

Anexos – FISSÃO NUCLEAR: UM ESTUDO A PARTIR DA BOMBA ATÔMICA

Atividade 01 – Hiroshima e Nagasaki

A-1) Texto sugerido ao professor:

Contexto histórico

A terrível guerra do Pacífico - uma batalha numa grande extensão de terra, ar e mar - continuava. Depois do ataque a Pearl Harbor, o Japão conquistou as Filipinas, a Malásia, as Índias Holandesas e Burma. Tropas dos Estados Unidos, do Reino Unido, da Austrália e da Nova Zelândia tentaram parar o avanço japonês, que alcançou o seu ponto mais alto na Primavera de 1942. O ponto de viragem da guerra do Pacífico apareceu no mês de Junho de 1942 na Batalha de Midway. A vitória americana em Midway acabou com a esperança do Japão de controlar o Pacífico. Os Estados Unidos da América deram início a uma longa contra-ofensiva, tendo recapturado algumas ilhas do Pacífico que o Japão havia ocupado. Em Outubro de 1944, os EUA esmagaram finalmente a frota japonesa na Batalha do Golfo de Leyte, nas Filipinas. Mas o Japão recusava a rendição. Os Estados Unidos pretendiam terminar a guerra com a rendição incondicional do Japão. Para além disso, também queriam evitar mais batalhas como as de Iwo Jima e Okinawa, onde tinham tido baixas muito pesadas. Estes fatores fundamentaram os planos americanos de se usar a bomba atômica. Os Estados Unidos nos finais de 1941 estabeleceram um programa secreto que ficou conhecido por Projeto Manhattan, com o objetivo de desenvolver a bomba atômica, uma arma nuclear extremamente potente. O alvo do projeto, dirigido pelo físico J. Robert Oppenheimer, era o de construir uma bomba atômica antes da Alemanha nazista. Depois da morte de Roosevelt em Abril de 1945, Harry S. Truman tornou-se o presidente dos EUA e um acérrimo defensor do programa de desenvolvimento da bomba atômica. Nesta altura, a nova arma tinha dois intuitos. Primeiro, podia ser usada para forçar o Japão a render-se incondicionalmente. Segundo, a posse da bomba iria permitir aos Estados Unidos, e não à URSS, o controlo das políticas do pós-guerra. Deveriam os Estados Unidos da América usar a bomba para terminar com a guerra com o Japão? Quais eram as opiniões em 1945? Uma opinião era a de invadir o Japão, que Truman considerava que iria custar mais de meio milhão de vidas americanas. Alguns historiadores estimaram a perda de vidas humanas entre 25.000 e 46.000, apesar destas figuras considerarem apenas a primeira etapa da invasão Project Ada para Novembro. Uma segunda opinião era a de não exigir a rendição incondicional, tendo de existir uma negociação com o Japão. Uma terceira alternativa era a de permitir que a União Soviética invadisse, terminando a guerra com o Japão, o que iria reduzir a influência norte-americana na política do pós-guerra. Os cientistas que desenvolveram a bomba atômica debateram este assunto. Alguns consideraram errado o lançamento da bomba sem aviso prévio e apoiaram a explosão demonstrativa por forma a convencer o Japão a render-se. Na opinião de Oppenheimer, tal era muito incerto e arriscado; só o choque de se usar a bomba numa cidade japonesa forçaria o Japão a render-se. O presidente Truman concordou.

No dia 6 de Agosto de 1945 os Estados Unidos lançaram a bomba atômica sobre Hiroshima. A 8 de Agosto a URSS declara guerra ao Japão. No dia seguinte os EUA lançaram uma bomba atômica ainda mais potente sobre Nagasaki. A 2 de Setembro o governo japonês, que tinha jurado lutar até à morte, declarou a rendição incondicional.

Deveriam os Estados Unidos da América ter lançado a bomba? Críticos da decisão censuram a perda de vidas humanas. Consideram que qualquer das alternativas teria sido preferível. Outros pensam que só a bomba, usada da forma como foi usada, poderia ter terminado a guerra. Acima de tudo, ambos concordam que tal salvou inúmeras vidas americanas. A bomba também impediu a invasão soviética do Japão e deu aos EUA a enorme influência no mundo pós-guerra. *Para que não haja dúvidas acerca disto*, Truman escreveu mais tarde: *Eu considerei a bomba como uma arma militar e nunca tive dúvidas de que ela deveria ser usada.*

As bombas atômicas sobre o Japão

Explosão

O dia 6 de Agosto de 1945 amanheceu claro e quente em Hiroshima, sétima maior cidade do Japão, com 343 mil habitantes e uma guarnição militar de 150 mil soldados. Hiroshima fica junto ao delta do rio Ota, que desemboca no mar Interior. Naquela Segunda-feira, apesar da guerra travada nas ilhas do oceano Pacífico contra os Estados Unidos da América, a vida corria como sempre: os comerciantes já tinham aberto as lojas, os estudantes estavam nas salas de aula, os escritórios e as fábricas estavam a pleno vapor.

Pouco antes das 8 horas da manhã, toca a sirene avisando sobre a presença de aviação inimiga. O alerta era tão corriqueiro que pouca gente correu para os abrigos antiaéreos. A sirene parou. Às 8:15h, bem alto no céu, surge uma faísca branco-azulada que se transforma num arco rosado. Em décimos de segundo, Hiroshima (*Ilha Larga*) fica branca. Prédios e casas levitam. Pessoas e animais evaporam; telhados e tijolos derretem. Uma onda de calor de 5,5 milhões graus Celsius e ventos de 385 Km/h arrasam a cidade.

Onda de choque

Vinda do céu, a punição à cidade japonesa era a primeira bomba atômica usada para fins militares, lançada por um bombardeiro B-29, a Superfortaleza Voadora, dos Estados Unidos. Nem mesmo a tripulação do B-29 - apelidado de *Enola Gay* - sabia que tipo de bomba transportava. Inocentemente chamada *Little Boy*, a bomba foi lançada a 10 mil metros de altura, tendo descido de pára-quedas e explodindo a 650 metros do solo sobre o centro da cidade. Tudo que se encontrava a 500 metros do epicentro da explosão foi imediatamente incinerado. Segundos depois, a onda de choque atingia um raio de mais de 7 quilômetros. Menos de uma hora depois da explosão, 78 mil pessoas tinham morrido e 10 mil simplesmente evaporaram. Foram 37 mil feridos e milhares de pessoas foram morrendo nos dias, meses e anos seguintes. Durante muitos anos nasceram crianças deficientes devido à radiação a que as mães tinham sido expostas. Na cidade arrasada, a sombra de pessoas, de plantas, pontes ficou impressa em negativo - a marca da sombra atômica.

Cogumelo

A explosão libertou uma quantidade absurda de radiação e o mundo conheceu pela primeira vez a imagem do temido cogumelo atômico. Ao todo, morreram cerca de 300 mil pessoas em consequência direta do ataque. Quem não morreu queimado,

esmagado ou pulverizado sofreu mais tarde com os efeitos da radiação - em geral, morte por cancro.

A vez de Nagasaki

A intenção do governo dos Estados Unidos era de que o Japão se rendesse. Mesmo com a destruição de Hiroshima, o governo do imperador Hirohito não apresentou a rendição. Três dias depois, em 9 de Agosto, a operação militar-científica repetiu-se em Nagasaki, na ilha de Kyushu, mais ao sul no Japão. O B-29 *Grand Artist* lança a bomba número 2, *Fat Boy*, às 11:02h. Dos 250 mil habitantes, 36 mil morreram nesse dia. A carnificina não foi maior porque o terreno montanhoso protegeu o centro da cidade. Quatro meses depois, porém, as mortes na cidade chegavam a 80 mil. Nagasaki, na verdade, era o objetivo secundário. Foi atingida porque as condições meteorológicas de Kokura, o alvo principal, impediam que os efeitos destrutivos da bomba fossem os planejados. Em 1950, o *census* nacional do Japão indicou que havia no país 280 mil pessoas contaminadas pela radiação das bombas de Hiroshima e Nagasaki.

Rendição incondicional

Historiadores e analistas militares consideram o ataque atômico às duas cidades japonesas totalmente desnecessário, além de desumano. O mundo inteiro já sabia que o Japão estava derrotado. Os Estados Unidos fechavam o cerco sobre o arquipélago japonês depois da conquista de Iwo Jima e Okinawa, ilhas próximas do Japão. A rendição incondicional do Japão ocorreu no dia 14 de Agosto, mas a Segunda Guerra Mundial só seria encerrada oficialmente em 2 de Setembro de 1945, um Domingo, assim que os representantes japoneses assinaram a declaração, a bordo do couraçado norte-americano Missouri.

Fonte: <http://pt.worldwar-two.net/acontecimentos/86/>

B-1) Questionário

1. Que tipo de impactos uma explosão como a vista no vídeo pode causar?
2. Você acharia interessante saber como a bomba explodiu? Por quê?
3. Você já ouviu falar em átomo? E reação nuclear? O que você entende sobre os dois?
4. Será que o funcionamento da bomba poderia ser causado a partir de uma reação nuclear? Por quê?

C-1) Carta de Einstein a Roosevelt:

Albert Einstein
Old Grove Rd.
Nassau Point
Peconic, Long Island
2 de Agosto de 1939
F. R. Roosevelt
President of the United States
Whiste House
Washington, D.C.

Sr.,

Recentes trabalhos de E. Fernu e L. Szilard, cujos manuscritos me têm sido envidados, levam-me a crer que, num futuro imediato, o elemento urânio possa ser convertido numa nova e importante fonte de energia. Alguns aspectos da situação atual que parecem requerer muita atenção e, se fosse possível, imediata ação da parte da Administração. Por isso creio que é meu dever levar à sua atenção os seguintes fatos e recomendações.

No decurso destes últimos quatro meses tornou-se provável, através do trabalho de Loiot em França assim como de Fermi e Szilard nos Estados Unidos, que pode ser possível iniciar uma reação nuclear em cadeia numa grande massa de urânio, a partir da qual seriam geradas enormes quantidades de potência e de novos elementos idênticos ao urânio. Agora é quase seguro que isto poderia ser alcançado num futuro imediato. Este novo fenômeno poderia ser usado na construção de bombas, e é concebível, eu penso que é inevitável, que se possam construir bombas de um novo tipo extremamente poderosas. Uma só bomba deste tipo, transportada por um barco e detonada num porto, poderia muito bem destruir por completo o porto em causa, conjuntamente com o território que o rodeia. No entanto, tais bombas poderiam ser demasiado pesadas para ser transportadas por ar.

Os Estados Unidos têm muito poucas minas com urânio de pouco valor e em quantidades moderadas. Existem jazidas muito boas no Canadá e na ex-Tchecoslováquia, sendo que a fonte mais importante de urânio se encontra no Congo Belga. Devido a esta situação, você poderia considerar que é desejável ter algum tipo de contacto permanente entre a Administração e o grupo de físicos que se encontram a trabalhar em reações em cadeia nos Estados Unidos. Uma forma possível de conseguir isto poderia ser encarregar esta missão a uma pessoa da sua inteira confiança que poderia talvez servir de maneira extra-oficial. As suas funções seriam as seguintes:

- Estar em contacto com o Departamento do Governo, mantendo-os informados dos próximos desenvolvimentos, e sugerir ações do Governo, tendo particular atenção aos problemas de assegurar a provisão do minério de urânio aos Estados Unidos.
- Acelerar o trabalho experimental, que no momento se efetua com orçamentos limitados dos laboratórios das universidades, com a provisão de fundos. Esses fundos foram possíveis com contactos com grupos privados que estiveram dispostos a fazer contribuições para esta causa, e obtendo-se a cooperação dos laboratórios industriais que tiveram a equipe necessária.

Tomei conhecimento de que, atualmente, a Alemanha fez parar a venda de urânio das minas da Tchecoslováquia, as quais foram tomadas pelas forças alemãs. Pode pensar-se que a Alemanha realizou tão evidentes ações, uma vez que o filho do Sub Secretário do Estado Alemão, von Weizacker, está responsável pelo Instituto Kaiser Guillermo de Berlim onde alguns dos trabalhos americanos estão a ser copiados.

Seu seguro servidor,
A. Einstein

Fonte: <http://pt.worldwar-two.net/acontecimentos/86/>

Atividade 02 – Explodindo uma Bomba

A-2) Texto a ser discutido entre os alunos:

Fissão e a explosão de uma bomba nuclear

A fissão

Todos os processos naturais envolvem, de uma forma ou outra, os *átomos*. Certamente você já sabe o que ele é e também um pouco de sua estrutura: é formado pela *eletrosfera*, onde ficam os elétrons, e pelo *núcleo*, composto de prótons e nêutrons. Os elétrons possuem carga elétrica negativa, enquanto os prótons possuem carga elétrica positiva. Os nêutrons não possuem carga elétrica.

Geralmente estamos acostumados a lidar com a eletrosfera quando nos interessa a interação entre átomos. As *ligações químicas*, por exemplo, envolvem unicamente essa parte do átomo, da mesma forma que as *reações químicas*. Contudo é possível tratar também do núcleo e falarmos em *reações nucleares*. Antes disso, porém, vamos falar das forças que mantêm o núcleo em seu estado ligado. Sabemos que cargas elétricas interagem entre si por meio de *forças elétricas*. Como você já deve ter aprendido cargas com sinais opostos se atraem, e do contrário se repelem. Decorre dessa constatação que os prótons que se encontram no núcleo atômico estão se repelindo mutuamente, já que todos possuem carga elétrica positiva (o nêutron não interfere em nada porque não possui carga, como dito anteriormente). Como então o núcleo se mantém coeso? A resposta aparece quando consideramos outro tipo de interação entre partículas, de natureza diferente da interação elétrica. Ela é chamada de *interação forte nuclear*, ou simplesmente *força forte*, e é responsável por equilibrar a força elétrica de repulsão entre os prótons e impedir que eles se afastem uns dos outros. O interessante é que nesse tipo de interação participam tanto prótons quanto nêutrons.

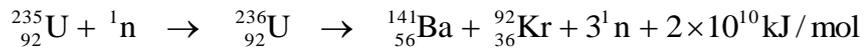
Quando, no núcleo, existe um equilíbrio das forças elétrica e nuclear forte dizemos que ele é *estável*. Do contrário, ele se tornará *instável* e poderá, dependendo do caso, se romper. A esse processo de rompimento, acompanhado da liberação de grande quantidade de energia, dá-se o nome de FUSÃO NUCLEAR.

O mecanismo de explosão de uma bomba de urânio

Nem todos os elementos químicos podem ser fissionados. Geralmente aqueles que podem possuem um número muito grande de prótons e nêutrons no núcleo atômico. É o caso do urânio, do plutônio, por exemplo, usados nas bombas que atingiram as cidades japonesas Hiroshima e Nagasaki. Mesmo dentre esses elementos químicos, é privilegiado certos *isótopos*, por razões que não vem ao caso mencionar mas que estão diretamente ligadas à possibilidade de ocorrência da fissão. Para aqueles que não lembram, isótopos são átomos de um mesmo elemento químico mas com diferentes números de nêutrons (mas apropriadamente deveríamos falar em *número de massa*) no núcleo. Por exemplo, considere o elemento químico hidrogênio (símbolo ^1H). Seu núcleo é composto de um próton e nenhum nêutron. Entretanto, podemos encontrar o deutério (^2H), cujo núcleo possui um próton e um nêutron, e também o trítio (^3H), bem menos abundante e formado por dois nêutrons e um próton.

No caso da bomba de urânio estaremos interessados no isótopo 235 (^{235}U), que pode receber um nêutron e se tornar o isótopo altamente instável ^{236}U . Devemos chamar a atenção para o fato de que essa absorção depende da velocidade do nêutron: se ele estiver muito lento, simplesmente será refletido pelo átomo de urânio; do contrário, passará por ele sem interagir. Somente para um nêutron de velocidade dita *moderada* a

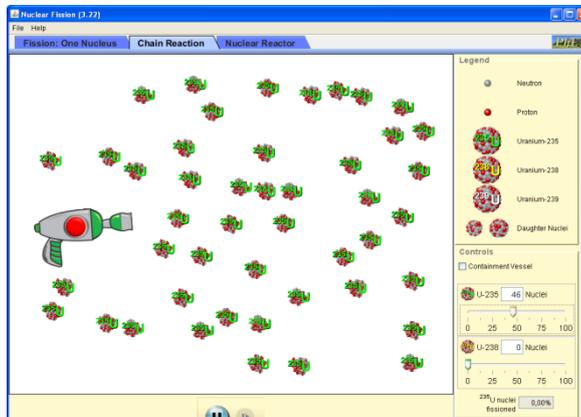
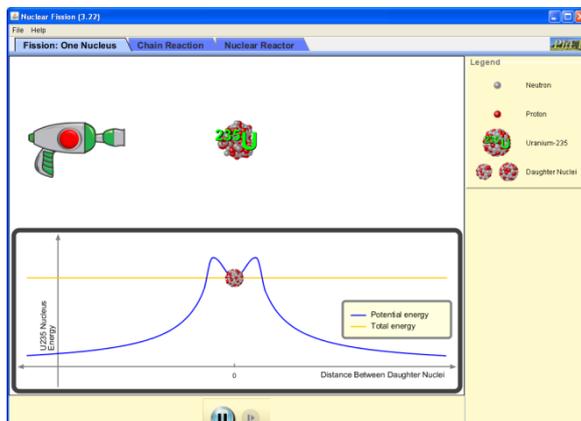
absorção é possível. Uma vez absorvido, o átomo se torna cada vez mais instável até chegar ao ponto em que se rompe. A equação que descreve essa reação nuclear é mostrada a seguir.

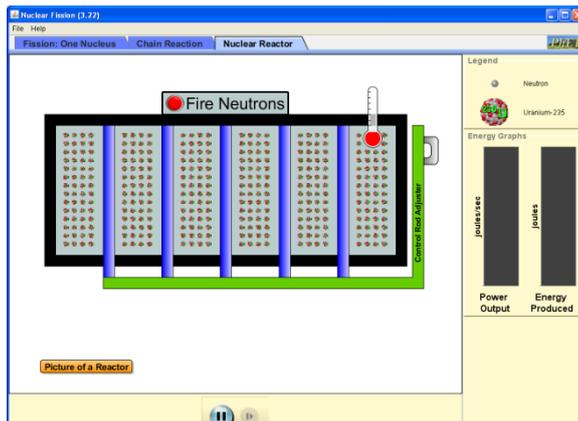


Note que o isótopo instável ${}^{236}\text{U}$ dá origem a dois novos elementos químicos (no caso, Bário – Ba – e Criptônio – Kr), além de três nêutrons e uma quantidade assustadora de energia. Esta última é fruto da transformação de massa em energia, prevista pela famosa fórmula de Einstein, $E = mc^2$ (no caso, “E” é a energia liberada, “m” a variação de massa na reação e “c” o valor da velocidade da luz no vácuo). Você mesmo pode conferir isso: se souber a massa de ${}^{236}\text{U}$, ${}^{141}\text{Ba}$, ${}^{92}\text{Kr}$ e de um nêutron, será capaz de calcular a variação de massa no processo acima e convertê-la em energia usando a relação de Einstein.

No interior da bomba, entretanto, não encontramos apenas um átomo de ${}^{236}\text{U}$ e sim vários. Os nêutrons liberados pela fissão de um átomo possuem a capacidade de desestabilizar e fissionar outros três átomos de ${}^{235}\text{U}$. Nesse ponto, algo mais é desejado além da fissão: uma *reação em cadeia*. Com ela, o poder destrutivo da bomba seria garantido. Para tanto, deve-se ter em mente a quantidade de massa de ${}^{235}\text{U}$ para que tal reação ocorra. Essa quantidade é freqüentemente chamada de *massa crítica*, e caso estejamos usando o ${}^{235}\text{U}$, ela vale 3,5 kg.

B-2) Simulação:





C-2) Exercício de narração:

Enunciado: “Faça uma narrativa que comunique a alguém, com conhecimentos mínimos sobre estrutura atômica e elementos químicos, como ocorre a reação nuclear chamada de *fissão* e como ela é usada na *bomba atômica*. É recomendável que seu texto possua figuras esquemáticas para ajudar no entendimento do mesmo.

Atividade 03 – Bomba Nuclear x Dinamite

A-3) Poder destrutivo da bomba de Urânio

1) O elemento químico utilizado para a confecção da bomba nuclear que destruiu a cidade de Hiroshima é o isótopo do Urânio-235. A energia liberada pela fissão de 1 g deste material equivale a 80 milhões de kJ! O peso da carga explosiva que carregava a bomba Little Boy era de 65 kg. Calcule a quantidade de energia que esta bomba liberou.

2) Compare a massa da carga explosiva da bomba Little Boy com a massa de TNT (trinitrotolueno) necessária para que haja a liberação da mesma quantidade de energia sabendo que 1 g de TNT equivale a 16 kJ.



Atividade 04 – CTS

A-4) Texto a ser discutido entre os alunos:

24/06/2010 20h27 - Atualizado em 24/06/2010 20h55

Congresso dos EUA aprova sanções unilaterais contra o Irã

Medidas isolam ainda mais setores de energia e bancário do país persa. Aprovada antes pelo Senado, matéria segue para sanção de Obama.

Do G1, com agências internacionais

 Imprimir

O Congresso dos Estados Unidos aprovou nesta quinta-feira (24) sanções unilaterais mais duras a fim de isolar ainda mais os setores de energia e bancário do Irã, o que também poderá prejudicar empresas estrangeiras que mantêm negócios com Teerã.

Legisladores votaram por 408 a favor e 8 contra pela validação da medida, horas depois do Senado aprová-la por unanimidade. O texto, negociado entre as duas câmaras do Congresso americano, será enviado agora ao presidente Barack Obama para sua promulgação.

A intenção do Congresso é pressionar o governo iraniano a interromper seu programa nuclear. As principais potências, lideradas pelos Estados Unidos, suspeitam que o Irã pretende desenvolver armas nucleares.

Devemos utilizar todas as ferramentas a nossa disposição para deter o avanço do Irã em direção ao tema nuclear", disse a presidente da Câmara, Nancy Pelosi, pouco antes da votação.

O Conselho de Segurança da Organização das Nações Unidas (ONU) **aprovou em 9 de junho uma quarta rodada de sanções multilaterais contra o Irã por causa de seu programa nuclear**. Foram 12 votos a favor da resolução. O Líbano se absteve, enquanto Turquia e Brasil votaram contra.

O Irã reagiu dizendo que manterá seu programa de enriquecimento de urânio.

**(Com informações da Reuters e da France Presse)*