

I Congresso Geral de Energia Nuclear

Rio de Janeiro, 17 a 20 de Março de 1986

ANA'S - PROCEEDINGS

ESTUDO PRELIMINAR PARA O PROJETO DE CASCOS PARA TRANSPORTE DE COMBUSTÍVEL IRRADIADO EM REATORES PWR (ANGRA-1).

José Rubens Maiorino
Arlindo Gilson Mendonça

Divisão de Física de Reatores
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - CNEN-SP
São Paulo - SP

SUMÁRIO

Um estudo preliminar para o dimensionamento de cascos para transporte de combustíveis irradiados em reatores PWR do tipo Angra-1 é apresentado. O programa "MYRA-*Calculation of Shipping Costs and Cask Design for Irradiated Fuel Elements*"⁽¹⁾ é utilizado para a determinação do número de elementos combustíveis a ser transportado por casco em função do tempo de resfriamento mínimo que estes combustíveis devem ser estocados "At the Reactor" antes do transporte para seu destino final (depósito "Away from Reactor" ou Reprocessamento), e pelo máximo peso do casco a ser transportado. Os cálculos foram realizados tendo como vínculos a máxima taxa de dose permissível externamente ao casco e, que o calor gerado pelo decaimento dos produtos de fissão fosse adequadamente removido sem exceder uma temperatura permissível para as varetas combustíveis. Finalmente, são apresentados um pré-dimensionamento de possíveis cascos e comparados com cascos com existência comercial.

SUMMARY

A preliminary study of cask design for irradiated fuel elements of PWR type used in Angra-I is made. A computer code MYRA⁽¹⁾ is used to find the number of fuel elements to be shipped per cask. It is used as constraints the minimum cooling time for storage of the spent fuel elements at the reactor before shipping to the final storage (away from reactor or reprocessing) and the maximum cask weight. Moreover, the calculations were made using a fixed external maximum permissible dose, and that the fission products decay heat is removed without exceeding a permissible fuel rod temperature. Finally, a preliminary cask design parameters is shown and compared with commercial casks.

1. INTRODUÇÃO

O combustível irradiado nos atuais reatores em uso comercial tem, de uma maneira geral, sido estocados em piscinas de água localizadas em edificações adjacentes ao edifício do reator (caso de Angra 1), ou mesmo internamente ao prédio de contenção do reator (caso de Angra 2). Entretanto, estas piscinas tem uma capacidade de estocagem menor que o tempo de vida previsto para a instalação nuclear, e desta forma, após um tempo de decaimento adequado, os elementos combustíveis estocados nestas piscinas deverão ser transportados para um destino final.

Devido o perigo potencial envolvido no transporte, vários fatores influenciam o dimensionamento dos cascos. Assim, a queima, o tempo de decaimento e os limites de dose determinam a blindagem biológica, o dimensionamento dos cascos devem garantir a não ocorrência de criticalidade acidental ($K_{eff} < 0.95$), e a remoção do calor gerado pelo decaimento radioativo deve garantir que a temperatura no encamisamento não ultrapasse limites que comprometam a integridade do combustível. Além desses parâmetros, o projeto dos cascos devem garantir a sua integridade física, em condições de acidentes severos. Assim estes cascos devem ser projetadas para suportar testes, tais como: i) testes de queda sobre superfícies lisas e pontiagudas, ii) teste de resistência térmica, equivalente à exposição por 30 min a um ambiente de 800°C sem refrigeração artificial até que tenha se passado 3 horas, e iii) um teste de imersão, equivalente a pressão de 15 m de coluna de água por 8 horas. Finalmente, os custos de capital e transporte associado com tais cascos são um item importante no projeto e na estratégia a ser utilizada no transporte de combustível irradiado, na medida em que estes custos constituem-se de 5% a 10% do custo total do ciclo do combustível nuclear.

Neste trabalho, é realizado um estudo preliminar para o pré-dimensionamento de possíveis cascos a serem utilizados no transporte de combustível irradiado de reatores PWR do tipo atualmente em operação no país (Angra 1), sem consideração à aspectos econômicos. Tal estudo é justificado, levando-se em conta que a atual piscina de estocagem de combustível irradiados de Angra-1 foi projetada para estocar 363 elementos combustíveis, o que levaria a um esgotamento da capacidade de estocagem de 9 anos, e portanto será necessário a curto prazo o início do projeto de cascos para transporte de combustível irradiado.

2. ANÁLISE

Para a realização do estudo utilizou-se o programa MYRA⁽¹⁾. Neste programa o inventário físsil é calculado pelo subprograma PHOEBE, a partir de dados sobre a história de potência e tempo de resfriamento, para calcular a intensidade da fonte e a taxa de geração de calor de decaimento. O projeto do casco é realizado através de dois cálculos principais: i) a determinação da espessura de blindagem, e ii) a verificação que o calor é adequadamente removido sem exceder temperaturas máximas permissíveis no encamisamento do elemento combustível. Nos cálculos de blindagem, os fluxos gamas e as doses são calculadas através do método do núcleo puntual com correção de "Build-up" em 12 grupos de energia. Cálculos de custos de transporte podem ser realizados fornecendo-se os parâmetros econômicos adequados como entrada. Os resultados fornecidos são: peso, diâmetro externo, interno e altura do casco; a espessura das placas divisorias; potência de decaimento por unidade de massa de material referência; temperatura superficial do elemento mais quente e as temperaturas internas e externas do casco; intensidade da fonte, e custo de manipulação, seguro e transporte. Todos os cálculos são limitados pelo máximo peso do casco, pela máxima taxa de dose permitida, e pelos tempos mínimos e máximos de estocagem anterior dos elementos combustíveis. Além disso, o programa assume que externamente o

casco possui aletas de 6 polegadas espaçadas de 2 polegadas centro a centro, então que a troca de calor com o meio ambiente (assumido a 37.8°C) é por convecção e radiação, de maneira que o coeficiente de transferência de calor (h) é dado por $1.5 \text{ Btu.ft}^{-2}.\text{°F}^{-1}$. Na figura 1 ilustra-se esquematicamente um corte transversal de um casco projetado pelo MYRA.

Na tabela 1, os dados de entrada necessários para simular um PWR do tipo Angra 1, são mostradas (*).

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Na Figura 2 é ilustrado a variação do peso do casco em função do mínimo tempo de resfriamento para estocagem mantendo como parâmetro o número de elementos a serem transportados. Foram selecionados dois casos como sendo preliminarmente, os mais adequados tecnicamente para o PWR tipo Angra-1, e na tabela 2 resumem-se as principais características destes cascos (1 e 2), comparando-se com os cascos com existência comercial. Na figura 1 ilustra-se esquematicamente uma seção transversal do casco 2 com dados de projeto.

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DE CASCOS PARA TRANSPORTE DE COMBUSTÍVEL ^(2,3)

Casco	Peso (ton.)	Capacidade elementos, PWR	Fluido cavidade	Geracao calor, Kw	Comprimento/diâmetro cavidade interna (cm)
Excellox-4*	91	7	H ₂ O	40	489/92
Excellox-3*	72	5	H ₂ O	30	468/87
TN-8	35,7	3	Ar	35,5	427/170
Casco 1	58,8	5	Ar	46	415/67
Casco 2	70	7	Ar	65	415/80

* Os Excellox são projetados para transportar combustível com características semelhantes a Angra-1 e com um tempo mínimo de resfriamento de 180 dias.

REFERÊNCIAS

1. SALMON, R. MYRA-Calculatíon of Shipping Costs and Cask Designs for Irradiated Fuel Elements. Oak Ridge, ORNL, July 1967 (ORNL-3648)
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Guide book on Spent Fuel Storage, Viena, IAEA, 1984 (Technical Report Series n° 240).
3. SALMON, A. The Transportation of Spent Nuclear Fuel, Nuclear Energy, 23(4): 237-247, Aug. 1984.
4. FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A, Final Safety Analysis Report. Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, Unit 1, Copy 158.

TABELA 1 - DADOS DE ENTRADA PARA O CASO ESTUDADO

VARIÁVEL	VALOR
REATOR	
Potência Térmica, MW	1876
Queima, MWD/Ton.	23000
Potência Específica, MW/Ton U	37,75
Fator de Carga	0,8
ELEMENTO COMBUSTÍVEL	
Comprimento Total, cm	405,4
Comprimento Ativo, cm	365,8
Peso, Kg/cm	1,5
Área Superficial, cm ²	2.6x10 ⁵
Kg mat. Ref/elemento (U)	411
Nº vareta/elemento	235
Diâmetro externo, Vareta, cm	0,95
Espaçamento entre vareta, cm	1,23
Máxima Temp. Superficial, °C	538
CASCO	
Espessura do encamisamento cm (aço)	2,54
Densidade do mat. encamisamento, g/cm ³	7,83
Placas Divisórias (cobre)	
Densidade, g/cm ³	8,91
Cond. Térmica, W/cm ² °C	3,63
Espaçamento*, cm	20,32
Densidade da Blindagem, g/cm ³	11,37
DOSE	
Máxima Permissível, mR/hr	10
Distância da Superfície, cm	100
FATOR DE PICO	
Máxima Exp./Exp. Média	1,4

* Cálculos de Criticalidade não são incluídos, deve ser assumido que esta pode ser prevenida utilizando-se veno permanente no metal das placas divisórias.

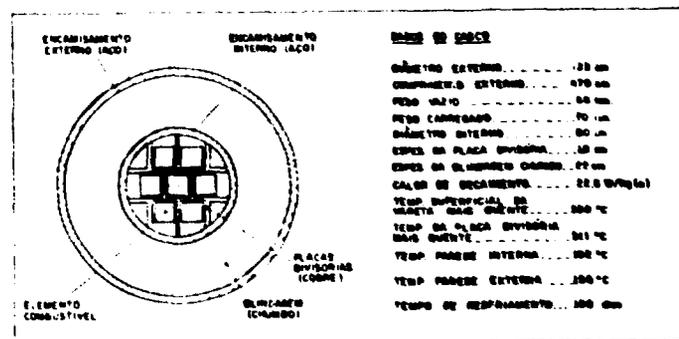


FIGURA 1 - CORTE TRANSVERSAL DO CASCO E DO ELEMENTO COMBUSTÍVEL (CONTINUAÇÃO DA ALTA DA FIGURA 0)

