iniciada no final dos anos 1700, na Inglaterra.

A Inglaterra foi pioneira na Revolução Industrial porque tinha estabilidade política e econômica, dada sua condição de ilha, e porque soube estimular o pensamento livre, sem grandes amarras religiosas, a ciência, a tecnologia e o comércio. Esse pioneirismo apresentou elementos destrutivos, como no caso do cercamento das propriedades e das antigas terras comunais (decreto das cercas) que sufocou os camponeses e os forçou a migrar para as cidades na condição de mão de obra barata, virtualmente

extinguindo as pequenas propriedades. Mas além disso, também foram elementos essenciais do impressionante desenvolvimento inglês no período a grande disponibilidade de carvão e de minério de ferro em seu território. As máquinas a vapor usavam carvão como combustível e eram construídas essencialmente de ferro e aço. Como estudado na aula sobre Idade dos Metais, o aço é uma liga formada por ferro e cerca de 1% de carbono, podendo apresentar outros constituintes). Outro fator normalmente esquecido é a garantia dos direitos de patentes pela lei inglesa, que permitiu aos inventores e investidores lucrarem com suas inovações, como no caso do tear mecânico e da máquina a vapor.

### Máquina a Vapor

O desenvolvimento da máquina a vapor por Thomas Newcomen e outros, só se tornou prático com os aperfeiçoamentos introduzidos por James Watt, que aumentaram muito a potência das máquinas. As máquinas a vapor representaram a primeira forma de suprimento constante de energia cinética encontrada pela humanidade. Elas não dependiam dos caprichos dos ventos, da disposição e saúde dos animais de tração, da proximidade dos rios para instalação da roda d'água.

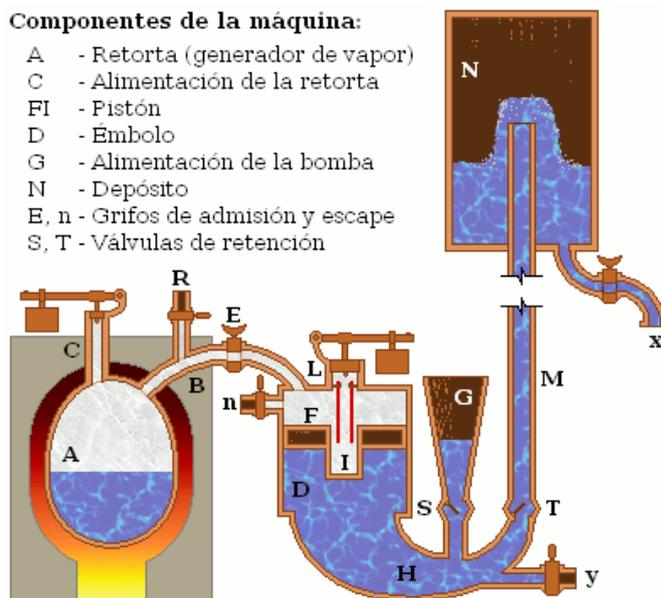
Da primeira lei da Termodinâmica, discutida em nossa primeira aula, sabemos que uma forma de energia pode ser convertida em outra, mas que não é possível criar nem destruir energia. Assim, as máquinas a vapor não criavam energia, elas convertiam energia química do carvão em energia térmica através da reação de combustão. Essa energia térmica era usada para aquecer a água em uma caldeira. A água, transformando-se em vapor, movia um pistão, no interior de um cilindro. Dessa forma, a energia térmica recebida pela água era transformada na energia cinética do movimento do pistão.

Funcionamento básico: o fogo lento e constante produzido pela combustão do carvão fazia a água no interior da caldeira entrar em ebulição, transformando-se em vapor. O vapor d'água ocupa um volume cerca de mil vezes maior que a mesma massa de água líquida, ocorrendo assim uma grande expansão quando a água entra em ebulição. A expansão do volume provocada pela ebulição fazia o pistão se mover no interior do cilindro. O pistão subia impelido pelo vapor e descia quando o interior do cilindro era resfriado por um dispositivo borrifador de água fria, chamado

condensador. Através do balancim, esse movimento linear do pistão era transferido à roda de transmissão, transformando-se em movimento circular. A roda de transmissão tem esse nome porque é acoplada a outras máquinas por sistema de polias e engrenagens. Isso limitava a área da fábrica, uma vez que todas as máquinas deveriam estar situadas próximas à máquina a vapor, que fornecia a energia motriz para todo o sistema. O complexo sistema de polias e engrenagens exigia manutenção constante. Um problema na máquina a vapor, uma correia arrebitada ou uma engrenagem quebrada poderiam parar a fábrica inteira. Esse sistema complexo, caro e insalubre para o trabalhador da fábrica só se justificava para a produção de bens de consumo em grande quantidade e foi ao mesmo tempo uma das causas e uma das consequências do que viria a ser chamado produção em massa, em grandes quantidades, para um mercado consumidor ávido para consumir o que fosse produzido, aparentemente sem limite. Essa euforia consumista duraria até a Grande Depressão da década de 1930, que será comentada na próxima aula.

#### Componentes de la máquina:

- A - Retorta (generador de vapor)
- C - Alimentación de la retorta
- FI - Pistón
- D - Émbolo
- G - Alimentación de la bomba
- N - Depósito
- E, n - Grifos de admisión y escape
- S, T - Válvulas de retención



**FIGURA 39 ESQUEMA DA MÁQUINA A VAPOR DE PAPIIN, FABRICADA EM 1707, UMA DAS PRIMEIRAS MÁQUINAS A VAPOR USADAS PARA DRENAR ÁGUA DE MINAS. O FOGO PRODUZIDO PELA QUEIMA DO CARVÃO FAZIA A ÁGUA FERVER, TRANSFORMANDO-SE EM VAPOR (A). A EXPANSÃO DO VAPOR PROVOCAVA O MOVIMENTO DO PISTÃO (F). ESSE MOVIMENTO BOMBEAVA ÁGUA DO INTERIOR DA MINA (Y) EM DIREÇÃO AO DEPÓSITO (N). COM OS APERFEIÇOAMENTOS DESENVOLVIDOS PRINCIPALMENTE POR JAMES WATT, ESSE MOVIMENTO PASSOU A SER MELHOR APROVEITADO, TRANSFERIDO À RODA DE TRANSMISSÃO, ACOPLADA A OUTRAS MÁQUINAS POR SISTEMA DE POLIAS E ENGRENAGENS QUE FORNECEM ENERGIA CINÉTICA PARA MÁQUINAS DE DIVERSOS TIPOS.**

## Inovações – O motor Stirling

A enorme expansão da água quando se transforma em vapor provocava grande pressão na caldeira. Muitas vezes a caldeira não resistia e explodia, causando queimaduras horrendas e muitas mortes. Para evitar esse sofrimento, o pastor escocês Robert Stirling, em 1816<sup>1</sup>, desenvolveu com seu irmão engenheiro um motor que não usava vapor d'água, mas o próprio ar como fluido de trabalho. Esse motor é capaz de atingir níveis de eficiência superiores a motores a gasolina inventados cem anos depois.

O funcionamento do motor Stirling apresenta quatro fases em seu ciclo termodinâmico, em dois tempos.

1. Compressão isotérmica (temperatura constante);
2. Aquecimento isocórico (volume constante)
3. Expansão isotérmica;
4. Arrefecimento isocórico.

O ciclo de Stirling está muito próximo do Ciclo de Carnot, limite máximo teórico de rendimento das máquinas térmicas.

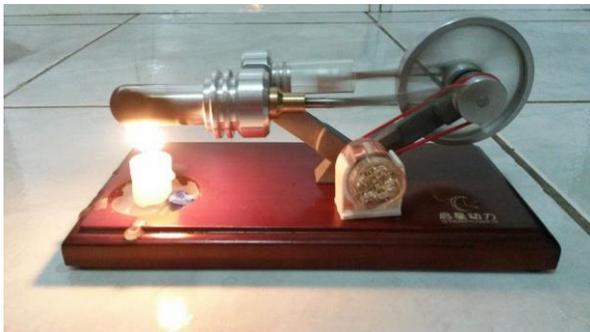


FIGURA 40 MOTOR STIRLING EM MINIATURA – ACERVO PESSOAL

O motor Stirling é muito simples. Ele é formado por duas câmaras, uma quente e uma fria, que aquecem e arrefecem (permitem voltar a temperatura ambiente) um gás utilizado como fluido de trabalho, normalmente o ar. Essas variações alternadas de temperatura, através de expansões e contrações cíclicas, colocam em movimento dois êmbolos conectados ao mesmo eixo. Entre os êmbolos há um regenerador, onde o calor que iria para a câmara fria

<sup>1</sup> A rigor, o ano de 1816, quando foi desenvolvido o motor Stirling, já pertence à Idade Contemporânea. No entanto, está sendo abordado nesta aula porque está relacionado ao tema Máquina a Vapor, tecnologia surgida no último século da Idade Moderna.

fica armazenado para o próximo aquecimento. Isso aumenta a eficiência termodinâmica do motor.

Para aumentar ainda mais a eficiência do motor, no lugar do ar é possível usar hélio ou hidrogênio pressurizado como fluidos de transporte, gases que são melhores condutores e apresentam viscosidade menor que a do ar.

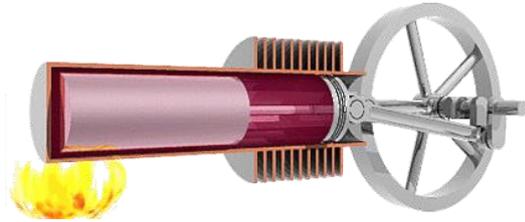
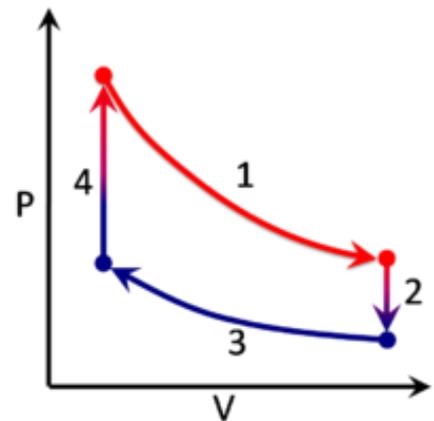


FIGURA 41 ESQUEMA DE UM MOTOR STIRLING

Abaixo, o diagrama pressão x volume idealizado para o ciclo de Stirling (na situação real ele se aproxima mais



de uma elipse).

FIGURA 42 DIAGRAMA PRESSÃO X VOLUME PARA O CICLO DE STIRLING

No diagram acima temos:

1. Expansão isotérmica – A câmara de expansão é aquecida externamente, pela queima de carvão ou outro combustível. O gás se expande sem variar a temperatura.
2. Liberação isocórica de calor – O gás atravessa o regenerador, esfriando-se e aquecendo o regenerador, cujo calor poderá ser usado para aquecer o gás na próxima passagem.
3. Compressão isotérmica – O gás é comprimido novamente, sem variar a temperatura, aumentando assim a pressão.
4. Aquecimento a volume constante – o gás passa de volta pelo regenerador, recebendo calor no caminho para a câmara de expansão aquecida.

O trabalho realizado no ciclo é dado pela área no interior do gráfico.

## Aula 7 – Idade Contemporânea e a Consolidação da Revolução Industrial – a era da Eletricidade e do Petróleo – Parte 1

A Revolução Francesa é geralmente considerada o marco da transição da Idade Moderna para a Idade Contemporânea, que se prolonga até os dias atuais.

### Início da Idade Contemporânea – Revolução Francesa – 1789 (prossegue até os dias atuais)

Eventos fundamentais para entender a Idade Contemporânea:

- A Revolução Francesa (1789) promove a derrubada da nobreza e do clero e a ascensão da burguesia iluminista na França, personagens do antigo regime são executados; como o rei Luís XVI, a rainha Maria Antonieta, e o coletor de impostos e químico brilhante Lavoisier;
- Napoleão assume o poder e expande a revolução iniciada na França para o resto da Europa;
- Fugindo das forças de Napoleão, a família real portuguesa chega ao Rio de Janeiro (1808), passo decisivo para a Independência do Brasil;



**FIGURA 43 A LIBERDADE GUIANDO O POVO – QUADRO DE DELACROIX REPRESENTANDO A REVOLUÇÃO LIBERAL DE 1830, NA FRANÇA DOMÍNIO PÚBLICO**

- A máquina a vapor, motor de combustão externa aperfeiçoado por James Watt no final da Idade Moderna supera as rodas d'água como principal fonte de energia da Revolução Industrial durante o século XIX;

- Napoleão é derrotado definitivamente por forças inglesas em 1815, na batalha de Waterloo, as antigas dinastias são restabelecidas, segue-se uma relativa paz entre as nações europeias, durante cerca de um século (1815-1914);

- A Revolução liberal do Porto se antecipa às revoluções liberais da década de 1830 na Europa e exige o retorno de Dom João do Brasil para Portugal (1820), seu filho Dom Pedro fica no Brasil, como príncipe-regente.

- As tentativas de retorno ao absolutismo na Europa têm que ceder às revoluções liberais burguesas, que começam na França, em 1830 e se espalham, promovendo a instalação de regimes liberais na Europa ocidental, a Rússia segue em seu sistema czarista absolutista;

- Em 1848 acontece uma onda revolucionária que também se inicia na França e se espalha pela Europa, no mesmo ano Marx e Engels publicam o Manifesto Comunista, conclamando a união do proletariado para a implantação do socialismo;

- Em 1882 é inaugurada a primeira usina hidrelétrica de produção de eletricidade da História, em Appleton, Wisconsin, EUA;



**FIGURA 44 PRIMEIRA USINA HIDRELÉTRICA DO MUNDO, APPLETON, EUA, 1882 FONTE: "DAM ACROSS RIVER, APPLETON, WIS.," 1880-1889. PRINTS AND PHOTOGRAPHS DIVISION, LIBRARY OF CONGRESS. REPRODUCTION NUMBER LC-D4-4783 DLC.**

- As principais colônias latino-americanas (incluindo o Brasil, em 7 de setembro de 1822) declaram Independência de suas metrópoles europeias, em geral com o apoio da Inglaterra, interessada na abertura desses mercados;

- Os novos países latino-americanos tornam-se mercados fáceis e dependentes econômicos da

Inglaterra e depois dos Estados Unidos, sem a necessidade de metrópoles “intermediárias” como Portugal e Espanha;

- Em 1870 ocorre a unificação da Itália, em 1871, após vencer a guerra franco-prussiana, o chanceler Otto von Bismarck promove a unificação da Alemanha (II Reich), revoltados com as condições da derrota, os franceses se rebelam e são massacrados (Comuna de Paris);

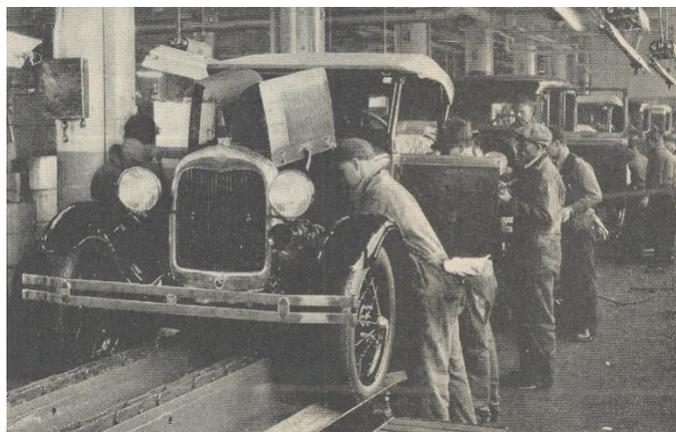
- A escravidão vai sendo abolida em vários países no século XIX, é uma das causas da guerra civil dos EUA (Guerra da Secessão, 1861-1865), o Brasil é o último país da América (Lei Áurea, 1888);

- No século XIX, a energia muscular humana é tão importante em um país agrícola como o Brasil (que não conta à época nem mesmo com uma agricultura mecanizada, quanto mais com uma indústria significativa), que o apoio dos fazendeiros revoltados pela abolição é determinante na queda da Monarquia e na Proclamação da República, em 15 de novembro de 1889;

- Potências europeias buscam novas colônias na Ásia e mais intensamente na África, continente que será oficialmente partilhado entre as potências imperialistas na Conferência de Berlim (1884-1885);

- No final do século XIX, com o desenvolvimento do motor a combustão interna, usando derivados de petróleo, tem início a indústria automobilística, que mudará a face do século seguinte;

- Em 1909, nos EUA, Henry Ford inaugura sua linha de montagem de automóveis, surge o fordismo (produção em massa de bens baratos e melhoria da condição de vida dos trabalhadores para que possam compra-los);



**FIGURA 45 FORDISMO - PRODUÇÃO EM SÉRIE DO “MODELO A”**

- As tensões entre as potências imperialistas europeias estão entre as causas da Primeira Guerra Mundial

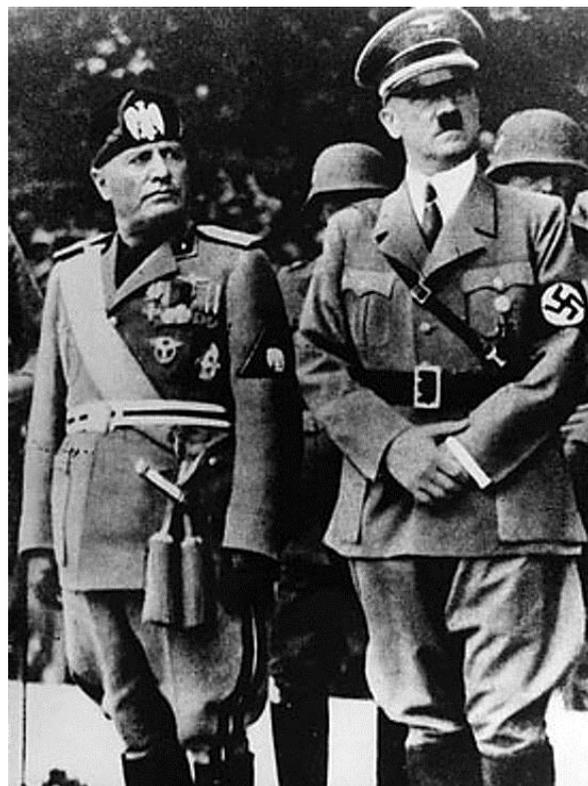
(1914-1918), tendo como um dos focos a luta por fontes de energia (carvão);

- Na Rússia, a deterioração econômica e política durante a Primeira Guerra Mundial deixa espaço para a implantação entre 1917 e 1922 do primeiro regime comunista da História, no que virá a ser denominado União Soviética (União das Repúblicas Soviéticas, URSS), durando até 1991;

- A Grande Depressão que se seguiu à queda da bolsa de Nova Iorque, em 1929 e o crescimento do movimento socialista internacional obrigam os Estados liberais a se reformularem do livre mercado na direção do Estado de bem-estar social, que vai se consolidar no pós-Segunda Guerra Mundial;

- A produção de energia assume um papel de sucesso na superação do desemprego e da miséria resultante da Grande Depressão nos EUA da década de 1930, com a contratação de desempregados para a construção de grandes usinas hidrelétricas nos principais rios, medida que torna a matriz energética do país a mais avançada do mundo;

- A ascensão de regimes totalitários na Europa e a busca desses regimes em recuperar e ampliar territórios e reservas de energia, sob a liderança da Alemanha de Hitler (III Reich), é a principal causa da Segunda Guerra Mundial (1939-1945);



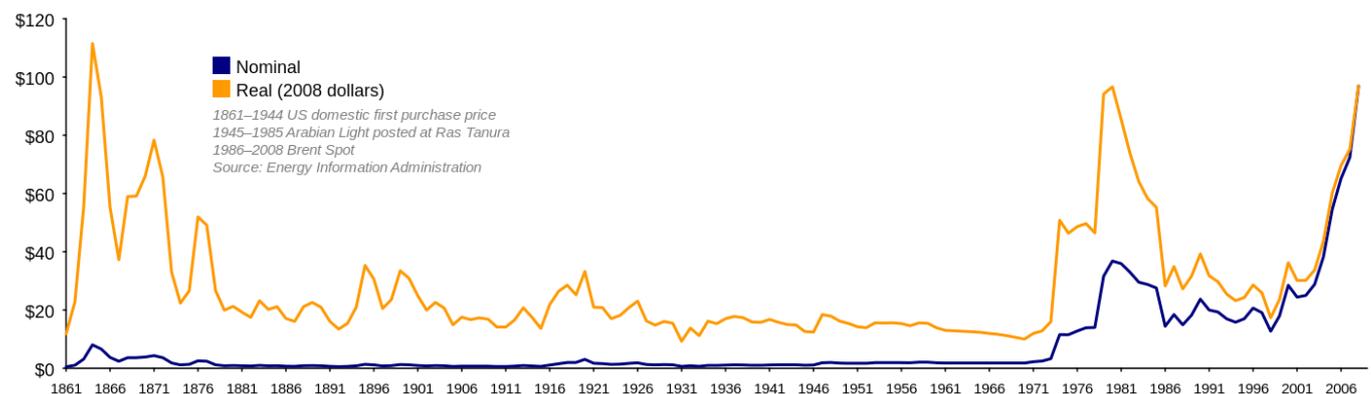
**FIGURA 46 MUSSOLINI (DITADOR DA ITÁLIA) E HITLER (DITADOR DA ALEMANHA)**

## Aula 8 – Idade Contemporânea e a Consolidação da Revolução Industrial – a era da Eletricidade e do Petróleo – Parte 2

- A explosão de duas bombas atômicas, nas cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki, em agosto de 1945, põe fim à Segunda Guerra Mundial e inicia a era nuclear;

- Aliados vitoriosos na Segunda Guerra Mundial, Estados Unidos e União Soviética passam a ver um ao outro como inimigo, em um mundo bipolar marcado pelo medo da mútua aniquilação atômica (Guerra Fria);

- Na década de 1950 são colocados em operação os primeiros reatores nucleares que utilizam a fissão nuclear para fornecimento regular de energia elétrica, na URSS (1954), no Reino Unido (1956) e nos EUA (1957), e surgem também reatores experimentais que tentam dominar a energia da fusão nuclear;



**FIGURA 47 GRÁFICO DOS PREÇOS DO PETRÓLEO DE 1861 A 2007 MOSTRANDO OS PICOS DE 1973 E 1979. A LINHA LARANJA REPRESENTA OS PREÇOS CORRIGIDOS PELA INFLAÇÃO**

- O Brasil inaugura a Usina Nuclear Angra 1 (1984), hoje Angra 2 já está em funcionamento, Angra 3 em construção e há projetos de 2 novas usinas a serem construídas na região Nordeste do Brasil;

- Em 1986 acontece o maior acidente nuclear da História, a explosão do reator da usina nuclear de Chernobyl, na Ucrânia (então parte da URSS) resultando em milhares de mortes;

- Cai o muro de Berlim (1989), antecipando o fim da União Soviética (1991), os EUA se tornam a única superpotência, a viabilidade do socialismo real é questionada e o capitalismo se fortalece;

- No final do século XX é cunhado o termo globalização, que designa uma era de fortalecimento do capitalismo,

- A Guerra do Yom Kippur é iniciada quando Síria e Egito atacam Israel, em 1973, os países da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) aumentam o preço e restringem o fornecimento de petróleo para os países ocidentais, aliados de Israel, causando uma crise energética e uma recessão global;

- Em 1979 o xá do Irã, Reza Pahlevi é deposto e, em seu lugar, assume o comando do país o Aiatolá Khomeini, um líder espiritual islâmico radical, no ano seguinte, o ataque pelo Iraque de Saddam Hussein dá início à guerra Irã-Iraque (1980-1988) e desencadeia-se nova crise do petróleo;

- Com as crises do petróleo (1973, 1979), os preços dos combustíveis aumentam, levando ao uso de biocombustíveis como alternativa renovável de obtenção de energia, especialmente no Brasil, através do uso do álcool combustível derivado da cana-de-açúcar;

Gasolina: Mistura de hidrocarbonetos. Exemplo  $C_8H_{18}$

Etanol:  $CH_3-CH_2-OH$

comunicação e transporte rápidos, com bens, serviços e pessoas ultrapassando rapidamente as barreiras nacionais, tendência que se intensifica no século XXI;

- Com a invasão do Kuwait pelo Iraque em 1990 e principalmente a partir da resposta aos atentados terroristas de 11 de setembro de 2001, as intervenções militares de coalisões lideradas pelos EUA se sucedem até hoje, sendo alvo de críticas em relação à sua real motivação que seria o controle de recursos energéticos (principalmente petróleo);

- Em 11 de setembro de 2001, a organização terrorista Al Qaeda sequestra e lança aviões comerciais contra edifícios em Nova Iorque e Washington, os Estados Unidos intervêm mais fortemente no Iraque e no Afeganistão;

- Em 2011 um tsunami causado por um terremoto provoca a explosão da usina nuclear de Fukushima, no Japão, acidente que lembra o pesadelo de Chernobyl e

realimenta dúvidas sobre a segurança das usinas nucleares;



**FIGURA 48 EMBARCAÇÃO NO MEIO DE CIDADE JAPONESA APÓS O TSUNAMI DE 2011.**

## Aula 9 – Energia Nuclear

Conforme discutido na aula passada, a explosão das bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki, em 1945 iniciou a era nuclear. Logo a União Soviética passou a fabricar suas próprias bombas atômicas, e começou a Guerra Fria. Essas primeiras bombas atômicas operavam sob o princípio da fissão nuclear, realizando uma reação em cadeia (progressão geométrica de nêutrons térmicos emitidos).

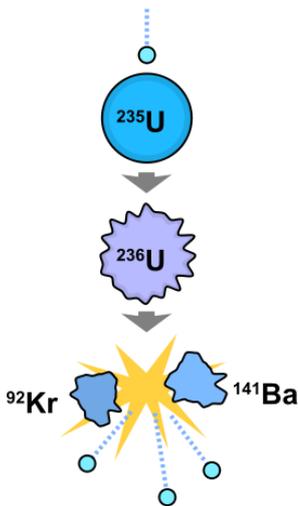


FIGURA 49 FISSÃO NUCLEAR - AS 3 "BOLINHAS" NA PARTE INFERIOR DO DESENHO REPRESENTAM OS NÊUTRONS LIBERADOS, GERALMENTE EM NÚMERO DE 2 OU 3.

Em 1952 foram detonadas as primeiras bombas de hidrogênio, que utilizam a fusão nuclear e chegam a ser milhares de vezes mais poderosas que as bombas de fissão.

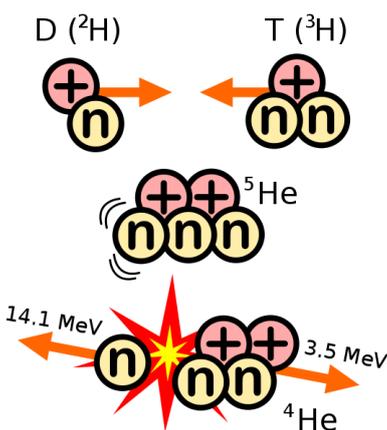


FIGURA 50 FUSÃO NUCLEAR. NÚCLEOS DE HIDROGÊNIO PESADO (DEUTÉRIO) E SUPERPESADO (TRÍTI) COLIDEM ENERGETICAMENTE, VENCEM A BARREIRA DA REPULSÃO ELÉTRICA ENTRE OS PRÓTONS E PASSAM A SE SUBMETER À FORÇA NUCLEAR. FORMA-SE UM NÚCLEO INSTÁVEL DE HÉLIO 5 QUE RAPIDAMENTE DECAI A HÉLIO 4, EXPELINDO UM NÊUTRON.

Na verdade, as bombas de hidrogênio (de fusão) usam bombas atômicas (de fissão) como detonadores, para

superar a repulsão elétrica entre os prótons e permitir a fusão dos núcleos.

Também na década de 1950 teve início o uso pacífico da energia nuclear, para a produção de eletricidade na URSS (1954), no Reino Unido (1956) e nos EUA (1957). O Brasil se juntaria tardiamente ao grupo, em 1984, com a inauguração de Angra1. Hoje estamos construindo Angra 3, réplica modernizada de Angra 2, que já está funcionando. 2 novas usinas devem ser construídas no Nordeste.

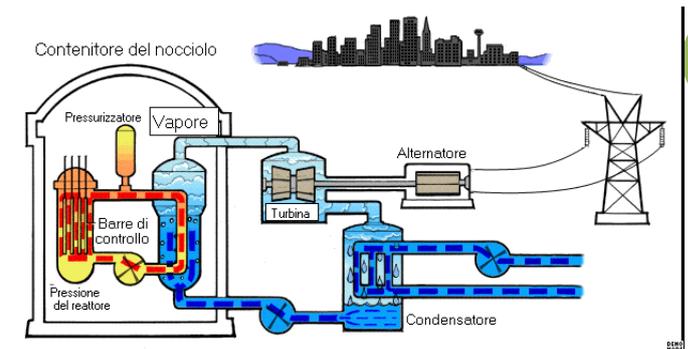


FIGURA 51 ESQUEMA DE USINA NUCLEAR – A FISSÃO DO URÂNIO 235 PRODUZ CALOR, TRANSFERIDO ATRAVÉS DE UM FLUIDO PRESSURIZADO (CIRCUITO PRIMÁRIO) PARA UMA MASSA DE ÁGUA, QUE SE TRANSFORMA EM VAPOR (CIRCUITO SECUNDÁRIO). O VAPOR MOVE AS PÁS DE UMA TURBINA, PROVOCANDO O MOVIMENTO DE ÍMÃS NO ALTERNADOR, O QUE PRODUZ CORRENTE ELÉTRICA ALTERNADA. O VAPOR VOLTA AO ESTADO LÍQUIDO QUANDO TROCA CALOR COM A ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO, GERALMENTE OBTIDA EM UM RIO PRÓXIMO.

O acidente nuclear de Chernobyl, na Ucrânia (então parte da URSS), em 1986, deixou o mundo inteiro preocupado com os riscos associados à energia nuclear. Projetos de construção de novas usinas foram paralisados ou mesmo cancelados.

No ano seguinte, no Brasil, a preocupação ganhou ares de histeria após o acidente com o Césio 137, em Goiânia. Embora tenha mais relação com a medicina nuclear (onde era empregado o césio) do que com a geração de energia, o acidente de 1987 amplificou no Brasil o medo das usinas nucleares, que já tinha sido despertado por Chernobyl.

Globalmente, os perigos do uso da energia nuclear voltaram a preocupar as pessoas no contexto do acidente com a Usina Nuclear de Fukushima, após o terremoto seguido de tsunami que aconteceu no Japão, em março de 2011.

## Aula 10 – Alternativas energéticas para o futuro

Ao longo do semestre, vimos que a busca por fontes de energia está entrelaçada com a história da humanidade, com o seu passado e com o seu presente. Hoje, nesta última aula, dia de confraternização, veremos rapidamente algumas entre as alternativas energéticas para o futuro.

### Alternativas energéticas não renováveis

#### 1. Gás Natural

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos (compostos de carbono e de hidrogênio), de origem fóssil. Pode ser encontrado em regiões que também apresentam petróleo, mas existem locais que têm gás natural mas não têm petróleo. O principal hidrocarboneto do gás natural é o gás metano,  $\text{CH}_4$ .



FIGURA 52 GASODUTO BOLÍVIA-BRASIL (TAMBÉM CONHECIDO COMO GASODUTO BRASIL-BOLÍVIA) TRAZ GÁS DAS REGIÕES PRODUTORAS NA BOLÍVIA PARA OS CENTROS CONSUMIDORES BRASILEIROS.

#### 2. Hidratos de metano

São pedras de “gelo” contendo metano aprisionado. São encontrados no permafrost (camada de gelo permanente no subsolo de regiões frias e no fundo dos oceanos). A composição química é  $\text{CH}_4 \cdot 5,75\text{H}_2\text{O}$ . O “gelo que pega fogo” pode ser derretido e ter o metano separado da água e utilizado como combustível. Existe muito mais hidrato de metano do que petróleo no mundo. Assim como a queima do petróleo, a queima do hidrato de metano libera o gás estufa  $\text{CO}_2$ .

É importante lembrar que nem o gás natural nem o hidrato de metano é considerado “carbono neutro”. Tanto um quanto outro liberam  $\text{CO}_2$  na atmosfera. O hidrato de metano pode inclusive aumentar o aquecimento global se começar a ser explorado comercialmente.

### Alternativas energéticas renováveis

#### 1. Energia solar fotovoltaica

Os fótons de luz excitam os elétrons a um estado mais alto de energia. Os elétrons passam da banda de valência para a banda de condução, tornando-se portadores de carga em uma corrente elétrica. Assim, a energia solar pode ser transformada diretamente em energia elétrica. Embora sejam processos semelhantes o efeito fotovoltaico e o efeito fotoelétrico são diferentes, no efeito fotovoltaico os elétrons mudam de nível, no efeito fotoelétrico eles são ejetados do átomo pela colisão com os fótons.

#### 2. Energia solar térmica concentrada, energia termoeétrica solar, energia heliotérmica ou fazenda solar

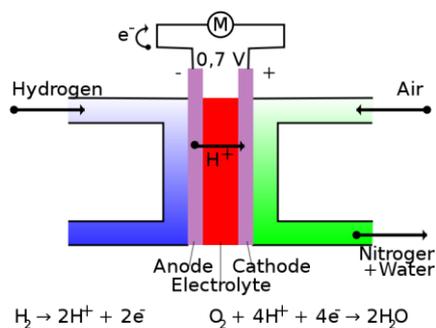
Milhares de espelhos direcionam a luz solar que refletem para o mesmo ponto, onde existe uma caldeira com água. A temperatura no ponto alvo dos espelhos pode chegar a  $1000^\circ\text{C}$ , a água ferve, transforma-se em vapor e o vapor em expansão move uma turbina. A rotação de um alternador conectado à turbina “gera” energia elétrica.



FIGURA 53 A USINA TERMOELÉTRICA SOLAR ESPANHOLA SOLÚCAR PS10 FOI A PRIMEIRA EXPLORADA COMERCIALMENTE NO MUNDO. A ESPANHA É O PAÍS QUE MAIS UTILIZA ESSA TECNOLOGIA. EM SEGUNDO LUGAR ESTÃO OS ESTADOS UNIDOS.

#### 3. Célula de Combustível

A célula de combustível é um dispositivo eletroquímico em que uma substância sofre oxidação (agente redutor ou combustível) e a outra sofre redução (agente oxidante ou comburente). Esse dispositivo transforma energia química em energia elétrica. A mais comum é a que usa o hidrogênio como agente redutor, o oxigênio como agente oxidante e a platina como catalisador. Entre as aplicações das células de combustível, pode-se citar o fornecimento de eletricidade para residências e para impulsionar automóveis elétricos.



**FIGURA 54 CÉLULA DE COMBUSTÍVEL COMUM, USANDO O HIDROGÊNIO COMO COMBUSTÍVEL E O OXIGÊNIO COMO COMBURENTE. OBSERVE QUE ENTRA AR E SAI NITROGÊNIO (O OXIGÊNIO E O HIDROGÊNIO SAEM COMO ÁGUA)**

#### 4. Energia geotérmica

É considerada renovável porque o calor retirado da Terra é desprezível em relação à energia térmica disponível no interior do planeta.



**FIGURA 55 USINA TERMOELÉTRICA NAS FILIPINAS. ÁGUA É LANÇADA EM UM POÇO PROFUNDO. É AQUECIDA NO FUNDO PELO CALOR IRRADIADO A PARTIR DO MAGMA E VOLTA COMO VAPOR SOB PRESSÃO, MOVENDO UMA TURBINA CONECTADA A UM ALTERNADOR. "GERA-SE" ASSIM ELETRICIDADE. AS FILIPINAS, ARQUIPÉLAGO VULCÂNICO, É O PAÍS DO MUNDO QUE MAIS USA ENERGIA GEOTÉRMICA. A ISLÂNDIA É OUTRO EXEMPLO DE SUCESSO.**

#### 5. Energia eólica

Em aulas anteriores comentamos o uso de turbinas eólicas instaladas em grandes torres para transformar a energia eólica (energia cinética do vento) em eletricidade. Esse modelo, que deriva dos moinhos de vento, é o mais comum atualmente, mas há estudos novos que capturam os poderosos ventos de grandes altitudes, com o uso de pipas gigantes ou balões.

#### 6. Energia das ondas e das marés

A energia cinética das ondas e das marés pode ser transformada em movimento de rotação com o uso de

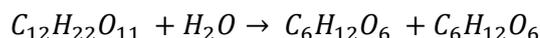
sistemas de flutuadores e engrenagens, fazendo girar o eixo de um alternador, produzindo eletricidade.

O Brasil está fabricando protótipos de equipamentos que usam a energia cinética das ondas. Os primeiros têm previsão de entrar em funcionamento já em 2015, no mar próximo à Praia de Ipanema (RJ).

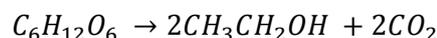
#### 7. Biomassa

Já discutimos o uso do etanol como combustível, a partir da fermentação do açúcar da cana (sacarose).

Hidrólise da sacarose, originando os isômeros glicose e frutose:



Fermentação da glicose, originando ao final duas moléculas de etanol e duas moléculas de CO<sub>2</sub>.



O metano (CH<sub>4</sub>) ou o hidrogênio (H<sub>2</sub>) também podem ser obtidos por reações de transformação bacteriana de diversos compostos orgânicos.

Um triglicerídeo é um tipo de lipídio pertencente à função éster e que pode ser um óleo ou uma gordura. Pode ter origem vegetal ou animal. A reação abaixo, de um triglicerídeo com o etanol ou com o metanol é chamada de transesterificação, e origina um éster de cadeia longa que substitui o óleo diesel e é chamado biodiesel. O Brasil desenvolve tecnologia própria na produção de biodiesel.



É importante lembrar que biocombustíveis como etanol e biodiesel liberam para a atmosfera somente o carbono que um dia foi capturado pela atmosfera através da fotossíntese. Essa é uma vantagem ambiental importante em relação ao petróleo, que só libera CO<sub>2</sub> e não retira CO<sub>2</sub> da atmosfera.

#### Finalizando

Energia é um assunto que não se esgota. Há muito mais para se falar, mas o tempo é nosso limitante. Gostaria de encerrar agradecendo à professora Débora e aos alunos pela acolhida e pela atenção da turma durante este semestre letivo. Um grande abraço e muita energia !!!

Juliano

## Atividades complementares e exercícios – Para serem desenvolvidos no caso de sobrar tempo no curso

### Atividade 1

Vimos que o biodiesel é um combustível obtido por transesterificação. Pode-se usar como matéria prima a soja ou outras sementes oleaginosas. Observe a figura abaixo, reflita e responda ao que se pede.



FIGURA 56 ÔNIBUS MOVIDO A BIODIESEL DE SOJA

- O diesel é um combustível renovável?
- E o biodiesel, pode ser considerado um combustível renovável?
- Biocombustível emite  $\text{CO}_2$ ? Qual a grande vantagem em termos de emissões de um biocombustível em relação aos combustíveis fósseis?

### Atividade 2

Leia o texto abaixo, divulgado para o público brasileiro pela Eletrobras / Eletronuclear, após o acidente nuclear de Fukushima.

<http://www.eletronuclear.gov.br/>

O acidente com a central de Fukushima promoveu em todo o mundo novos estudos, debates e posicionamentos, que, obviamente, estão retardando eventuais tomadas de decisão sobre novos empreendimentos nucleares, aí incluído o processo de seleção de sítios. Entretanto, as mesmas razões que levaram o mundo a planejar o aumento da participação nuclear na matriz internacional de geração de

eletricidade ainda estão presentes. Em particular no Brasil, onde a demanda reprimida de eletricidade é significativa, caso tenhamos como padrão o nível de consumo de países desenvolvidos, que se inicia em aproximadamente 5.000 KWh/pessoa/ano, valor este cerca de 100% superior ao nosso atual patamar de consumo de eletricidade.

O acidente nuclear no Japão não implica elementos objetivos que possam alterar os rumos atuais do Programa Nuclear Brasileiro, a não ser a incorporação das lições técnicas que estão sendo aprendidas, que aperfeiçoarão sua segurança num processo de melhoria contínua.

- Com base em uma leitura crítica do texto, explique com suas palavras se o acidente no Japão afetou o Programa Nuclear Brasileiro, e de que forma.
- Diante do que estudamos sobre energia e do relato dos acidentes envolvendo energia nuclear, você é favorável ou contrário ao uso da energia nuclear? Justifique.

### Atividade 3

Se a gente imaginar os cerca de 500 mil anos de evolução social humana como um relógio de doze horas, então a época industrial moderna, iniciada na revolução industrial, representa o último minuto, aproximadamente 60 segundos em um dia inteiro, não mais do que isso. Quais as dificuldades de tentar compreender a ampla era pré-industrial na evolução humana?

### Atividade 4

Em grupos de até três alunos, pesquise sobre um dos seguintes assuntos relacionados ao tema energia. O professor organizará os grupos de modo a haver uma distribuição equilibrada dos assuntos entre os grupos:

- Fale sobre a história da energia elétrica, o significado físico de corrente contínua e corrente alternada, e a luta pela predominância de uma ou de outra no final do século XIX e início do século XX.
- Explique com as suas palavras e usando esquemas ou desenhos o funcionamento de uma turbina d'água em uma usina hidrelétrica.
- Disserte sobre a importância da construção de hidrelétricas para a renovação da matriz energética dos EUA e para a superação da crise de 1929. Faça um paralelo com o chamado "Milagre Econômico" brasileiro.

4. Explique o que são (que combustíveis usam, como são abastecidos, como funcionam...) os carros flex, híbridos e elétricos.

## EXERCÍCIOS

1. (ENEM 2003 – Questão 34) Na música "Bye, bye, Brasil", de Chico Buarque de Holanda e Roberto Menescal, os versos

"puseram uma usina no mar

talvez fique ruim pra pescar"

poderiam estar se referindo à usina nuclear de Angra dos Reis, no litoral do Estado do Rio de Janeiro.

No caso de tratar-se dessa usina, em funcionamento normal, dificuldades para a pesca nas proximidades poderiam ser causadas

(A) pelo aquecimento das águas, utilizadas para refrigeração da usina, que alteraria a fauna marinha.

(B) pela oxidação de equipamentos pesados e por detonações que espantariam os peixes.

(C) pelos rejeitos radioativos lançados continuamente no mar, que provocariam a morte dos peixes.

(D) pela contaminação por metais pesados dos processos de enriquecimento do urânio.

(E) pelo vazamento de lixo atômico colocado em tonéis e lançado ao mar nas vizinhanças da usina.

2. (Fuvest-SP) Os principais constituintes do gás de lixo e do gás liquefeito de petróleo são, respectivamente, o metano e o butano.

a) Comparando volumes iguais dos dois gases, nas mesmas condições de pressão e temperatura, qual deles fornecerá maior quantidade de energia na combustão? Justifique sua resposta a partir da hipótese de Avogadro para os gases.

b) Poder calorífico de um combustível pode ser definido como a quantidade de calor liberado por quilograma de material queimado. Calcule o poder calorífico do gás metano.

(Massas molares: metano = 16 g/mol; butano = 58 g/mol. Calores de combustão ( $\Delta H$ ): metano = 208 kcal/mol;

butano = 689 kcal/mol)

3. (ENEM 2003 – Questão 41) No Brasil, o sistema de transporte depende do uso de combustíveis fósseis e de biomassa, cuja energia é convertida em movimento de veículos. Para esses combustíveis, a transformação de energia química em energia mecânica acontece

(A) na combustão, que gera gases quentes para mover os pistões no motor.

(B) nos eixos, que transferem torque às rodas e impulsionam o veículo.

(C) na ignição, quando a energia elétrica é convertida em trabalho.

(D) na exaustão, quando gases quentes são expelidos para trás.

(E) na carburação, com a difusão do combustível no ar.

4. (ENEM 2004 – Questão 60) Na fabricação de qualquer objeto metálico, seja um parafuso, uma panela, uma jóia, um carro ou um foguete, a metalurgia está presente na extração de metais a partir dos minérios correspondentes, na sua transformação e sua moldagem. Muitos dos processos metalúrgicos atuais têm em sua base conhecimentos desenvolvidos há milhares de anos, como mostra o quadro:

MILÊNIO ANTES DE CRISTO	MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E OPERAÇÃO
quinto milênio a.C.	Conhecimento do ouro e do cobre nativos
quarto milênio a.C.	Conhecimento da prata e das ligas de ouro e prata Obtenção do cobre e chumbo a partir de seus minérios Técnicas de fundição
terceiro milênio a.C.	Obtenção do estanho a partir do minério Uso do bronze
segundo milênio a.C.	Introdução do fole e aumento da temperatura de queima Início do uso do ferro
primeiro milênio a.C.	Obtenção do mercúrio e dos amálgamas Cunhagem de moedas

(J. A. VANIN, Alquimistas e Químicos)

Podemos observar que a extração e o uso de diferentes metais ocorreram a partir de diferentes épocas. Uma das razões para que a extração e o uso do ferro tenham ocorrido após a do cobre ou estanho é

(A) a inexistência do uso de fogo que permitisse sua moldagem.

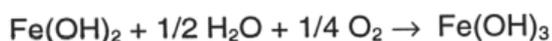
(B) a necessidade de temperaturas mais elevadas para sua extração e moldagem.

(C) o desconhecimento de técnicas para a extração de metais a partir de minérios.

(D) a necessidade do uso do cobre na fabricação do ferro.

(E) seu emprego na cunhagem de moedas, em substituição ao ouro.

5. (ENEM 2004 – Questão 61) Ferramentas de aço podem sofrer corrosão e enferrujar. As etapas químicas que correspondem a esses processos podem ser representadas pelas equações:



Uma forma de tornar mais lento esse processo de corrosão e formação de ferrugem é engraxar as ferramentas. Isso se justifica porque a graxa proporciona

(A) lubrificação, evitando o contato entre as ferramentas.

(B) impermeabilização, diminuindo seu contato com o ar úmido.

(C) isolamento térmico, protegendo-as do calor ambiente.

(D) galvanização, criando superfícies metálicas imunes.

(E) polimento, evitando ranhuras nas superfícies.

6. Enem 2012

Os carrinhos de brinquedo podem ser de vários tipos. Dentre eles, há os movidos a corda, em que uma mola em seu interior é comprimida quando a criança puxa o carrinho para trás. Ao ser solto, o carrinho entra em

movimento enquanto a mola volta à sua forma inicial. O processo de conversão de energia que ocorre no carrinho descrito também é verificado em

A um dínamo.

B um freio de automóvel.

C um motor a combustão.

D uma usina hidroelétrica.

E uma atiradeira (estilingue).

### SUBTEMAS COMPLEMENTARES

Futuramente serão elaboradas aulas e/ou questões contendo os seguintes subtemas:

1. Energia potencial gravitacional e pressão nas pirâmides e as razões desse tipo de construção ter aparecido em diferentes civilizações.
2. Fogo grego.



FIGURA 57 FOGO GREGO. DOMÍNIO PÚBLICO

3. Gradiente de insolação, regimes de ventos e o ciclo da água.
4. Estudo de acoplamento de polias em moinhos de água e de vento – velocidade angular e linear e conceitos correlatos.
5. Energia humana e gênero ao longo da história.

# ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1 O SOL É A PRINCIPAL FONTE DE ENERGIA PRIMÁRIA NA TERRA. Fonte: Wikimedia Commons. Todas as figuras neste trabalho têm essa fonte, exceto quando indicado de outra maneira. ....	3
Figura2: Isaac Newton.....	3
Figura 3: James Watt.....	3
Figura 4 EXISTE TRABALHO QUANDO PUXAMOS UMA MALA.....	3
Figura 5 Quando a halterofilista Svetlana Podobedova ergue um haltere do chão até o alto, no haltere ocorre acúmulo de energia potencial.....	4
Figura6 Julius von Mayer .....	5
Figura 7: James Joule .....	5
Figura 8 De acordo com a 2ª Lei da Termodinâmica, o calor passa espontaneamente do reservatório quente (hot reservoir) para o frio (cold reservoir) .....	5
Figura 9: Albert Einstein.....	6
Figura 10 Explosão nuclear .....	6
Figura 11: representação de uma família pré-histórica.....	9
Figura 12 A Vênus de Willendorf -estatueta com provável função religiosa para as pessoas do paleolítico .....	10
Figura 13 Arado puxado por uma junta de dois bois, representado em petroglifo (desenho na pedra) da Idade do Bronze .....	11
Figura 14 O Crescente fértil, inclui especialmente a Mesopotâmia, entre os rios Tigre e Eufrates, oásis gigante entre desertos, berço da agricultura e da civilização humana. Mesopotâmia significa "entre rios".....	11
Figura 15 Agricultor na Indonésia usando um arado puxado por um boi, semelhante aos que eram usados no Neolítico .....	12
Figura 16 Mapa da Intolerância à Lactose. Quem tem no seu DNA os genes herdados das populações neolíticas do norte da Europa, que criavam gado leiteiro, pode incluir leite e derivados em sua dieta sem sofrer os efeitos intestinais desagradáveis da intolerância à lactose.....	13
Figura 17 Carrinho puxado a mão, Civilização do Vale do Rio Indo (5000–3500 AP). National Museum of New Delhi.14	
Figura 18 Representação da queda das muralhas de Jericó. por Gustave Doré. Domínio público. ....	15
Figura 19 Diagrama de fases do bronze (cobre com estanho) .....	16
Figura 20 Mina de cobre da idade dos Metais, situada em Israel .....	17
Figura 21 No jogo Minecraft, o personagem Steve começa usando ferramentas de madeira, depois de pedra, e depois de metal, uma referência à sequência do desenvolvimento tecnológico humano. ....	17
Figura 22 Réplica de como teria sido uma fornalha para produção de ferro. O carvão vegetal e o minério de ferro eram inseridos pela chaminé, o ar era assoprado na abertura inferior, para promover a combustão incompleta do carvão, produzindo CO usado na redução do minério a ferro metálico. O ferro, semilíquido era muito denso, descia e era recolhido na parte inferior da fornalha. O processo deixava mais ou menos 1% de carbono, permitindo produzir aço (Fe+C).....	19
Figura 23 Pilar de Ferro de Délhi. Esse pilar, exemplo da técnica dos ferreiros indianos da antiguidade, mede 7 metros de altura e resiste a sol e chuva há mais de 1600 anos. Hoje, se a gente instala um portão de ferro em uma casa em uma região úmida, fica feliz se ele não se desmanchar em ferrugem em dez anos. ....	20
Figura 24 Esquema de fornalha para produção de ferro. O ar era soprado por baixo e saía pela chaminé superior, o carvão (em preto) era misturado ao minério (em marrom), no interior da fornalha. O ferro obtido saía por baixo, e era recolhido em estado pastoso. Desenho (horroroso) do autor .....	20
Figura 25 Evolução de algumas letras do alfabeto .....	22
Figura 26 Hieróglifos egípcios significando, respectivamente, "viajar para o sul" e "viajar para o norte". Desenho do autor.....	22
Figura 27 Mapa do Egito Antigo.....	22
Figura 28 Forças na navegação a vela.....	23
Figura 29 Diagrama de forças .....	23
Figura 30 Miniatura de Monjolo, mostrando suas principais partes. Até hoje são encontrados monjolos funcionando no interior do Brasil. Acervo pessoal .....	24

Figura 31 Mapa da Grécia, mostrando a leste o mar Egeu, a oeste o mar Jônio e ao sul o mar mediterrâneo .....	24
Figura 32 Mapa da Europa no ano 814. Note a fragmentação política da Península Itálica após a queda do Império Romano do Ocidente e a persistência da unidade política do Império Bizantino ou Império Romano do Oriente.	
Domínio público .....	25
Figura 33 Detalhe de uma cena bas-de-page (de rodapé) mostrando um eremita bêbado e uma mulher se abraçando no chão ao lado de um moinho de VENTO; o moleiro (operador do moinho) surge para tirar satisfação, carregando uma marreta. ....	26
Figura 34 Interior de um moinho de vento.....	27
Figura 35 Parafuso de Arquimedes.....	27
Figura 36 Moinho de vento utilizado inicialmente para drenar o polder que aparece no canto inferior esquerdo da foto. Hoje esse trabalho é executado pela eletricidade originada das turbinas eólicas que aparecem ao fundo.....	28
Figura 37 Conquista da América pelos espanhóis, retratada por ilustrador asteca da época Domínio Público .....	29
Figura 38 Navios do mundo retratados por Fra Mauro. As figuras sugerem que os navios chineses (à esquerda) eram um pouco maiores que os europeus (à direita). Na verdade as embarcações chinesas geralmente tinham muito mais que o dobro do tamanho das europeias.....	30
Figura 39 Esquema da Máquina a Vapor de Papin, fabricada em 1707, uma das primeiras máquinas a vapor usadas para drenar água de minas. O fogo produzido pela queima do carvão fazia a água ferver, transformando-se em vapor (A). A expansão do vapor provocava o movimento do pistão (F). Esse movimento bombeava água do interior da mina (y) em direção ao depósito (N). Com os aperfeiçoamentos desenvolvidos principalmente por James Watt, esse movimento passou a ser melhor aproveitado, transferido à roda de transmissão, acoplada a outras máquinas por sistema de polias e engrenagens que fornecem energia cinética para máquinas de diversos tipos. ....	32
Figura 40 Motor Stirling em miniatura – Acervo pessoal .....	33
Figura 41 Esquema de um motor Stirling .....	33
Figura 42 Diagrama Pressão x Volume para o Ciclo de Stirling.....	33
Figura 43 A Liberdade Guiando o Povo – Quadro de Delacroix Representando a revolução liberal de 1830, na França Domínio Público .....	34
Figura 44 Primeira usina hidrelétrica do mundo, APPLETON, EUA, 1882 Fonte: “Dam across river, Appleton, Wis.,” 1880-1889. Prints and Photographs Division, Library of Congress. Reproduction Number LC-D4-4783 DLC.....	34
Figura 45 Fordismo - produção em série do “modelo a” .....	35
Figura 46 Mussolini (Ditador da Itália) e Hitler (Ditador da Alemanha) .....	35
Figura 47 Gráfico dos preços do petróleo de 1861 a 2007 mostrando os picos de 1973 e 1979. a linha laranja representa os preços corrigidos pela inflação .....	36
Figura 48 Embarcação no meio de cidade japonesa após o tsunami de 2011. ....	37
Figura 49 Fissão Nuclear - As 3 “bolinhas” na parte inferior do desenho representam os nêutrons liberados, geralmente em número de 2 ou 3. ....	38
Figura 50 Fusão Nuclear. Núcleos de hidrogênio pesado (deutério) e superpesado (trítio) colidem energeticamente, vencem a barreira da repulsão elétrica entre os prótons e passam a se submeter à força nuclear. Forma-se um núcleo instável de Hélio 5 que rapidamente decai a Hélio 4, expelindo um nêutron.....	38
Figura 51 Esquema de usina nuclear – A fissão do Urânio 235 produz calor, transferido através de um fluido pressurizado (circuito primário) para uma massa de água, que se transforma em vapor (circuito secundário). O vapor move as pás de uma turbina, provocando o movimento de ímãs no alternador, o que produz corrente elétrica alternada. O vapor volta ao estado líquido quando troca calor com a água de refrigeração, geralmente obtida em um rio próximo.....	38
Figura 52 Gasoduto Bolívia-Brasil (também conhecido como gasoduto Brasil-Bolívia) traz gás das regiões produtoras na Bolívia para os centros consumidores brasileiros.....	39
Figura 53 A usina termoelétrica solar espanhola Solúcar PS10 foi a primeira explorada comercialmente no mundo. A Espanha é o país que mais utiliza essa tecnologia. Em segundo lugar estão os Estados Unidos.....	39
Figura 54 Célula de combustível comum, usando o hidrogênio como combustível e o oxigênio como comburente. Observe que entra ar e sai nitrogênio (o oxigênio e o hidrogênio saem como água).....	40
Figura 55 Usina termoelétrica nas Filipinas. Água é lançada em um poço profundo. É aquecida no fundo pelo calor irradiado a partir do magma e volta como vapor sob pressão, movendo uma turbina conectada a um alternador.	

"Gera-se" assim eletricidade. As Filipinas, arquipélago vulcânico, é o país do mundo que mais usa energia geotérmica. A Islândia é outro exemplo de sucesso. ....	40
Figura 56 Ônibus movido a biodiesel de soja .....	41
Figura 57 Fogo Grego. Domínio público .....	43

## ALGUNS QUESTIONAMENTOS DOS ALUNOS QUE SURTIRAM AO LONGO DA EXECUÇÃO DO TRABALHO, E QUE PODEM FOMENTAR DISCUSSÕES INTERESSANTES

46

De um modo geral os alunos foram bastante participativos e desafiadores em seus questionamentos, que muitas vezes não envolviam apenas as disciplinas de Física e de Química, mas também de História, Geografia, etc. Temas de geopolítica também foram tratados na medida em que os alunos manifestavam curiosidade.

Entre esses questionamentos, foram selecionados três:

1. Alunos perguntaram sobre o Estado Islâmico, quando discutimos a Energia na Antiguidade.

Foi possível fazer um paralelo entre o cenário cultural e político do Oriente Médio na Antiguidade e atualmente.

2. Ainda quando estudávamos a Energia na Antiguidade, uma aluna perguntou: Na Grécia havia classes sociais ou... como era a outra forma que nós víamos na aula de sociologia...?

Eu respondi: Estamentos? (Aluna concordou)

Eu comentei: Acho que na Grécia a posição de cada pessoa na sociedade não era completamente rígida como no sistema de castas da Índia, por exemplo. Havia pequena possibilidade de alteração da posição social, mas vou ler mais sobre o assunto.

Pesquisei e na aula seguinte comentei que em Esparta, especificamente, a divisão social era em estamentos.

3. Quando falávamos sobre a energia do vento, utilizada pelos egípcios para subir o rio Nilo, surgiu o problema da falta de quilha nos barcos do Egito antigo, que dificultava o direcionamento do barco, um aluno que velejava me corrigiu, dizendo que o que eu tinha desenhado não se chamava quilha, mas bolina. Pesquisei e acabei descobrindo algumas diferenças entre quilha e bolina. De qualquer modo, o que faltava aos barcos egípcios era a quilha, dado secundário em relação à discussão, mas que acabou fomentando a participação dos alunos na aula.