



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

## **Produção de Energia Nuclear em relação à Matriz Energética: um enfoque CTS**

Roberta Pereira Telles Vieira  
Deise Miranda Vianna

Material instrucional associado à dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Rio de Janeiro

fevereiro de 2017

# Sumário

<b>Apêndice A Referencial Teórico .....</b>	<b>4</b>
A.1 Primeira etapa .....	4
A.1.1 Usinas termoelétricas. ....	4
A.1.2 Usinas hidrelétricas .....	5
A.1.3 Biomassa .....	6
A.1.4 Eólica .....	7
A.1.5 Energia das marés. ....	9
A.1.6 Nuclear. ....	11
A.1.7 Solar. ....	12
A.2 Segunda etapa .....	14
A.2.1 Composição e estabilidade nuclear. ....	14
A.2.2 Decaimentos radioativos. ....	14
A.3 Terceira etapa .....	17
A.4 Quarta etapa .....	19
A.4.1 Fissão Nuclear. ....	19
A.4.2 Reação em cadeia. ....	20
A.5 Quinta etapa .....	23
A.5.1 Lixo Nuclear e acidentes em usinas nucleares. ....	22
A.5.2 Fusão Nuclear. ....	23
Referências Bibliográficas. ....	25
<b>Apêndice B Material do Professor .....</b>	<b>28</b>
B.1 Primeira etapa: Compreendendo uma notícia de jornal. ....	28
B.2 Segunda etapa: Entendendo os decaimentos radioativos. ....	35
B.2.1 Composição e Estabilidade Nuclear. ....	35
B.2.2 Decaimentos radioativos. ....	35

B.3 Terceira etapa: Sobre o tempo de meia-vida.....	40
B.4 Quarta etapa: Fissão Nuclear e Reação em cadeia.....	43
B.5 Quinta etapa: Analisando a Matriz Energética Brasileira e Fusão Nuclear como perspectiva futura para geração de energia elétrica .....	46
B.5.1 Análise crítica da geração da energia nuclear .....	46
B.5.2 Fusão Nuclear.....	51
Referências Bibliográficas.....	53
<b>Apêndice C Material do Aluno.....</b>	<b>55</b>
C.1 Primeira etapa .....	55
C.2 Segunda etapa .....	58
C.3 Terceira etapa.....	58
C.4 Quarta etapa .....	59
C.5 Quinta etapa .....	60
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>61</b>

## **Apêndice A – Referencial Teórico**

### **A.1 Primeira etapa**

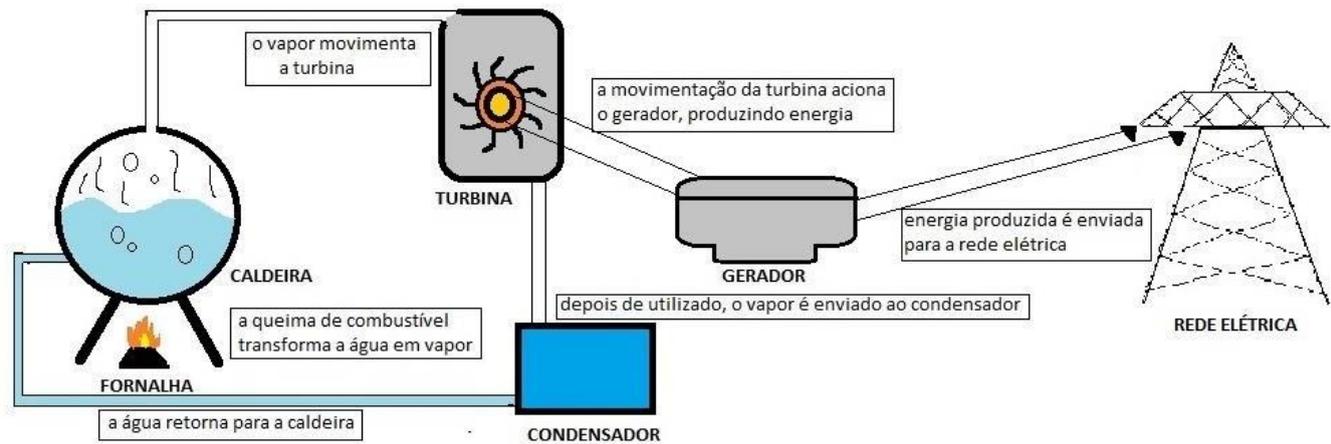
A primeira etapa da proposta de aula é destinada ao debate dos modos de produção de energia que apresentam percentuais consideráveis nas matrizes dos últimos anos e a energia solar. Portanto, disponibiliza-se para o professor informações sobre as modalidades de geração de energia que serão discutidas em sala de aula. Esta discussão será iniciada pelo debate de uma matéria de jornal (contida na primeira etapa do Apêndice C) e desenvolvida com auxílio de imagens projetadas para a turma (imagens citadas no Apêndice B).

#### *A.1.1 Usinas termoelétricas*

As usinas termoelétricas são instalações industriais que produzem energia a partir do calor gerado pela queima de combustíveis fósseis. O carvão é um combustível muito poluente, porém tem baixo custo e é encontrado abundantemente. Este combustível é amplamente utilizado no setor siderúrgico e sustenta grande parte da produção industrial. O gás também é uma fonte energética abundante utilizada principalmente na indústria e na produção de energia. Sua produção, distribuição e comercialização exigem cuidados especiais que dificultam seu uso mais amplo. O petróleo é mais comumente consumido através de seu derivado, o óleo diesel. A substituição do petróleo como fonte de energia se torna necessária devido à sua importância como matéria prima. Esses são os três combustíveis mais utilizados nas usinas termoelétricas.

Para a produção de energia elétrica, aquece-se uma caldeira com água através da queima de combustíveis fósseis. A água da caldeira, conseqüentemente, será transformada em vapor. O vapor irá movimentar pás de uma turbina que movimentará um gerador. Após o vapor ter movimentado as turbinas ele é enviado a um condensador para ser resfriado e transformado em água líquida para ser reenviado ao caldeirão novamente, para início de um novo ciclo. Esse vapor pode ser resfriado utilizando água de um rio, lago ou mar gerando assim um aquecimento da água e conseqüentemente, uma diminuição do oxigênio. Outra maneira de resfriar este vapor é utilizando água armazenada em torres que, por sua vez, é enviada em forma de vapor a atmosfera, alterando o regime de chuvas. (TOFFOLI, 2016)

A Figura 1 ilustra as etapas da produção energética nas usinas termoelétricas.



**Figura 1** – Produção de energia elétrica através de usinas termoeletricas. Fonte: ENERGIA CPE, 2012.

O grande impacto ambiental causado pelas usinas termoeletricas é que após a queima dos combustíveis fósseis, estes são soltos na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global através do efeito estufa e de chuvas ácidas. Além disso, é um modo caro de produção de energia devido ao transporte de combustíveis.

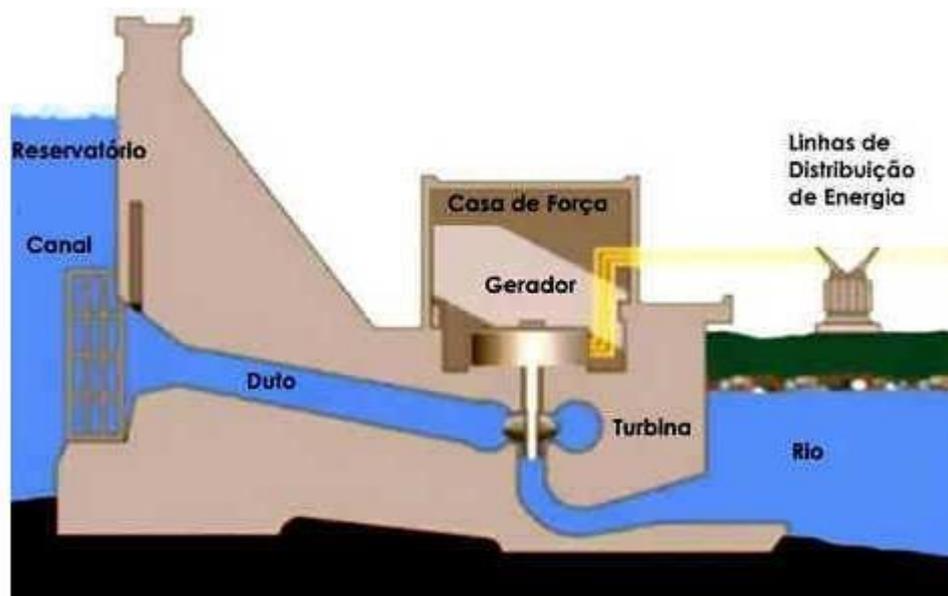
Entretanto, as usinas termoeletricas também apresentam vantagens. Elas podem ser construídas próximas a centros urbanos, diminuindo as linhas de transmissões e desperdiçando menos energia. Também deve ser considerado que é um meio de produção que não depende de nenhum fator da natureza, como por exemplo, as hidrelétricas que dependem das chuvas.

### A.1.2 Usinas hidrelétricas

Nas usinas hidrelétricas, a energia mecânica proveniente da altura da queda de água e da velocidade da água é convertida em energia elétrica por meio de um gerador que é acionado por uma turbina hidráulica. As usinas devem ser construídas no encontro de vários rios. Há necessidade de desníveis para a água adquirir velocidade. É construída então uma barragem para que a água seja represada; esta deve ter uma grande altura para a água adquirir mais velocidade durante a queda.

A produção de energia elétrica através das usinas hidrelétricas ainda é responsável pela maior parte de produção de energia do país e é uma das poucas fontes que não contribui para o aquecimento global – preocupante problema ambiental da atualidade. O principal argumento contrário à construção das hidrelétricas é o impacto provocado sobre o modo de vida de populações ribeirinhas, flora e fauna locais devido à formação de grandes lagos ou reservatórios e ainda o aumento do nível dos rios ou alterações em seu curso após o represamento.

A água que sai do reservatório chega à casa de força com velocidade alta, onde estão instaladas as turbinas e os geradores, conforme mostra a Figura 2.



**Figura 2** – Produção de energia elétrica nas usinas hidrelétricas. Fonte: PORTAL SÃO FRANCISCO, 2016.

Cada turbina é formada por uma série de pás ligadas a um eixo, que é ligado ao gerador. A água movimenta essas pás que produzem um movimento giratório do eixo da turbina. O gerador é um equipamento composto por um ímã e um fio bobinado. O movimento do eixo da turbina produz um campo magnético dentro do gerador, produzindo assim eletricidade que será transportada pelas linhas de distribuição de energia.

### A.1.3 Biomassa

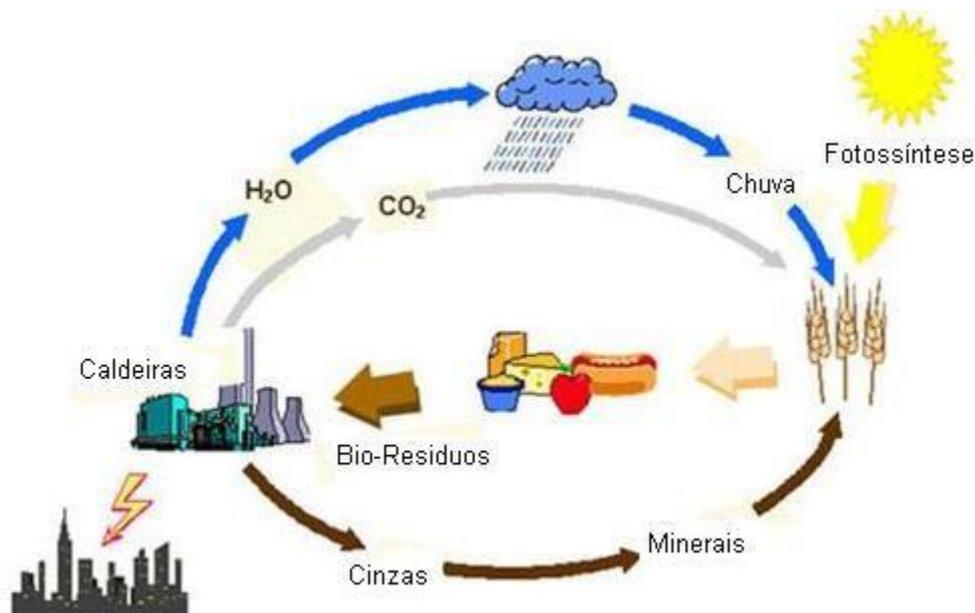
Do ponto de vista da geração de energia, o termo Biomassa abrange os derivados recentes de organismos vivos utilizados como combustíveis ou para sua produção. Do ponto de vista da ecologia, biomassa é a quantidade total de matéria viva existente num ecossistema ou em uma população animal ou vegetal.

Na definição de biomassa para a geração de energia excluem-se os tradicionais combustíveis fósseis. Ela pode ser considerada um recurso natural renovável, enquanto que os combustíveis fósseis não se renovam em curto prazo. É utilizada na produção de energia a partir de processos como a combustão de material orgânico produzida e acumulada em um ecossistema. Parte dessa energia acumulada é empregada pelo ecossistema para sua própria manutenção. Os tipos de biomassa são diversos, e entre eles, podemos destacar: lenha, cana de açúcar, serragem, papel e galhos.

A queima de Biomassa provoca a liberação de dióxido de carbono na atmosfera, mas como este composto havia sido previamente absorvido pelas plantas que deram origem ao combustível, o balanço das emissões de  $CO_2$  é nulo.

A Figura 3 é um esquema didático que representa a geração de energia através

da Biomassa. O esquema mostra desde a chegada dos Bio-Resíduos e no que são transformados.



**Figura 3** – Ciclo da Energia Biomassa. Fonte: SUSTENTABILIZE, 2011.

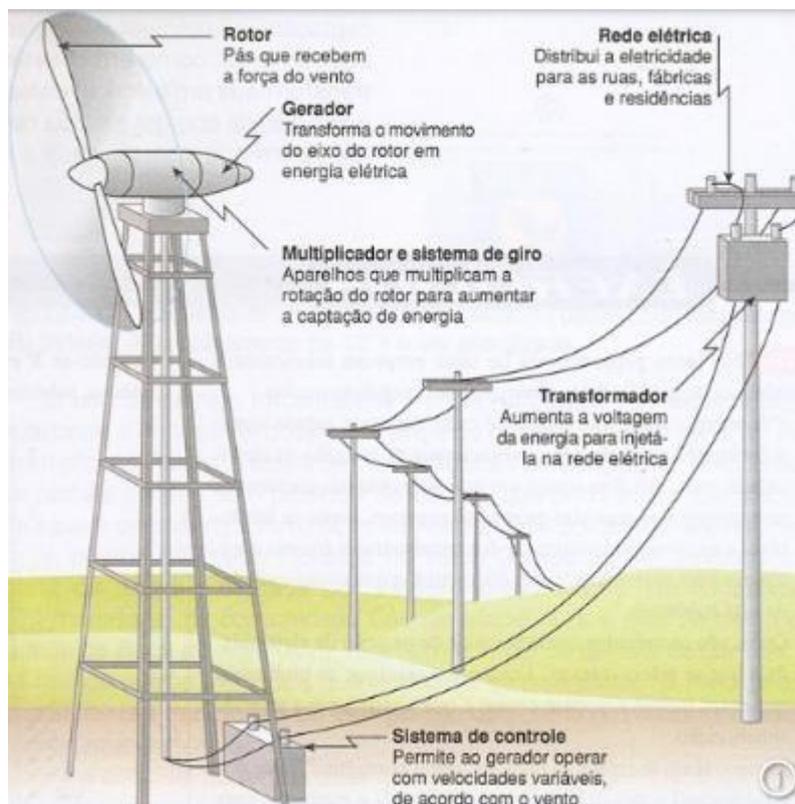
Atualmente, o recurso de maior potencial para geração de energia elétrica no país é o bagaço de cana-de-açúcar. Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora de eficiência reduzida, é uma fonte renovável, apresenta baixo impacto ambiental na geração de energia e seu aproveitamento pode ser feito diretamente por intermédio da combustão em fornos, caldeiras etc. O aproveitamento energético e racional da biomassa tende a promover o desenvolvimento de regiões menos favorecidas economicamente, por meio da criação de empregos e da geração de receita, reduzindo o problema do êxodo rural e a dependência externa de energia.

Do ponto de vista técnico-econômico, os principais entraves ao maior uso da biomassa na geração de energia elétrica são a baixa eficiência termodinâmica das plantas e custos relativamente altos de produção e transporte. De um modo mais genérico, incluindo aspectos socioambientais, verifica-se a necessidade de maior gerenciamento do uso e ocupação do solo, devido à falta de regularidade no suprimento, criação de monoculturas etc (ANEEL, Atlas Biomassa, 2002).

#### *A.1.4 Eólica*

A energia eólica refere-se à energia dos ventos, isto é, das correntes de ar que se estabelecem na atmosfera terrestre. As turbinas eólicas ou aeromotores são grandes cataventos de eixo horizontal, que possuem um rotor, constituído de uma haste giratória e das pás metálicas, de um multiplicador de velocidade e de um gerador eólico, cujos componentes se movimentam produzindo a eletricidade. Resumidamente, a energia cinética de rotação das pás das turbinas eólicas se transforma em energia elétrica.

A Figura 4 representa os principais componentes envolvidos na produção da energia eólica e disponibiliza também uma breve explicação sobre cada um deles.



**Figura 4** – Produção de energia eólica. Fonte: COLA DA WEB, 2016.

O percentual da energia eólica vem aumentando nos últimos anos. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica, o custo dos equipamentos, que era um dos principais entraves ao aproveitamento comercial da energia eólica, reduziu-se significativamente nas últimas décadas devido a desenvolvimentos tecnológicos. Contudo, para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que o vento possua velocidade média igual ou superior a 7m/s a uma altura de 50m. Em apenas 13% da superfície terrestre o vento apresenta tais características.

Como os ventos do nordeste do Brasil são fortes, constantes e atendem as características descritas no parágrafo anterior, há empresários que estão investindo na produção de energia eólica. Em entrevista para a Folha de São Paulo, o empresário cearense Mário Araripe contou que, em 2007, fundou a Casa dos Ventos, investidora na construção de usinas de energia eólica. Desde então, desenvolveu no nordeste o equivalente a meia Itaipu (usina hidrelétrica localizada no rio Paraná, na fronteira entre o Brasil e o Paraguai). No início de 2016, vendeu dois complexos de usinas para a britânica Cubico por R\$ 2 bilhões e agora está construindo três usinas eólicas no nordeste, a um custo de R\$ 3,5 bilhões a R\$ 4 bilhões. Para o empresário, as boas condições locais permitem que o preço da energia seja competitivo. Ele opina que a meta do Brasil deveria ser instalar 2,5 gigawatts por ano. Em dez anos, a energia eólica seria, em média, 20% da matriz. Desta forma, se pouparia mais água nos reservatórios das

usinas hidrelétricas. O desafio atual de Mário Araripe não é a capacidade de produção e sim a tendência das distribuidoras em não comprar energia porque existe queda no consumo. Imaginava-se que o consumo de energia ia crescer 4% ao ano, mas ele está caindo 1% a 2%. Para ele, é preciso que o governo mantenha os leilões de contratação de energia de reserva pelos próximos dois a três anos. (BÔAS, 2016)

O principal impacto socioambiental negativo das usinas eólicas é o sonoro, gerado pelo ruído dos rotores. Analisando possíveis impactos ambientais, deve-se considerar que as turbinas eólicas podem interferir nas rotas de aves. Destaca-se também a possibilidade de interferências eletromagnéticas, que podem causar perturbações nos sistemas de comunicação e transmissão de dados. (ANEEL, Atlas energia eólica, 2002)

### *A.1.5 Energia das Marés*

A exploração dos mares como fonte energética não é recente. Há registros do uso de moinhos movidos a marés, no início da Idade Média, por habitantes da costa do Atlântico Norte. Atualmente, esta energia tem sido explorada principalmente para a produção de energia elétrica. Entretanto, são poucos lugares no mundo que possuem condições que permitem a exploração.

A participação da energia das marés como contribuinte energética na escala mundial, quando comparada às outras maneiras de se produzir energia, é pequena. As três usinas de destaque desta produção de energia são da França, Canadá e Rússia. (FERREIRA, 2016)

As marés estão relacionadas a fenômenos astronômicos. Quando a Lua está em oposição com o Sol (Lua Nova ou Lua Cheia), ocorrem marés de grandes amplitudes enquanto que quando a Lua está em quadrante (Lua crescente ou Lua Minguante) ocorrem as marés de menores amplitudes. Deve-se destacar que a combinação de Equinócios (que ocorrem em Março e Setembro) com uma Lua Nova ou Cheia, resultam em marés de maior amplitude ainda. (L, NETO et al, 2011)

Outros fatores que influenciam diretamente nas marés são as condições meteorológicas no local como, por exemplo, características geomorfológicas da costa, variações na pressão atmosférica ou ventos de sentido da terra para o mar. (L, NETO et al, 2011)

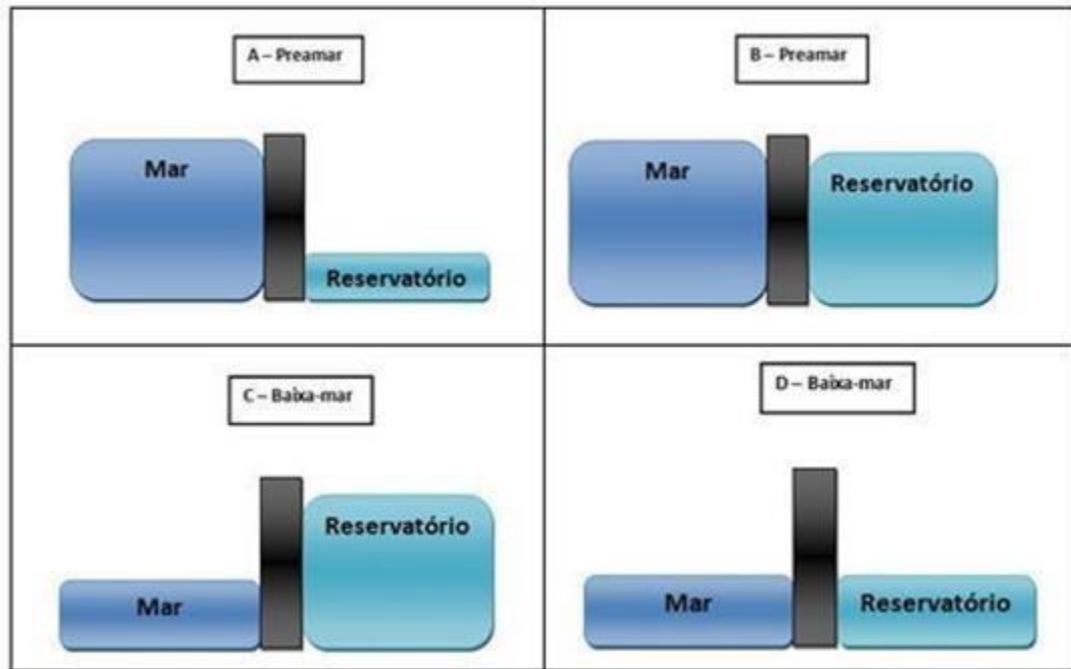
Percebe-se que, devido aos fatores que influenciam nas marés, o comportamento das mesmas é ligeiramente previsível por depender de fenômenos astronômicos que são estatisticamente conhecidos, entretanto, não se pode determinar com exatidão o fenômeno a longo prazo porque este também sofre influência de fatores que podem ser apenas conhecidos em dias próximos (fatores meteorológicos).

Ferreira (2013) explica a produção de energia por meio das marés:

Quando ocorre a subida da maré, preamar, a água adentra a barragem

movimentando a turbina e gerando energia, quando o nível da água entre o mar e o reservatório é muito baixo não ocorre geração de energia, fechando-se as comportas da represa. O mesmo acontece na baixa-mar, quando há maré baixa, a barragem se abre esvaziando a represa, fazendo a água passar pela turbina, retornando para o mar, produzindo mais uma vez energia. Como no caso anterior, quando a diferença de nível é pequena, é fechada a comporta.

A Figura 5 ilustra a descrição acima.



**Figura 5** – Esquema representando a água em uma usina maremotriz. Fonte: FERREIRA, 2016.

Para que o esquema da Figura 5 seja possível, além da necessidade de marés de grandes amplitudes, é necessário também que haja condições geográficas no local favoráveis para o represamento de água, criando-se um reservatório.

No Brasil, os fenômenos das ondas e das marés não são explorados. Os dois principais lugares para a implementação são o Estuário do Bacanga (MA) e a Baía do Turiacu (MA) (L, NETO, et al, 2011).

Existem projetos no nordeste brasileiro visando o aproveitamento desta energia. Durante a década de 70, construiu-se uma barragem no Estuário do Bacanga objetivando a construção de uma usina maremotriz. Entretanto, este projeto foi abandonado (AMATO, 2013).

A construção de uma barragem em um estuário pode resultar em efeitos diretos sobre o ecossistema local. Há possibilidade de ocorrer possíveis alterações nas características químicas da água, como por exemplo, oxigenação e salinização; e até mesmo na própria morfologia do estuário, que pode ser alterada devido às modificações nos regimes de sedimentação e erosão (L, NETO et al, 2011).

Outras graves consequências que podem surgir no ecossistema de implementação do estuário são alterações que afetam espécies que habitam o local. Algumas podem deixar de existir, enquanto novas podem surgir. Alterações como taxa de crescimento e reprodução de algumas espécies também podem ocorrer.

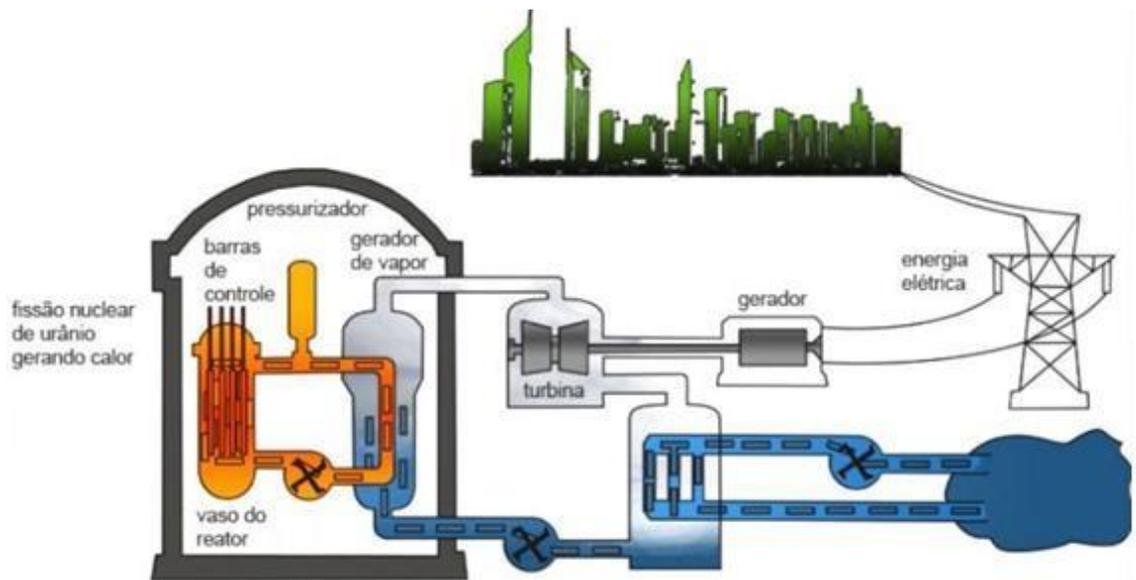
Analisando economicamente a energia das marés, os custos associados à operação da usina são mínimos. Considerando que a fonte primária é inesgotável, os investimentos em construção e operação podem ser facilmente recuperados por não ter que se comprar combustíveis. Deve-se destacar também que a vida útil de uma usina maremotriz pode chegar de duas a três vezes a de uma térmica ou nuclear.

### *A.1.6 Nuclear*

A matéria prima para este modo de produção de energia é, na grande maioria, o minério de urânio, um metal pouco menos duro que o aço, encontrado em estado natural nas rochas da crosta terrestre. Desse minério é utilizado o átomo de urânio na geração de energia nuclear. Esta energia é obtida através da grande energia liberada da reação em cadeia gerada devido à fissão de milhares de núcleos de átomo de urânio. Cada fissão é gerada pela colisão de um nêutron com um átomo de urânio. Neste processo surgirão outros nêutrons que colidirão em outros átomos de urânio, formando assim uma reação em cadeia. Os benefícios em se utilizar os nêutrons para gerar a fissão nuclear são estes não possuírem carga, e, conseqüentemente, não serem repelidos pelos núcleos atômicos.

Dentro do reator nuclear, há o vaso do reator, recipiente que contém o combustível e onde ocorrem as reações nucleares. É necessário haver o controle da reação nuclear pois sua intensificação pode provocar um superaquecimento, que funde os combustíveis e cessa a reação em cadeia. Esse controle é feito introduzindo ou retirando as barras de controle de dentro do reator, já que estas controlam a quantidade de nêutrons presentes no reator. Um fluído refrigerante transmite a energia térmica do interior do reator para o gerador de vapor. No gerador de vapor, o calor conduzido pelo fluído refrigerante é transferido para a água, que entra em ebulição e gira uma turbina, que está acoplada por um eixo diretamente a um gerador elétrico. A rotação da turbina provoca a rotação do gerador elétrico, ocorrendo o processo de conversão de energia mecânica em energia elétrica. Depois de passar pela turbina o vapor de água passa pelo condensador, o que faz baixar sua temperatura. O condensador recebe água fria proveniente de um rio, oceano, ou de torres de refrigeração. Essa água fria entra em contato com o vapor de água quente oriunda da turbina, e lhe retira calor. O vapor resfriado, agora em estado líquido, acaba voltando para o gerador de calor, formando um ciclo (PERUZZO, 2012).

A Figura 6 descreve todo o processo descrito acima.



**Figura 6** – Processo de produção de energia nuclear. Fonte: BALDUÍNO, 2016.

O processo de produção de energia nas usinas nucleares pode ser, resumidamente, descrito por uma sequência de etapas. Primeiramente, o processo de reação em cadeia da fissão nuclear gera energia, esta energia proporciona a vaporização da água líquida, este vapor de água faz girar uma turbina e o movimento da turbina gera energia elétrica.

A energia nuclear é considerada limpa por emitir baixos volumes de gases contribuintes para o efeito estufa em toda sua cadeia produtiva (da extração do urânio à geração de energia elétrica). Entretanto, todo o processo de produção é permeado pela radioatividade cujos níveis são monitorados e controlados. No entanto, ainda não se conseguiu encontrar uma solução definitiva para os dejetos radioativos que ficam na maioria dos casos, temporariamente estocados em piscinas de resfriamento cheias de água (ANEEL, atlas energia nuclear, 2002).

A contribuição da energia nuclear na Matriz Energética Brasileira tem se mantido praticamente a mesma nos últimos anos. Atualmente, o Brasil possui duas usinas em operação: Angra 1 e Angra 2, instaladas no município de Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro.

### **A.1.7 Solar**

A radiação solar pode ser diretamente convertida em energia elétrica, principalmente, por meio de efeitos da radiação sobre células fotovoltaicas. Existem muitos pequenos projetos nacionais de geração fotovoltaica de energia elétrica, principalmente para o suprimento de eletricidade em comunidades rurais e/ou isoladas no norte e nordeste do Brasil. Para a geração de eletricidade em escala comercial, o principal obstáculo é o custo das células fotovoltaicas, que variam entre 5 e 15 vezes o custo de uma usina a gás natural, por exemplo. Além do alto custo, as células apresentam apenas, em média, uma eficiência de 25% (ANEEL, Atlas energia solar,

2002).

Outra aplicação encontrada principalmente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil é o aproveitamento da energia solar para o aquecimento de água utilizada em residências e comércios (hotéis, restaurantes...) através da instalação de um coletor no telhado dos estabelecimentos. Porém, o suprimento de uma única residência pode requerer a instalação de vários metros quadrados de coletores. Por exemplo, para o aquecimento de água de uma residência típica (três ou quatro moradores), são necessários cerca de 4 m<sup>2</sup> de coletor. Novamente, o entrave para o aproveitamento desta modalidade de produção energética neste exemplo é o custo de aquisição dos equipamentos (ANEEL, Atlas energia solar, 2002).

Somente com aquecimento doméstico de água para banho, são gastos anualmente bilhões de kWh de energia elétrica, os quais poderiam ser supridos com energia solar. Mais grave ainda é o fato de que quase toda essa energia costuma ser consumida em horas específicas do dia, o que gera uma sobrecarga no sistema elétrico. Portanto, motivado pela importância de sua aplicação, a tendência ao longo dos anos é a redução dos custos, em função da escala de produção, dos avanços tecnológicos, do aumento da concorrência e dos incentivos governamentais. (ANEEL, atlas energia solar, 2002)

Entretanto, em março de 2016, a Folha de São Paulo publicou uma matéria que abordava uma possível trava do crescimento da energia solar para aproveitamento caseiro. As distribuidoras de energia elétrica estão tentando reverter uma regulamentação que permitiu que os consumidores que investirem na geração caseira obtivessem descontos na tarifa de energia e também no encargo de distribuição, a chamada TUSD. Esse encargo é repartido por todos os consumidores residenciais proporcionalmente ao custo da tarifa. Portanto, quem não paga a tarifa – caso dos geradores caseiros – também não paga a TUSD, deixando a conta para os consumidores que não têm os painéis. Segundo as distribuidoras, a regulamentação, do jeito que está, favorece os consumidores ricos em detrimento dos pobres, sendo assim insustentável nos aspectos econômico e social. O presidente da Abradee (associação das distribuidoras) entrou com um pedido na ANEEL para barrar a regulamentação já aprovada. Ciente da questão, a Aneel propôs rever a regra até 2019. (COSTA, 2016).

## A.2 Segunda etapa

### A.2.1 Composição e estabilidade nuclear

Nesta etapa da aula a turma será lembrada sobre os constituintes do núcleo atômico almejando a apresentação da força nuclear e analisando, por fim, os fatores determinantes na estabilidade nuclear.

Todo átomo possui um núcleo atômico formado por prótons e nêutrons, ambos conhecidos coletivamente como núcleons. O núcleo mais leve existente é o de hidrogênio e recebe o nome de próton. Este núcleo tem uma carga positiva unitária e a sua massa é quase exatamente igual a um na escala de massas atômicas. Em 1932, James Chadwick descobriu, por consequência do bombardeamento de berílio com partículas alfa, uma partícula chamada nêutron de massa quase exatamente igual a do próton, entretanto sem carga elétrica.

Sabe-se que a interação entre prótons é repulsiva e entre nêutrons e prótons é atrativa. Como justificar então a união de prótons no núcleo sabendo que entre eles ocorre repulsão elétrica?

Atua em núcleons cuja distância é menor ou igual a  $10^{-15}\text{m}$  uma força atrativa chamada de força nuclear. A força nuclear é de curto alcance enquanto a interação elétrica enfraquece com o quadrado da distância de separação, sendo uma força de alcance relativamente longo. Em núcleos pequenos, a proximidade dos prótons faz com que a força nuclear domine facilmente a força elétrica. Entretanto, para prótons distantes, como nos lados opostos de um núcleo grande, a força nuclear se torna pequena quando comparada à força repulsiva. Sendo assim, um núcleo grande não pode ser tão estável quanto um núcleo pequeno. A presença dos nêutrons também desempenha papel fundamental na estabilidade nuclear. Para que um núcleo grande seja estável, é necessária maior quantidade de nêutrons, já que, a interação entre prótons e nêutrons, seja a força nuclear ou a força elétrica, é sempre atrativa. (PERUZO, 2012)

### A.2.2 Decaimentos radioativos

O assunto geral da Física Nuclear a ser trabalhado na aula será a radioatividade. A radioatividade é uma propriedade do átomo, mais especificamente do núcleo atômico. A frequência com que uma amostra contendo núcleos radioativos emite partículas não depende do estado químico ou físico desta amostra, assim como fatores externos como pressão e temperatura. Os únicos fatores que influenciam nesta frequência é a espécie do átomo e número de núcleos presentes.

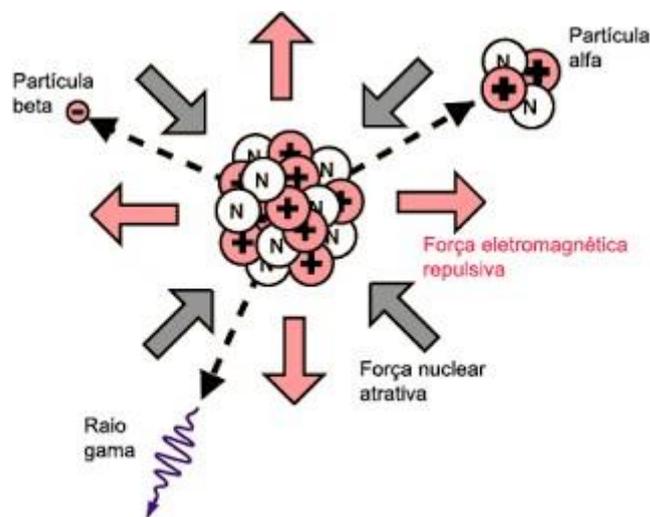
A fim de procurar entender porque alguns núcleos são estáveis ao passo que outros não o são, analisam-se as variações de energia que ocorrem quando do processo de desintegração radioativa. A desintegração pode ocorrer quando a energia do núcleo “pai” é maior do que a energia dos núcleos que se formam. A partícula emitida terá uma certa quantidade de energia cinética. Como o processo de emissão da partícula, isto é,

de desintegração do núcleo ocorre sem a interferência de nenhum agente externo, a energia cinética da partícula deve provir da energia existente no núcleo “pai” em si mesmo.

Todos os núcleos de todos os átomos de um certo elemento químico possuem o mesmo número de prótons, pois o que caracteriza o elemento químico é o seu número atômico, mas podem ter diferentes números de nêutrons. Os núcleons que guardam essa relação são chamados de isótopos e cada tipo de núcleo é chamado de nuclídeo. A tendência de todos os isótopos é atingir a estabilidade e acabar emitindo partículas ou radiação para atingi-la. Essa liberação de partículas ou energia de maneira espontânea pelo núcleo chama-se decaimento radioativo (PERUZO, 2012).

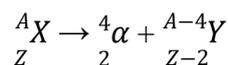
Como se pode prever se um dado isótopo será estável ou radioativo? Todos os núcleos mais pesados do que  $Bi_{83}^{209}$  são instáveis em relação a um ou outro processo de desintegração. A estabilidade de um núcleo é determinada em larga escala, pela relação do número de prótons para o número de nêutrons que este núcleo contém. Para um dado número de prótons  $Z$  existe um número de nêutrons que faz com que o núcleo seja estável. Entre os elementos (de até  $Z=20$ ) os agrupamentos mais estáveis são aqueles em que o número de prótons e o número de nêutrons são iguais.

A Figura 7 ilustra os modos que um núcleo pode decair. É importante ressaltar que, apesar da figura apresentar os três decaimentos simultaneamente, cada processo radioativo acontece independentemente.

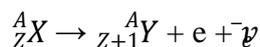


**Figura 7** – Decaimentos que um núcleo pode emitir. Fonte: Radiação, <http://fiscaradiacao.blogspot.com.br/p/imagens-radioativas.html>, Acesso em: 21 nov. 2016)

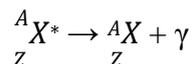
No decaimento  $\alpha$ , o átomo emite uma partícula  $\alpha$  que nada mais é do que um núcleo do átomo de  $He$ . O átomo passa a apresentar número atômico ( $Z$ ) com 2 unidades menor e número de massa ( $A$ ) com 4 unidades menor que o átomo emissor. O decaimento é genericamente representado por:



Já o decaimento  $\beta$ , segundo modo de decaimento, é um elétron (e) correspondente da transmutação de um nêutron em um próton dentro do núcleo. Neste processo, baseado no princípio da conservação de energia, é criada também outra partícula, o neutrino ( $\bar{\nu}$ ), que não tem carga e tem massa praticamente nula, mas carrega uma grande quantidade de energia. Portanto, neste decaimento o número de prótons no núcleo é aumentado de uma unidade, o de nêutrons diminui de uma unidade e a massa se mantém inalterada. O decaimento beta é representado pela equação a seguir:



Nos decaimentos  $\alpha$  e  $\beta$  ocorrem transmutação do elemento emissor, ou seja, este elemento se transforma em outro elemento da tabela periódica. Já no terceiro e último modo de decaimento, a radiação gama, não. Quando um núcleo passa de um estado excitado  $X^*$  para o estado fundamental  $X$  são emitidas ondas eletromagnéticas. A emissão de radiação  $\gamma$  é representada a seguir:



O poder de penetração das partículas  $\alpha$  e  $\beta$ , assim como da onda eletromagnética  $\gamma$ , depende de dois fatores: a massa e a energia de cada uma delas.

Dentre os decaimentos, o  $\alpha$  é o que possui maior massa e o  $\gamma$  a menor. Como concluído na análise da Figura 7, a radiação  $\gamma$ , por ser uma onda eletromagnética, não possui carga e nem massa. As radiações  $\alpha$  e  $\beta$ , por serem partículas, interagem muito mais com a matéria do que uma onda eletromagnética. Consequentemente, a seção de choque das partículas  $\alpha$  e  $\beta$  é muito maior que a da radiação  $\gamma$ . Considerando estas informações, as partículas teriam uma penetração muito menor que a  $\gamma$ .

Analisando agora a energia de cada decaimento espontâneo, a radiação gama possui energia muito maior que a das outras partículas. Consequentemente, já que sua massa é muito menor e a energia muito maior, a radiação  $\gamma$  alcança maior penetração.

Entretanto, é importante destacar que o fator predominante para a penetração de uma radiação é a energia que esta possui ao incidir na matéria. Quanto maior a energia que se possui na incidência, maior será a penetração.

Em um decaimento espontâneo, a partícula  $\beta$  consegue penetrar mais que uma partícula  $\alpha$ . Nestas condições, a radiação  $\alpha$  não consegue atravessar uma folha de papel nem a pele humana, enquanto a  $\beta$  consegue penetrar 2mm no chumbo e de 1cm a 2cm na pele humana. Já a radiação  $\gamma$ , chega a atravessar o corpo humano inteiro, assim como 5 cm no chumbo e 30 cm no aço. (PERUZO, 2012)

### A.3 Terceira etapa

A terceira etapa da proposta é destinada para a compreensão do conceito de meia-vida.

Desde que a frequência com que as partículas são emitidas, isto é, a taxa de emissão, seja proporcional ao número dos núcleos que ainda permanecem não desintegrados, concluímos que esta taxa diminui continuamente, porque o número de núcleos não desintegrados está sendo, também, continuamente reduzido pela própria desintegração em si mesma. Uma amostra contendo, inicialmente, um certo número de núcleos terá este número, após um certo período de tempo, reduzido à metade do valor original. Este período de tempo é chamado *meia-vida* da substância radioativa em questão. Há radioisótopos que sofrem desintegração com meias-vidas que vão desde frações de segundos até bilhões de anos.

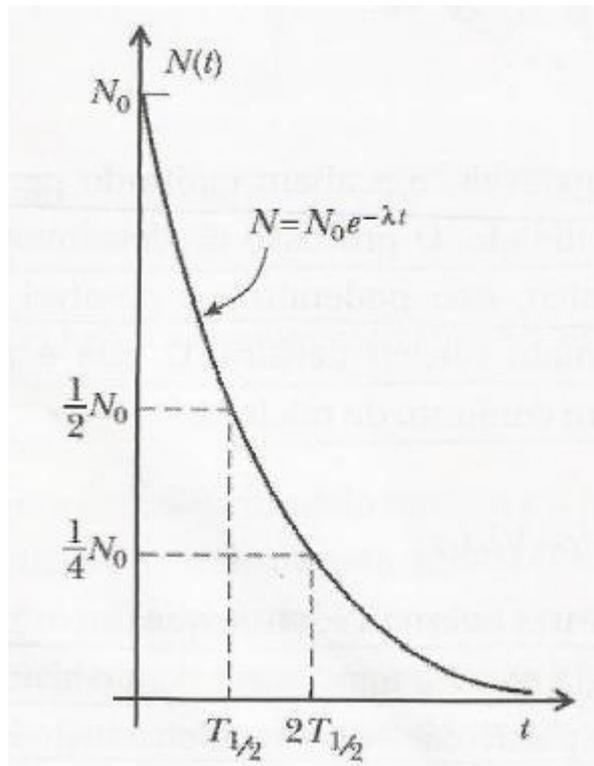
A taxa de ocorrência de um processo de decaimento que ocorre uma amostra radioativa é proporcional ao número de núcleos radioativos presentes nessa amostra ( $N$ ) e a uma constante radioativa ( $\lambda$ ), cujo valor depende apenas do tipo de nuclídeo presente. O número de núcleos radioativos presentes na amostra em função do tempo é dado por:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

onde  $N_0$  é o número de núcleos no instante  $t = 0$ .

Depois de decorrido meia-vida, restam na amostra  $N_0/2$  núcleos radioativos; depois de duas meias-vidas  $N_0/4$ ; depois de três meias-vidas  $N_0/8$ , e assim por diante.

É disponibilizado na Figura 8 o gráfico da quantidade de isótopo radioativo  $N$  em função do tempo  $t$ .



**Figura 8** – Comportamento de uma amostra radioativa em função do tempo de meia-vida. Fonte: Peruzo, pag 42, 2012.

$N$  é a quantidade da amostra radioativa no tempo  $t$ ,  $N_0$  é a quantidade inicial da amostra e  $T$  é o tempo de meia-vida da mesma.

O tempo de meia-vida é um fator importante porque permite a previsão da diminuição da radioatividade de uma amostra radioativa. Por exemplo, consegue-se estimar a idade de uma rocha considerando a meia-vida do  $^{235}\text{U}$  e  $^{238}\text{U}$  e calculando a quantidade de  $^{207}\text{Pb}$  e  $^{206}\text{Pb}$ , já que, ambos são gerados no decaimento dos isótopos de urânio citados (BONJORNO. et al, 2013).

## A.4 Quarta etapa

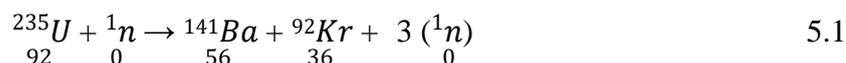
Nesta etapa da aula dois grandes processos radioativos serão definidos para os alunos: fissão nuclear e reação em cadeia.

### A.4.1 Fissão Nuclear

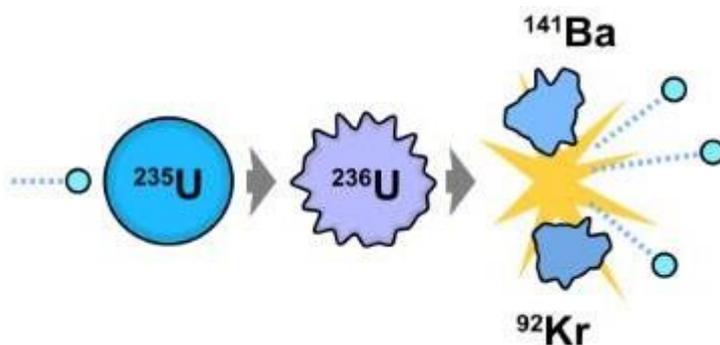
A fissão nuclear corresponde à quebra de núcleos grandes. Ela ocorre quando o núcleo recebe sua energia crítica, energia necessária para sua deformação, que permite que as forças repulsivas (força elétrica) superem as forças atrativas (força nuclear), provocando assim seu rompimento. O método mais utilizado para introduzir tal energia de ativação a um núcleo físsil é através da incidência seguida da absorção de um nêutron, que pode ser classificado como térmico (com energia de aproximadamente 0,025 eV) ou rápido (1MeV). O nêutron é, na maioria das vezes, a melhor partícula a ser escolhida como incidente porque não possui carga e conseqüentemente não é repelido pelos núcleos radioativos. Este projétil leva o núcleo a um estado instável de oscilação ou vibração que causará sua cisão (PERUZZO, 2012).

Os produtos da fissão são geralmente elementos radioativos, liberando dois ou três nêutrons e uma enorme quantidade de energia. Utilizando a equação de Einstein  $E = mc^2$ , pode-se calcular a energia liberada na fissão de um átomo. Uma parte da energia é distribuída no momento da fissão, e uma parte menor fica armazenada nos produtos radioativos oriundos da fissão, que vão liberando essa energia aos poucos, emitindo partículas ou radiações eletromagnéticas (PERUZZO, 2012).

Um exemplo de fissão nuclear é descrito pela equação a seguir:



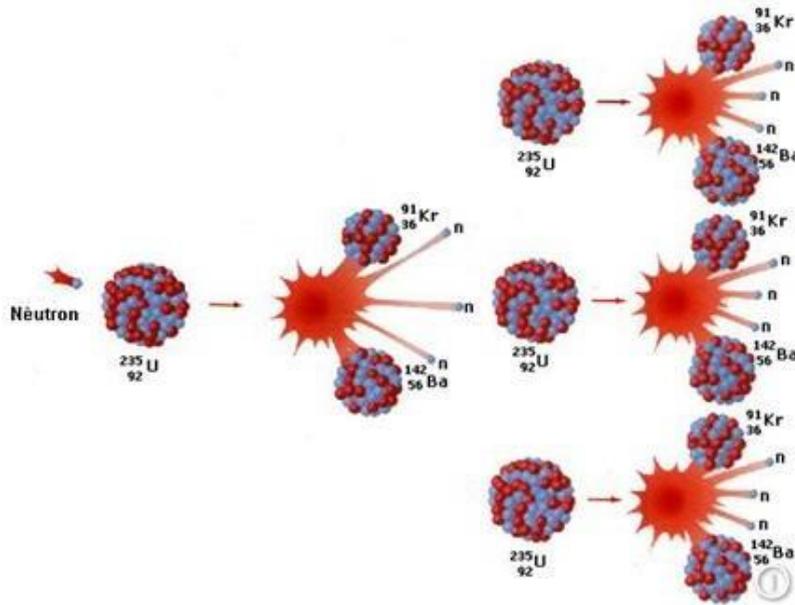
Um núcleo de  ${}_{92}^{235}\text{U}$  sofre fissão quando incidido por um nêutron ( ${}^1_0\text{n}$ ), produzindo um núcleo de  ${}_{56}^{141}\text{Ba}$ , um núcleo de  ${}_{36}^{92}\text{Kr}$  e mais três nêutrons ( ${}^1_0\text{n}$ ). A figura abaixo ilustra esta reação.



**Figura 9** – Fissão do  ${}_{92}^{235}\text{U}$ . Fonte: CENTRAIS ELÉTRICAS, 2011.

#### A.4.2 Reação em cadeia

A reação em cadeia é formada por uma sequência de fissões nucleares. No geral, os nêutrons gerados em uma fissão do núcleo radioativo causam a fissão de outros dois ou três átomos físséis que liberarão mais nêutrons e que serão projéteis de outros átomos físséis. A Figura 10 é um exemplo de reação em cadeia a partir da fissão do  ${}^{235}_{92}\text{U}$ .



**Figura 10** - Exemplo de reação em cadeia (FOGAÇA, 2016)

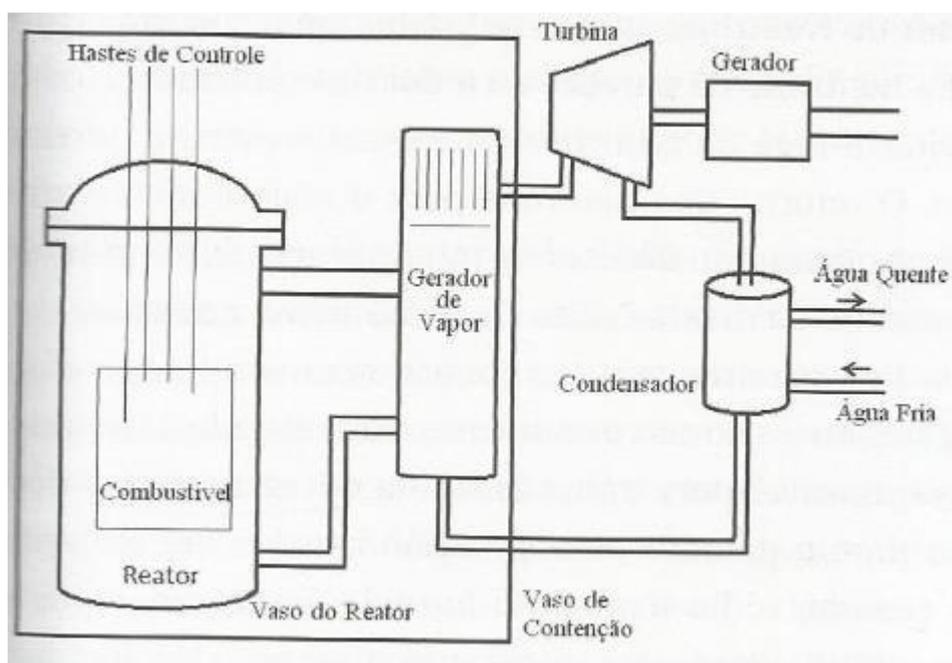
O  ${}^{235}_{92}\text{U}$  gera três nêutrons ao ser fissionado. Estes nêutrons causam a fissão de três átomos de  ${}^{235}_{92}\text{U}$  liberando, assim, nove nêutrons. Se cada um desses nêutrons fosse dispostos de modo a quebrar outros átomos de  ${}^{235}_{92}\text{U}$ , a próxima etapa da reação

produziria 27 nêutrons, e assim por diante. O número de nêutrons cresce de forma exponencial.

O necessário para iniciar e manter uma fissão em cadeia está ligado ao conceito de criticalidade. O meio onde ocorre o processo de fissão está em um estado crítico se a taxa de produção de nêutrons se mantém em equilíbrio com a taxa de perda dos mesmos, sendo que esta ocorre por fuga ou absorção por núcleos sem provocar novas fissões. Nesta situação, a reação em cadeia se mantém em um mesmo nível de potência gerada, como ocorre nos reatores nucleares.

Portanto, é necessário controlar a perda de nêutrons em um reator. Iniciada a reação, os nêutrons produzidos precisam ser absorvidos por outros núcleos físséis. Inevitavelmente haverá perdas, pois alguns nêutrons escaparão pela superfície do material. Isso pode ser compensado aumentando-se a quantidade de material, pois quanto maior o volume de material físsil menor será a perda relativa. A partir de uma certa quantidade de material, a perda de nêutrons pela superfície deixa de ser importante.

No reator nuclear é criada uma reação em cadeia, inicializada pela fissão do  $^{235}\text{U}$  (principal combustível das usinas nucleares) ao ser alvo de nêutrons térmicos, gerando nêutrons rápidos. A quantidade de nêutrons que provoca fissão em outros átomos da reação em cadeia é controlada, diferentemente, por exemplo, de uma bomba atômica. Para o favorecimento da ocorrência das fissões de outros átomos, os nêutrons rápidos devem perder energia cinética. Para tanto, dentro de todo reator existe um moderador, responsável pela frenagem dos nêutrons e, conseqüentemente, da retirada da energia cinética destes assim como de todos os outros produtos radioativos gerados. Esta energia cinética, já transformada em energia térmica devido a colisões entre as partículas e o moderador, é recolhida por um fluido refrigerante e levada até uma água que se vaporizará. Este vapor à alta pressão passará por uma turbina ligada a um gerador elétrico que rotacionará, convertendo energia mecânica em elétrica. Depois de passar pela turbina o vapor de água passa pelo condensador (que recebe água fria externa como, por exemplo, de um rio ou oceano) que faz baixar sua temperatura. O vapor já resfriado, agora em estado líquido, acaba voltando para receber novamente calor do fluido refrigerante. A Figura 11 ilustra o processo descrito neste parágrafo.



**Figura 11** – Esquema de um reator nuclear. Fonte: PERUZZO, 2012.

## A.5 Quinta etapa

Na quinta e última etapa da proposta será feita uma análise crítica, em sala de aula, sobre questões como: o descarte do lixo radioativo, a necessidade de segurança e monitoramento em todo o processo produtivo e o nível de contribuição para a poluição mundial. Portanto, é importante fornecer informações sobre tais assuntos.

### *A.5.1 Lixo Nuclear e Acidentes em usinas nucleares*

Considera-se lixo radioativo os elementos radioativos de meia-vida longa gerados pela fissão do combustível. Em um reator o combustível é usado cerca de 2 a 3 anos. Depois de retirado do reator, objetivando diminuir a radioatividade, este é guardado em piscinas de refrigeração dentro da própria usina, com grossas paredes de chumbo que não permitem que a radiação entre em contato com os seres vivos. Após isso o combustível pode ser reprocessado (usado novamente), todavia este processo é feito por poucos países. O combustível que não é reprocessado pode ser guardado para reprocessamento futuro ou apenas armazenado nas piscinas. A atividade do material radioativo diminui muito vagarosamente (se reduz para cerca de 1% do valor inicial depois de 1000 anos). Manter uma quantidade cada vez maior de combustível armazenado nas piscinas, considerando que estas estão cada vez mais cheias, é um motivo de grande preocupação (PERUZO, 2012).

A necessidade de segurança e monitoramento em todo o processo produtivo será abordada através de informações fornecidas pelo professor sobre alguns acidentes em usinas nucleares.

O acidente de Three Mile Island ocorreu em 1979 devido a problemas elétricos e mecânicos que ocasionaram uma parada numa bomba de água do sistema de resfriamento do vapor que faz a turbina girar. Uma sequência de tentativas humanas em corrigir o problema somadas à falta de manutenção do equipamento de controle acabaram liberando para o ambiente gases radioativos. Os danos só não foram maiores devido à existência de um vaso de contenção que envolve o reator. O acidente provocou a evacuação de 100.000 pessoas que habitavam ao redor da usina além do custo de 1 bilhão de dólares para a limpeza local e o fechamento do reator. Mais informações em: <http://guiadoestudante.abril.com.br/aventuras-historia/como-acidente-usina-three-mile-island-mudou-trajetoria-energia-nuclear-691564.shtml> (acessado em 02 abr. 2016).

Em Chernobyl, houve um gravíssimo acidente envolvendo uma usina nuclear, em 1986. Foi provocado por um teste de eficiência de refrigeração do núcleo do reator em caso de falta de corrente elétrica. O reator explodiu e lançou uma nuvem na atmosfera composta por elementos radioativos. Segundo o governo soviético, o acidente provocou 15 mil mortes, enquanto organizações não governamentais calculam 80 mil. A longo prazo este número poderá chegar a 2,4 milhões, já que este é o número de ucranianos que sofrem problemas de saúde relacionados ao acidente. Milhares de veículos foram contaminados e estão descartados próximos ao local. Até hoje eles

emitem altas doses de radiação. O acidente foi agravado por diversos fatores, mas o reator não teria explodido se as normas de segurança tivessem sido respeitadas. Na época, a URSS gastou cerca de 20 bilhões de dólares para conter o acidente. Mais informações em: <http://educacao.globo.com/artigo/chernobyl-maior-acidente-nuclear-da-historia.html> (acessado em 02 abr. 2016).

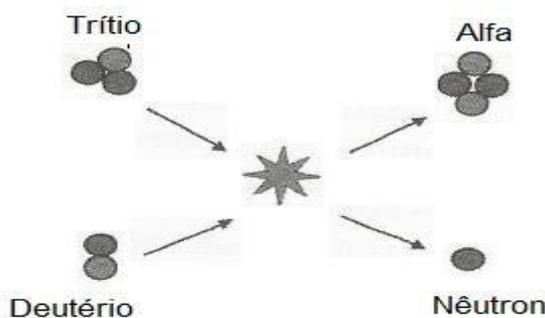
O último acidente nuclear foi em Fukushima, no Japão, em 2011. Foi causado por uma falha no sistema de resfriamento de reatores e numa piscina de refrigeração de combustível nuclear. Esta falha foi provocada por um terremoto, seguido de um tsunami. As autoridades japonesas cumpriram rapidamente as normas de segurança e evacuaram uma região compreendida num raio de 30 km ao redor do acidente. Entre os diversos prejuízos, famílias tiveram seus cultivos agrícolas condenados. Estipula-se que o prejuízo tenha sido de 30 bilhões de dólares. Mais informações em: <http://www.eletronuclear.gov.br/Saibamais/Perguntasfrequentes/TemasgeraisoacidentenaCentraldeFukushima.aspx> (acessado em 02 abr. 2016).

### A.5.2 Fusão Nuclear

A fusão nuclear é a fonte energética de todas as estrelas do universo, incluindo o Sol. É uma fonte bastante promissora, sendo ainda uma cobiça do ser humano. Seu potencial energético pode gerar até sete vezes mais energia do que a fissão nuclear.

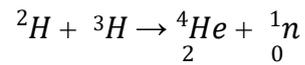
O processo consiste na formação de um núcleo mais estável a partir da reunião de dois núcleos que possuem baixos valores de massa. Estes núcleos devem colidir com velocidades muito altas a fim de suplantar a sua repulsão elétrica, de modo que as partículas se aproximem o suficiente para a atuação das forças nucleares que proporcionarão sua fundição. Os valores requeridos de velocidade correspondem às temperaturas extremamente altas, já que, quanto maior a temperatura de uma partícula maior é a sua energia. Como comparação, as temperaturas referidas são as mesmas encontradas no interior do Sol e de outras estrelas.

A Figura 12 representa um exemplo de processo de fusão nuclear, na qual ocorre a fusão de átomos mais pesados de H, o deutério D ( $^2\text{H}$ ) com o trítio T ( $^3\text{H}$ ), gerando uma partícula  $\alpha$  e um nêutron.



**Figura 12** – Fusão Nuclear. Fonte: PERUZZO, 2012, p. 116.

Esta reação é representada pela equação:



Para fins de produção de energia elétrica, a construção de um reator de fusão nuclear exige esforços muito superiores aos reatores de fissão, devido às altas velocidades necessárias dos prótons. Além disso, de cada 3,5 bilhões de prótons que tentam alcançar esta aproximação, apenas um consegue realizar tal façanha. Estes são os principais motivos que ainda fazem a utilização da fusão nuclear como combustível energético ser um sonho para a humanidade.

## Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas Biomassa**. 2002. Disponível em: < [www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf) >. Acesso em: 02 abr. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas energia eólica**. 2002. Disponível em: < [www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-Energia\\_Eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-Energia_Eolica(3).pdf) >. Acesso em: 02 abr. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas energia nuclear**. Parte 3, capítulo 8. Disponível em: < [www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas\\_par3\\_cap8.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par3_cap8.pdf) >. Acesso em: 02 abr. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas energia solar**. 2002. Disponível em: < [www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia\\_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf) >. Acesso em: 02 abr. 2016.

AMATO, F. Período chuvoso acaba e nível dos reservatórios é o menor desde 2001. **G1**, Brasília, 2 mai. 2013. Disponível em: < <http://g1.globo.com/economia/noticia/2013/05/periodo-chuvoso-acaba-e-nivel-dos-reservatorios-e-o-menor-desde-2001.htm> >. Acesso em: 10 abr. 2016.

BALDUÍNO, A. Falando de ciência. 2016. Disponível em: < [http://www.educacional.com.br/reportagens/pc\\_energianuclear/parte-01.asp](http://www.educacional.com.br/reportagens/pc_energianuclear/parte-01.asp) >. Acesso em: 30 abr. 2016.

BÔAS, B. V. Você pode queimar carvão ou usar o vento e sua poesia. **Folha de São Paulo**. São Paulo, 13 mar. 2016.

BONJORNO. et al. **Física**. 2 ed. São Paulo: FTD. 2013.

CENTRAIS ELÉTRICAS, 2011. Disponível em: < <http://rd9centralelectrica.webnode.pt/desenvolvimento/centrais-nucleares/como-funciona-uma-central-nuclear-/> >. Acesso em: 02 abr. 2016.

COLA DA WEB. Energia eólica. Disponível em: < <http://www.coladaweb.com/geografia/fontes-de-energia/energia-eolica>>. Acesso em: 29 abr. 2016.

COSTA, M. Avanço da energia caseira pode travar. *Folha de São Paulo*. São Paulo, 13 mar. 2016.

ENERGIA CPE. Usina termoeétrica. 5 ago. 2012. Disponível em: < <http://energiacpe.blogspot.com.br/2012/08/usina-termoeletrica.html>>. Acesso em: 27 abr. 2016.

FERREIRA, J. F. *Investigando a Física das marés com abordagem CTS*. Trabalho de Conclusão de curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

FERREIRA, J. C. *Discutindo a Física das marés como proposta para a crise de energia elétrica*. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Biociências e Saúde, Instituto Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2016.

FOGAÇA, J. R. V. Mundo Educação. *Fissão Nuclear*. Disponível em: < <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/fissao-nuclear.htm> > Acesso em 02 abr. 2016

L. NETO, P. B. et al. Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências. *Revista chilena de ingeniería*, vol. 19, nº2, 2011, p. 219-232.

PERUZZO, J. *Física e energia nuclear*. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

PORTAL SÃO FRANCISCO. Energia hidrelétrica. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/energia-hidreletrica/energia-hidreletrica.php>>. Acesso em: 29 abr. 2016.

Radiação. <<http://fiscaradiacao.blogspot.com.br/p/imagens-radioativas.html>> acessado em 21 nov. 2016

SUSTENTABILIZE JÁ!. **Biomassa e uma de suas aplicações**. 19 out. 2011. Disponível em: <  
<http://sustentabilizeja.blogspot.com.br/2011/10/biomassa-e-uma-de-suas-aplicacoes.html>>.  
Acesso em: 29 abr. 2016.

TOFOLLI, L. Usina termoelétrica. **Info escola**. Disponível em: <  
<http://www.infoescola.com/fisica/usina-termoeletrica/>>. Acesso em: 27 abr. 2016.

## **Apêndice B – Material do Professor**

### **B.1 Primeira etapa: Compreendendo uma notícia de jornal**

O objetivo desta etapa é destacar a energia nuclear como fonte de produção de energia elétrica do nosso país, acrescentando também a necessidade do estudo de alguns assuntos para compreendê-la. Este destaque será iniciado pelo estudo do professor com a turma, do texto 1 (ver Apêndice C). Almeja-se que ao final desse estudo, os alunos concluam que há diversos modos de produção de energia elétrica. O professor criará oportunidades dos estudantes citarem modalidades de produção energética conhecidas. Aproveitando estas citações, o professor definirá, com auxílio de ilustrações projetadas, as etapas de cada processo produtivo assim como os aspectos positivos e negativos que devem ser considerados.

Para o estudo do texto, é preciso que o professor divida a turma em quatro grupos numerados sequencialmente e que cada grupo receba uma cópia impressa do texto 1 e as perguntas de 1.1 (ver Apêndice C).

É necessário ser reservado, inicialmente, alguns minutos da aula para que um representante de cada grupo leia em voz baixa para os demais componentes do grupo e que todos, juntos, discutam o texto tentando responder a pergunta correspondente ao grupo. A seguir, o professor irá ler o texto em voz alta para toda a turma e pedirá que o aluno do primeiro grupo exponha para a classe sua pergunta e resposta explicando os pontos considerados pelo grupo para a elaboração da resposta. Desta forma possibilitará que toda a turma opine sobre a questão tratada. Gradativamente, os outros grupos farão o mesmo procedimento respeitando a sequência numérica.

Através da primeira pergunta, a turma concluirá que a chuva abastece os reservatórios das hidrelétricas e que as usinas hidrelétricas produzem energia elétrica. A segunda pergunta apresenta as usinas termoeletricas como uma fonte de energia alternativa para o episódio dos níveis baixos dos reservatórios e a terceira explicita que esse modo de produção de energia é preocupante devido ao alto custo de produção, além de ser significativamente poluente. A quarta e última pergunta do debate permite que a turma conclua, através de porcentagens, que há outros modos de produção de energia.

É bem provável que, devido à última pergunta, outros modos de produção de energia sejam citados. O professor deverá assim projetar imagens que caracterizem estes modos citados, e através de perguntas motivadoras, debater junto à turma os aspectos positivos e negativos, o custo de produção e as necessidades físicas para o aproveitamento de geração de energia elétrica. As modalidades de produção energética que devem ser debatidas em sala de aula, por ter uma participação considerável na produção de energia elétrica brasileira, são: usinas termoeletricas, hidrelétricas, nucleares, energia eólica, de marés, biomassa e solar. Caso alguma modalidade dessas não seja citada pela turma, cabe ao professor projetar uma imagem sobre a mesma para

dar início ao seu estudo.

As conclusões sobre cada modalidade de produção energética devem ser anotadas pelo professor em uma tabela projetada disponível visualmente para toda a turma. Ela deverá conter uma coluna para especificar a modalidade, uma segunda coluna para as vantagens e uma terceira coluna para as desvantagens. Desta forma, a turma desenvolverá junto com o professor a tabela que facilitará visualmente uma comparação entre as modalidades.

Para o estudo das usinas termoelétricas, o professor pode projetar uma imagem, como a Figura 1 e fazer as seguintes perguntas para a turma: “qual o principal malefício que pode ser observado na figura abaixo?”, “quais os possíveis combustíveis para as usinas termelétricas?”, “esses combustíveis tornam a produção de energia barata ou cara?”. Desta forma, a turma poderá concluir que as usinas termelétricas são muito poluentes, têm alto custo de produção e seus combustíveis são fartamente disponíveis.



**Figura 1** – Usina termoelétrica. Fonte: JARDIM, 2014.

Para análise das usinas hidrelétricas, o professor pode projetar a Figura 2 e fazer os seguintes questionamentos: “qual o combustível das usinas hidrelétricas?”, “é um modo de produção poluente?”, “como a usina foi implementada no local?”. Através de perguntas como essas, a turma pode concluir, por exemplo, que a contribuição das usinas hidrelétricas para o aquecimento global é muito baixa mas, em contrapartida, provoca um grande impacto social devido à grande área de alagamento.



**Figura 2** – Usinas hidrelétricas. Fonte: VEJA, 2012.

Uma modalidade de geração de energia que, por ser pouco comentada na mídia, será dificilmente citada pelos alunos é a Biomassa. Após a disponibilização da Figura 3, as perguntas que podem ser feitas pelo professor são: “alguém sabe dizer que modalidade de geração de energia utiliza os materiais da imagem?”, “onde se poderia fazer esse tipo de produção energética?”, “o custo de produção seria alto ou baixo?”. Sendo assim, as respostas para essas perguntas permitiriam concluir que a Biomassa desenvolve regiões menos favorecidas economicamente, porém tem eficiência reduzida e um alto custo de produção devido ao transporte de matéria.



**Figura 3** – Energia Biomassa. Fonte: CRV, 2016.

Outra modalidade de produção de energia é a eólica. Após a exposição da Figura 4, dentre as diversas perguntas que podem ser feitas pelo professor para a turma são: “alguém sabe dizer o que são esses aparelhos?”, “alguém já viu isso em algum lugar?”. Pode-se assim dizer que os aparelhos são torres responsáveis por transformar a energia

eólica (energia do vento) em energia elétrica. Para o aproveitamento dessa energia, o vento necessita ter uma velocidade mínima a uma determinada altura. Portanto, é conveniente que a instalação das torres seja feita em locais onde as características do vento estejam dentro do necessário, como por exemplo, no nordeste brasileiro.



**Figura 4** – Energia Eólica. Fonte: VEJA, 2012.

Apesar da Matriz Energética não explicitar a energia solar, devido ao seu baixo percentual quando comparada com outras fontes de energia, é interessante que o professor aborde esta modalidade de energia em sala de aula, já que se estima que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial. Como motivação, lembra-se também que o Brasil é um país que em média fica exposto à forte insolação.

Este modo de produção energético tem sido muito comentado na mídia, portanto, é provável que o mesmo seja citado pelos alunos na quarta pergunta do texto. Sugere-se que o professor projete para seus alunos uma imagem de um painel solar, como a da Figura 5 e que faça perguntas como: “alguém já viu alguma placa como esta em algum telhado ou na rua?”; “alguém sabe dizer para que serve esta placa?”; “será que este tipo de energia faz o morador economizar na conta de luz de sua residência?”; “será que com um painel desses eu consigo alimentar energeticamente toda minha residência?”. É importante que as perguntas que serão feitas pelo professor permitam a turma perceber que a energia solar tem grande aproveitamento para energia doméstica, apesar do alto custo de aquisição dos equipamentos. A dificuldade do uso energético em grandes escalas é a baixa eficiência dos sistemas de conversão de energia, necessitando assim grande área para disponibilização dos painéis.



**Figura 5** – Energia Solar. Fonte: ULTIMATE MEGAZINE, 2016.

Uma fonte que é dificilmente comentada na mídia, por ser muito pouco utilizada mundialmente, é a energia provinda de usinas maremotrizes. Apesar do Brasil ainda não utiliza-la, esta merece ser comentada em sala de aula por ser uma fonte promissora e devido também a projetos de sua implementação em território brasileiro.

Para envolver a turma com o tema, sugere-se que o professor pergunte se alguém já ouviu falar na energia de maré. Outra sugestão é que se projete a Figura 6 por se tratar da usina maremotriz de La Rance, na França.



**Figura 6** – Usina maremotriz de La Rance, na França. Fonte: L, NETO et al, 2011.

O professor deve destacar para a turma que, apesar do nosso planeta ter muitos mares, são poucos os que oferecem condições para a exploração da energia das marés. Deve ser informado aos estudantes sobre o projeto brasileiro para exploração deste tipo de energia, além dos benefícios e malefícios (mais bem comentados no Apêndice A) em utiliza-la.

O último modo de produção energético a ser estudado com os alunos é a energia nuclear. É recomendável que o professor projete uma imagem de uma usina nuclear brasileira, como a Figura 7.



**Figura 7** – Usina nuclear de Angra dos Reis. Fonte: MSATUAL, 2015.

Sabe-se que a maior desvantagem das usinas nucleares é, até então, a falta de solução definitiva para o lixo radioativo. Entretanto, para que os alunos compreendam o motivo do problema, é necessário que eles tenham conhecimentos básicos de como a energia nuclear é gerada e transformada em energia elétrica. Sabendo-se que a produção de energia elétrica nas usinas nucleares provém basicamente de uma reação em cadeia iniciada por uma fissão nuclear, é essencial que a turma compreenda algumas características dos núcleos dos átomos como a sua estrutura e instabilidade, as emissões radioativas e o tempo de meia vida.

Portanto, essa é a justificativa do que será trabalhado a partir da segunda aula. O professor destacará para a turma a necessidade de se compreender alguns fenômenos nucleares que os permitam compreender o processo de produção de energia por este meio e concluir sobre os benefícios e malefícios de sua utilização. Assim, as próximas aulas serão destinadas ao estudo desses fenômenos.

Desta forma, a tabela que estava sendo construída pela classe ficará incompleta temporariamente, até que se tenha conhecimento suficiente para saber os aspectos positivos e negativos da geração de energia nuclear.

Consequentemente, a tabela pode ficar como o exemplo na Tabela 1.

Modo de produção de energia elétrica	Vantagem	Desvantagem
Termoelétrica	Baixo custo de implementação e farta oferta de combustível.	Muito poluente e custo de produção muito alto.
Hidrelétrica	Contribuição muito baixa, ou quase nenhuma, para o aquecimento global.	Necessidade de grande área de alagamento que provoca impacto sobre populações ribeirinhas, flora e fauna locais.

Biomassa	Desenvolvimento de regiões menos favorecidas economicamente.	Eficiência reduzida e alto custo de produção e transporte.
Eólica	Não poluente	Há poucas regiões que possuem as características locais necessárias. Ruído dos rotores, interferência nas rotas de aves e eletromagnéticas.
Solar	Suprimento de eletricidade em comunidades afastadas da rede de energia elétrica, aproveitamento para energia doméstica.	Alto custo de aquisição dos equipamentos, baixa eficiência dos sistemas de conversão de energia, o que acarreta necessidade de grande área para disponibilização dos painéis.
Nuclear		

**Tabela 1** – Modos de produção de energia sem conclusão da energia nuclear (Elaborada pela autora)

É importante que a turma compreenda que para a escolha de uma fonte energética é necessária uma análise global de vários aspectos: impacto ambiental, custo financeiro, custo social, oferta de combustível, desenvolvimento de sistemas apropriados de armazenamento e transporte. A Tabela 1 permite que esses aspectos sejam analisados em cada modalidade de geração.

Cabe lembrar ao professor que há um pequeno referencial teórico no Apêndice A que contempla informações importantes de todas as modalidades de produção de energia elétrica trabalhadas nesta primeira etapa.

## B.2 Segunda etapa: Entendendo os decaimentos radioativos

Esta é a primeira etapa destinada ao estudo dos assuntos escolhidos da Física Nuclear. Para tanto, formaliza-se a estrutura do núcleo atômico e analisa-se os fatores que influenciam na sua estabilidade.

### B.2.1 Composição e estabilidade nuclear

Geralmente, um dos primeiros assuntos abordados nas aulas de Química do Ensino Médio é a estrutura atômica. Portanto, espera-se que os alunos tenham conhecimento que um núcleo atômico é formado por prótons e nêutrons, e que ambos são conhecidos coletivamente como núcleons. Após o professor relembrar a turma sobre as partículas nucleares, ele perguntará inicialmente a seus alunos se alguém saberia a explicação da união dos prótons no núcleo, já que entre eles existe a força de repulsão elétrica. Antes de o professor fazer tal pergunta, ele precisa descobrir se os estudantes em algum momento já estudaram as interações entre as partículas. Caso ainda não o tenha, uma explicação breve sobre o assunto deve ser fornecida.

O professor deve, oralmente, fazer perguntas que possibilitem um diálogo entre ele e a turma, e que através desse diálogo, a classe, auxiliada pelo mesmo, possa concluir a existência de uma força atrativa de mesma ou maior intensidade que a força repulsiva, justificando assim a coesão nuclear. Esta força é conhecida como força nuclear forte e atua em todos os núcleons que estão afastados cerca de  $10^{-15}$  m. Exemplificações, metáforas ou simulações podem ajudar na construção do raciocínio.

Após a turma tomar ciência da existência da força nuclear, é indispensável que o professor, baseado no mesmo processo descrito no parágrafo anterior, auxilie a turma a concluir sobre a diferença entre o alcance da força nuclear e o da força elétrica, assim como o papel dos nêutrons na estabilidade nuclear. Sendo assim, a turma será apresentada aos fatores considerados na estabilidade do núcleo atômico e, conseqüentemente, tomará ciência de que existem núcleos que são instáveis.

Um exemplo de atuação do professor nesse processo de construção da estabilidade nuclear é apresentado no capítulo 4 da dissertação. Uma opção para o professor facilitar a visualização dos fenômenos nucleares está disponível em Schappo (2010), em que o autor monta um modelo concreto que caracteriza o núcleo.

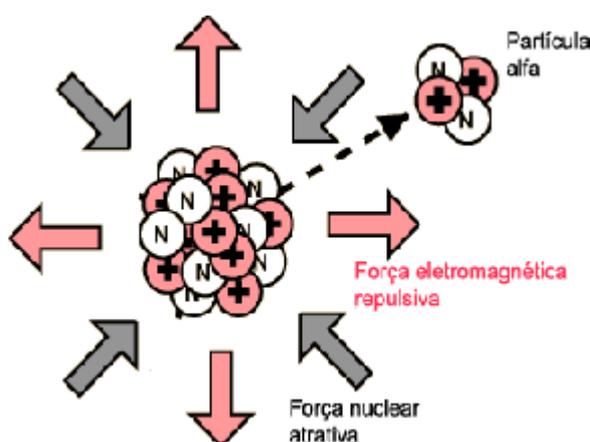
### B.2.2 Decaimentos radioativos

Mas, qual o motivo dos estudantes aprenderem sobre a instabilidade de núcleos atômicos de determinados elementos químicos? Qual a consequência da instabilidade nuclear? É fundamental que os alunos tenham conhecimento da instabilidade nuclear porque todo elemento cujo núcleo é instável sofre um processo chamado decaimento radioativo. Dentro de um reator nuclear, onde é gerada a energia nuclear, é este

processo que acontece. Portanto, a instabilidade nuclear e consequentemente os decaimentos radioativos, são assuntos básicos para entender como a energia nuclear é produzida.

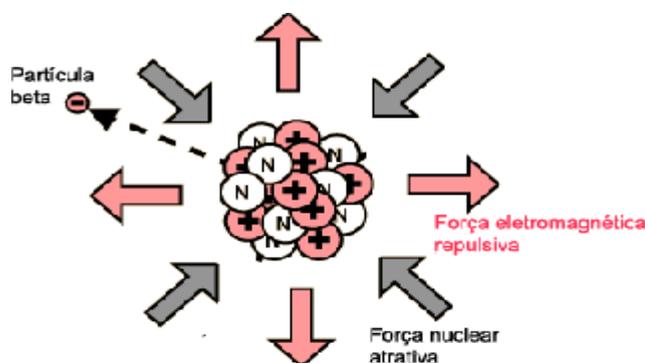
Após o professor discutir junto à turma a instabilidade nuclear, o processo de decaimento radioativo pode ser apresentado como a busca da estabilidade. O professor deverá informar oralmente à turma (caso ainda não seja do conhecimento dos alunos) sobre os nuclídeos de um núcleo. Todos os núcleos de todos os átomos de um certo elemento químico possuem o mesmo número de prótons, sendo este o caracterizador do elemento, contudo podem ter diferentes números de nêutrons. Os núcleons que guardam essa relação são chamados de isótopos e cada tipo de núcleo é chamado de nuclídeo.

O professor deve fazer a turma tomar conhecimento de que a tendência de todos os isótopos é atingir a estabilidade e que para isto acaba emitindo espontaneamente partículas ou radiação através de um processo chamado decaimento radioativo. Almejando seu objetivo, sugere-se que o professor disponibilize as Figuras 8, 9 e 10 que representam, consecutivamente, os decaimentos alfa, beta e gama.



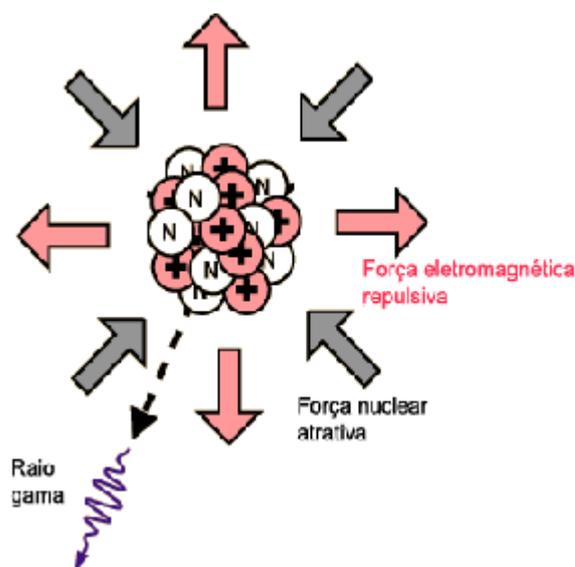
**Figura 8** – Decaimento alfa. Fonte: adaptada do site

<http://fiscaradiacao.blogspot.com.br/p/imagens-radioativas.html>. Acessado em 10 mai. 2016.



**Figura 9** – Decaimento beta. Fonte: adaptada do site

<http://fiscaradiacao.blogspot.com.br/p/imagens-radioativas.html>. Acessado em 10 mai. 2016.



**Figura 10** – Decaimento gama. Fonte: adaptada do site

<http://fiscaradiacao.blogspot.com.br/p/imagens-radioativas.html>. Acessado em 10 mai. 2016.

As figuras contêm um núcleo instável que busca a estabilidade através de decaimentos. O professor deve destacar para seus alunos que em cada processo o núcleo emite algo diferente. Desta forma, ele pode nomear cada processo como um decaimento radioativo.

Na Figura 8 o núcleo emite dois prótons e dois nêutrons, os quais constituem uma partícula chamada alfa ( $\alpha$ ). Já na Figura 9 o núcleo emite um elétron constituindo assim uma partícula beta ( $\beta$ ). Na Figura 10 o núcleo não emite partícula alguma e sim uma onda eletromagnética denominada raio gama ( $\gamma$ ).

Como exemplo de nuclídeos instáveis podem ser citados para a turma o  $^{14}\text{C}$  (usado na datação radioativa, ao possibilitar determinar a idade de certos compostos orgânicos e inorgânicos através da medição de sua atividade), o  $^{13}\text{C}$  (usado nas ressonâncias magnéticas), e o  $^{11}\text{C}$  (usado em tomografias).

É necessário também trabalhar as principais características de cada processo. Para o estudo das características alfa e beta, o professor deve disponibilizar para a turma o vídeo de Alfredo Luis Mateus do portal PontoCiência, disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=7uj8\\_D4edG0](https://www.youtube.com/watch?v=7uj8_D4edG0).

Ao exibir o vídeo para os alunos, o professor deve chamar a atenção da turma para a diferença de penetração entre as partículas alfa e beta. A alfa não consegue penetrar a folha de papel. Já a beta consegue penetração no papel mas é barrada pelas placas de alumínio espessa e fina. Deve ser perguntado aos estudantes um possível motivo para os obstáculos barrarem as partículas e o por quê a folha de papel não barra a partícula beta mas barra a alfa. Algumas hipóteses podem ser formuladas pelos alunos como: a radiação beta tem mais força ou mais pressão que a outra. Cabe ao professor,

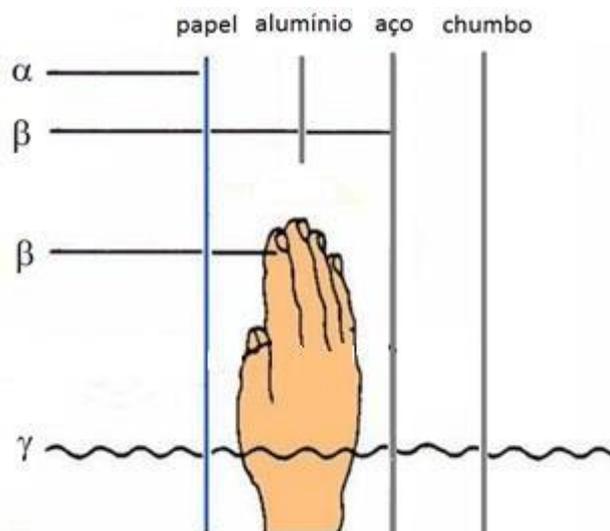
caso nenhum aluno tenha percebido, mostrar que ambas as partículas possuem massa e devido a isto são barradas e que a radiação alfa não conseguiu tanta penetração quanto a outra porque sua massa deve ser a maior.

O professor deve também destacar que no vídeo há outro fator que influencia na detecção da radiação pelo detector e perguntar se algum aluno conseguiria dizer que fator é este. No final do vídeo, quando a fonte beta se distancia do aparelho, a radioatividade detectada diminui e devido a isto, talvez algum estudante possa responder que a distância é este fator.

Caso nenhum aluno ainda tenha percebido, o professor deve perguntar agora se alguém conseguiria explicar o motivo da distância influenciar na detecção da radioatividade. Por se concluir anteriormente que a partícula beta possui massa, através de possíveis discussões com a turma, deve-se concluir que se a distância que a partícula percorre até alcançar o detector aumenta, esta sofre mais interação com o ar, ou seja, perde energia.

Através da análise do vídeo, a classe poderá concluir que as partículas alfa e beta possuem massa e fazer também a comparação entre elas. Também será concluído que a massa, assim como a energia própria de cada uma, influencia no poder de penetração.

Para análise da radiação gama, sugere-se que o professor utilize a Figura 11 mostrando o diferente poder de penetração de cada produto radioativo.



**Figura 11** – Comparação da penetração dos três processos de decaimento radioativo. Fonte: adaptado de Oguri, 2014.

O professor pedirá neste momento que a classe compare a penetração das três radiações. Utilizando as conclusões obtidas através do estudo do vídeo, será concluído que a massa da radiação gama é menor assim como a energia dela é maior do que as de alfa e beta. O professor deve aprimorar esta conclusão lembrando que, como visto na Figura 11, a radiação gama é uma onda eletromagnética, ou seja, não possui massa.

Após o término de toda a discussão acima, é válido que o professor resuma no quadro cada modo de decaimento radioativo, auxiliado por equações genéricas que representem cada processo, contemplando também as principais características de cada um. Informações de cada processo de decaimento assim como as equações estão na seção 3.2 do capítulo 3 do Apêndice A.

## B.3 Terceira etapa: Sobre o tempo de meia-vida

Esta etapa é iniciada pelo professor definindo junto à turma o tempo de meia-vida de um elemento radioativo. Para destacar a importância do conceito, o professor pode citar a estimativa da idade de uma rocha ao considerar o tempo de meia-vida do  $^{235}\text{U}$  e  $^{238}\text{U}$  e calcular a quantidade de  $^{207}\text{Pb}$  e  $^{206}\text{Pb}$ , já que, ambos são gerados no decaimento dos isótopos de urânio citados (BONJORNO. et al, 2013).

A seguir, o professor dividirá a turma em grupos e distribuirá para cada grupo uma folha de papel ou cartolina, uma garrafa transparente com água colorida por anilina e mais garrafas idênticas a primeira, contendo vazias. O professor pedirá que todos os grupos marquem o nível de água na folha distribuída e que despejem metade do líquido de sua garrafa em outra fazendo também a marcação desta. Depois de um intervalo de tempo definido previamente pelo professor, os alunos despejarão metade do líquido da segunda garrafa em uma terceira, fazendo a marcação do nível atingido e, depois do mesmo intervalo de tempo, o grupo despejará metade do líquido da terceira na quarta e última garrafa, também marcando o nível na folha. A Figura 12 exemplifica a disposição das quatro garrafas já com seus correspondentes níveis de água.



**Figura 12** – Exemplo de garrafas com os correspondentes níveis de água (Elaborada pela autora)

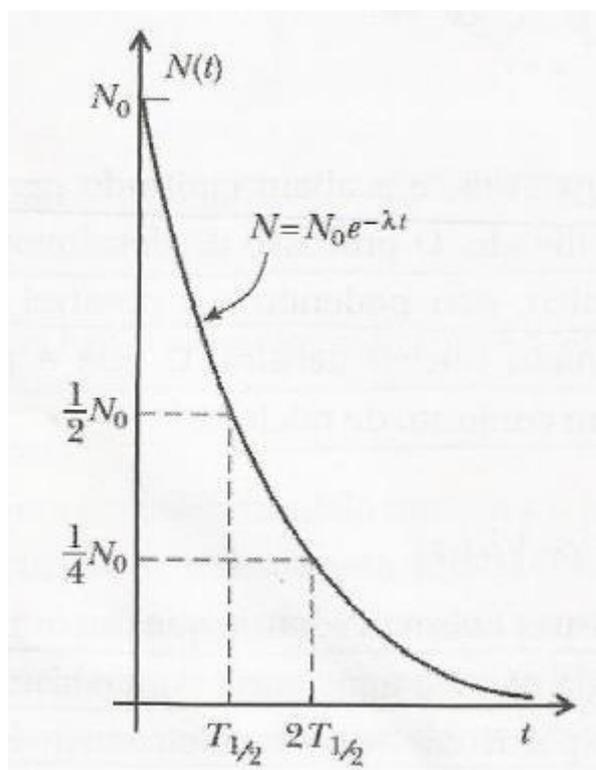
Para o enriquecimento da conclusão da atividade, propõe-se que o intervalo de tempo de cada grupo seja diferente, assim como o tamanho e formato das garrafas. Como última etapa, será pedido que cada grupo faça um gráfico na própria folha com as marcas registradas. Para a finalização e conclusão da atividade, cada grupo mostrará sua folha ao restante da turma para que os resultados sejam comparados.

Espera-se que todos liguem as marcas de tal maneira a formar uma curva. Para surpresa da classe, mesmo o intervalo de despejo de cada grupo sendo diferente, assim como a forma das garrafas, o gráfico de todos será uma curva.

A característica que diferirá o gráfico de cada grupo é a curvatura. Alguns terão

curvas bem acentuadas já outros nem tanto. Caso algum grupo tenha feito a marcação ou a ligação dos pontos erradamente, caberá ao professor corrigi-lo e mostrar o gráfico esperado.

Após a comparação do gráfico de cada grupo, se nenhum aluno ainda não tiver percebido, o professor deverá destacar que no gráfico há duas incógnitas com uma relação de dependência mútua, o que caracteriza uma função. O eixo das ordenadas define o nível de água das garrafas e o eixo das abscissas o intervalo de tempo entre os despejos. A cada intervalo de tempo o nível de água colorida diminui pela metade, o que caracteriza a função como decrescente. Se os grupos dessem continuidade à prática, aumentando a quantidade de garrafas, verificariam que a diferença entre os valores das ordenadas (os níveis de água) seria cada vez menor. Isto daria, visualmente, a impressão de que o gráfico se estabilizou em um único valor no eixo das ordenadas e que nunca tocaria o eixo das abscissas (o nível de água nunca seria zero) porque sempre haveria um nível a ser dividido pela metade. Portanto, após toda essa análise feita oralmente pelo professor com a turma, pode-se chegar à conclusão de que o gráfico encontrado é um gráfico de uma função exponencial (Figura 13). Neste momento, o gráfico a seguir poderá ser mostrado à classe como tentativa de se generalizar o comportamento de uma amostra radioativa em função do seu tempo de meia-vida.



**Figura 13** – Comportamento de uma amostra radioativa em função do tempo de meia-vida. Fonte: PERUZO, pag 42, 2012.

Na Figura 13,  $N$  é a quantidade da amostra radioativa no tempo  $t$ ,  $N_0$  é a quantidade inicial da amostra,  $T$  é o tempo de meia-vida da mesma e  $\lambda$  uma constante radioativa, cujo valor depende apenas do tipo de nuclídeo presente.

A proposta da atividade descrita objetiva fazer uma analogia entre o experimento e o tempo de meia-vida de um elemento radioativo. Da mesma maneira que o nível da garrafa sempre diminuía pela metade em um intervalo de tempo constante, a quantidade de amostra radioativa também decai pela metade em um intervalo de tempo constante, intervalo este denominado meia-vida.

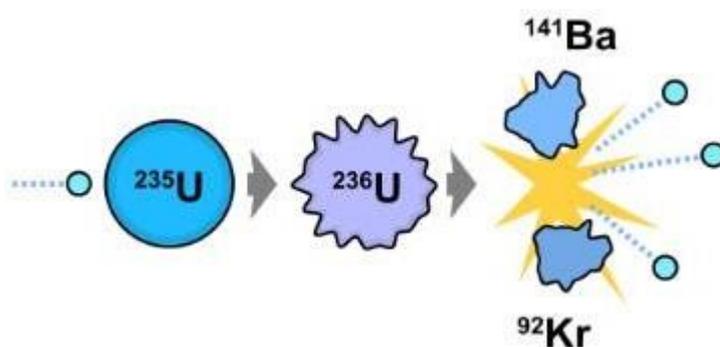
Todo isótopo radioativo tem uma meia-vida característica, não afetada por qualquer condição externa como temperatura, pressão, campos magnéticos, etc. Portanto, ao ter conhecimento do modo de decaimento de um elemento radioativo assim como seu tempo de meia-vida, fica permitido prever o comportamento de um conjunto de núcleos (PERUZZO, 2012).

Para a finalização da aula, o professor irá propor à classe responder a pergunta da terceira etapa do Apêndice C. Dependendo do tempo disponível, as respostas podem ser entregues na mesma aula ou na aula seguinte.

## B.4 Quarta etapa: Fissão Nuclear e Reação em Cadeia

Até então, devido às etapas anteriores, a turma já estudou alguns tópicos básicos da radioatividade, como a composição e estabilidade nuclear, os modos de decaimento radioativo e o tempo de meia-vida de núcleos instáveis. Contudo, nenhum dos assuntos trabalhados mostrou aos estudantes algum processo ou fenômeno radioativo de geração de energia. Lembrando que o objetivo da proposta é possibilita-los a compreender basicamente como a energia nuclear é gerada, se faz necessário definir um dos processos nucleares mais importantes: a fissão nuclear.

O processo de fissão poderá ser definido tradicionalmente pelo professor com o auxílio de ilustrações, como a da Figura 14.



**Figura 14** – Fissão Nuclear. Fonte: CENTRAIS ELÉTRICAS, 2011.

Na figura, o núcleo  $^{235}\text{U}$  é alvo de um nêutron térmico e em seguida o absorve. Surge, momentaneamente, o  $^{236}\text{U}$  que logo se rompe gerando  $^{141}\text{Ba}$ ,  $^{92}\text{Kr}$ , três nêutrons e alta energia.

De posse do conhecimento sobre a fissão nuclear, processo nuclear gerador de grande quantidade de energia, é provável que alguns alunos imaginem que dentro de um reator nuclear aconteça uma ou várias fissões ao mesmo tempo. É importante o professor informar que, apesar da fissão ser grande geradora de energia, uma única fissão não é suficiente para gerar a energia elétrica de uma usina nuclear. Para a discussão da geração de energia dentro do reator nuclear é sugerida uma atividade para o professor trabalhar com a turma.

A prática necessita da disposição de algumas peças de dominó. Pergunta-se à turma: Como vocês fariam para derrubar todas as peças deste dominó através de um único peteleco? Podem surgir muitas respostas para esta pergunta motivadora. Entretanto, o professor deverá intervir, sugerir e encaminhar, sempre que necessário, mediando assim o processo de ensino-aprendizagem.

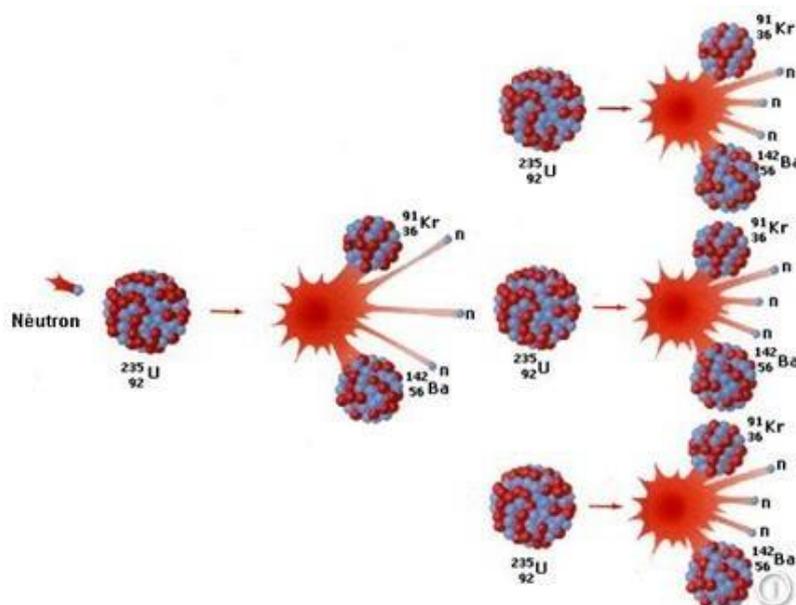
Todos devem, juntos, concluir que, dentre algumas maneiras de derrubar as peças, a melhor delas é posicionar uma única peça e, em fileiras paralelas, ir dispondo em número crescente mais peças, conforme mostra a Figura 15.



**Figura 15** – Disposição das peças de dominó (Elaborada pela autora).

Ao dar o peteleco na primeira peça, esta derrubará as peças da segunda fileira que derrubarão as peças da terceira fileira e assim consecutivamente. O professor deve destacar que se conseguiu derrubar todas as peças de dominó com apenas um único peteleco. Ou seja, através de uma única ação executada em um elemento, alcançou-se o objetivo final, derrubar todas as peças. Se para a derrubada de todas as peças fosse necessário um peteleco em cada uma delas, o gasto de energia seria muito maior.

A prática descrita acima foi proposta porque a maneira escolhida para derrubar todas as peças de dominó é, em algumas características, análoga ao processo de geração de energia dentro de um reator nuclear. Este processo é chamado reação em cadeia e é formado por uma sequência de fissões nucleares. Como exemplo de uma reação em cadeia, o professor pode citar novamente o  $^{235}\text{U}$  mostrando a Figura 16.



**Figura 16** - Exemplo de reação em cadeia. Fonte: FOGAÇA, 2016.

O  $^{235}\text{U}$ , como já visto, gera três nêutrons ao ser fissionado. Estes nêutrons causam a fissão de três átomos de  $^{235}\text{U}$  liberando, assim, nove nêutrons. Se cada um desses nêutrons fosse disposto de modo a quebrar outros átomos de  $^{235}\text{U}$ , a próxima etapa da reação produziria 27 nêutrons, e assim por diante. O número de nêutrons cresce de forma exponencial.

Animações também podem ser mostradas à turma como tentativa de facilitar a compreensão dos fenômenos trabalhados nesta etapa da proposta. Um exemplo de vídeo que contém animações que exemplificam a fissão nuclear e a reação em cadeia está disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=S6vj-Qk2tBk>.

Com o conhecimento da classe sobre uma reação nuclear em cadeia e o Princípio da Conservação de energia, se torna possível o professor explicar o funcionamento básico de uma usina nuclear. Deve ser destacado que no reator acontecem reações em cadeia que devem ser controladas.

Para a finalização da aula, o professor irá propor que a classe responda a pergunta da quarta etapa do Apêndice C. Dependendo do tempo disponível, as respostas podem ser entregues na mesma aula ou na aula seguinte.

No Apêndice A há uma breve explicação das etapas de geração da energia nuclear em um reator nuclear, assim como, um referencial teórico sobre a fissão nuclear e a reação em cadeia.

## B.5 Quinta etapa: Analisando a Matriz Energética Brasileira e Fusão Nuclear como perspectiva futura para geração de energia elétrica

Finalmente, na quarta etapa, o professor pode explicar junto à classe o funcionamento básico de uma usina nuclear, aplicando todo o conhecimento adquirido nas etapas anteriores. Lembra-se que o objetivo da proposta é contribuir para a formação de alunos criticamente atuantes nas decisões sociais de sua nação, os capacitando-os a analisar os bônus e ônus dos diversos modos de produção de energia elétrica.

Portanto, a quinta etapa consiste em fazer uma análise crítica sobre os principais aspectos da energia nuclear permitindo a turma completar a tabela da primeira etapa da proposta e analisar a Matriz Energética Brasileira. A proposta de aula será encerrada apresentando a fusão nuclear como uma coibição do ser humano por ser uma fonte sustentável de energia a longo prazo e por gerar energia muito maior que os demais modos de produção. Serão abordadas também as particularidades do processo de fusão nuclear.

### 5.1 *Análise crítica da geração da energia nuclear*

Compreendendo a geração da energia nuclear ao estudar todas as etapas de sua produção, torna-se possível fazer uma análise crítica, em sala de aula, sobre questões como: o descarte do lixo radioativo; a necessidade de segurança e monitoramento em todo o processo produtivo; e o nível de contribuição para a poluição mundial.

O aspecto ligado à energia nuclear que mais tem preocupado a sociedade de modo geral, é a eliminação do lixo nuclear. Portanto, é necessário que o professor forneça informações sobre o assunto de modo a permitir que seus alunos tomem ciência do problema. Mais informações sobre o lixo nuclear são encontradas no Apêndice A.

Como ilustração do tema que está sendo abordado na aula, o professor pode, enquanto expõe o problema de superlotação a longo prazo das piscinas das usinas nucleares, projetar a Figura 17.



**Figura 17**– Técnico monitorando uma piscina que estoca combustível nuclear queimado. Fonte: PERUZZO, 2012, p. 155.

Outro tema riquíssimo para debate é a necessidade de tamanha segurança nas usinas nucleares. É interessante que o professor forneça informações para a classe sobre acidentes nucleares graves da história como os de Three Mile Island, nos Estados Unidos, de Chernobyl, na Ucrânia (na época pertencente à URSS) e recentemente o de Fukushima, no Japão. Mais informações sobre os acidentes citados são encontradas no Apêndice A.

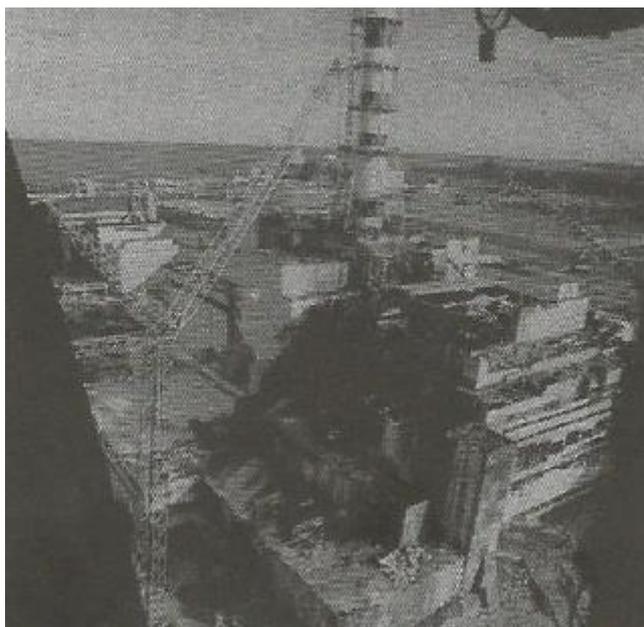
Enquanto aborda as principais causas e consequências de cada acidente com a turma, o professor pode projetar imagens correspondentes a cada acidente nuclear.

A Figura 18 ilustra a usina de Three Mile Island, nos Estados Unidos:



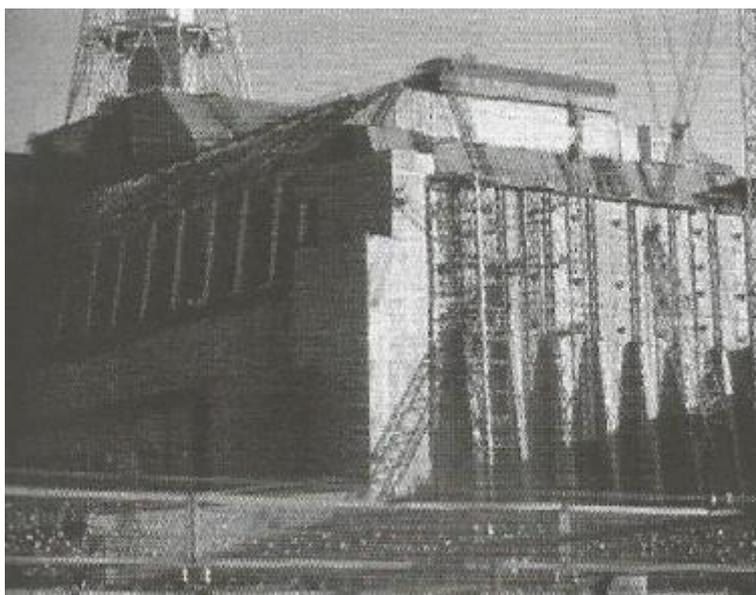
**Figura 18** – Usina de Three Mile Island. Fonte: GEOPEDRADOS, 2010.

Para ilustração do acidente de Chernobyl, na Ucrânia em 1986, tem-se a Figura 19.



**Figura 19** – Reator explodido em Chernobyl. Fonte: PERUZZO, 2012, p. 186.

Durante oito dias, helicópteros jogaram milhares de toneladas de concreto, areia e chumbo sobre o reator. Milhares de veículos contaminados estão descartados no imenso cemitério de equipamentos usados em Chernobyl e até hoje é perigoso se aproximar deles, pois emitem altas doses de radiação. O reator foi selado com a construção posterior de paredes de aço e concreto, formando o que se chama de sarcófago, que contém o resto do combustível e de outros materiais radioativos que compunham o interior do reator. O sarcófago é uma estrutura grande com cerca de 300.000 toneladas de aço e concreto e que tem a altura de um prédio de cerca de 30 andares (XAVIER, 2007). Veja Figuras 20 e 21.



**Figura 20** – Sacófago de contenção do reator. Fonte: PERUZZO, 2012, p. 189.



**Figura 21**– Equipamentos usados em Chernobyl. Fonte: PERUZZO, 2012, p. 190.

Para ilustração do acidente de Fukushima, no Japão, tem-se a Figura 22;



**Figura 22** – Imagem de satélite mostra a situação da central logo após o acidente. Fonte: FERREIRA, 2012.

O lixo nuclear e o risco de acidente são os principais fatores negativos para a utilização de energia nuclear. Entretanto, não se pode esquecer de ressaltar na discussão com a turma, os fatores positivos. Deve ser lembrado que este é um modo de produção de energia elétrica bem menos poluente quando comparado, por exemplo, com as usinas termoelétricas. Além disso, não provoca um desequilíbrio ecológico por ocupar uma grande área, como as usinas hidrelétricas.

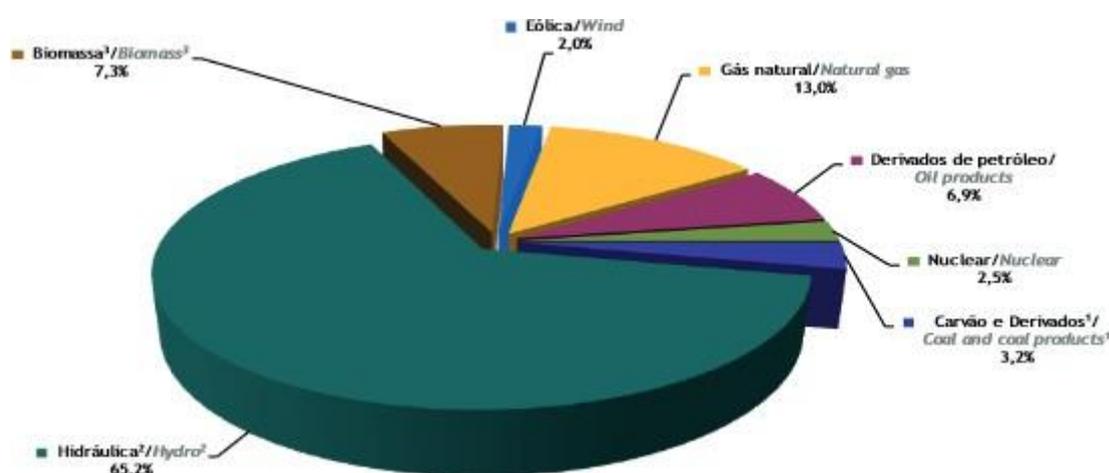
Como finalização desta discussão, o professor deverá retornar à tabela construída junto com a turma na primeira etapa da proposta e completar, com o auxílio dos alunos, os aspectos positivos e negativos da geração de energia através da energia nuclear. Sendo assim, os alunos terão oportunidade de comparar visualmente os

benefícios e malefícios dos principais modos de produção de energia elétrica.

É oportuno, portanto, o professor fazer as seguintes perguntas à turma: “Qual será a contribuição de cada modalidade da tabela na produção energética brasileira?”, “Qual será a modalidade de maior contribuição?” e “Qual será a maior dificuldade que o Brasil tem atualmente em relação à produção de energia elétrica?”.

Cabe, conseqüentemente, o professor apresentar a Matriz Energética Brasileira mais atualizada em relação ao ano de aplicação da aula para determinar o percentual de contribuição de cada modalidade discutida. Veja a Figura 23.

Como a aula foi aplicada no ano de 2015, a Matriz mais atualizada era a do ano de 2014, já que, a Matriz de 2015 somente foi disponibilizada em 2016.



**Figura 23** – Oferta interna de energia elétrica por fonte de 2014. Fonte: BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2015.

Portanto, a Tabela 2 já completa ficará da seguinte maneira:

Modo de produção de energia elétrica	Vantagens	Desvantagens	Percentual de 2014
Termoelétricas	Baixo custo de implementação e farta oferta de combustível.	Muito poluente e custo de produção muito alto.	23,1%
Hidrelétricas	Contribuição muito baixa, ou quase nenhuma, para o aquecimento global.	Necessidade de grande área de alagamento que provoca impacto sobre populações ribeirinhas, flora e fauna locais.	65,2%
Biomassa	Desenvolvimento de regiões menos favorecidas economicamente.	Eficiência reduzida e alto custo de produção e transporte.	7,3%

Eólica	Não poluente	Há poucas regiões que possuem as características locais necessárias. Ruído dos rotores, interferência nas rotas de aves e eletromagnéticas.	2%
Solar	Suprimento de eletricidade em comunidades afastadas da rede de energia elétrica, aproveitamento para energia doméstica.	Alto custo de aquisição dos equipamentos, baixa eficiência dos sistemas de conversão de energia o que acarreta necessidade de grande área para disponibilização dos painéis.	Não apresentou percentual significativo na matriz energética em nenhum dos anos analisados
Nuclear	Baixa emissão de gases contribuintes para o efeito estufa.	Falta de solução definitiva para o lixo radioativo.	2,5%

**Tabela 2** – Comparação entre os modos de produção de energia (Elaborada pela autora)

Através da Tabela 2 já completa, a turma poderá comparar visualmente os malefícios e benefícios de cada modo de produção de energia elétrica assim como o percentual de contribuição de cada um para a Matriz Energética. Será possível também perceber que o maior percentual de contribuição é proveniente das usinas hidrelétricas. Fica justificado assim a preocupação da escassez de água abordada no texto 1 trabalhado na primeira etapa da proposta.

### *B.5.2 Fusão Nuclear*

É fato que o ser humano formou gradativamente uma sociedade que não vive mais sem eletricidade. Mas, todos os meios de se produzir eletricidade desenvolvidos até então, degradam ou põem em risco de alguma forma o meio em que vivem. Portanto, não é de se espantar que o ser humano ainda busca outras fontes de geração de energia elétrica.

É pretendido que devido ao debate feito na primeira etapa e à análise da Tabela 2 finalizada nesta etapa da proposta, os alunos entendam que não há o melhor modo de produção de energia. O professor deve destacar que cada modalidade apresenta fatores positivos e negativos e que por este motivo o homem ainda continua pesquisando outras maneiras de se gerar energia elétrica.

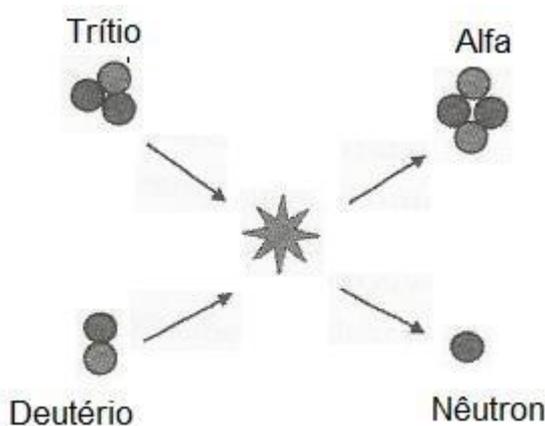
Sendo assim, o professor convidará a turma a assistir um vídeo sobre outra

maneira de se gerar energia elétrica que não foi abordada ainda nas aulas. Este vídeo está disponível na Internet em: [https://www.youtube.com/watch?v=AmKfL\\_ixWPY](https://www.youtube.com/watch?v=AmKfL_ixWPY)

O vídeo relata tentativas experimentais de cientistas em criar a fusão nuclear como uma fonte sustentável de energia a longo prazo, que não origina dejetos radioativos e que gera energia muito maior do que a da fissão nuclear. É comentado também sobre as expectativas de construção de uma usina de fusão.

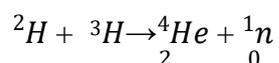
Após a turma assistir o vídeo, o professor deve iniciar o estudo sobre a fusão nuclear destacando algumas informações contidas no vídeo: a fusão nuclear é uma possível contribuinte energética para a sociedade e é uma cobiça do ser humano por ter um potencial energético muito maior do que o das fontes energéticas utilizadas até então.

Como o vídeo define apenas oralmente a fusão nuclear, recomenda-se que o professor utilize a Figura 24 para facilitar a compreensão do processo pelos alunos.



**Figura 24** – Fusão Nuclear. Fonte: PERUZZO, p. 116, 2012.

A Figura 24 representa a fusão de átomos mais pesados de H, o deutério D ( ${}^2\text{H}$ ) com o trítio T ( ${}^3\text{H}$ ). Esta reação é representada pela equação:



A aula deve ser finalizada com o professor explicando as particularidades e dificuldades da fusão nuclear, assim como a expectativa futura da fusão como uma possível contribuinte energética para a sociedade. Será pedido também que cada aluno responda a pergunta da quinta etapa do Apêndice C.

Os alunos podem falar em voz alta suas respostas nesta aula ou na próxima, dependendo do tempo que ainda ficou disponível.

Lembra-se ao professor que há mais informações sobre o processo de fusão nuclear no Apêndice A. Estas informações podem ajudá-lo a lembrar e entender conceitos sobre o processo.

## Referências Bibliográficas

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Relatório Final 2015**. BRASÍLIA, 2015. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2015&anoFimColeta=2014>>. Acesso em: 02 abr. 2016.

BONJORNO. et al. **Física**. 2 ed. São Paulo: FTD. 2013.

CENTRAIS ELÉTRICAS. **Como funciona uma central nuclear?**.2011. Disponível em: <<http://rd9centraleletrica.webnode.pt/desenvolvimento/centrais-nucleares/como-funciona-uma-central-nuclear/>>. Acesso em: 02 abr. 2016.

CENTRO DE REFERÊNCIA VIRTUAL DO PROFESSOR (CRV). Disponível em: <[http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema\\_crv/index2.aspx??id\\_objeto=23967](http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema_crv/index2.aspx??id_objeto=23967)>. Acesso em 26 abr. 2016.

COSTA, M. Avanço da energia caseira pode travar. **Folha de São Paulo**. São Paulo, 13 mar. 2016

FERREIRA, C. **Acidente em Fukushima interrompeu debate sobre energia nuclear, diz consultor da AIEA**. 14 mar. 2012. Disponível em: <<http://www.desenvolvimentistas.com.br/blog/carlosferreira/2012/03/14/acidente-em-fukushima-interrompeu-debate-sobre-energia-nuclear-diz-consultor-da-aiea/>>. Acesso em: 01 mai. 2016.

FOGAÇA, J. R. V. Mundo Educação. **Fissão Nuclear**. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/fissao-nuclear.htm>> Acesso em: 02 abr. 2016

GEOPEDRADOS. **O acidente de Three Mile Island foi há 31 anos**. 2010. Disponível em: <<http://geopedrados.blogspot.com.br/2010/03/o-acidente-de-three-mile-island-foi-ha.html>>. Acesso em 01 mai. 2016.

JARDIM, L. Caras, poluentes, mas obrigatórias. *Veja*, 9 set. 2014. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/blog/radar-on-line/economia/caras-poluentes-mas-obrigatorias/>>. Acesso em: 26 abr. 2016.

L, NETO, P. B. et al. Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências. *Revista chilena de ingeniería*, vol. 19, nº2, p. 219-232, 2011.

MSATUAL. *Usina nuclear Angra 1 para de funcionar*. Dourados, 19 jan. 2015. Disponível em: <<http://www.msatual.com.br/2015/01/19/usina-nuclear-angra-1-para-de-funcionar/>>. Acesso em: 26 abr. 2016.

OGURI, V. A radioatividade e a origem do não determinismo na ciência. *Revista Eletrônica do Vestibular*, n 20, ago. 2014. Disponível em:<[http://www.revista.vestibular.uerj.br/artigo/artigo.php?seq\\_artigo=33](http://www.revista.vestibular.uerj.br/artigo/artigo.php?seq_artigo=33)> Acesso em: 02 abr. 2016.

PERUZZO, J. *Física e energia nuclear*. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

Radiação. Disponível em: <<http://fiscaradiacao.blogspot.com.br/p/imagens-radioativas.html>>. Acesso em 29 jun. 2016.

SCHAPPO, M. G. Um modelo concreto para o estudo da estabilidade nuclear no Ensino Médio. *Física na Escola*. Santa Catarina, v. 11, n. 2, 2010.

ULTIMATE MEGAZINE. *Energia solar térmica, de qué se trata*. Disponível em: <<http://www.ocio.net/estilo-de-vida/ecologismo/energia-solar-termica-de-que-se-trata/>>. Acesso em: 26 abr. 2016.

VEJA. *Cai o uso da energia renovável no Brasil, diz IBGE*. 18 jun. 2012. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/noticia/ciencia/cai-o-uso-de-energia-renovavel-no-brasil-diz-ibge>>. Acesso em: 26 abr. 2016.

## Apêndice C – Material do Aluno

### C.1 Primeira etapa

Aluno, nesta primeira aula é necessário que sua turma se divida em quatro grupos de aproximadamente a mesma quantidade de alunos. Vocês irão numerar de 1 a 4 esses grupos para facilitar sua identificação. Cada aluno receberá do professor o seguinte texto:

Período chuvoso acaba e nível dos reservatórios é o menor desde 2001. Água armazenada, porém, é quase o dobro da época do racionamento. Governo discute na próxima semana desligamento de termelétricas.

As chuvas dos últimos dois meses melhoraram a situação dos reservatórios das hidrelétricas do país, mas não foram suficientes para impedir que eles chegassem ao fim do período chuvoso com o nível mais baixo desde 2001, ano em que o governo brasileiro decretou o racionamento de energia.

De acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), as represas de hidrelétricas do sistema Sudeste/Centro-Oeste, responsáveis por 70% da energia que abastece o Brasil, chegaram ao final de abril (dia 30) com 62,4% de armazenamento de água.

Apesar de ser o nível mais baixo dos últimos 12 anos, ele é quase o dobro do registrado em abril de 2001, pouco antes do início do racionamento, quando os reservatórios do Sudeste/Centro-Oeste tinham apenas 32,18% da água que eram capazes de armazenar.

Entretanto, o nível do final de abril de 2013 é 18% mais baixo que o verificado na mesma época do ano passado (76,09%). Desde 2003, os reservatórios daquele sistema não chegavam ao início do período seco, quando as chuvas diminuem na maior parte do país, com volume de água abaixo de 70%.

O sistema Nordeste, segundo mais importante do país, chegou ao dia 30 de abril em situação mais complicada: o nível médio das represas era de 48,8%, bem mais próximo ao registrado na região em 2001 (33,13%).

Nos últimos meses, o ministro de Minas e Energia, Edison Lobão, veio a público negar o risco de novo racionamento ou falta de energia no país em 2013 ou em 2014, ano em que o Brasil sedia a Copa. No mês passado, o ministro convocou entrevista para rebater reportagens e criticou o “tom alarmista” adotado pela imprensa na cobertura desse assunto.

Por conta do baixo nível dos reservatórios, desde outubro de 2012 o Brasil mantém todas as usinas termelétricas disponíveis funcionando. No dia 30 de abril, elas eram responsáveis por gerar 11.347 MW médios, 18,31% de toda a energia produzida no país.

O governo aguardava a situação dos reservatórios ao fim do período chuvoso para definir se as térmicas permanecem ligadas pelo restante do ano ou não. Isso deve ser decidido na próxima reunião do Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico

(CMSE), na semana que vem.

O problema de manter as termelétricas ligadas por mais tempo é que o preço da energia sobe. Essas usinas usam combustível, como carvão, gás e óleo, e o custo acaba sendo pago pelos consumidores. Neste ano, essa conta já supera os R\$ 2 bilhões.

No início de 2013, o governo adotou medidas para reduzir o impacto do uso das térmicas na conta de luz. Uma delas foi socorrer as distribuidoras de energia, que assumem o custo adicional das termelétricas no primeiro momento. Para isso, usou recursos da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), um fundo que financia programas do setor.

'Não há risco de racionamento ou de falta de energia no Brasil', diz Lobão

Lobão nega racionamento e diz que Brasil tem estoque 'firme' de energia

Reservatórios voltam a baixar e nível fica abaixo do pré-acionamento

Além disso, resolveu parcelar, em 5 anos, o repasse dessa conta aos consumidores. E alterou o rateio dessas despesas: reduziu a parcela que recai sobre consumidores residenciais e empresas, e incluiu no custeio os comercializadores e geradores de energia.

Curva de Aversão a Risco

Independente da decisão que será tomada pelo CMSE na próxima semana, o setor elétrico vai ficar atento ao nível dos reservatórios nos próximos meses. E, mesmo que o governo opte por desligar pelo menos parte das termelétricas, pode ser que elas venham a ser acionadas novamente em novembro.

No final de abril, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) aprovou a chamada Curva de Aversão a Risco (CAR) de 2013. Trata-se de um mecanismo que estabelece o nível mínimo dos reservatórios do país para cada mês do ano. De acordo com ele, as represas precisam chegar com 27% de armazenamento ao final de outubro, quando termina o período seco e começa o chuvoso, para que não haja risco de faltar energia no país.

Caso o índice fique abaixo disso, todas as termelétricas disponíveis são obrigatoriamente ligadas para poupar água dos reservatórios e garantir o abastecimento de energia no país no próximo período seco. (AMATO, 2013)

Além do texto, cada grupo receberá do professor uma pergunta a ser respondida em conjunto. O professor disponibilizará alguns minutos para a elaboração dessa tarefa.

Para o grupo estudar o texto, um integrante do grupo irá ler o texto em voz baixa para os demais componentes. Após a resposta já ter sido formulada, um aluno do grupo registrará em um papel a resposta.

As perguntas distribuídas aos grupos serão:

1ª pergunta (grupo 1): Qual a relação entre a falta de chuva e a preocupação

sobre a escassez de fornecimento de energia elétrica?.

2ª pergunta (grupo 2): Qual a relação entre o uso das termelétricas e a falta de chuva?

3ª pergunta (grupo 3): Explique o motivo da preocupação em se manter as termelétricas funcionando por muito tempo.

4ª pergunta (grupo 4): Segundo a matéria, em 2013, 70% do abastecimento de energia elétrica brasileiro era fornecido pelas hidrelétricas, enquanto 18,31% era proveniente das termelétricas. Os dados nos permitem concluir que há outros modos de produção de energia. Você conseguiria citar outros?.

Logo após, o professor irá ler o texto em voz alta com a turma. Seu grupo deverá escolher um integrante do grupo para ler em voz alta a resposta de vocês. Gradativamente, todos os grupos farão o mesmo procedimento respeitando a sequência numérica.

## C.2 Segunda etapa

Nesta segunda etapa, não há material de apoio específico para você, aluno. Você deve apenas acompanhar a aula através das ações do professor.

## C.3 Terceira etapa

Após a explicação do professor sobre o tempo de meia-vida, é necessário que sua turma se divida novamente em grupos. O professor definirá a quantidade de grupos que será necessária.

Seu grupo receberá uma folha de papel ou cartolina, uma garrafa transparente com água colorida por anilina e mais três garrafas idênticas à primeira, contudo vazias. Todas as garrafas devem ficar em pé paralelas entre si. Com o papel paralelo as garrafas (ou perpendicular a mesa), vocês marcarão o nível de água na folha distribuída e despejarão metade do líquido de sua garrafa em outra fazendo também a marcação desta. Depois de um intervalo de tempo definido previamente pelo professor, vocês despejarão metade do líquido da segunda garrafa em uma terceira, fazendo a marcação do nível atingido e, depois do mesmo intervalo de tempo, despejarão metade do líquido da terceira na quarta e última garrafa, também marcando o nível na folha. Vocês farão um gráfico na própria folha com as marcas registradas e mostrarão sua folha ao restante da turma.

Para a finalização da aula, você terá que responder, individualmente, a seguinte situação-problema: Suponha que uma professora de educação infantil tenha planejado para sua aula ensinar a seus alunos uma atividade clássica: como fazer um grão de feijão brotar apenas com algodão e água. A prática consiste em colocar um pedaço de algodão no fundo de um recipiente e sobre este algodão depositar um grão de feijão. Para que o grão se desenvolva, é necessário que o algodão seja levemente umidecido por alguns dias. O que dificulta a atividade da professora é a mesma dispor de uma pequena quantidade de algodão e não saber ao certo quantos alunos irão comparecer à aula. Como a professora pode dividir o algodão disponível para seus alunos de modo a ter certeza que todos terão algodão para a realização da prática?

Anote sua resposta no espaço abaixo.

## **C. 4 Quarta etapa**

Após você assistir a aula dessa quarta etapa, você tentará responder a seguinte questão: Cite outro exemplo que pode ser considerado uma reação em cadeia.

Anote sua resposta no espaço abaixo.

## **C.5 Quinta etapa**

Após você assistir a aula da quinta etapa, você tentará responder a seguinte questão: Como você explicaria o problema do lixo radioativo com o tempo de meia-vida?

Anote sua resposta no espaço abaixo.

## Referências Bibliográficas

AMATO, F. Período chuvoso acaba e nível dos reservatórios é o menor desde 2001. **G1**, Brasília, 2 mai. 2013. Disponível em:

<<http://g1.globo.com/economia/noticia/2013/05/periodo-chuvoso-acaba-e-nivel-dos-reservatorios-e-o-menor-desde-2001.htm>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

## Anexo

Secretaria de Estado de Educação (SEEDUC) – Colégio Estadual Professor Fernando Antônio  
Raja Gabaglia

### Termo de autorização de uso de imagem

Eu,

\_\_\_\_\_

portador (a) de célula de identidade nº \_\_\_\_\_, CPF nº

\_\_\_\_\_ autorizo a fotografar e veicular a imagem do menor

\_\_\_\_\_, o qual sou responsável, em meios de  
comunicação para fins didáticos, de pesquisa e divulgação de conhecimento científico.

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

