


NUCLEBRÁS


CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR

NOTA INFORMATIVA	número: DETR.PD-018/85	página: 1/23
assunto: UMA ANÁLISE DA ATUAÇÃO DO CDTN NA ÁREA DA TECNOLOGIA DE REATORES		data: 07.05.85
autor: Ricardo B.Pinheiro-DETR.PD		assinatura: 

Sumário:

	<u>p. /25</u>
APRESENTAÇÃO	2
1. INTRODUÇÃO	3
2. REALIZAÇÕES	11
3. DEFICIÊNCIAS	17
4. CONCLUSÃO	18
AGRADECIMENTO	18
REFERÊNCIAS	19

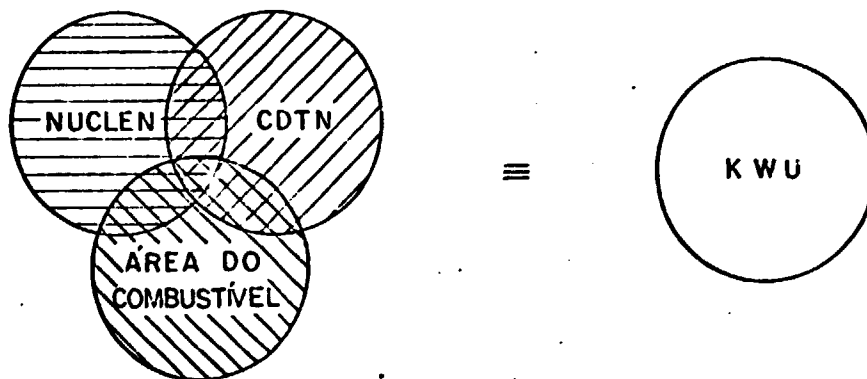
NUCLEBRÁS / CDTN - DETR - PD - - 018 / 85

distribuição: SUPED,ASPC.PD,DETR.PD(2), DEAD.PD,DEAT.PD,DERL.PD, DETM.PD,DETQ.PD,DETS.PD, DIAAC.PD,DIFNU.PD,DISCO.PD, DITES.PD, LABFRE.PD, n. de exemplares: 10	classificação: Cont.: LABTCO.PD,LABTEH.PD, SEDOTE.PD	chefe de divisão: assinatura: data:	chefe de depto.: Ricardo B. Pinheiro assinatura:  data: 10.05.85
---	---	---	---

APRESENTAÇÃO

Esta Nota foi elaborada pela chefia do Departamento de Tecnologia de Reatores - DETR.PD, com o intuito de fornecer subsídios para o documento sobre o papel do CDTN no desenvolvimento e absorção da Tecnologia Nuclear, e reflete o ponto de vista desta chefia.

Antes de se proceder à análise da atuação do CDTN na área de Tecnologia de Reatores, julgamos oportuno antecipar nossa visão quanto à colocação dessa área no âmbito de todo o Grupo NUCLEBRÁS, em confronto com a que ela tem no país detentor e fornecedor dessa Tecnologia: no Grupo NUCLEBRÁS, as áreas de atuação da NUCLEN, do CDTN e da Área do Combustível devem corresponder às áreas de atuação da empresa alemã Kraftwerk Union AG (KWU). Esquemáticamente, essa visão pode ser assim representada:



É importante notar que a interseção dos três círculos, que representam o Grupo NUCLEBRÁS*, denota a necessidade de se estabelecerem interfaces nas áreas de atuação. Esta situação, no entanto, não se configura nem institucionalmente nem na prática, de uma maneira sistemática. No nosso entender, ela é vital para a absorção da Tecnologia do PWR e para um desenvolvimento autônomo. É evidente que caberia uma discussão para dimensionar os recobrimentos das áreas de atuação.

* A NUCLEP poderia ser um quarto círculo.

1. INTRODUÇÃO

As atividades do CDTN na área de Tecnologia de Reatores tiveram origem no então IPR, em torno da exploração do reator de pesquisas IPR-R1 (Triga), e nas atividades teóricas e experimentais, principalmente da Física de Reatores e da Termohidráulica, voltadas no início para um conceito próprio de reator a D_2O/Th (Projeto Instinto do "Grupo do Tório") e desenvolvidas, no período 1965/70, em estreita colaboração com o Comissariado de Energia Atômica da França. Como resultado de tais atividades, adquiriu-se competência nas áreas acima citadas, entre outras, e desenvolveu-se o projeto de duas instalações experimentais: a montagem subcrítica a água pesada CAPITU e o Circuito Térmico Nº 1 (CT-1).

A escolha de um reator do tipo a água leve pressurizada (PWR) para a Unidade 1 da Central Nuclear de Angra e, posteriormente, a definição do Brasil por esta linha de reatores implicaram um redirecionamento das atividades do IPR na área da Tecnologia de Reatores do IPR, objetivando adaptar as competências existentes a este conceito de reator.

Os principais problemas encontrados, desde então, não se referem propriamente à capacidade e a experiência das equipes existentes, mas principalmente a:

- 1) Dificuldade de se planejarem, sem diretrizes específicas, as atividades do CDTN na área de Reatores, procurando prever as necessidades futuras, e em consonância com a subsidiária NUCLEN, encarregada do projeto e engenharia de centrais nucleares, e com a área da Empresa encarregada do projeto, engenharia e gerenciamento do combustível, sempre com a preocupação de evitar duplicação de esforços. A NUCLEN e a Área do Combustível mostraram inicialmente resistência à interação com as equipes do CDTN, talvez pelo enfoque de realização de engenharia de implantação industrial dessas duas áreas e por julgarem acadêmicos os trabalhos de P & D que o CDTN vinha desenvolvendo (o que se comprova hoje ser julgamento errôneo). A falta de um sistema de comunicação efetiva entre as diversas áreas da Empresa sempre

foi, e ainda é, sério obstáculo a uma eficiente interação.

- 2) Falta de recursos para novos investimentos: até hoje as únicas instalações de algum porte operativas, na Área de Reatores, são as mesmas construídas pelo então IPR e que entraram em operação há mais de 10 anos (CAPITU e CT-1).
- 3) Perda contínua de pessoal para outros setores da Empresa e do próprio CDTN e, principalmente, para fora da Empresa, por razões salariais, entre outras. O DETR.PD, possuía, em dezembro de 1979, 53 técnicos de nível superior e hoje conta com apenas 37. Não está incluída nesta redução a transferência da equipe de projeto e engenharia do combustível do DETR.PD para a Área de Materiais do CDTN.
- 4) Ausência total de programas efetivos de treinamento e aperfeiçoamento de pessoal, apesar da existência de uns poucos cursos.

Destes quatro problemas, os dois primeiros e o último vem sendo contornados, mas não de todo solucionados, por esforço próprio das equipes da área com apoio da Direção do Centro, enquanto o terceiro carece de solução a nível da Empresa. Convém ressaltar que, em razão dos esforços feitos para atenuar os problemas de planejamento e de recursos para investimentos, aumentaram substancialmente o volume do trabalho e as responsabilidades do DETR.PD, o que conflita drasticamente com a perda contínua de recursos humanos.

Para contornar o primeiro problema - dificuldade de planejamento das atividades em consonância com outras áreas da Empresa -, e lembrando não ter havido diretrizes específicas para um Programa de Tecnologia de Reatores*, fez-se um esforço próprio no sentido de

* Uma exceção é o Programa de P & D sobre a Utilização de Tório em PWR [1,2], que se originou de um "Memorandum of Understanding" [3] entre a NUCLEBRÁS e o KFA. Mesmo assim, o "Memorandum" previa principalmente trabalhos relacionados com o Reator a Alta Temperatura (HTR) e com o Reator Regenerador Rápido Resfriado a Gás (GCFBR), e que foi, por iniciativa própria do CDTN, convertido num programa orientado para a Tecnologia do PWR.

prever apropriadamente as necessidades futuras daquelas áreas, com assistência técnica de peritos proporcionada seja através do Acordo Bilateral entre o Brasil e a R.F.Alemanha, seja através, e com financiamento, da Agencia Internacional de Energia Atômica (AIEA).

Assim é que uma série de missões de peritos alemães, na área de Reatores, foram realizadas no CDTN, cabendo destacar as seguintes:

- Missão Helf^{*} (KWU) - Realizada em setembro/outubro de 1977, com os objetivos de
 - . avaliar o "know-how" existente no CDTN nas áreas de Física do Núcleo e de Tecnologia do Sistema do Reator;
 - . discutir a expansão destas atividades e de que forma um grupo de projeto do Sistema Primário poderia ser incorporado na organização existente;
 - . discutir o escopo do trabalho e os métodos de cálculo e de projeto necessários, e qual a sequência de atividades (recursos humanos, sequência do trabalho) recomendada para criação do grupo.

O resultado desta missão [4], foi uma proposta para criação de um Grupo de Desenvolvimento e Projeto de Sistemas no CDiN, com uma interface com a Engenharia da Central (NUCLEN). A proposta, no entanto, não teve aceitação.

- Missão Schweickert^{**} e Knödler^{***} (KWU) - Realizada em março de 1978, com o objetivo de discutir uma proposta da KWU [5] para implementação de laboratórios e técnicas especiais na NUCLEBRÁS: uma Divisão para Projetos e Serviços do Combustível Nuclear e um

* H.Helf - Na época, Gerente da Subdivisão R 111 - Projeto do Sistema Primário; atualmente Gerente da Divisão R 10 - Projeto do Sistema Primário do PWR, na companhia do Sr. F.-J.Winkler.

** Dr.Schweickert - Na época, Gerente Geral da Divisão R 5 - Laboratórios de Tecnologia de Reatores; aposentou-se.

*** D.Knödler - Na época, Gerente Geral da Divisão RB - Tecnologia do Elemento Combustível e do Ciclo do Combustível; atualmente Gerente Principal da Área RT - Tecnologia de Reatores.

perfil de Laboratórios de Suporte à Construção, Comissionamento e Operação de Centrais Nucleares. A idéia original era localizar a Divisão do Combustível Nuclear junto à FEC, enquanto os Laboratórios de Suporte seriam localizados no CDTN. A proposta da KWU foi e vem sendo seguida pelo CDTN, tanto na área da Tecnologia do Combustível, pela ampliação das atividades no CDTN em função principalmente do Programa de Utilização de Tório em PHR, quanto na área da Tecnologia de Centrais Nucleares, como se verá. Comentam-se aqui apenas as atividades de laboratórios e técnicas especiais relacionadas com testes funcionais de componentes de centrais nucleares, e com instrumentação nuclear, testes dinâmicos no comissionamento de centrais nucleares e Física de Reatores experimental. Seguindo a orientação desta missão, foram iniciados:

- . o projeto e execução de diversas instalações para testes de componentes, entre as quais, e principalmente, o Circuito para Testes de Componentes (CTC) e a Instalação para Testes em Condições de Acidentes (ITCA), pelo próprio DETR.PD (ao invés da proposta original de projeto e montagem praticamente "turn-key" pela KWU de uma instalação para testes de válvulas no CDTN);
- . treinamento de pessoal na Alemanha e no Brasil (Igarapê, Angra-1), nas áreas relacionadas com testes de comissionamento e acompanhamento da operação de centrais nucleares.

- Missão do chefe do DETR.PD - Realizada em Erlangen em julho de 1981, com o propósito de se discutir com o Dr.H.Märkl* o estabelecimento de um programa cooperativo de P & D na área da Tecnologia de Reatores, envolvendo o CDTN, a NUCLEN e a KWU. Resultou dessa missão uma proposta de Programa nas áreas de:

- . Desenvolvimento de Métodos e Códigos de Análise Termohidráulica do Núcleo,
- . Desenvolvimento de Métodos e Códigos de Fluidodinâmica e de Análise de Segurança,
- . Pesquisa Experimental em Segurança de Reatores,
- . Testes de Comissionamento de Centrais Nucleares;

* Dr.H.Märkl - Gerente Geral da Divisão R 1 - Projeto do Sistema do Reator

A proposta foi acordada pelo CDTN e pela KWU, e o Programa teve início em outubro do mesmo ano. Este Programa abriu um canal de comunicação direta entre o DETR.PD e a KWU e facilitou enormemente a realização de novas missões, de planejamento e técnicas, e a troca de informações e documentação técnicas.

- Missão Winkler* e Hein** (KWU, via AIEA) - Realizada em abril/maio de 1983, com o objetivo principal de assessorar as equipes do DETR.PD na elaboração de um programa plurianual de pesquisa analítica e experimental na área de Segurança de Reatores. O resultado desta missão [6] foi o estabelecimento de duas propostas:

- . proposta para um Programa de Pesquisa na área de Desenvolvimento de Métodos e Códigos para Análise de Segurança, envolvendo o aperfeiçoamento e verificação do código SACI-2, para análise do comportamento dinâmico de uma central PWR, incluindo análise de acidentes não-LOCA (i.e., sem perda de arrefecedor), código este desenvolvido integralmente no CDTN e que se constitui, pelas suas qualidades e capacidade já verificadas, num marco importante na procura de métodos e códigos autônomos, e a implementação de códigos avançados (RELAP5 e TRAC-PF1) para análise do acidente de perda de arrefecedor (LOCA) e participação na verificação internacional destes códigos;
- . proposta para um Programa de Pesquisa Experimental na área de Segurança de Reatores, visando o projeto e construção de um Dispositivo para Testes de LOCA (DTL-ES) para investigar fenômenos ainda não totalmente explorados, relacionados com o escoamento bifásico na região entre a parte superior do núcleo e o "plenum" superior do vaso do reator em caso de ocorrência de um LOCA em PWR, e complementar trabalhos experimentais de grande porte realizados internacionalmente.

* F.-J.Winkler - Gerente da Divisão R 10 - Projeto do Sistema Primário do PWR, em companhia do Sr.Helf; Gerente da Divisão R 15 - Análise de Segurança; e também Assessor Científico do Gerente Principal da Área RP - Projeto do Reator e dos Sistemas (Dr.Braun).

** Prof.Dr.D.Hein - Gerente da Subdivisão R 51 - Laboratórios de Termodinâmica e Testes de Componentes (Erlangen), atualmente deslocado para outra área da atividade na KWU.

- Esta missão foi seguida, em novembro de 1984, pela missão Hinkler e Watzinger* (KWU, via AIEA), que permitiu rever, ampliar e consolidar o planejamento realizado e ampliar seu horizonte até 1990 [7]. Adicionalmente, foi elaborada uma proposta conjunta para assistência técnica da KWU e apoio financeiro alemão para aquisição de componentes e instrumentação para o novo circuito proposto (DTL-ES). Cabe observar que a NUCLEN agora participa de atividades da área analítica do Programa e dá suporte ao projeto da instrumentação do DTL-ES, que não pode ser feito no DETR.PD por falta de recursos humanos (perda de 2 engenheiros da área de instrumentação).
- Missões Grün**, Schuster*** e Brunswick**** (KWU, via AIEA) - Realizadas no decorrer de 1984, com a finalidade de avaliar as possibilidades de participação efetiva do CDTN no comissionamento e acompanhamento da operação de centrais nucleares, a partir de Angra-2. Dentre as conclusões obtidas dessas três missões [8 a 10], podem-se citar:
- . os recursos existentes no CDTN, para atividades relacionadas com experimentos no reator e acompanhamento da operação, em equipamentos de laboratório foram considerados em geral satisfatórios, sendo necessários poucos acrêscimos; sugestões para treinamento de pessoal incluem continuação da participação nos testes de Angra-1, cursos no simulador e treinamento na Alema nha;
-
- * H.Watzinger - Sucessor do Prof.D.Hein, como Gerente da Subdivisão R 51 - Laboratórios de Termohidráulica e Testes de Componentes (Erlangen).
- ** Dr.A.Grün - Assessor Científico do Gerente Principal da Área RP - Projeto do Reator e dos Sistemas, e Gerente da Subdivisão R 172 - Experimentos no Reator e Acompanhamento da Operação.
- *** Dr.E.Schuster - Gerente da Subdivisão R 451 - Radioquímica e Química Analítica em conexão com a Tecnologia de Reatores.
- **** Sr.Brunswick - Assessor Técnico da Subdivisão R 522 - Testes Dinâmicos e Técnicas de Medidas.

- . já existe no CDTH uma capacidade nas áreas de radioquímica e instrumentação nuclear associada, que poderá ser utilizada em conexão com o comissionamento e operação de centrais nucleares, mas são ainda necessárias complementação de alguns equipamentos e realização de treinamento de pessoal;
- . há necessidade de ampliação da infra-estrutura de calibração existente no DETR.PD para medidas de temperatura e pressão, implementação de laboratórios para medidas de grandezas mecânicas (tensão, velocidade, aceleração, etc.) e início imediato do desenvolvimento de um programa para capacitação em medidas de vibrações.

O segundo problema mencionado - falta de recursos para novos investimentos - foi em parte contornado pela procura própria de financiamentos para os projetos em desenvolvimento no Departamento de Tecnologia de Reatores.

Assim é que se obtiveram, dentre outros, os seguintes recursos:

- . da FINEP - para aquisição de componentes mecânicos (bombas e válvulas) e instrumentação e mesa de comando para o CTC e a ITCA, no montante de 107.835 ORTN (valor atual de Cr\$4.120.000.000);
- . do FIPEC - para aquisição de novo Sistema de Suprimento de Potência para o Laboratório de Termohidráulica, necessário à execução de testes termohidráulicos em maquete de feixe combustível 3x3 no CT-1 e à execução dos experimentos de LOCA no DTL-ES, no montante de aproximadamente 27.386 ORTN (valor atual de Cr\$1.050.000.000);
- . da Alemanha - para aquisição de componentes importados, como por exemplo, simuladores da seção de testes, válvulas e instrumentação avançada (KFA/BMFT e KWU), e de tanques e outros componentes de fabricação nacional (BMFT através da AIEA) para o DTL-ES, no montante de US\$368,900 (valor atual da ordem de Cr\$1.860.000.000);
- . da AIEA - para treinamento de pessoal de operação do CTC+ITCA e para assistência técnica durante o comissionamento destas instala-

lações, no montante de US\$80,760 (valor atual da ordem de Cr\$410.000.000).

Convém ressaltar que estes recursos são insuficientes para execução plena dos projetos e que as contra-partidas de aplicação de recursos humanos e suporte financeiro da NUCLEBRÁS são molas mestras para a realização dos mesmos. Como estas contra-partidas quase nunca acompanham os cronogramas dos projetos, elas sempre implicam atrasos e encarecimento dos projetos.

O terceiro e um dos principais problemas - perda contínua de pessoal - até hoje não foi solucionado e escapa às possibilidades de ação das equipes da área: o DETR.PD perdeu de dezembro 1979 até agora, maio de 1985, 16 técnicos de seu efetivo de nível superior e não conseguiu ampliar seus quadros de pessoal de nível médio e de apoio, que permaneceram praticamente estáveis no mesmo período (8 e 7 elementos, respectivamente). Tendo em vista e já mencionada disparidade entre a evolução dos trabalhos e responsabilidades e a evolução dos recursos humanos, este problema carece de solução urgentíssima, sob pena de prejuízos sérios às atividades da área.

O quarto problema - treinamento de pessoal - vem sendo apenas atenuado através de iniciativa própria das diversas equipes da área, que lançam mão das grandes possibilidades oferecidas pelo Acordo Bilateral para a realização de missões na Alemanha, assim mesmo dependentes de recursos orçamentários e de burocracia exagerada, e dos poucos recursos disponíveis para atendimento a cursos e conferências no País (nunca no exterior).

2. REALIZAÇÕES

Não obstante os obstáculos apontados, pode-se demonstrar que a capacitação em diferentes setores do Departamento de Tecnologia de Reatores vem se expandindo e que isto só não vem sendo feito ordenadamente, devido aos problemas mencionados. A título de exemplo, podemos citar:

- o apoio efetivo prestado à CNEN, pelas equipes da área de Reatores do CDTN, para avaliação dos Capítulos referentes ao Projeto do Núcleo e à Análise de Acidentes do Relatório Preliminar de Análise de Segurança de Angra-1, quando do início do processo de licenciamento daquela central;
- a coordenação de uma avaliação e elaboração de proposição para ampliação da capacitação de P & D dos laboratórios e instalações da NUCLEBRÁS [31], por solicitação da Presidência da Empresa, e abrangendo:
 - . avaliação das finalidades de um Reator de Testes e perspectivas de sua utilização;
 - . proposta de conceito de Reator e de suas características principais;
 - . características básicas de Laboratórios Quentes, compreendendo Laboratório de Reprocessamento e Laboratório de Testes de Materiais e Combustíveis Irrradiados;
 - . aspectos relacionados com a localização e licenciamento dessas instalações;

cabe mencionar que este trabalho foi realizado com a participação efetiva de outras áreas do CDTN (Reprocessamento, Combustível e Licenciamento) e da SUREP.

E ainda os trabalhos desenvolvidos em diversos campos da Tecnologia de Reatores, incluindo:

1) No campo analítico e teórico:

- A capacitação do CDTN na área de métodos e códigos de cálculos neutrônicos e projetos nucleares vem sendo utilizada no âmbito do Programa de P & D sobre a Utilização de Tório em PWR, que

está sendo desenvolvido conjuntamente pela NUCLEBRÁS e instituições alemãs (KFA, KWU e NUKEM). Foi possível demonstrar a viabilidade técnica do uso dos combustíveis Tório/Urânio e Tório/Plutônio em PWR do tipo Angra-2, sem quaisquer modificações nos elementos combustíveis, no núcleo do reator e nos sistemas da central, e sem problemas no desempenho do núcleo [11].

- Outra aplicação desta capacitação e que demonstra a adaptabilidade da equipe à solução de novos problemas foi e está sendo feita em apoio à FEC, na verificação de sua segurança quanto à possibilidade de ocorrência de criticalidade nas diversas etapas de fabricação e manipulação dos elementos combustíveis [12], e em apoio à SUREP, na verificação semelhante para célula da Usina Piloto de Reprocessamento [34].
- A antiga competência do IPR para avaliação econômica de centrais nucleares e do ciclo do combustível, adquirida sobretudo durante o desenvolvimento dos trabalhos do Projeto Instituto, e que não pode ser mantida por vários anos, vem sendo reativada através dos estudos de implantação de centrais PWR com combustível Th/Pu e avaliação econômica do impacto destas centrais nos cenários de projeção do atendimento futuro da demanda de energia elétrica de origem nuclear no Brasil. Estes estudos vem sendo realizados no âmbito do Programa de Utilização de Tório em PWR. Mais recentemente a equipe participa de trabalho coordenado pela AIEA, para o qual contribuem também elementos da Assessoria de Estudos Estratégicos da SUPLA.
- Na área de métodos e códigos de cálculos e projetos termohidráulicos vem sendo demonstrada a capacitação através dos resultados obtidos da verificação do código PANTERA-1P [13,20], versão desenvolvida e aperfeiçoada no CDTN do código americano COBRA-IV, e que tem sido objeto de interesse da KWU devido à sua rapidez e baixo custo de processamento, quando comparado a códigos similares desenvolvidos no exterior. Convém ressaltar que esta área está coberta por apenas uma pessoa.
- A capacitação na área de desenvolvimento próprio de métodos, modelos matemáticos e códigos para cálculo do comportamento

dinâmico de centrais PWR tipos Angra-1, da Westinghouse, e Angra-2, da KWU, e para análise de transientes operacionais e acidentes não-LOCA nestes mesmos tipos de centrais, vem sendo amplamente demonstrada pelos excelentes resultados obtidos da verificação do código SACI-2 [14,20], já citado. Deve ser lembrado que este resultado é consequência de esforço contínuo de 2-3 elementos da equipe do DETR.PD, somando mais de 30 homens-ano.

2) No campo experimental:

- Foi implantado e está em desenvolvimento desde 1974, um programa de termohidráulica experimental [20] envolvendo a utilização do CT-1, a construção e operação de pequenos circuitos de apoio, por exemplo, para o desenvolvimento de instrumentação [15,35]. O programa atual de exploração do CT-1 [16] visa o estudo de fenômenos termohidráulicos em regime permanente e a determinação de fluxos críticos de calor no núcleo de reatores, simulando-se a geração de calor no elemento combustível através de aquecimento elétrico de um feixe de 3x3 barras. A experiência adquirida em torno da exploração do CT-1 e o treinamento em circuitos experimentais na Alemanha (GKSS) deram à equipe do DETR.PD os meios para acompanhar uma série de testes similares que se realizaram na Inglaterra (AEE Winfrith), como parte do desenvolvimento do projeto da KWU para os elementos combustíveis de recarga de Angra-1. (Convém aqui lembrar que o CDTN só soube da realização destes testes por acaso, em razão da já apontada deficiência de comunicação sistemática entre os diversos órgãos da Empresa, que persiste até hoje).
- As atividades de testes de componentes visam a qualificação de equipamentos produzidos pela indústria nacional para utilização nas centrais do Programa Nuclear [17]. A capacitação experimental do DETR.PD em áreas correlatas permitiu iniciar estas atividades com a realização de testes em caixas de passagem de cabos elétricos para Angra-2 (o que resultou numa economia para o País referente à importação de 7000 caixas no valor da ordem de US\$7.000.000, por central

nuclear), em corpos de prova de pinturas da contenção de Angra-2 e em atuadores de válvulas, segundo procedimentos fornecidos pela NUCLEN e com acompanhamento desta e do IBQII. Dos testes realizados, constaram, entre vários itens, a simulação experimental de condições na contenção do reator após a ocorrência de um acidente de perda de arrefecedor (LOCA), e a verificação da proteção contra ingresso de pó e líquido, em dispositivos projetados e construídos no CDTN com base em especificações de normas e nos procedimentos fornecidos.

- O CDTN tem prestado apoio a Furnas através da calibração periódica de instrumentos de medida de pressão "classe laboratório", que são por sua vez empregados na calibração da instrumentação de Angra-1. Como já comentado, a ampliação desta capacitação tornar-se-á necessária para apoio ao comissionamento e operação de Angra-2.
- A exploração da montagem subcrítica CAPITU, hoje desativada, mas em torno da qual se realizou um programa exaustivo de experimentos em meios moderadores e multiplicadores, resultou na formação de um grupo capacitado na área de Física de Reatores experimental e, conseqüentemente, nas atividades relacionadas com essa área, tais como medida e análise de radiações, manutenção de equipamentos de eletrônica nuclear e adaptação de códigos para processamento de dados nucleares. Como aplicação dessa capacitação adquirida, foi estabelecido um programa de desenvolvimento de métodos não destrutivos para controle de materiais sob salvaguarda. Foram desenvolvidas técnicas de espectrometria para determinação de enriquecimento de urânio em varetas, pastilhas e pó, tendo sido aplicadas no âmbito do CDTN.

3) No campo da engenharia de projetos:

- A criação de um grupo de engenharia de projetos deu-se em função das necessidades previstas de implantação de instalações experimentais para suporte às atividades de P & D no CDTN e também para suporte à indústria nacional fornecedora de equipamentos para centrais nucleares, através de testes funcionais de seus produtos em instalações projetadas para

esta finalidade. Deve ser lembrado que as primeiras instalações CAPITU e CT-1 foram totalmente projetadas no CDTN. No entanto, talvez em consequência do redirecionamento das atividades da área ou da carência de recursos na época para grandes investimentos, as equipes que participaram destes dois projetos foram dissolvidas, seu pessoal tendo sido remanejado para outras atividades. Com a decisão do CDTN de implementar um programa de testes de componentes de centrais nucleares e de construir o Circuito de Testes de Componentes e a Instalação para Testes em Condições de Acidentes [17], formou-se uma equipe especialmente para projetar estas duas instalações. A idéia original era ater-se à execução dos projetos conceitual e básico, deixando o projeto construtivo para ser executado por uma firma nacional de engenharia. No entanto, a falta de recursos para contratação desta firma permitiu à equipe entrar no detalhamento do projeto o que foi feito com sucesso. Esse sucesso, razão da competência, do esforço e da motivação da equipe para a realização do empreendimento (que a conduziu inclusive à participação ativa na elaboração de quase todos os contratos com fornecedores), foi corroborado pela aprovação do projeto pela KWU, em missão de consultoria realizada em agosto de 1982. Como pode ser visto do relatório desta missão [18], as modificações ou aprimoramentos sugeridos decorreram da experiência da KWU na operação de instalações de testes similares. As instalações CTC e ITCA, totalmente projetadas pela equipe do DETR.PD, já deveriam estar em funcionamento, caso os recursos previstos tivessem sido efetivamente fornecidos. A equipe hoje é capaz de aceitar novos desafios e o demonstra através do projeto do Dispositivo para Testes de LOCA - Efeitos Separados (DTL-ES) [20], que vem sendo realizado em cooperação com a KWU [32,33], e agora com participação da NUCLEN; a ampliação da equipe é, entretanto, imprescindível.

4) Prestação de serviços:

- Além dos já mencionados serviços de ensaios e testes em componentes, para qualificação de fornecedores nacionais para Angra-2, e dos serviços de calibração/aferação de instrumentos

de medidas de pressão para Angra-1, devemos lembrar o sucesso da aplicação de cursos para entidades externas e para outros órgãos da Empresa. Em 1973, foi solicitada por Furnas a organização de um curso intensivo de treinamento utilizando o reator IPR-R1 e os laboratórios do CDTN, com o objetivo de complementar a formação básica do pessoal de operação das centrais. Esse Curso de Treinamento de Operadores em Reatores de Pesquisa (CTORP) tem sido aplicado desde 1974 até o presente, sob forma de prestação de serviços àquela empresa, tendo sido até o momento realizadas 16 aplicações, nas quais foram treinados ao todo 148 técnicos de nível superior e médio de Furnas, da CNEN e da própria NUCLEBRÁS. O curso tem duração de três semanas, em tempo integral, e é constituído totalmente de aulas práticas, precedidas de breves exposições teóricas, incluindo operação do reator e realização de experimentos básicos em Física de Reatores, detecção de radiações, radioquímica e radioproteção.

- Também por solicitação de Furnas, realizou-se em 1984 a primeira aplicação de um curso de treinamento em detecção de radiações, destinado principalmente a técnicos de nível médio encarregados da manutenção da instrumentação nuclear utilizada nas centrais.

3. DEFICIÊNCIAS

Deficiências e falhas existem como consequência dos problemas apontados, e talvez outras existam por detectar. Entre as primeiras podem citar as seguintes:

- Talvez a maior deficiência, que não é apenas do DETR.PD mas de todo o CDTN, é a de não se ter acompanhado, de perto e desde o início, as diversas etapas do projeto, do licenciamento e da construção de Angra-2. As razões desta deficiência talvez sejam de origem institucional, mas obstáculos existiriam de qualquer maneira pelos problemas citados anteriormente.
- Uma falha é a de não se ter ainda conseguido prever realisticamente a demanda do Programa Nuclear na área da Física de Reatores experimental, com exceção do apoio experimental durante o comissionamento e acompanhamento da operação das centrais nucleares. O estabelecimento de objetivos e metas realísticas de um Programa para esta área requer definições quanto a atividades futuras do Programa Nuclear, e quanto ao esforço efetivo a ser dado na direção de novos caminhos, como por exemplo no estudo de conceitos avançados, tal como o do PWR de alta razão de conversão. Problemas adicionais relacionados com um tal Programa referem-se a dificuldades de obtenção de material físsil nas quantidades exigidas para a realização de experimentos em sistemas multiplicadores, e os grandes investimentos necessários para a realização de tais experimentos, se for o caso. Para contornar estes problemas a associação a projetos em realização no exterior pode vir a ser a melhor opção.
- Pelas dificuldades apontadas não foi possível criar um tão desejado Grupo para Desenvolvimento de Métodos e de Códigos Neutrônicos. A equipe existente na área tem competência para dar início a esta tarefa, porém não teve o apoio, em recursos humanos, necessário à criação e manutenção de um tal grupo.
- Não foi também possível ampliar, e mesmo manter, o Grupo de Estudos e Projetos de Blindagem devido à falta de recursos humanos. Os dois elementos que constituíram tal grupo tiveram de ser remanejados para outras atividades, por razões de prioridade.

4. CONCLUSÃO

Em resumo, apesar das dificuldades e das falhas apontadas, o balanço da aquisição de competência e capacitação própria na área da Tecnologia de Reatores, tem sido positivo. Contudo, os problemas agora enfrentados, sobretudo o conflito entre o volume de trabalho e os poucos recursos humanos disponíveis, pode comprometer significativamente a manutenção da competência já alcançada na área.

AGRADECIMENTO

Colaboraram para elaboração deste documento, com lembranças e sugestões, os seguintes engenheiros e físicos do DETR.PD: Ângelo Aurélio de Resende Lobo, Fernando Antônio Nogueira Carneiro, Ivan Pa_{dr}ão de Vasconcelos Paiva, João Augusto Leal Horta, Luiz Carlos Duarte Ladeira e Myrian de Carvalho Paiano, e o engenheiro da ASPC.PD, Maurício Mendes Campos.

REFERÊNCIAS

Observação: Para maiores detalhes sobre os trabalhos desenvolvidos pelo DETR.PD, recomenda-se consulta aos Relatórios de Progresso [21] a [30].

- [1] KFA & NUCLEBRÁS. Special Agreement between KFA Jülich and NUCLEBRÁS on a Program of Research and Development on the Utilization of Thorium in Pressurized Water Reactors. Brasília, March 5 and Jülich, March 20, 1979.
- [2] KFA, NUCLEBRÁS, KWU & NUKEM. Program of Research and Development on the Thorium Utilization in PWRs - Final Report for Phase 1 (1979-1983). May 1984 (NUCLEBRÁS/CDTN-471/84).
- [3] KFA & NUCLEBRÁS. Memorandum of Understanding between KFA and NUCLEBRÁS on Cooperation in the Field of High Temperature Reactors and Gas Cooled Fast Breeder Reactors and the Thorium Cycle in High Temperature Reactors and Light Water Reactors as well as in Gas Cooled Fast Breeder Reactors. March 8, 1978.
- [4] H. HELF. Report About the Expert-Meeting KWU-DPD/IPR in Belo Horizonte. Belo Horizonte, IPR, October 1977 (Nota Técnica DETN-001/77)
- [5] D.KNÖDLER & SCHWEICKERT. A KWU Contribution for the Programming of NUCLEBRÁS Activities in CDTN and Nuclear Fuel Management and Fabrication Services. Erlangen, KWU, March 1978.
- [6] F.J.WINKLER & D.HEIN. Dynamic Behaviour of PWR and Accident Analysis and Experimental PWR Safety Research. AIEA Technical Assistance Project BRA/9/019, 25 April-5 May 1983.

- [7] F.-J.WINKLER & H.WATZINGER. Minutes of the Meetings on "Dynamic Behaviour of PWR and Accident Analysis & Experimental PWR Safety Research" and Supplementing Documents. Belo Horizonte, NUCLEBRÁS/CDTN, 12-27 Nov.1984 (Relatório de Missão DETR.PD-082/84).
- [8] A.GRÜN. Nuclear Power Plant Commissioning and Operational Tests - Part 1: Reactor Physics and Core Instrumentation. IAEA Technical Assistance Project BRA/4/034, April 04-16, 1984.
- [9] E.SCHUSTER. Nuclear Power Plant Commissioning and Operational Tests - Part 2: Radiochemistry and Materials Analysis IAEA Technical Assistance Project BRA/4/034, May 07-18, 1984.
- [10] J.BRUNSWICK. Nuclear Power Plant Commissioning and Operational Tests - Part 3: Instrumentation and Vibration Technology. IAEA Technical Assistance Project BRA/4/034, October 15-28, 1984.
- [11] G.J.SCHLOSSER, E.P.ANDRADE & F.A.N.CARNEIRO. Brazilian-German Investigations on Thorium Utilization in KWU Type PWRs - Results of Nuclear Core Design. IAEA Technical Committee on Advanced Light and Heavy Water Reactor Technology. Viena, Austria, November 26-29, 1984.
- [12] M.C.C.TEIXEIRA & F.A.N.CARNEIRO. Relatório de Análise de Criticalidade da Primeira Etapa de Transferência da Fábrica de Elementos Combustíveis da NUCLEBRÁS. Belo Horizonte, NUCLEBRÁS/CDTN, novembro 1980 (Relatório NUCLEBRÁS/CDTN 429/80 e Revisões).
- [13] M.A.VELOSO. PANTERA-1P: Programa para Análise Termo-Hidráulica do Núcleo de Reatores a Água. 3º Encontro Nacional de Física de Reatores (III ENFIR), Itaipava, RJ, 12-14 dezembro 1982.

- [14] P.A.SOARES & L.F.SIRIMARCO. Verificação do Código SACI-2 por Comparação com Resultados Experimentais de BIBLIS-A e do Código LOOP7. 4º Encontro Nacional de Física de Reatores (IV ENFIR), Itaipava, RJ, 03-05 novembro 1983.
- [15] P.C.TÓFANI & L.C.D.LADEIRA. Desenvolvimento de Instrumentação na Pesquisa de Fenômenos de Transporte em Equipamentos Térmicos. I Congresso Latino-Americano de Instrumentação e Controle de Processos, Rio de Janeiro, 8-11 novembro 1983.
- [16] L.C.D.LADEIRA & M.A.NAVARRO. Testes Termohidráulicos em Maquete de Elemento Combustível Nuclear. VII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica (COBEM 83), Uberlândia, 13-16 dezembro 1983.
- [17] I.P.V.PAIVA, J.A.L.HORTA, F.A.ESTEVES & R.B.PINHEIRO. Instalações da NUCLEBRÁS para Testes de Componentes de Centrais Nucleares. III Congresso Brasileiro de Energia (III CBE), Rio de Janeiro, 08-11 outubro 1984.
- [18] B.DERNBACH & I.P.V.PAIVA. Primeira Missão de Consultoria da KWU para a Construção e Operação do CTC+ITCA e Testes de Válvulas (Tradução do Alemão). Belo Horizonte, NUCLEBRÁS/CDTN, novembro 1982 (Relatório de Missão DETR.PD-062/82).
- [19] R.B.PINHEIRO & H.MÄRKL. Results of Discussions to Build-up a KWU-NUCLEN-NUCLEBRÁS/CDTN Cooperative R&D Program on Reactor Technology. Erlangen, KWU, July 20-24, 1981.
- [20] R.B.PINHEIRO, A.A.R.LOBO, J.A.L.HORTA, F.A.ESTEVES, W.P.S. LEPECKI, K.MOHR & E.SELVATICI. Desenvolvimento do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento em Segurança de Reatores da NUCLEBRÁS. III Congresso Brasileiro de Energia (III CBE), Rio de Janeiro, 08-11 outubro 1984.

- [21] R.B.PINHEIRO. Relatório Anual de 1977 do Departamento de Tecnologia Nuclear do IPR. Belo Horizonte, IPR, s/data.
- [22] DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA NUCLEAR. Relatório de Progresso das Atividades do Departamento de Tecnologia Nuclear do Instituto de Pesquisas Radioativas - Janeiro a Abril 1977. Belo Horizonte, IPR, maio 1977 (Relatório NUCLEBRÁS/IPR-397).
- [23] -- Relatório de Progresso das Atividades do Departamento de Tecnologia Nuclear do Instituto de Pesquisas Radioativas - Maio a Agosto 1977. Belo Horizonte, IPR, setembro 1977 (Relatório NUCLEBRÁS/IPR-405).
- [24] -- Relatório de Progresso das Atividades do Departamento de Tecnologia Nuclear do Instituto de Pesquisas Radioativas - Setembro a Dezembro 1977. Belo Horizonte, IPR, janeiro 1978 (Relatório NUCLEBRÁS/IPR-411).
- [25] DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE REATORES. Relatório de Progresso de 1979 do Departamento de Tecnologia de Reatores. Belo Horizonte, NUCLEBRÁS/CDTN, novembro 1979 (Relatório DETR.PD-023/80)
- [26] -- Relatório de Progresso de 1980 do Departamento de Tecnologia de Reatores. Belo Horizonte, NUCLEBRÁS/CDTN, janeiro 1981 (Relatório DETR.PD-035/81)
- [27] -- Relatório de Progresso de 1981 do Departamento de Tecnologia de Reatores. Belo Horizonte, NUCLEBRÁS/CDTN, dezembro 1981 (Relatório DETR.PD-074/81).
- [28] -- Relatório Anual de 1982 do Departamento de Tecnologia de Reatores. Belo Horizonte, NUCLEBRÁS/CDTN, fevereiro 1984 (Relatório de Progresso DETR.PD-082/84).

- [29] DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE REATORES. Relatório Anual de 1983 do Departamento de Tecnologia de Reatores. Belo Horizonte, NUCLEBRÁS/CDTN, fevereiro 1984 (Relatório de Progresso DETR.PD-029/84).
- [30] -- Relatório Anual de 1984 do Departamento de Tecnologia de Reatores. Belo Horizonte, NUCLEBR/CDTN (Relatório de Progresso DETR.PD a publicar).
- [31] NUCLEBRÁS/CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR. Reator de Testes e Laboratórios Quentes. Relatório Final da Fase 1. Belo Horizonte, NUCLEBRÁS/CDTN, dezembro de 1982.
- [32] B.BRAND, R.MANDL & F.A.ESTEVES. Basic Design Review Meeting for LOCA Test Facility (DTL-ES) - Technical Assistance from KWU to NUCLEBRÁS/CDTN. Belo Horizonte, NUCLEBRÁS/CDTN, julho 1984 (Relatório de Missão DETR.PD-078/84).
- [33] R.MANDL, H.SCHMIDT & F.A.ESTEVES. LOCA Test Facility DTL-ES Detail Design Meeting - Technical Assistance by KWU to NUCLEBRÁS/CDTN. Belo Horizonte, NUCLEBRÁS/CDTN, abril 1985 (Relatório de Missão DETR.PD-084/85).
- [34] M.C.C.TEIXEIRA. Cálculo de Criticalidade da Célula de Processo 02 301 da Instalação Piloto de Reprocessamento da SUREP em Operação Normal. Belo Horizonte, NUCLEBRÁS/CDTN, maio de 1985 (Nota Técnica DETR.PD-200/85).
- [35] NUCLEBRÁS. Dispositivo para Recuperação de Termopares de Isolação Mineral, pela Remoção de sua Blindagem por Corrente Elétrica. Proposta de Privilégio de Invenção em preparação.