

ENGENHARIA EM DEBATE

OS DESAFIOS DA ENERGIA NUCLEAR

Francisco Carlos Paletta
Faculdade de Engenharia FAAP – Diretor
Faculdade de Computação e Informática FAAP - Diretor

Afonso Rodrigues de Aquino
Faculdade de Engenharia FAAP - Professor

Existem pouquíssimos países no mundo que, simultaneamente, detenha a tecnologia para a construção de usinas nucleares, domine o ciclo do combustível nuclear e possua grandes reservas de urânio. O Brasil é uma dessas exceções. Há décadas que do total de energia elétrica produzida no mundo, 16% provém de reatores nucleares. Esse é comercialmente o argumento mais importante. Porém, quando o assunto é saúde a justificativa é ainda melhor acolhida. A medicina nuclear é a especialidade médica que mais cresce no mundo. Talvez por estar diretamente ligada ao diagnóstico por imagem que tem facilitado a identificação precoce de doenças, em especial as de grande malignidade. O uso das radioterapias segue na mesma linha.

O Brasil desde o início dos anos 1970 vem investindo significativamente na formação de profissionais nessa área. A princípio qualificando seus profissionais de nível superior no exterior, depois no próprio país com a vinda de professores estrangeiros. Atualmente, qualifica seus profissionais no próprio país, após conseguir constituir um sólido quadro de pesquisadores. Um exemplo disso é o IPEN que, desde 1976, participa intensamente na formação de pessoal na área, tendo outorgado, desde então, 1849 diplomas de mestre e doutor em tecnologia nuclear. Cada passo dado, na busca da formação de um quadro cada vez maior, é feito sem abdicar dos procedimentos anteriores: continuamos mandando nossos alunos para se pós-graduarem no exterior, continuamos trazendo professores de fora do país e formamos uma quantidade cada vez maior de mestres e doutores. Hoje em dia, com a retomada do crescimento econômico do país, existe uma grande demanda por profissionais da área de engenharia, entre outras. Isso faz com que o profissional preparado para atuar na área nuclear seja, devido a excelência da sua formação, buscado para atuar em outras áreas.

Em um momento no qual o mundo discute a energia nuclear; o desafio esta em responder a seguinte pergunta? É possível atender à alta demanda de energia no mundo com investimentos em fontes alternativas de energia e sem a

necessidade de se investir em usinas nucleares? A resposta não é trivial mas podemos afirmar que um aumento de 16% nas demais formas de geração de energia teria um grande impacto ambiental, levando em consideração que a hidroeletricidade já é uma das formas mais exploradas e se aproxima do limite de capacidade e de suas reservas mais significativas se encontrarem distantes dos centros consumidores, a biomassa tem seu uso mais comum como combustível automotivo, a energia eólica ser de pequeno potencial e a energia solar ainda aguardar soluções tecnológicas para seus irrisórios rendimentos. Restam os combustíveis fósseis que, com suas reservas em extinção, tendem a ter um custo cada vez maior. Na contramão dessa escassez, as reservas de urânio crescem enquanto o preço de mercado diminui.

O acidente que vitimou o Japão em particular e a humanidade como um todo, nos desafia a tecer algumas considerações sobre o tema, em especial sobre a questão nuclear. Não podemos invalidar uma das grandes conquistas da humanidade, o domínio da energia nuclear, sem ao menos fazer as devidas ressalvas para as questões socioeconômicas necessárias para entender como o Japão figurou durante décadas como a segunda economia do mundo, somente tendo sido ultrapassado pela China em 2011. Uma população de 127 milhões de pessoas vivendo em um arquipélago de ilhas vulcânicas, com solo de baixa qualidade, com poucas riquezas naturais e com um dos melhores padrões de vida do planeta somente poderia ter logrado êxito com abundância de energia. Associada às virtudes anteriores está a preocupação com o meio ambiente. Não deve ser esquecido que a reunião na qual foi assinado o protocolo que deu início à redução das emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa ocorreu na cidade de Quioto. A opção nuclear feita por um povo que em 1923 foi vítima de um terremoto que matou 143 mil pessoas e que em 1945 sofreu o ataque de duas bombas atômicas que juntas mataram cerca de 240 mil pessoas, não deixa dúvidas sobre a sua credibilidade na ciência e na tecnologia, além de um grande amor e respeito à natureza.

A escolha feita pelo Japão, com quase 60 usinas nucleares e mais de 30% da energia elétrica gerada no país não foi em vão. Hoje, temos quatro unidades danificadas, enquanto as demais sobreviveram ao acidente e, com certeza devem participar ativamente do processo de soerguimento do país, sem necessidade de reconstruí-las. A energia é o insumo universal para todas as atividades humanas.

As usinas termelétricas têm como princípio o aquecimento de uma certa quantidade de água que é vaporizada. O vapor produzido aciona uma turbina que gera a eletricidade distribuída para a população. A diferença de uma termonuclear para as demais reside no fato de que a reação de fissão nuclear do urânio 235 é que gera o calor para vaporizar a água. Existem outros tipos de combustíveis nucleares nos quais o plutônio 239 é usado puro, ou associado

com o urânio 235. A reação de fissão produz isótopos radioativos de diferentes elementos químicos (produtos de fissão).

O decaimento radioativo dos novos radioisótopos (emissão de radiação para se estabilizar) gera uma quantidade de calor significativa que, no limite de uso do combustível nuclear, chega a 4% do total do calor gerado no reator. No caso dos reatores japoneses que explodiram representavam cerca de 50 e 90 MW, respectivamente. Isso é mais do que gerado por uma Pequena Central Hidrelétrica – PCH (que por definição tem capacidade de até 30 MW).

Todos os reatores da central de Daiichi, em Fukushima, têm um sistema de refrigeração, no qual um líquido, especificamente água, é circulado para remoção do “calor residual”. Esse trabalho é feito com bombas que são acionadas por motores elétricos. A energia que supre o sistema pode ter três diferentes origens: a) parte da energia gerada na própria central nuclear, que no caso estava desligada devido ao abalo sísmico; b) a rede de distribuição, que no caso foi destruída pelo terremoto; c) geradores a diesel, que no caso foi destruído pelo tsunami.

Uma vez que não é refrigerado, a temperatura do elemento combustível sobe comprometendo a sua integridade. A água em contato com o tubo metálico na qual estão acondicionadas as pastilhas de óxido de urânio (combustível nuclear) pode sofrer três tipos de reação, todas com a liberação de hidrogênio, ou seja: 1) reagir com o metal (água + metal \rightleftharpoons óxido metálico + hidrogênio); 2) sofrer uma termólise, quebra da molécula de água pelo calor ($2\text{H}_2\text{O} + \text{Q} \rightleftharpoons 2\text{H}_2 + \text{O}_2$); 3) craqueamento catalítico da água, mesma reação anterior, só que em temperatura mais baixa e catalisada pelo metal. Um quarto processo de formação de hidrogênio é a radiólise da molécula da água, ou seja, a quebra da molécula de H_2O pela radiação proveniente do decaimento radioativo dos produtos de fissão.

A reação preferencial é a primeira. A concentração, entre 4 e 75%, de hidrogênio na atmosfera forma uma mistura explosiva. Por isso a tentativa de deixar escapar aos poucos a mistura gasosa do interior do reator. Existem dois riscos nessa operação: 1) vazar junto alguns produtos de fissão; 2) acumular fora do núcleo do reator uma quantidade significativa de hidrogênio capaz de explodir (provavelmente o que aconteceu).

Os combustíveis estão expostos, ou seja, a água de refrigeração não os cobre totalmente, comprometendo a remoção do calor ocasionado pelo decaimento radioativo dos produtos de fissão. Se os tubos ainda estão íntegros, é válido, por oferecer baixo nível de contaminação ambiental, o uso da água do mar para refrigeração. Se os tubos foram rompidos, ou fundidos devido à elevação descontrolada da temperatura, expondo o material radioativo nele contido, esse

tipo de ação deve ser bem avaliado por oferecer risco de contaminação ambiental, a começar pelo próprio ambiente da usina.








Num acidente com perda total da alimentação elétrica, como o ocorrido em Fukushima, um reator PWR permitiria que os operadores tivessem mais tempo para o restabelecimento da energia do que um BWR. A usina PWR conta com circuitos independentes e geradores de vapor, equipamentos que contêm uma quantidade significativa de água e que permitem que o resfriamento do reator ocorra por circulação natural até o restabelecimento de energia, sem a necessidade de se utilizar bombas acionadas por eletricidade. Numa usina BWR, existe um circuito único, sem geradores de vapor. Um corte no fornecimento de energia interrompe imediatamente o resfriamento, como aconteceu na usina de Fukushima Daiichi. Portanto, nessas condições, a usina PWR apresenta algumas vantagens. No Japão, 50% das usinas é do tipo PWR e a outra metade é BWR. Vale ressaltar que, na região afetada, não havia usinas PWR em operação, apenas BWRs.

Fonte:(<https://centrodeestudosambientais.wordpress.com/2011/03/17/esclarecimentos-sobre-as-diferencas-entre-as-usinas-do-tipo-pwr-existent-no-brasil-e-as-bwr-de-fukushima-daiichi-no-japao/>)

Com o desaparecimento de dois operadores, o acidente com as usinas japonesas alcançou o nível 5, em uma na escala de avaliação de eventos nucleares que vai até um máximo de 7, de acordo com a INES publicada em 2008 - The International Nuclear and Radiological Event Scale, International Atomic Energy Agency (IAEA).

ESCALA PARA AVALIAÇÃO DE ACIDENTES NUCLEARES

Com o acidente de Chernobyl, o Comitê de Eventos e Emergências Nucleares criou uma escala para avaliar os acidentes nucleares

	Nível 7 Grande contaminação e muitas mortes; área permanecerá contaminada por diversos anos	Chernobyl (Ucrânia, 1986)
	Nível 6 Alto nível de radioatividade com muitas vítimas fatais	Kyshtym (Rússia, 1957)
	Nível 5 Mais de uma morte por radiação; grande quantidade de material radioativo identificado na região	Three Mile Island (EUA, 1979)
	Nível 4 Pelo menos uma morte causada pela radiação; forte possibilidade de afetar pessoas	Usina Fukushima 1 (Japão, 2011); Tokaimura (Japão, 1999)
	Nível 3 Contaminação significativa, com pouca possibilidade de atingir a população	
	Nível 2 Índice de radioatividade passa a ser considerado preocupante	
	Nível 1 Limite de exposição radioativa pouco acima do considerado normal pelos padrões internacionais	

Fonte: International Atomic Energy Agency - IAEA ([WWW.iaea.org](http://www.iaea.org)), encontrado em: <http://www1.folha.uol.com.br/mundo/887878-acidente-nuclear-no-japao-e-pior-na-escala-desde-tchernobil.shtml>

Conforme visto até agora, as engenharias civil, mecânica, elétrica e química, aliadas com tecnologias da informação, estão na base da construção de uma nova geração de instalações nucleares resistentes às condições operacionais extremas. Os indícios para isso podem ser obtidos comparando os sistemas operacionais e de segurança instalados nas usinas nucleares que suportaram os impactos com os das que sofreram avarias.

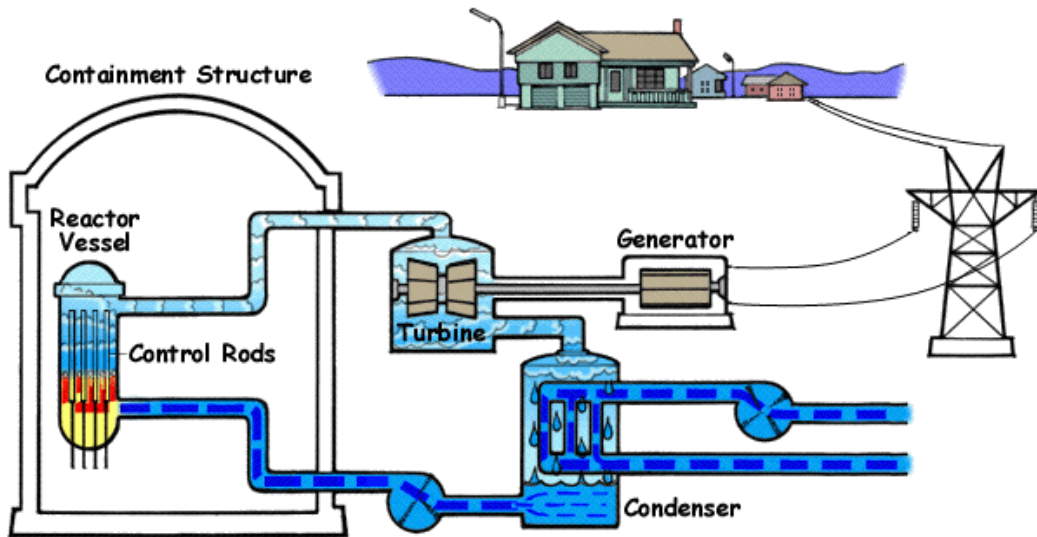
O Brasil possui onze capitais e mais algumas centenas de cidades situadas nos seus mais de 8.000 km de costa e as duas únicas edificações construídas para agüentar terremotos e tsunamis são as usinas nucleares Angra I e II, além de contarem com um plano de evacuação para toda a população no seu entorno.

Em recente artigo o professor José Eustáquio Alves apresenta uma reflexão entre consumo e degradação dos recursos naturais do planeta considerando que, após 200 anos de desenvolvimento econômico, propiciado pela Revolução Industrial, a população mundial ganhou com a redução das taxas de mortalidade e o crescimento da expectativa de vida. O consumo médio da humanidade disparou. Entre 1800 e 2010 a população mundial cresceu, aproximadamente, sete vezes (de 1 bilhão para 7 bilhões de habitantes) e a economia (PIB) aumentou cerca de 50 vezes. Mas o crescimento da riqueza se deu às custas da pauperização do planeta. Estudos apontam que hoje, por conta do atual ritmo de consumo, a demanda por recursos naturais excede em 50% a capacidade de reposição da terra. Se a escalada dessa demanda continuar no ritmo atual, em 2030, com uma população planetária estimada em 8,3 bilhões de pessoas, serão necessárias duas terras para satisfazê-las. Para voltar ao patamar de uma Terra, teremos que reduzir o consumo em 33% nos próximos vinte anos.

Será preciso promover uma revolução na matriz energética, incentivar a eficiência do uso de energia, reciclar o lixo, reduzir os desperdícios em todas as suas formas bem como introduzir inovações tecnológicas em todas as áreas de atuação humana. É urgente discutir alternativas para o modelo de “decrecimento sustentável”, e especialmente a redução das atividades mais poluidoras, com a mudança no padrão de consumo e o avanço da sociedade no conhecimento e na produção de bens imateriais e intangíveis.

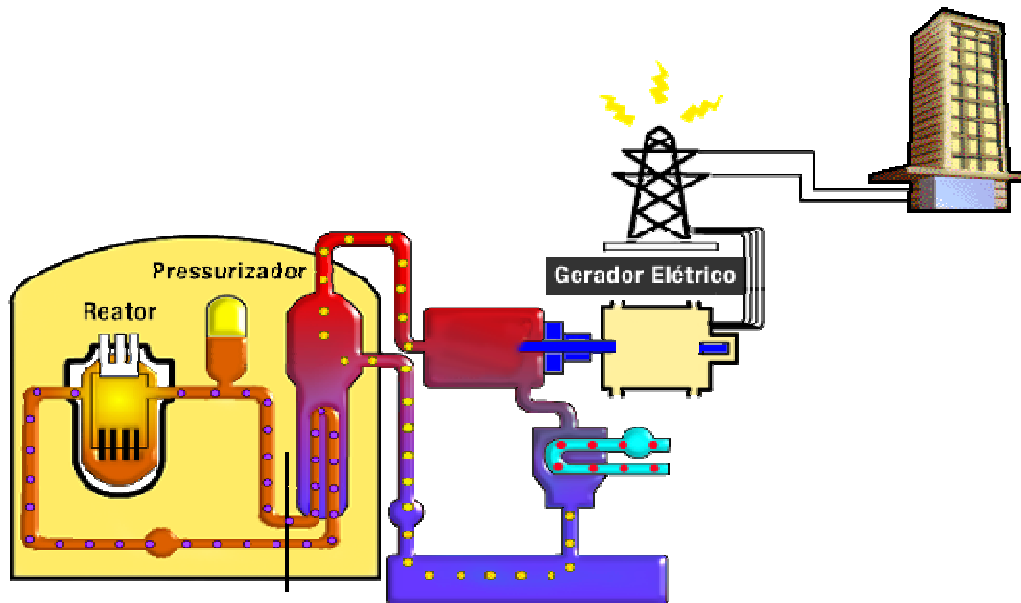
Podemos concluir que os desafios que as futuras gerações de engenheiros terão que equacionar está intrinsecamente ligado à matriz energética global e a sustentabilidade ou colapso do planeta.

REATOR NUCLEAR



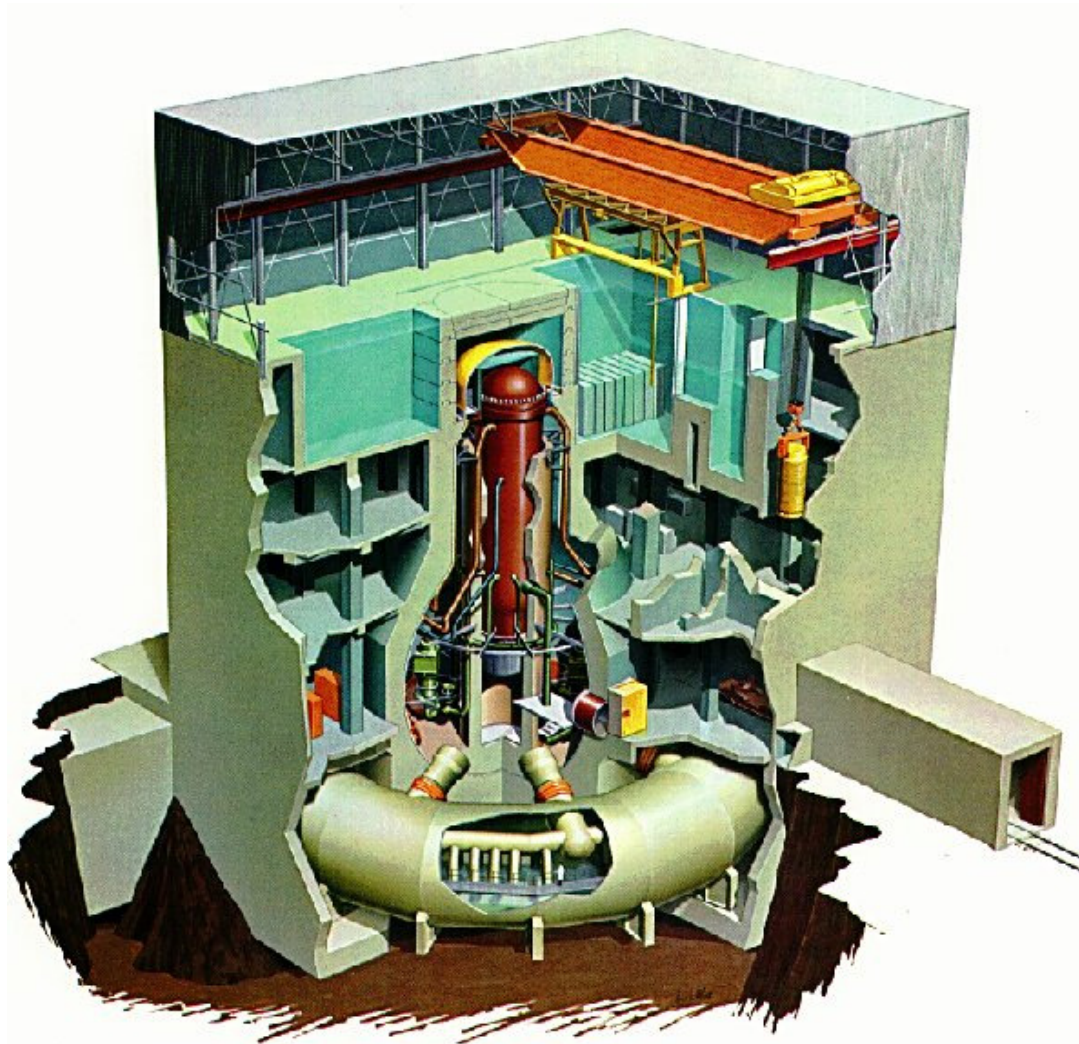
Reator tipo BWR

Fonte: Claudio Almeida Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN: VII ESCOLA DO CBPF, em: mesonpi.cat.cbpf.br/e2008/g15/cbpfnuclear2.ppt



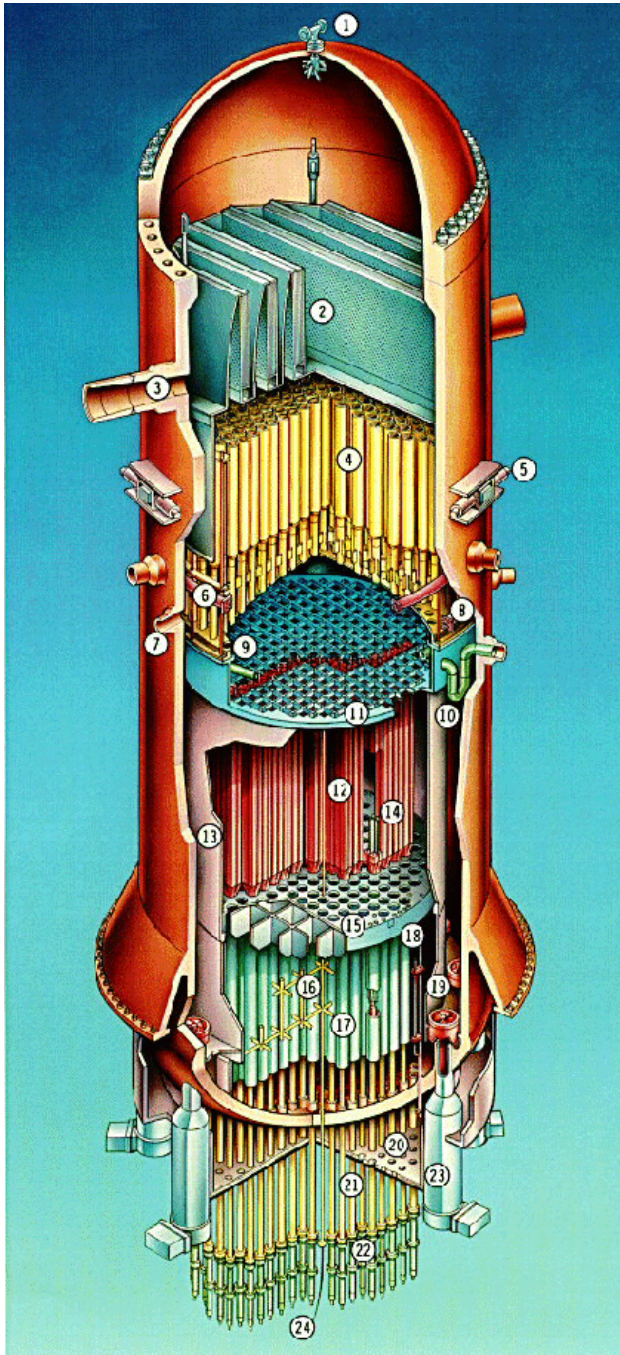
Reator tipo PWR

Fonte: Claudio Almeida Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN: VII ESCOLA DO CBPF, em: mesonpi.cat.cbpf.br/e2008/g15/cbpfnuclear2.ppt



Reator tipo BWR: Vista

Fonte: Claudio Almeida Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN: VII ESCOLA DO CBPF, em: mesonpi.cat.cbpf.br/e2008/g15/cbpfnuclear2.ppt



BWR Vaso do Reator

Altura: 27m

Diâmetro: 8m

Pressão: 100 atm

Temperatura: 270 °C

Combustível: UO_2 enriquecido

Refrigerante: H_2O em ebulição

Moderador: H_2O

Revestimento: Zircalloy

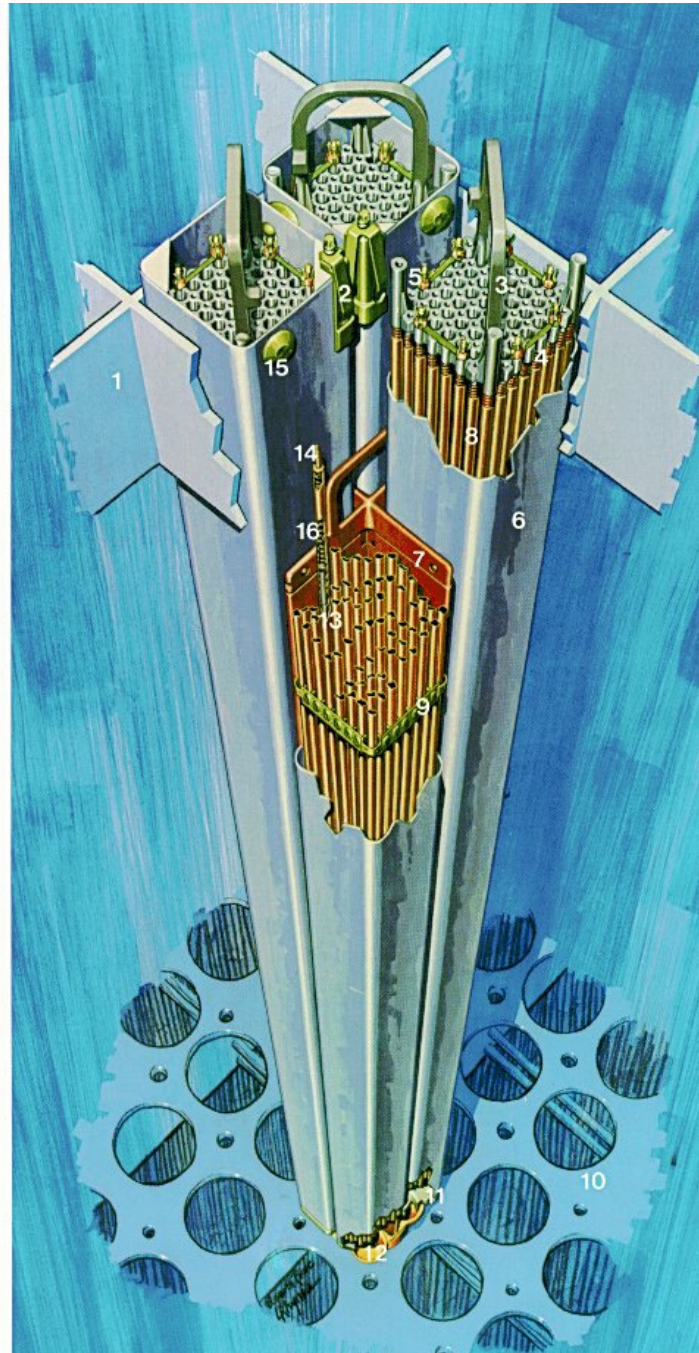
Fonte: Claudio Almeida
Comissão Nacional de Energia
Nuclear – CNEN: VII ESCOLA
DO CBPF, em:
mesonpi.cat.cbpf.br/e2008/g15/cbpfnuclear2.ppt

Reator tipo BWR: Vaso do reator

BWR/6 FUEL ASSEMBLIES & CONTROL ROD MODULE

- 1.TOP FUEL GUIDE
- 2.CHANNEL FASTENER
- 3.UPPER TIE PLATE
- 4.EXPANSION SPRING
- 5.LOCKING TAB
- 6.CHANNEL
- 7.CONTROL ROD
- 8.FUEL ROD
- 9.SPACER
- 10.CORE PLATE ASSEMBLY
- 11.LOWER TIE PLATE
- 12.FUEL SUPPORT PIECE
- 13.FUEL PELLETS
- 14.END PLUG
- 15.CHANNEL SPACER
- 16.PLENUM SPRING

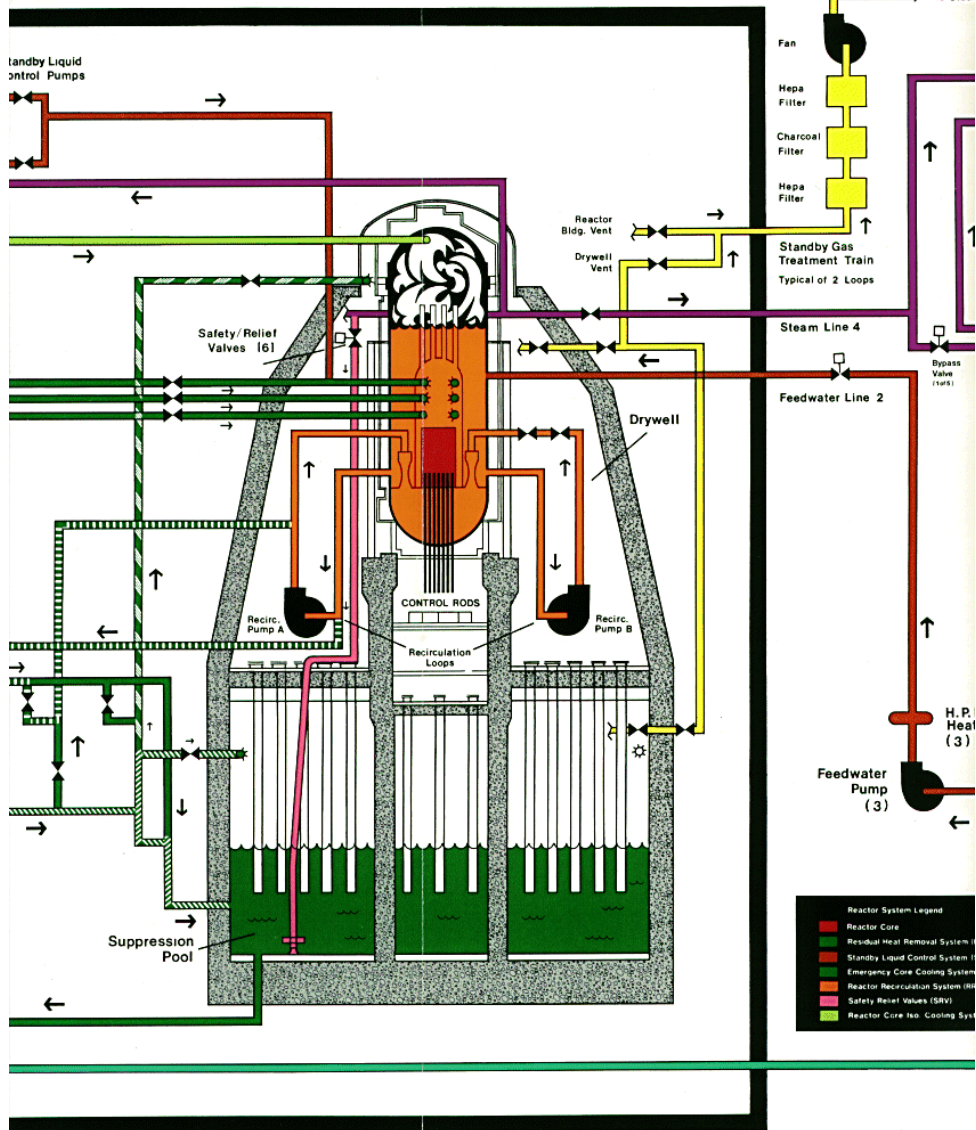
GENERAL  ELECTRIC



Reator tipo BWR: Elemento Combustível

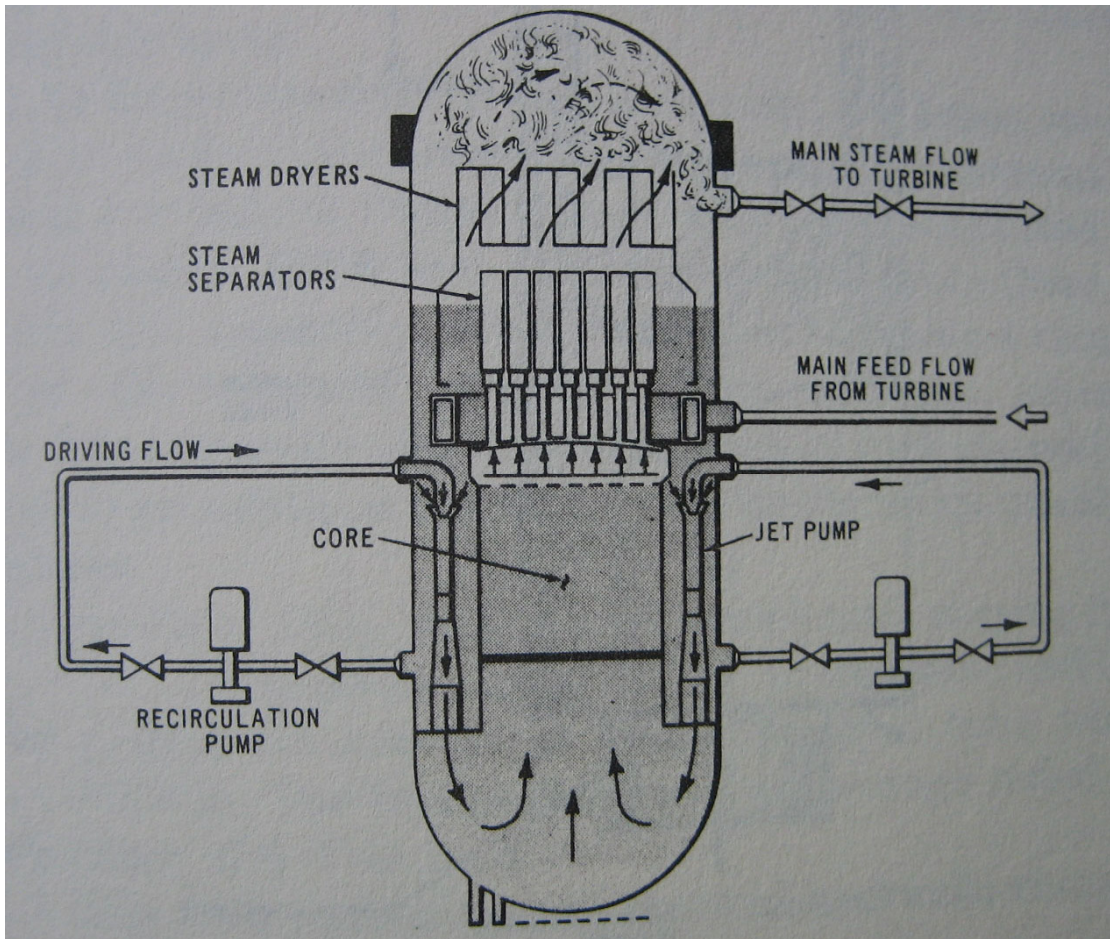
Fonte: Claudio Almeida Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN: VII ESCOLA DO CBPF, em: mesonpi.cat.cbpf.br/e2008/g15/cbpfnuclear2.ppt

g Water Reactor I



Reator tipo BWR: Sistemas de Segurança

Fonte: Claudio Almeida Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN: VII ESCOLA DO CBPF, em: mesonpi.cat.cbpf.br/e2008/g15/cbpfnuclear2.ppt



Reator tipo BWR: Recirculação

Fonte: Claudio Almeida Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN: VII ESCOLA DO CBPF, em: mesonpi.cat.cbpf.br/e2008/g15/cbpfnuclear2.ppt