

COMO A USINA NUCLEAR PRODUZ ELETRICIDADE.

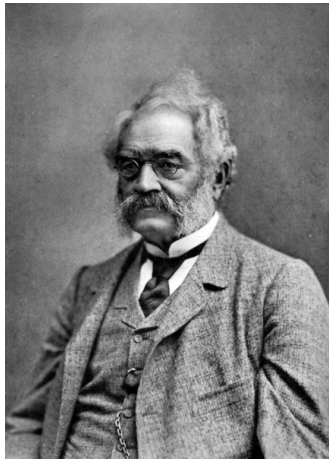
Temos energia em toda a natureza. O trabalho do homem é transformá-la para poder ser utilizada.

Princípio fundamental da Física: **a energia não se cria e nem se destrói, ela se transforma.**

A energia que vai acender uma lâmpada origina-se fazendo girar o eixo de um gerador ou dínamo, máquina que transforma energia dinâmica em elétrica.

A energia pode ser tirada de diversas fontes: da queima do carvão, do petróleo, do biocombustível, do gás, dos rios represados, de reações químicas, etc.

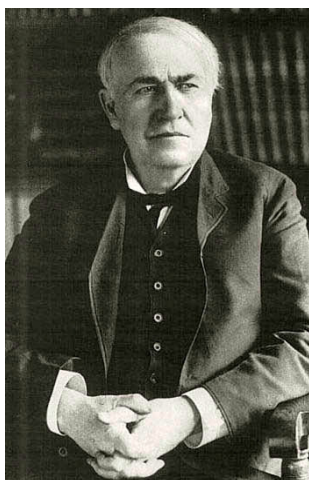
O primeiro gerador foi construído por **Werner Von Siemens, em 1866**. Um gerador em funcionamento, ou seja, girando irá produzir a energia elétrica.



Ernst Werner von Siemens (* 13/12/1816, Lenthe, perto de Hannover - + 6/12/1892, Berlin).

Siemens inventou um telégrafo que usava uma agulha para apontar para a letra correcta, em vez de usar o código Morse. Inventou ainda um comboio elétrico em 1879, a borracha, como isolador térmico, o fotómetro de selénio e o **dínamo elétrico de corrente alternada**, entre outras invenções. Foi ainda o construtor das primeiras linhas subterrâneas de telégrafo na Europa

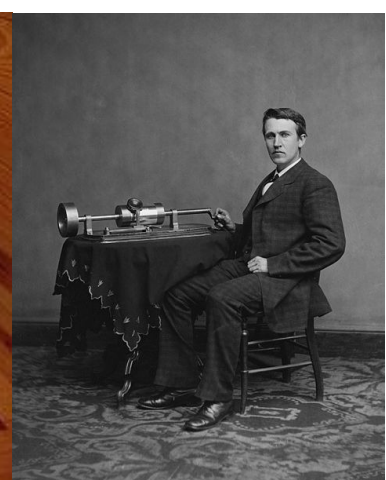
Em **1882 Thomas Alva Edison** inaugurou em **Nova Iorque a primeira usina elétrica do mundo**. Com seis geradores conseguiu alimentar 7.200 lâmpadas incandescentes com filamento de carvão.



Tomas Edison



Gramofone - 1877



fonógrafo

(Thomas Alva Edison (* Milan, Ohio – USA- 11/02/1847 — + West Orange, 18/10/1931)

Edson foi um inventor e empresário dos Estados Unidos que desenvolveu muitos dispositivos importantes de grande interesse industrial. Entre as suas contribuições para o desenvolvimento tecnológico e científico encontra-se a **lâmpada elétrica incandescente, o gramofone, o cinescópio ou cinetoscópio, o ditafone e o microfone de grânulos de carvão para o telefone.**

Um dos precursores da revolução tecnológica do século XX. Teve papel determinante na indústria do cinema. Edison registrou seu primeiro invento - uma máquina de votar, pela qual ninguém se interessou - quando tinha 21 anos

Muitos o consideram o maior inventor de todos os tempos. O seu **QI** seria estimado em cerca de **240**. Edison é considerado um dos inventores mais prolíficos do seu tempo, registrando **1093** patentes em seu nome, ainda que nem todas sejam de invenções de sua própria autoria).

Edison era ateu, por vezes dava respostas irônicas aos jornalistas, como quando lhe perguntaram se acreditava em comunicação com espíritos: “Não, não acredito. Mas se eu fosse um espírito, encontraria uma maneira mais inteligente e menos precária de me comunicar com os homens.”

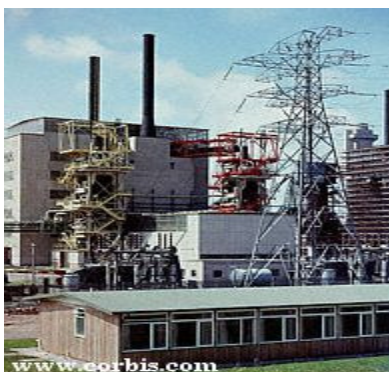
A **pilha voltaica** foi inventada por físico Alessandro Volta, em 1800. Esta eletricidade é conseguida através de reação de agentes químicos. Em 1881 uma importante unidade elétrica, o **volt**, foi nomeada em homenagem a **Volta**



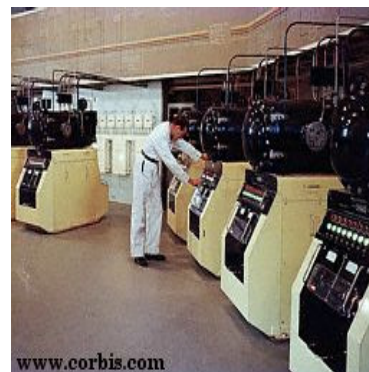
Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (* Como, Itália -18/02/1745 + Como, 5/03/1827)

A energia de que tanto precisamos para acionar os eletrodomésticos, acender a luz de nossa casa poderá também ser obtida do vento, do movimento das águas dos oceanos, da energia solar, e também da energia nuclear que está sendo utilizada para essa finalidade desde 1956.

A primeira Usina Nuclear para produção de energia elétrica, que alcançou uma potência considerável, foi a de **Calder Hall, na Inglaterra**. Em 1956, sua primeira fase tinha 92.000 KW instalados.



Usina Nuclear de Calder Hall – Inglaterra



Controles de motores 1956 Calder Hall

A **energia atômica** é obtida através do calor que se desprende dos átomos da matéria fissionada.

Átomo é a menor quantidade de uma substância simples que tem as propriedades químicas do elemento e que permanece inalterada em uma transformação química.

O átomo é formado principalmente por um núcleo composto de prótons e nêutrons e de elétrons, que giram em órbitas elípticas em volta do núcleo.

O átomo mais leve é o do hidrogênio. Só tem um próton e um elétron.

Um dos mais pesados é o do urânio 235, que tem 92 prótons e 143 nêutrons, assim seu número de massa é de $92 + 143 = 235$ partículas.

A fissão do átomo acontece quando o seu núcleo é partido. Os núcleos são partidos mediante o choque de um nêutron.

Para a fissão nuclear empregam-se átomos que tenham em seu núcleo muitos prótons e nêutrons, tornando-se assim, mais fácil rompê-los. É o caso do urânio 235 e do plutônio 239.

O objetivo de se partir o núcleo dos átomos é aproveitar a energia calorífica que se desprende em consequência do seu rompimento.

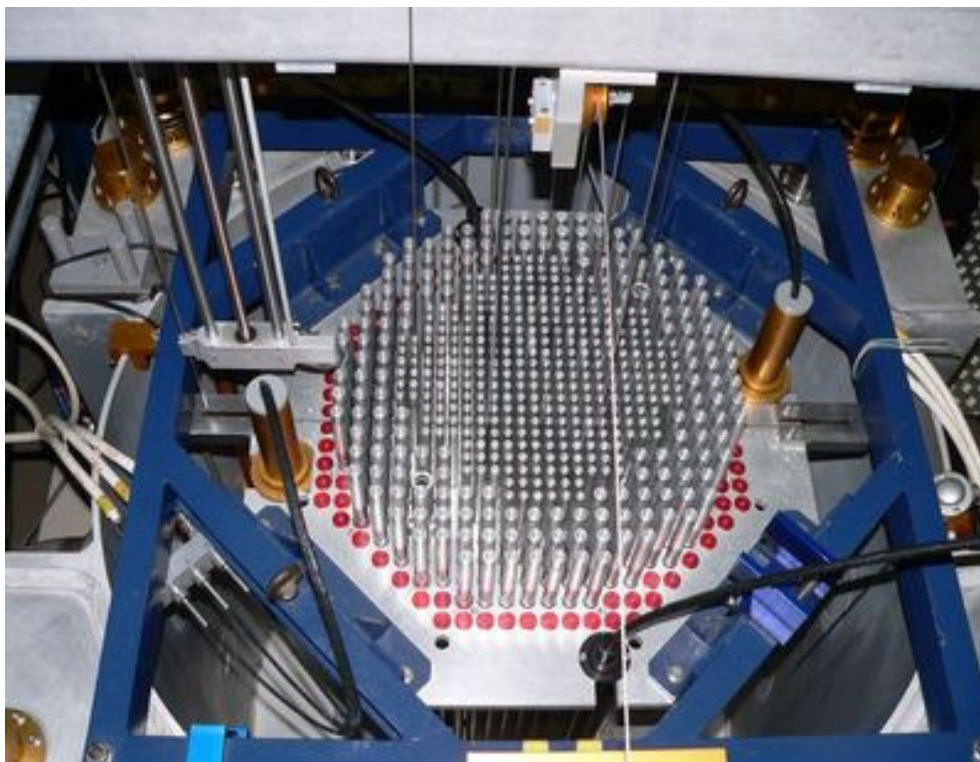
É no reator nuclear onde ocorre a fissão dos núcleos de um átomo, originando-se a reação em cadeia.

Da fissão desprendem-se dois ou três nêutrons rápidos que, por sua vez e com velocidade adequadamente reduzida, rompem dois novos núcleos, que desprendem outros tantos nêutrons e, assim sucessivamente.

Do rompimento dos núcleos desprende-se grande quantidade de energia que vai aquecer um reservatório de água fechado (circuito primário)

Por sua vez o vapor d'água vai aquecer outro reservatório de água (circuito secundário), finalmente esse vapor vai mover a turbina.

A turbina realiza o seu trabalho fazendo girar o eixo do gerador que produz a energia elétrica.



Reator nuclear. A foto mostra o topo de um reator nuclear de piscina.

Energia Nuclear: Geração de Energia

Os elementos combustíveis do reator, tipicamente pastilhas de urânio enriquecido, encontram-se dentro das dezenas de tubos metálicos que ficam imersos na água (na parte inferior ao centro da figura, possível ver a continuação de alguns destes tubos reator adentro).

A fissão de átomos de urânio em uma das barras libera dois grandes fragmentos e 2 a 3 nêutrons que saem das barras.

Ao atravessarem a água entre elas, os nêutrons têm a sua velocidade reduzida e atingem outras barras, onde podem provocar novas fissões (as fissões têm uma probabilidade maior de ocorrer quando os átomos de urânio são atingidos por nêutrons com velocidade controlada).

Algumas barras podem ser de elementos absorvedores de nêutrons, e regulando-se a altura destas barras pode-se regular o fluxo de nêutrons e a potência do reator.

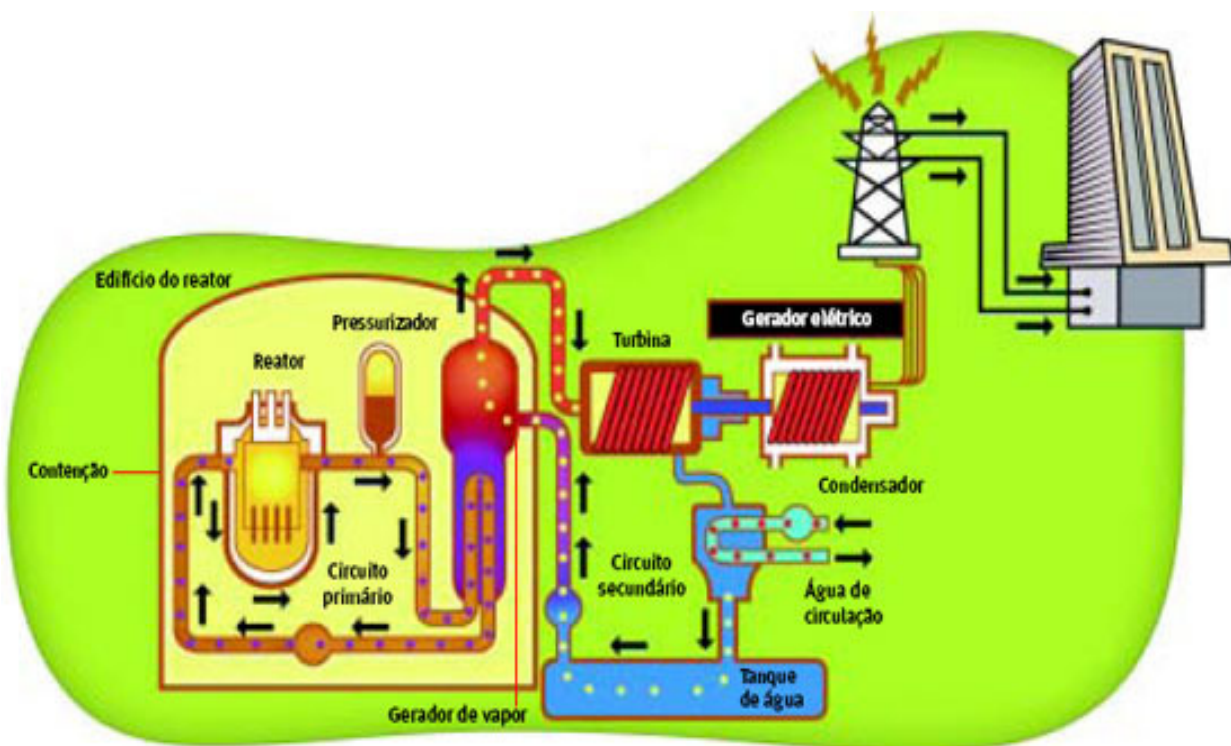
Uma das principais utilizações da energia nuclear é a **geração de energia elétrica**.

Usinas nucleares são usinas térmicas que usam o calor produzido na fissão para movimentar vapor de água, que, por sua vez, movimenta as turbinas em que se produz a eletricidade.

Em um reator de potência do tipo PWR (termo, em inglês, para reator a água pressurizada), como os reatores utilizados no Brasil, o combustível é o urânio enriquecido cerca de 3,5%.

Isso significa que o urânio encontrado na natureza, que contém apenas 0,7% do isótopo ^{235}U , deve ser processado “enriquecido” para que essa proporção chegue a 3,5%.

Em reatores de pesquisa ou de propulsão – estes últimos usados como fonte de energia de motores em submarinos e navios –, o enriquecimento pode variar bastante.



Esquema de funcionamento de um reator a água pressurizada

Para a confecção de **bombas nucleares**, é necessário um **enriquecimento superior a 90%**.

O processo completo de obtenção do combustível nuclear é conhecido como ciclo do combustível e compreende diversas etapas:

1. extração do minério do solo;
2. beneficiamento para separar o urânio de outros minérios;
3. conversão em gás do produto do beneficiamento, o chamado yellow cake ou “bolo amarelo”;
4. enriquecimento do gás, no qual a proporção de ^{235}U é aumentada até o nível desejado;
5. reconversão do gás de urânio enriquecido para o estado de pó;
6. fabricação de pastilhas a partir da compactação do pó;
7. finalmente a montagem dos elementos combustíveis, quando se colocam as pastilhas em cilindros metálicos que irão formar os elementos combustíveis do núcleo do reator.

No mundo, estão em operação aproximadamente 440 reatores nucleares voltados para a geração de energia em 31 países. Outros 33 estão em construção.

Cerca de 17% da geração elétrica mundial é de origem nuclear, a mesma proporção do uso de energia hidroelétrica e de energia produzida por gás.

Alguns países desenvolvidos têm seu abastecimento de energia elétrica com um alto percentual de geração nuclear entre eles:

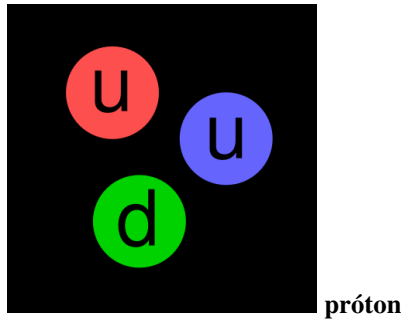
- França tem 78%,
- Bélgica 57%,
- Suécia 46%,
- Suíça 40%.
- Japão 39%,
- Coreia do Sul 39%,
- Alemanha 30%.
- USA 23%

Somente nos Estados Unidos, os 104 reatores em funcionamento, geram 23% da eletricidade daquele país, produzem mais eletricidade que todo o sistema brasileiro de geração elétrica.

Além desses reatores, funcionam mais 284 reatores de pesquisa em 56 países, sem contar um número estimado de 220 reatores de propulsão em navios e submarinos.

O átomo é composto por três partes principais:

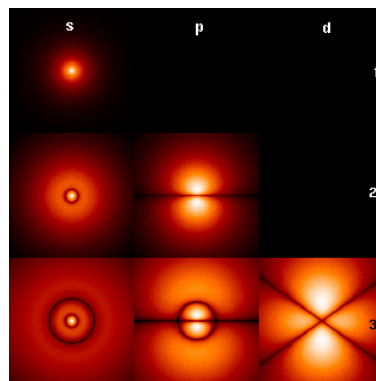
- 1) **prótons** (*partícula elementar que é um dos constituintes essenciais de todos os núcleos atômicos e, portanto, da matéria, de fundamental importância devido a sua estabilidade, possui carga elétrica positiva e igual, em valor absoluto, à do elétron, sua massa é de aprox. $938,27\text{ MeV}/c^2$, seus outros números quânticos são o spin isotópico $1/2$, spin $1/2$, número bariônico $+1$ e paridade positiva, sua composição conta com dois quarks u - up e um quark d - down*),



Um **protão** (português europeu) ou **próton** (português brasileiro) é uma partícula sub-atômica que faz parte do núcleo de todos os elementos. O protão tem carga eléctrica positiva. É uma das partículas, que junto com o **neutrão** (português europeu) ou **nêutron** (português brasileiro), formam os núcleos atômicos.

2) **elétrons** (*partícula elementar da família dos léptons, de massa de repouso aproximada igual a $9,1093897 \times 10^{-31}$ kg, carga negativa de $1,60217733 \times 10^{-19}$ coulomb e spin $1/2$, que é um dos constituintes da matéria e está presente em todos os átomos*).

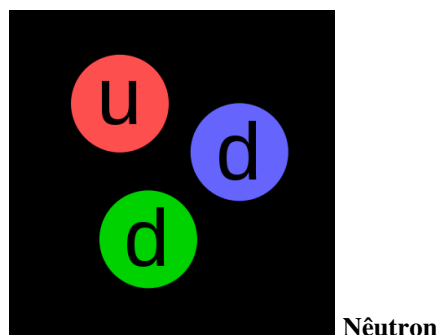
O **elétron** (português brasileiro) ou **electrão** (português europeu) (do grego ἤλεκτρον, *élektron*, "âmbar"), geralmente representado como e^- , é uma partícula subatômica que circunda o núcleo atômico, identificada em 1897 pelo inglês John Joseph Thomson. Subatômica e de carga negativa, é o responsável pela criação de campos magnéticos e elétricos.



Estimativas teóricas da densidade do elétron para orbitais do átomo do hidrogênio

3) **nêutrons** (*partícula elementar de carga nula e spin $1/2$, pertencente ao grupo dos hádrons e que é um dos constituintes do núcleo atômico; sua massa de repouso é de aprox. $1,6749286 \times 10^{-27}$ quilogramas (símb.: n) - Quando permanece no núcleo atômico, tem um comportamento estável; isolado, tem uma vida média de 12 minutos, decaindo em um próton, um elétron e um antineutrino*)

Um **nêutron** (português brasileiro) ou **neutrão** (português europeu) é um bárion neutro formado por **dois quarks down** e **um quark up**. É uma das partículas, junto com o próton, que formam os núcleos atômicos. Fora do núcleo atômico é instável e tem uma vida média de cerca de 15 minutos, emitindo um electrón e um anti-neutrino para se converter em um próton. Sua massa é muito similar à do próton.



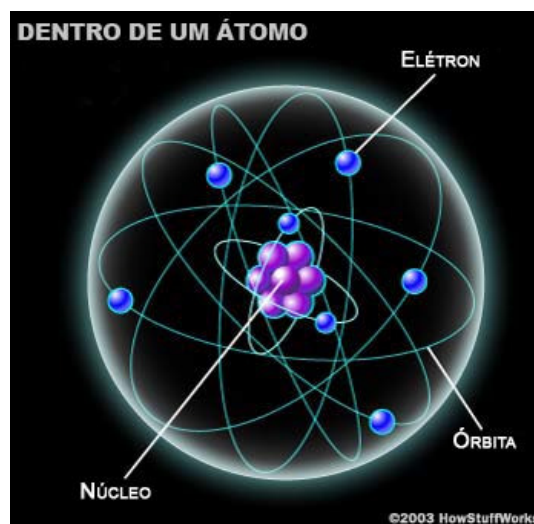
O Nêutron foi descoberto pelo físico britânico **James Chadwick em 1932**, que por essa descoberta recebeu o **Prêmio Nobel de Física em 1934**.

- **Massa:** $m_n = 1,672 \times 10^{-24}$ g
- **Vida média:** $\tau_n = 886,7 \pm 1,9$ s
- **Momento magnético:** $\mu_n = -1,9130427 \pm 0,0000005 \mu_N$
- **Carga:** $q_n = (-0,4 \pm 1,1) \times 10^{-21}$ e (teoricamente nula)

O nêutron é necessário para a estabilidade de quase todos os núcleos atômicos (a única exceção é o hidrogênio), já que a força nuclear forte faz com que seja atraído por nêutrons e prótons, mas não seja repelido por nenhum, como acontece com os prótons, que se atraem nuclearmente mas se repelem eletrostaticamente.



James Chadwick (Bollington, Cheshire, 20/10/1891 - Cambridge, 24/07/1974) foi um físico britânico e colaborador de Rutherford.



A força que mantém unidos os prótons e o Nêutrons do núcleo é um milhão de vezes maior do que a força que mantém unidos os átomos.

Dois átomos podem ter o mesmo número de prótons e de elétrons, mas diferente número de nêutrons. Estes corpos são os isótopos.

Quimicamente eles se comportam da mesma maneira, mas suas massas são diferentes.

Os isótopos naturais do urânio são 234, 235 e 238. . A fissão do átomo acontece quando se parte o núcleo do mesmo.

Entretanto, só fissionam os átomos cujo número de massa seja ímpar. Para que se possa entender como ocorre a fissão vamos fazer outra analogia também bem grosseira.

Imaginem um cacho de cocos (frutos do coqueiro) recebendo uma bala disparada por um revólver.

A quantidade de cocos que podem ser partidos por um tiro depende da quantidade de cocos existentes no cacho e da velocidade do tiro.

Se a velocidade for muito pouca, não pode atravessar nem a casca, há um repique.

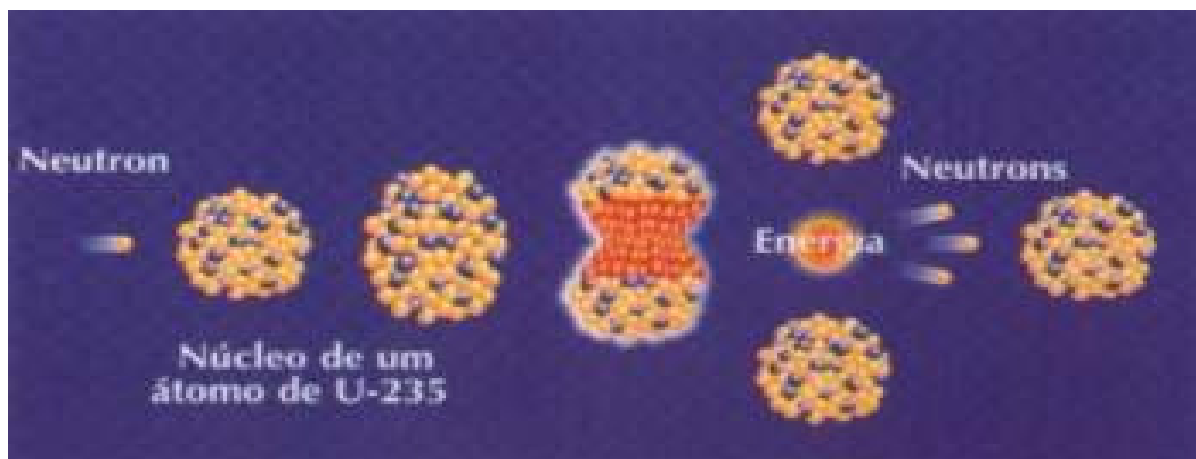
Se a velocidade for muito grande atravessa o coco.

Se a velocidade for chamada “**velocidade crítica**”, a bala consegue atinge o seu núcleo fica retida no seu interior, mas consegue fazer o coco fender. Assim ocorre com a fissão nuclear.

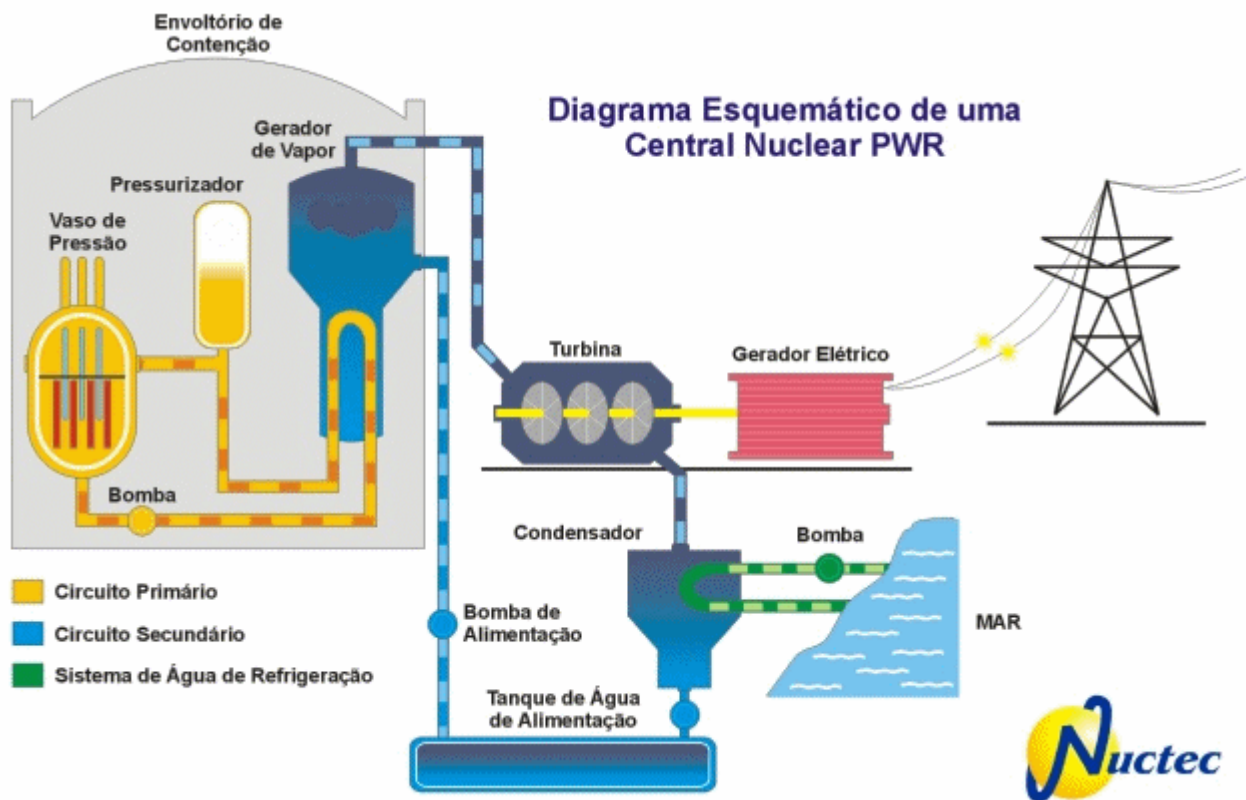
Para a fissão nuclear empregam-se corpos que tenham em seu núcleo muitos prótons e nêutrons, tornando-se assim, mais fácil rompe-los. É o caso do urânio 235 e do plutônio 239.

O objeto de se partir o núcleo dos átomos é para aproveitar a energia calorífica que se desprende em consequência do seu rompimento, É evidente que para obtermos bastante energia muitos átomos têm que ser rompidos e para essa operação usa-se o reator nuclear.

É no reator nuclear onde ocorre a fissão dos núcleos de um átomo, originando-se a reação em cadeia.



Da fissão desprendem-se dois ou três nêutrons rápidos que, por sua vez e com velocidade adequadamente reduzida, rompem dois novos núcleos, que desprendem outros tantos nêutrons e, assim sucessivamente. Do rompimento dos núcleos desprende-se grande quantidade de energia que vai aquecer um reservatório fechado cheio de água. Essa água aquecida se transforma em vapor que vai mover as turbinas.



Circuito primário (amarelo): vaso do reator, onde se obtém o calor necessário para aquecer a água, fissionando os isótopos de urânio. Esta água é conduzida ao gerador de vapor, onde transforma uma segunda água em vapor, que vai girar a turbina. A água do circuito primário retorna ao reator, para ser de novo aquecida, formando um circuito fechado.

Circuito secundário (azul): o calor despreendido da água do reator aquece água do gerador de vapor, formando o vapor, que move a turbina e este o gerador elétrico. Tal vapor se transforma em água e volta ao gerador de vapor para ser novamente vaporizada.

Circuito ou sistema de água de refrigeração (verde): para se condensar o vapor necessita-se da água fria de uma represa, de um rio ou do mar. A água circula através de tubos, onde está o vapor, formando-se novamente a água no estado líquido.



Turbo geradores de uma central nuclear

A radioatividade é um fenômeno natural, que envolve a todos nós. Nós a temos desde o aparecimento do mundo por toda a natureza.

O material que se usa na fissão chama-se **combustível nuclear**. Está encerrado em tubos chamados varetas banhados por água, dentro de um recipiente chamado vaso do reator.

Utiliza-se como moderador e refrigerante, para tirar o calor produzido pelas fissões.



Urânio encapsulado pronto para ser "queimado"

Existe um sistema de segurança para evitar escapamentos e proteger os trabalhadores da usina e o público em geral.

As pastilhas de urânio das quais se produz a fissão nuclear são cobertas por uma cápsula hermética que vai dentro de um vaso que por sua vez é colocado em duas estruturas: uma de aço e outra de concreto armado com parede de 0,70 m de espessura.

Com essa estrutura a de proteção a radioatividade que escapa não é significativa.



Jean Frédéric Joliot-Curie (* em Paris -19 de março de 1900 – + em Paris em 1958)

Frédéric Joliot-Curie, físico francês, ajudado por sua mulher Marie Curie, descobriu três elementos radioativos: os isótopos de nitrogênio, de fósforo e de alumínio.

Observou também a emissão de nêutrons na fissão nuclear. A ele e a sua mulher foi concedido o prêmio Nobel de Física em 1935



Marie Curie, nome assumido após o casamento por **Maria Skłodowska**, (Varsóvia, 7 de Novembro de 1867 — Sallanches, 4 de Julho de 1934) foi uma cientista francesa de origem polaca, Prêmio Nobel de Química de 1911 pela descoberta dos elementos químicos rádio e polônio

Barreiras biológicas:

A radioatividade emite:

- a) **partículas alfa** que percorrem uma distância muito curta: (podem ser detidas por uma folha de papel),
- b) **partículas beta** que percorrem aproximadamente um metro (podem ser detidas por uma placa de madeira),
- c) e de **ondas de energia chamadas gama**, que percorrem centenas de metros pelo ar. (podem ser detidas por uma parede espessa de chumbo e cimento).

Essa radioatividade encontra-se na natureza, vinda do universo, nos materiais da terra nas casas, nos alimentos, na água, etc. Mas também existe a radioatividade artificial, produzida pelo homem, a que recebemos da TV, das radiografias, das usinas nucleares, etc.

Mas se as usinas nucleares emitem radioatividade por que as constroem?

Porque elas são necessárias e a radioatividade é insignificante, comparada com a da natureza.

Diante disto, uma pessoa normalmente que viva a uma distância de 750 a 1.000 metros da usina, que se alimente exclusivamente de frutas da região, que beba água descarregada por uma usina, terá uma exposição de **5 milirem ao ano**.

A população que resida num raio de 80 km terá uma exposição da **0,01 milirem ao ano** e, além dessa distância, de **0,001 milirem ao ano**. (fonte: Ministério de Minas e Energia / Furnas)

Da natureza recebemos uma dose média de 150 milirem ao ano.

milirem a unidade de medida da dose absorvida de radioatividade pelas pessoas e animais.

(unidade de dose de radiação igual a um milésimo de rem)

(rem- unidade de radiação ionizante equivalente a 0,01 sievert)

(sievert - unidade de radiação emitida por 1 miligrama de rádio a 1 centímetro do alvo por 1 hora)



Usina Nuclear de Angra dos Reis – Rio de Janeiro



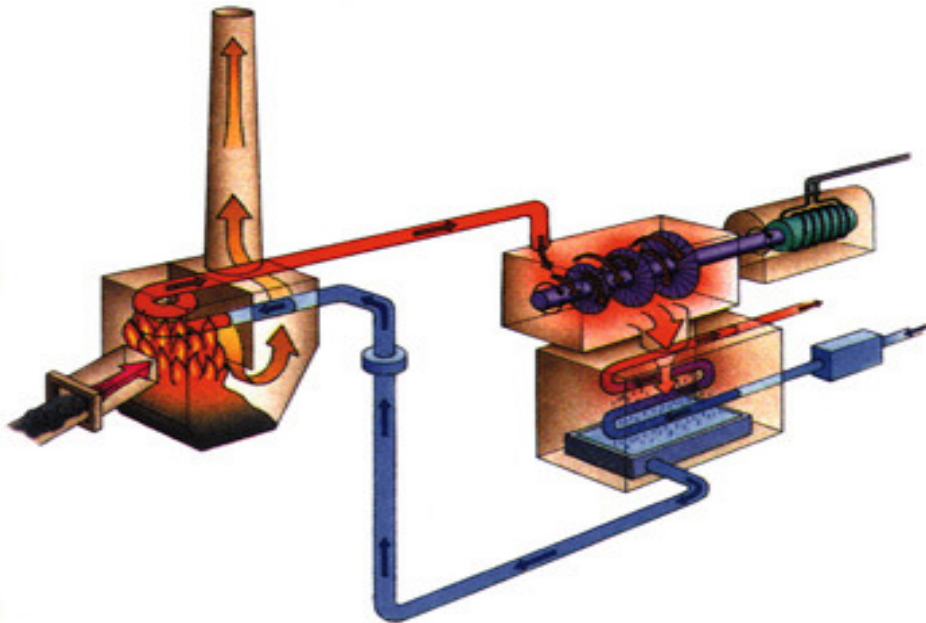
Usina Nuclear de Angra dos Reis – Rio de Janeiro



Sala de comando de uma Usina Nuclear



Casa de máquinas



Esquema de funcionamento de uma central termelétrica



Planta de uma central nuclear



Usina Nuclear – França



Usina Nuclear – emitindo vapor d' água

Histórico:

A **Eletrobrás Termonuclear foi criada em 1997** com a finalidade de operar e construir as usinas termonucleares do país. Subsidiária da Eletrobrás é uma **empresa de economia mista** e responde pela geração de aproximadamente 2,5% (desempenho de 2005) da energia elétrica consumida no Brasil.

Pelo sistema elétrico interligado, essa energia chega aos principais centros consumidores do país e corresponde, por exemplo, a **mais de 50% da eletricidade consumida no Estado do Rio de Janeiro**, proporção que se ampliará consideravelmente quando estiver concluída a terceira usina (**Angra 3**) da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA).

Atualmente estão em operação as usinas **Angra 1**, com capacidade para geração de **657 megawatts elétricos**, e **Angra 2**, com potência de **1.350 megawatts elétricos**.

Angra 3, que será praticamente uma **réplica de Angra 2** (incorporando os avanços tecnológicos ocorridos desde a construção desta usina), também está prevista para gerar **1.350 megawatts**.

A CNAAA, situada em **Itaorna**, município de **Angra dos Reis**, foi assim denominada em justa homenagem ao pesquisador pioneiro da tecnologia nuclear no Brasil e principal articulador de uma política nacional para o setor.

Embora a construção da primeira usina tenha sido sua inspiração, o almirante, nascido em 1889, não chegou a ver Angra 1 gerando energia, pois faleceu em 1976.

Fixando conceitos - O que é Energia Nuclear?

É a energia liberada quando ocorre a quebra, a divisão dos átomos, tendo por matéria-prima minerais altamente radioativos, como o urânio.

Num reator nuclear ocorre em uma seqüência multiplicadora conhecida como “**reação em cadeia**”.

Existem duas formas de aproveitar a **energia nuclear para convertê-la em calor**:

- 1) **Fissão nuclear**, onde o **núcleo atômico se subdivide em duas ou mais partículas**,
- 2) **Fusão nuclear**, na qual ao menos dois núcleos atômicos se unem para produzir um novo núcleo.

A energia nuclear provém da fissão nuclear do urânio, do plutônio ou do tório ou da fusão nuclear do hidrogênio.

É energia liberada dos núcleos atômicos, quando os mesmos são levados por processos artificiais, a condições instáveis.

Uma Usina Nuclear possui **três circuitos de água: primário, secundário e de água de refrigeração**.

Esses circuitos são independentes um do outro; ou seja, a água de cada um deles não entra em contato direto com a do outro.

Sala de Controle

No interior do vaso do reator, que faz parte do **circuito primário**, a água é aquecida pela energia térmica liberada pela fissão dos átomos de urânio. O calor dessa água é transferido para a água contida no gerador de vapor, que faz parte do **circuito secundário**.

O vapor então produzido é utilizado **para movimentar a turbina**, a cujo eixo está acoplado o **gerador elétrico**, resultando então em **energia elétrica**.

A água do circuito primário é aquecida até cerca de 305° C; sua pressão é mantida em torno de **157 kgf/cm² (1kgf/cm² = 1 atmosfera)**, para que permaneça no estado líquido.

Para se ter uma idéia deste valor de pressão, vale lembrar que **1 kgf/cm² é uma pressão equivalente a uma coluna de 10 m de água**, logo **157 Kgf/cm² é equivalente a uma coluna de 1570 m ou 1,57 Km**.

O vapor é condensado através de troca de calor com a água de refrigeração. A água condensada é bombeada de volta ao gerador de vapor, para um novo ciclo.

O Controle da Reação Nuclear

Com o objetivo de controlar a reação em cadeia são inseridas Barras de Controle no Núcleo do Reator. Essas Barras são constituídas de uma liga de Prata, Cádmiom e Índio e têm a propriedade de absorver nêutrons, diminuindo assim o número de fissões.

Através de inserção ou retirada das Barras de Controle podemos manter constante a população de nêutrons e, conseqüentemente, a potência térmica do reator.

Outra forma de controlar as fissões é a adição de Ácido Bórico à água no interior do reator.

Esse produto é usado devido à propriedade que possui os seus átomos de absorver os nêutrons situados na faixa de energia que provocaria fissões.

Aumentando ou diminuindo a concentração de boro no refrigerante do reator fazemos o controle para termos maior ou menor número de fissões.

Protestos contra o uso de energia nuclear

O Greenpeace também protesta contra Angra 3, o coordenador da campanha de energia nuclear do Greenpeace, Guilherme Leonardi, disse que o governo deveria investir em outras fontes de energia, como **eólica e solar**, e para ele a energia nuclear além de ser perigosa, é ultrapassada, e conclui afirmando que podemos gerar muito mais energia se investirmos os R\$ 7 bilhões em energia eólica e eficiência energética.

E não há dúvida dessa realidade, pois mesmo que os gastos sejam semelhantes, o principal fator que deve ser levado em consideração é de não levar nem os mínimos riscos, que no caso de acidentes radioativos, podem provocar danos irreparáveis atingindo uma grande área e afetando todas as pessoas próximas as usinas.

Em relação à questão do lixo nuclear, Leonardi disse que ainda não foi resolvida e que, mesmo em usinas mais modernas, existe risco de acidente.

A usina nuclear de Angra 1, por exemplo, **tem vida útil estimada em cerca de 60 anos**, terão de **ser tomadas providências para deixar a região livre de radioatividade** e garantir condições ambientais findo esse prazo, para com isso todos os procedimentos para tirar a radioatividade do ambiente de uma usina nuclear sejam realizados inclusive após o fim de sua vida útil.

Política:

A decisão de construir Angra 3 também indica uma estratégica política de governo, até porque os trabalhos de revisão do programa nuclear ficaram prontos em junho de 2006, às vésperas do início da campanha eleitoral e com o tradicional objetivo de incluir mais um item nos discursos políticos, certamente com exposições de promessas de geração de empregos, desenvolvimento e ampliação de

distribuição de energia e logicamente sem citar o risco de acidentes e outros problemas conforme já abordamos.

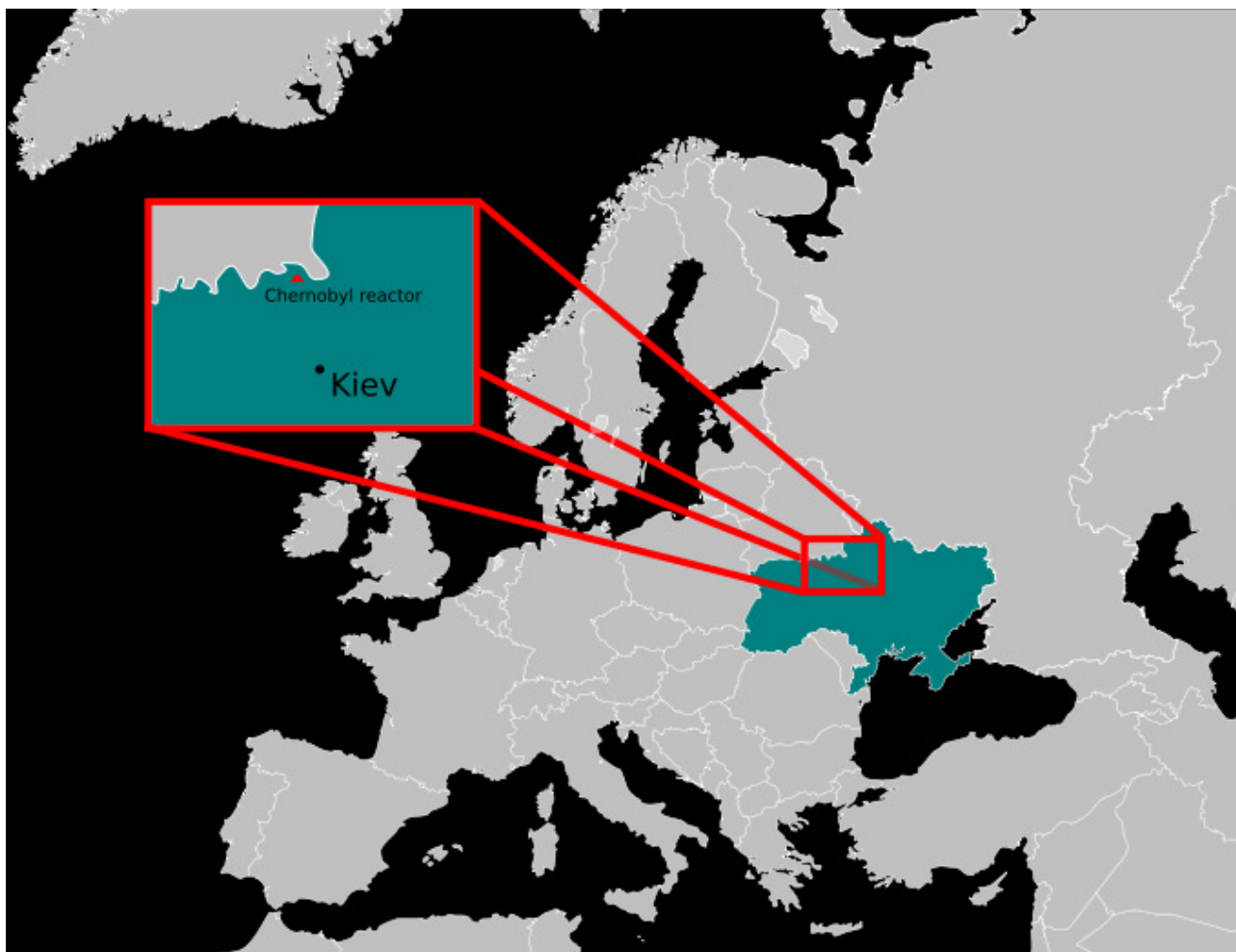
Viabilização:

De acordo com o artigo, do jornal Folha de São Paulo de 17 de junho de 2006, feito por Joaquim F. de Carvalho, mestre em engenharia nuclear, diretor da Nuclen (atual Eletronuclear), cálculos feitos por técnicos do ONS (Operador Nacional do Sistema) indicam que o custo marginal médio para a expansão do sistema hidrelétrico é de aproximadamente **R\$ 80/MWh**, enquanto o custo de **geração de Angra 3 está em torno de R\$ 144/MWh**.

Acidente na Usina Nuclear de Chernobyl - Ucrânia

Pela primeira vez, nós confrontamos a força real da energia nuclear, fora de controle.

Todos sabem que houve um inacreditável erro – o **acidente na usina nuclear de Chernobyl**. Ele afetou duramente o povo soviético, e chocou a comunidade internacional.



Localização do reator nuclear de Chernobil na Ucrânia

O **acidente nuclear de Chernobil** ocorreu dia **26 de abril de 1986**, na **Usina Nuclear de Chernobil** (originalmente chamada Vladimir Lenin) na Ucrânia (então parte da União Soviética).

É considerado o pior acidente nuclear da história da energia nuclear, produzindo uma nuvem de radioatividade que atingiu a União Soviética, Europa Oriental, Escandinávia e Reino Unido.

Grandes áreas da Ucrânia, Bielorrússia e Rússia foram muito contaminadas, resultando na evacuação e reassentamento de aproximadamente 200 mil pessoas. Cerca de 60% de radioatividade caiu em território bielorrusso.

O acidente fez crescer preocupações sobre a segurança da indústria nuclear soviética, diminuindo sua expansão por muitos anos, e forçando o governo soviético a ser menos secreto. Os agora separados países de Rússia, Ucrânia e Bielorrússia têm suportado um contínuo e substancial custo de descontaminação e cuidados de saúde devidos ao acidente de Chernobil.

É difícil dizer com precisão o número de mortos causados pelos eventos de Chernobil, devido às mortes esperadas por câncer, que ainda não ocorreram e são difíceis de atribuir especificamente ao acidente.

Um relatório da Organização das Nações Unidas de 2005 atribuiu 56 mortes até aquela data – 47 trabalhadores acidentados e nove crianças com câncer da tireóide – e estimou que cerca de 4000 pessoas morrerão de doenças relacionadas com o acidente. O Greenpeace, entre outros, contesta as conclusões do estudo.

O governo soviético procurou esconder o ocorrido da comunidade mundial, até que a radiação em altos níveis foi detectada em outros países. Segue um trecho do pronunciamento do líder da União Soviética, na época do acidente, Mikhail Gorbachev, quando o governo admitiu a ocorrência:



O "sarcófago" que abriga o reator 4, construído para conter a radiação liberada pelo acidente.



Cidade fantasma de Pripyat com a usina nuclear de Chernobil ao fundo.

O acidente

Sábado, 26 de abril de 1986, à 1:23:58 a.m. hora local, o quarto reator da usina de Chernobil - conhecido como Chernobil-4 - sofreu uma catastrófica explosão de vapor que resultou em incêndio, uma série de explosões adicionais, e um derretimento nuclear.

Causas

Há duas teorias oficiais, mas contraditórias, sobre a causa do acidente.

A **primeira** foi publicada em agosto de 1986, e **atribuiu a culpa, exclusivamente, aos operadores da usina.**

A **segunda teoria** foi publicada em 1991 e atribuiu o acidente a **defeitos no projeto do reator RBMK, especificamente nas hastes de controle.**

Ambas teorias foram fortemente apoiadas por diferentes grupos, inclusive os projetistas dos reatores, pessoal da usina de Chernobil, e o governo.

Alguns especialistas independentes agora acreditam que nenhuma teoria estava completamente certa.

Outro importante fator que contribuiu com o acidente foi o fato que os operadores não estavam informados sobre certos problemas do reator.

De acordo com um deles, Anatoli Dyatlov, o projetista sabia que o reator era perigoso em algumas condições, mas intencionalmente omitiu esta informação. Isto contribuiu para o acidente, uma vez que a gerência da instalação era composta em grande parte de pessoal não qualificado em RBMK: o diretor, V.P. Bryukhanov, tinha experiência e treinamento em usina termo-elétrica a carvão.

Seu engenheiro chefe, Nikolai Fomin, também veio de uma usina convencional. O próprio Anatoli Dyatlov, ex-engenheiro chefe dos Reatores 3 e 4, somente tinha "alguma experiência com pequenos reatores nucleares".

Em particular:

- O reator tinha um coeficiente a vazio positivo perigosamente alto. Dito de forma simples, isto significa que se bolhas de vapor se formam na água de resfriamento, a reação nuclear se acelera, levando à **sobrevelocidade** se não houver intervenção.
- Pior, com carga baixa, este coeficiente a vazio não era compensado por outros fatores, os quais tornavam o reator instável e perigoso. Os operadores não tinham conhecimento deste perigo e isto não era intuitivo para um operador não treinado.
- Um defeito mais significativo do reator era o projeto das hastes de controle. Num reator nuclear, hastes de controle são inseridas no reator para diminuir a reação.
- Entretanto, no projeto do reator RBMK, as pontas das hastes de controle eram feitas de grafite e os extensores (as áreas finais das hastes de controle acima das pontas, medindo um metro de comprimento) eram ocas e cheias de água, enquanto o resto da haste - a parte realmente funcional que absorve os nêutrons e portanto pára a reação - era feita de carbono-boro.
- Com este projeto, quando as hastes eram inseridas no reator, as pontas de grafite deslocavam uma quantidade do resfriador (água). Isto aumenta a taxa de fissão nuclear, uma vez que o grafite é um moderador de nêutrons mais potente.
- Então nos primeiros segundos após a ativação das hastes de controle, a potência do reator aumenta, em vez de diminuir, como desejado. Este comportamento do equipamento não é intuitivo (ao contrário, o esperado seria que a potência começasse a baixar imediatamente), e, principalmente, não era de conhecimento dos operadores.
- Os operadores violaram procedimentos, possivelmente porque eles ignoravam os defeitos de projeto do reator. Também muitos procedimentos irregulares contribuíram para causar o acidente. Um deles foi a comunicação ineficiente entre os escritórios de segurança (na capital, Kiev) e os operadores encarregados do experimento conduzido naquela noite.

É importante notar que os operadores desligaram muitos dos sistemas de proteção do reator, o que era proibido pelos guias técnicos publicados, a menos que houvesse mau funcionamento.

De acordo com o relatório da Comissão do Governo, publicado em agosto de 1986, os operadores removeram pelo menos 204 hastes de controle do núcleo do reator (de um total de 211 deste modelo de reator). O mesmo guia (citado acima) proibia a operação do RBMK-1000 com menos de 15 hastes dentro da zona do núcleo

Eventos

Dia 25 de abril de 1986, o reator da Unidade 4 estava programado para ser desligado para manutenção de rotina. Foi decidido usar esta oportunidade para testar a capacidade do gerador do reator para gerar suficiente energia para manter seus sistemas de segurança (em particular, as bombas de água) no caso de perda do suprimento externo de energia.

Reatores como o de Chernobil têm um par de geradores diesel disponível como reserva, mas eles não são ativados instantaneamente – o reator é portanto usado para partir a turbina, a um certo ponto a turbina seria desconectada do reator e deixada a rodar sob a força de sua inércia rotacional, e o objetivo do teste era determinar se as turbinas, na sua fase de queda de rotação, poderiam alimentar as bombas enquanto o gerador estivesse partindo.



Casa abandonada nos arredores do acidente

O teste foi realizado com sucesso previamente em outra unidade (com as medidas de proteção ativas) e o resultado foi negativo (isto é, as turbinas não geravam suficiente energia, na fase de queda de rotação, para alimentar as bombas), mas melhorias adicionais foram feitas nas turbinas, o que levou à necessidade de repetir os testes.

A potência de saída do reator 4 devia ser reduzida de sua capacidade nominal de 3,2 GW para 700 MW a fim de realizar o teste com baixa potência, mais segura. Porém, devido à demora em começar a experiência, os operadores do reator reduziram a geração muito rapidamente, e a saída real foi de somente 30 MW. Como resultado, a concentração de nêutrons absorvendo o produto da fissão, xenon-135, aumentou (este produto é tipicamente consumido num reator em baixa carga).

Embora a escala de queda de potência estivesse próxima ao máximo permitido pelos regulamentos de segurança, a gerência dos operadores decidiu não desligar o reator e continuar o teste. Ademais, foi decidido abreviar o experimento e aumentar a potência para apenas 200 MW.

A fim de superar a absorção de neutrons do excesso de xenon-135, as hastes de controle foram puxadas para fora do reator mais rapidamente que o permitido pelos regulamentos de segurança.

Como parte do experimento, à 1:05 de 26 de abril, as bombas que foram alimentadas pelo gerador da turbina foram ligadas; o fluxo de água gerado por essa ação excedeu o especificado pelos regulamentos de segurança.

O fluxo de água aumentou à 1:19 – uma vez que a água também absorve nêutrons. Este adicional incremento no fluxo de água requeria a remoção manual das hastes de controle, produzindo uma condição de operação altamente instável e perigosa.

À 1:23, o teste começou. A situação instável do reator não se refletia, de nenhuma maneira, no painel de controle, e não parece que algum dos operadores estivesse totalmente consciente do perigo. A energia para as bombas de água foi cortada, e como elas foram conduzidas pela inércia do gerador da turbina, o fluxo de água decresceu. A turbina foi desconectada do reator, aumentando o nível de vapor no núcleo do reator.

À medida em que o líquido resfriador aquecia, bolsas de vapor se formavam nas linhas de resfriamento. O projeto peculiar do reator moderado a grafite RBMK em Chernobil tem um grande

coeficiente de vazio positivo, o que significa que a potência do reator aumenta rapidamente na ausência da absorção de nêutrons da água, e nesse caso a operação do reator torna-se progressivamente menos estável e mais perigosa.

À 1:23 os operadores pressionaram o botão AZ-5 (Defesa Rápida de Emergência 5) que ordenou uma inserção total de todas as hastes de controle, incluindo as hastes de controle manual que previamente haviam sido retiradas sem cautela.

Não está claro se isso foi feito como medida de emergência, ou como um simples método de rotina para desligar totalmente o reator após a conclusão do experimento (o reator estava programado para ser desligado para manutenção de rotina).

É usualmente sugerido que a parada total foi ordenada como resposta à inesperada subida rápida de potência. Por outro lado Anatoly Syatlov, engenheiro chefe da usina Nuclear de Chernobil na época do acidente, escreveu em seu livro:

“Antes de 01:23, os sistemas do controle central... não registravam nenhuma mudança de parâmetros que pudessem justificar a parada total. A Comissão...juntou e analisou grande quantidade de material, e declarou em seu relatório que falhou em determinar a razão pela qual a parada total foi ordenada. Não havia necessidade de procurar pela razão. O reator simplesmente foi desligado após a conclusão do experimento”.

Devido à baixa velocidade do mecanismo de inserção das hastes de controle (20 segundos para completar), as partes ocas das hastes e o deslocamento temporário do resfriador, a parada total provocou o aumento da velocidade da reação.

O aumento da energia de saída causou a deformação dos canais das hastes de controle. As hastes travaram após serem inseridas somente um terço do caminho, e foram portanto incapazes de conter a reação.

Por volta de 1:23:47, a potência do reator aumentou para cerca de 30GW, dez vezes a potência normal de saída. As hastes de combustível começaram a derreter e a pressão de vapor rapidamente aumentou causando uma grande explosão de vapor, deslocando e destruindo a cobertura do reator, rompendo os tubos de resfriamento e então abrindo um buraco no teto.



Monumento em homenagem às vítimas do acidente em Moscou, Rússia.

Para reduzir custos, e devido a seu grande tamanho, o reator foi construído com somente contenção parcial. Isto permitiu que os contaminantes radioativos escapassem para a atmosfera depois que a explosão de vapor queimou os vasos de pressão primários.

Depois que parte do teto explodiu, a entrada de oxigênio – combinada com a temperatura extremamente alta do combustível do reator e do grafite moderador – produziu um incêndio da grafite. Este incêndio contribuiu para espalhar o material radioativo e contaminar as áreas vizinhas.

Há alguma controvérsia sobre a exata seqüência de eventos após 1:22:30 (hora local) devido a inconsistências entre declaração das testemunhas e os registros da central. A versão mais comumente aceita é descrita a seguir.

De acordo a esta teoria, a primeira explosão aconteceu aproximadamente à 1:23:47, sete segundos após o operador ordenar a parada total. É algumas vezes afirmado que a explosão aconteceu antes ou imediatamente em seguida à parada total (esta é a versão do Comitê Soviético que estudou o acidente).

Esta distinção é importante porque, se o reator tornou-se crítico vários segundos após a ordem de parada total, esta falha seria atribuída ao projeto das hastes de controle, enquanto a explosão simultânea à ordem de parada total seria atribuída à ação dos operadores.

De fato, um fraco evento sísmico foi registrado na área de Chernobil à 1:23:39. Este evento poderia ter sido causado pela explosão ou poderia ser coincidente. A situação é complicada pelo fato de que o botão de parada total foi pressionado mais de uma vez, e a pessoa que o pressionou morreu duas semanas após o acidente, envenenada pela radiação.

Seqüência de Eventos



Mapa mostrando o avanço da radiação após o acidente.

26 de abril de 1986 - Acidente no reator 4, da Central Elétrica Nuclear de Chernobil. Aconteceu à noite, entre 25 e 26 de abril de 1986, durante um teste. A equipe operacional planejou testar se as turbinas poderiam produzir energia suficiente para manter as bombas do líquido de refrigeração funcionando, no caso de uma perda de potência, até que o gerador de emergência, a óleo diesel, fosse ativado.

Para prevenir o bom andamento do teste do reator, foram desligados os sistemas de segurança. Para o teste, o reator teve que ter sua capacidade operacional reduzida para 25%. Este procedimento não saiu de acordo com planejado. Por razões desconhecidas, o nível de potência de reator caiu para menos de 1% e por isso a potência teve que ser aumentada.

Mas 30 segundos depois do começo do teste, houve um aumento de potência repentina e inesperada. O sistema de segurança do reator, que deveria ter parado a reação de cadeia, falhou.

Em frações de segundo, o nível de potência e temperatura subiram em demasia. O reator ficou descontrolado. Houve uma explosão violenta. A cobertura de proteção, de 1000 toneladas, não resistiu.

A temperatura de mais de 2000°C, derreteu as hastes de controle. A grafite que cobria o reator pegou fogo. Material radiativo começou a ser lançado na atmosfera.

de 26 de abril até 4 de maio de 1986 - a maior parte da radiação foi emitida nos primeiros dez dias. Inicialmente houve predominância de ventos norte e noroeste. No final de abril o vento mudou para sul e sudeste. As chuvas locais frequentes fizeram com que a radiação fosse distribuída local e regionalmente.

de 27 de abril a 5 de maio de 1986 - aproximadamente 1800 helicópteros jogaram cerca de 5000 toneladas de material extintor, como areia e chumbo, sobre o reator que ainda queimava.

27 de abril de 1986 - os habitantes da cidade de Pripjat foram evacuados.

28 de abril 1986, 23 horas - um laboratório de pesquisas nucleares da Dinamarca anunciou a ocorrência do acidente nuclear em Chernobil.

29 de abril de 1986 - o acidente nuclear de Chernobil foi divulgado como notícia pela primeira vez, na Alemanha.

até 5 de maio 1986 - durante os 10 dias após o acidente, 130 mil pessoas foram evacuadas.

6 de maio de 1986 - cessou a emissão radioativa.

de 15 a 16 de maio de 1986 - novos focos de incêndio e emissão radiativa.

23 de maio de 1986 - o governo soviético ordenou a distribuição de solução de iodo à população.

Novembro de 1986 - o "sarcófago" que abriga o reator foi concluído. Ele destina-se a absorver a radiação e conter o combustível remanescente. Considerado uma medida provisória e construído para durar de 20 a 30 anos, seu maior problema é a falta de estabilidade, pois, como foi construído às pressas, há risco de ferrugem nas vigas.

1989 - o governo russo embargou a construção dos reatores 5 e 6 da usina.

12 de dezembro de 2000 - depois de várias negociações internacionais, a usina de Chernobil foi desativada. *Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Acidente_nuclear_de_Chernobil*

Diante do que foi relatado, é possível tirar conclusões pessoais sobre o uso e a segurança de Energia Nuclear como fonte de geração de Energia Elétrica no Brasil.

Luiz Antonio Batista da Rocha

Engenheiro Civil - Consultor em Recursos Hídricos – Auditor Ambiental

rocha@outorga.com.br – www.outorga.com.br