

SECÇÃO 4 — ALGUMAS INCIDÊNCIAS NA ACTIVIDADE ECONÓMICA NACIONAL DA PROGRAMAÇÃO DE NOVOS CENTROS PRODUTORES

ALGUMAS NOTAS RELATIVAS À ENGENHARIA CIVIL DUMA CENTRAL NUCLEAR DE 250 MW(e) COM UM REACTOR «BWR»

INTRODUÇÃO

A comunicação que a seguir se apresenta consiste num trabalho que inicialmente se destinava, juntamente com outros do mesmo género, a fornecer elementos para a elaboração do relato da Secção 4 deste Colóquio. Por razões de organização foi posteriormente decidido dar-lhe esta forma.

Com ele se visou:

- a) Descrever sucintamente os edifícios e demais estruturas que compõem uma central nuclear típica e informar sobre os principais problemas construtivos que as caracterizam.
- b) Orçamentar as referidas obras.

A parte descritiva e as medições são de autoria dos Eng. ALFEU FERNANDES FORTE e RAUL DE CASTRO MACEDO, devendo-se o orçamento aos Eng. JOSÉ GUEDES PINTO MACHADO, JOSÉ MARIA SEGURO e ÁLVARO PINTO CORREIA.

DESCRIÇÃO DA CENTRAL

EDIFÍCIO DO REACTOR

Trata-se de uma estrutura em betão armado destinada a conter todos os componentes do circuito primário, assim como os sistemas auxiliares do reactor.

A estrutura desenvolve-se em torno de um poço central segundo dois planos ortogonais que se cruzam no eixo do poço. Na parte

superior deste encontra-se a cuba do reactor, destinando-se a parte inferior à manobra e manipulação das barras de comando e de instrumentação de medida.

Segundo um dos planos encontram-se os compartimentos dos geradores de vapor secundário e segundo o outro as piscinas de desactivação e as salas dos auxiliares.

A arquitectura do edificio é fortemente condicionada pela necessidade, por um lado, de reduzir até valores aceitáveis os níveis de radiação nos diversos locais de trabalho, e por outro, de conseguir uma estrutura o mais pequena possível.

A forte espessura das paredes e lages justifica-se por razões de blindagem contra as radiações.

O edificio do reactor está contido num invólucro esférico com 49 m de diâmetro. Este invólucro (contentor de retenção) é realizado por soldadura de chapas de aço com uma espessura da ordem da polegada e destina-se a garantir a retenção dos produtos de cisão e gases radioactivos libertados na hipótese, muito pouco provável, de se verificar um acidente sério. Por esse motivo são exigidas na sua realização as condições necessárias para que não seja excedida uma taxa de fugas superior a 0,1 % do volume contido em 24 horas, para a pressão de projecto (cerca de 2,5 kg/cm²).

Em serviço, os acessos ao interior do invólucro fazem-se através de eclusas, dispondo de duas portas em série, providas de encravamento que impedem a abertura de uma delas quando a outra se encontrar aberta.

O peso do contentor é transmitido ao terreno em parte por meio de colunas metálicas tubulares ligadas à esfera ao nível do seu equador, e em parte através da fundação do edificio.

O edifício do reactor é de todas as estruturas da central aquela cuja construção apresenta características mais invulgares e delicadas o que se deve principalmente a:

a) Construção dentro do contentor

As garantias de estanquidade exigidas do contentor de retenção obrigam a radiografar todas as soldaduras e a proceder a um ensaio de fugas depois da sua montagem terminada. Como estas operações implicam a necessidade de acesso a toda a superfície do contentor, este é construído de forma a deixar uma folga entre a sua parte inferior e o terreno, ficando provisoriamente apoiado apenas nas colunas tubulares.

Apenas depois dos ensaios do contentor realizados se procede à betonagem das fundações e à construção da estrutura de betão contida no seu interior.

b) Dificuldades de acesso

Durante a construção do edifício do reactor o acesso ao interior do contentor de retenção faz-se apenas através de duas passagens, com 6 m de largura por 7,5 m de altura, que são abertas por corte da chapa após a realização dos ensaios e fechadas, definitivamente por soldadura após a construção terminada.

c) Perturbações devidas à montagem do equipamento

A erecção da estrutura de betão decorre concomitantemente com a instalação de todo o equipamento metalo-mecânico. Tal facto associado à exiguidade de espaço e às características do equipamento a instalar, de que se pode fazer uma ideia através da tabela que se segue, dá origem a grandes perturbações e mesmo suspensões da construção civil.

Pesos das principais peças de equipamento:

Ponte rolante	30 t
Condensador de emergência	35 t
Cuba do reactor	240 t
Tampa da cuba	45 t
Gerador de vapor	50 t
Motor da bomba de circulação da água do	
circuito primário	6 t
Tanque de drenagem	10 t

d) Exigências construtivas particulares

A densidade do betão a empregar tem que ser constantemente mantida num valor relativamente alto (da ordem dos 2,35) o que pode dificultar muito a sua colocação especialmente se se utilizarem bombas, como é normalmente o caso.

Exigem-se tolerâncias da ordem dos poucos milímetros em relação às cotas do projecto, o que obriga a utilizar cofragens de grande rigidez. A superfície das cofragens em contacto com o betão tem que ser particularmente lisa a fim de permitir um acabamento cuidado, destinado a facilitar a descontaminação das superfícies de betão, em caso de necessidade.

e) Curto prazo de construção

O programa de construção da central exige que os trabalhos de engenharia civil do edifício do reactor sejam realizados num período de tempo da ordem dos doze a catorze meses o que levanta problemas, tendo em conta os condicionalismos atrás apontados.

A sequência de construção do conjunto edifício do reactor-contentor de retenção é a seguinte:

- 1.º — Escavação e construção dos muros de suporte
- 2.º — Montagem e ensaio do contentor de retenção
- 3.º — Abertura das passagens provisórias no contentor
- 4.º — Betonagem das fundações:

Betona-se alternadamente uma camada no espaço entre o contentor e o terreno e outra no interior daquele, de forma a submeter a chapa a um mínimo de esforços.

O betão inferior à esfera é colocado pelo processo «prepacked». Antes de proceder à betonagem das fundações são colocados macacos hidráulicos por baixo da esfera, destinados a permitir a distribuição do peso desta pelas colunas e pela fundação, de acordo com as condições de projecto.

- 5.º — Construção da restante estrutura e montagem do equipamento
- 6.º — Fecho das aberturas provisórias do contentor.

EDIFÍCIO DAS MÁQUINAS

Este edifício contém fundamentalmente o grupo turbo-alternador e os seus auxiliares. No exemplo presente o edifício encontra-se estruturalmente ligado ao edifício administrativo e de comando. Num dos seus extremos encontram-se, além disso, instaladas as oficinas de metalo-mecânica, as instalações de descontaminação e as de aquecimento e condicionamento de ar.

O edifício das máquinas propriamente dito difere de um edifício semelhante duma central térmica convencional apenas no que respeita à presença, abaixo do pavimento de exploração, das paredes e lajes de blindagem, cuja necessidade é imposta pelas características radioactivas do vapor. Acima do pavimento de exploração, as paredes exteriores são ligeiras podendo por exemplo ser realizadas em chapa de alumínio.

A construção deste edifício não apresenta condicionamentos construtivos muito diferentes dos que se encontram nos edifícios das turbinas das centrais térmicas convencionais.

EDIFÍCIO ADMINISTRATIVO E DE COMANDO

No exemplo tomado, este edifício tem três pisos. No piso inferior encontram-se laboratórios, pequenas oficinas e vestiários e o posto médico; é neste piso que se encontra também a zona de controle do acesso às áreas «quentes»*. No piso superior encontram-se a sala de comando, gabinetes e laboratórios. O piso intermédio tem menor área e nele se encontra instalado o equipamento eléctrico auxiliar da sala de comando.

O edifício é praticamente convencional apresentando uma estrutura porticada, sendo contudo as paredes exteriores e a cobertura em betão, por razões de blindagem.

EDIFÍCIO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES RADIOACTIVOS

Trata-se de um edifício de dois andares ocupando uma área da ordem dos 300 m². O andar inferior encontra-se completamente abaixo do nível do solo. Existem nele diversos compartimentos blindados com o fim de melhorar as condições de permanência junto do equipamento.

CAVES PARA ARMAZENAMENTO DE EFLUENTES RADIOACTIVOS

O armazenamento permanente de efluentes líquidos altamente radioactivos faz-se em quatro tanques que se encontram encerrados

*Áreas onde há um nível de radiação superior ao normal e/ou um risco de contaminação.

numa cave com aproximadamente 1200 m³. Esta cave é dividida em quatro compartimentos e coberta por uma laje de betão de 80 cm de espessura.

Uma outra cave semelhante à anterior mas apenas com aproximadamente 35 m³ e não compartimentada é destinada ao pequeno volume de efluentes radioactivos sólidos que requerem armazenamento.

EDIFÍCIO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS

O equipamento para tratamento de água encontra-se instalado num pequeno edifício convencional, de um só piso e praticamente sem paredes de separação. O equipamento pesado assenta directamente sobre a fundação.

CHAMINÉ DE VENTILAÇÃO

Destina-se a permitir a libertação em boas condições de segurança dos efluentes radioactivos gasosos da central. Será em betão armado e terá uma altura total de 110 m (desde a fundação até ao topo).

CIRCUITO DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO

Trata-se de um circuito com uma tomada de água no mar, situada a 600 m da linha da costa e em que se encontra incluído além desta: uma conduta de adução, uma câmara de grelhas e comportas, um edifício das bombas e uma conduta de restituição terminada por um bocal situado a 200 m da linha da costa.

As suas principais características são:

Adução:

600 m de conduta submarina	(diâm. int. = 3,20 m)
250 m de galeria na praia	(diâm. int. = 3,20 m)
40 m de poço	(diâm. int. = 3,20 m)

Restituição:

200 m de conduta submarina	(diâm. int. = 3,20 m)
500 m de galeria na praia	(diâm. int. = 3,20 m)
40 m de poço	(diâm. int. = 3,20 m)

Diversos:

Bocais de adução e de restituição
Câmaras das grelhas e comportas
Edifício das bombas

Diversos

Além dos componentes citados há ainda a considerar uma subestação e um bairro residencial definitivo.

MEDIÇÕES E CUSTOS

As quantidades de materiais e de trabalho e o custo estimado das diversas obras da central à excepção do contentor de retenção são apresentados em seguida. Excepto no que se refere ao bairro definitivo as medições dizem respeito apenas ao tosco das obras, não devendo portanto o custo das mesmas ser interpretado como o custo da engenharia civil correspondente.

O custo à primeira vista elevado a que se chegou para o edifício do reactor justifica-se pelos condicionamentos construtivos que foram expostos na primeira parte deste trabalho.

MEDIÇÕES

EDIFÍCIO DO REACTOR

<i>Escavações (m³) (a céu aberto)</i>	
Em rocha — (prof. máx. 13 m)	2 700
Em terra — (prof. máx. 7 m)	17 300
<i>Betão (m³)</i>	
Em fundações	3 900
Em muros de suporte — (alt. 7 m)	1 700
Em paredes	5 600
Em lajes	1 400
<i>Aço para betão armado (t)</i>	740
<i>Aço em perfilados (t)</i>	40

EDIFÍCIO DAS MÁQUINAS

<i>Escavações (m³) (a céu aberto)</i>	
Em rocha	5 700
Em terra — (prof. máx. 7 m)	34 000
<i>Betão (m³)</i>	
Em fundações	1 200
Em paredes e pilares	8 400
Em lajes e vigas	4 700
<i>Aço para betão armado (t)</i>	1 200
<i>Aço em perfilados (t)</i>	100
<i>Paredes exteriores (m²)</i>	4 350

EDIFÍCIO DE COMANDO E ADMINISTRATIVO

<i>Área coberta (m²)</i>	1100
<i>Betão em blindagens (m³)</i>	1000
<i>Aço para betão armado (t)</i>	80

EDIFÍCIO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES RADIOACTIVOS

<i>Escavação em terra (m³)</i>	6000
<i>Betão (m³)</i>	
Em fundações	100
Em paredes	900
Em lajes	300
<i>Aço para betão armado (t)</i>	50

CAVES PARA ARMAZENAMENTO DE EFLUENTES RADIOACTIVOS

<i>Escavação em terra (m³)</i>	3500
<i>Betão (m³)</i>	
Em fundações	300
Em paredes	600
Em lajes	300

Aço para betão armado (t) 100

EDIFÍCIO PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS

Área coberta (m²) 150

CHAMINÉ DE VENTILAÇÃO

Escavações (m³)
Em rocha 600
Em terra 2800

Betão (m³)
Em fundações 1000
Em elevação 1000

Aço para betão armado (t) 500

SUBESTAÇÃO

Escavação em terra (m³) 1600

Betão (m³)
Em fundações 2000
Em estruturas 1500

Aço para betão armado (t) 150

BAIRRO DEFINITIVO

Área coberta (m²)
Habitações do pessoal 8500
Centro comercial 650
Centro social 650
Escola, Posto de Socorros, Posto de Gasolina e Garagens 1000

CIRCUITO DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO

Condutas submarinas:

Dragagens (m³)
Em rocha 25 000
Em areia 50 000

Estrutura do pórtico⁽¹⁾

Betão (m³)
Pilares (Estacas) 500
Vigas 1500

Aço para betão armado (t) 300

Virolas pré-fabricadas

Betão (m³) 3700
Aço para betão armado (t) 250

Galerias na praia:

Escavação em rocha (m³) 10 000

Betão (m³)

Em revestimento 3500
Em sobresspessura 2000

Poços:

Escavação em rocha (m³) 1000

Betão (m³)

Em revestimento 400
Em sobresspessura 200

Câmara das grelhas e comportas:

Escavação em terra (m³) 4000

Betão (m³)

Em fundações 1500
Em estruturas 500

Aço para betão armado (t) 100

Edifício das bombas:

Escavação em terra (m³) 1500

Betão (m³)

Em fundações 500
Em estruturas 100

Aço para betão armado (t) 20

ESTIMATIVA ORÇAMENTAL

Preparação do sítio	2 500 000\$00
Edifício do reactor	23 000 000\$00
Edifício das máquinas	20 500 000\$00
Edifício de comando e administrativo	3 000 000\$00
Edifício de tratamento de efluentes radioactivos	1 700 000\$00
Caves para armazenamento de efluentes radioactivos	1 600 000\$00
Edifício de tratamento de águas	200 000\$00
Chaminé de ventilação	4 500 000\$00
Subestação	2 500 000\$00
Circuito de água de refrigeração	50 000 000\$00
Bairro definitivo	17 200 000\$00

Total 126 700 000\$00

(¹) Esta estrutura destina-se a suportar os caminhos de rolamento de um pórtico de 60 t, para montagem das virolas. As dimensões destas são 1 = 5,00 m; e = 0,40 m; $\phi_1 = 3,20$ m.

ALFEU FERNANDES FORTE
Engenheiro Civil (U. P.)

RAUL DE CASTRO MACEDO
Engenheiro Civil (U. P.)

JOSÉ GUEDES PINTO MACHADO
Engenheiro Civil (I. S. T.)

JOSÉ MARIA SEGURO
Engenheiro Civil (I. S. T.)

ÁLVARO PINTO CORREIA
Engenheiro Civil (I. S. T.)