

## **PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DO REATOR NUCLEAR DE PESQUISA TRIGA IPR-R1 DO CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR (CDTN) EM PESQUISA E TREINAMENTO**

**Amir Zacarias Mesquita, amir@cdtn.br<sup>1</sup>**  
**Fernando Soares Lameiras, fsl@cdtn.br<sup>1</sup>**  
**Vanderley Vasconcelos, vasconv@cdtn.br<sup>1</sup>**  
**Antônio Carlos Lopes da Costa, aclc@cdtn.br<sup>1</sup>**  
**Rose Mary Gomes do Prado Souza, souzarm@cdtn.br<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/Comissão Nacional de Energia Nuclear (CDTN/CNEN), CEP: 31.270-901, Campus da UFMG – Pampulha, Belo Horizonte – MG.

**Resumo:** O reator nuclear de pesquisa TRIGA IPR-R1, localizado no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) em Belo Horizonte, desde sua primeira criticalidade, ocorrida em 1960, é utilizado prioritariamente como um equipamento de suporte ao setor de química analítica, para ensaios de caracterização de materiais pela técnica de ativação neutrônica. Os reatores TRIGA (Training, Research, Isotopes, General Atomics) foram desenvolvidos com características de segurança intrínseca, principalmente, para serem utilizados em formação de pessoal e realização de pesquisas em tecnologia nuclear. O trabalho aqui apresentado propõe a ampliação da utilização do reator IPR-R1 e expansão de suas atividades nos vários campos de aplicação da engenharia nuclear. Essa proposta de trabalho está em consonância com a programação plurianual do CDTN. Se efetivada, contribuirá para os objetivos estratégicos do país relativos ao desenvolvimento científico e tecnológico e à formação de recursos humanos para o setor nuclear, indo ao encontro dos planos do governo federal de adotar a opção nuclear na geração de energia e também de projetar e construir um reator de pesquisa multipropósito, reator esse com algumas características similares ao reator TRIGA IPR-R1. Para implementação dessas iniciativas é necessário o fortalecimento da base científica, tecnológica e de formação de recursos humanos para o setor nuclear. Essa proposta atende também às recomendações da Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA, que tem incentivado seus membros a elaborarem planos estratégicos para utilização de seus reatores de pesquisa.

**Palavras-chave:** reator nuclear de pesquisa TRIGA, neutrônica, termohidráulica, treinamento.

### **1. INTRODUÇÃO**

A Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN administra cinco centros de pesquisa na área nuclear, sendo que três deles possuem reatores nucleares de pesquisa, são eles: o reator Argonauta do IEN (Rio de Janeiro) com 0,5 kW de potência térmica, os reatores IEA-R1 (3000 kW) e IPEN/MB-01 (0,1 kW) do IPEN (São Paulo) e o reator TRIGA IPR-R1 do CDTN (Belo Horizonte) com potência de 100 kW (em processo de licenciamento para 250 kW). Esses quatro reatores são utilizados em pesquisa tecnológica e em aplicações. De um modo geral, as pesquisas podem ser divididas em duas áreas principais: Transferência de Calor (termohidráulica) e Física de Reatores (neutrônica). Já as aplicações são normalmente em caracterização de materiais por análise por ativação neutrônica, que tem sido a área de atuação prioritária do reator TRIGA IPR-R1. Os reatores Argonauta, IEA-R1 e MB-01 tem sido utilizados com bastante ênfase em formação de pessoal e pesquisas tecnológicas.

Conforme informações disponíveis em IPEN/CNEN (2010), encontram-se em andamento ou concluídos 68 trabalhos de pós-graduação (teses e dissertações) relacionados aos reatores IEA-R1 e MB-01, nos últimos dois anos. O IPEN é uma autarquia estadual associada à Universidade de São Paulo (USP) e gerenciada pela CNEN.

O reator Argonauta é utilizado nos programas de pós-graduação do IME, UFF, PUC e COPPE/UFRJ no desenvolvimento de suas pesquisas (IEN/CNEN, 2010a). Na última década 10 dissertações e 11 teses foram defendidas tendo como tema este reator. Destaca-se que a sua potência térmica é de apenas 500 W. A Figura 1 (a) mostra alunos do curso de mestrado do IEN durante aula no reator Argonauta (IEN/CNEN, 2010b).

Nos 50 anos de operação do reator TRIGA IPR-R1 do CDTN foram desenvolvidas 17 dissertações e 4 teses relativas a este reator. Todas as dissertações foram defendidas no Curso de Ciências e Técnicas Nucleares da UFMG

(DEN/UFMG, 2009). As quatro teses foram defendidas na UNICAMP, a partir de 2004 (UNICAMP, 2010). Treze destes trabalhos foram na área de neutrônica e quatro em termohidráulica. Apenas um dos trabalhos foi em termohidráulica experimental. Portanto, nota-se o grande potencial de pesquisas ainda a serem realizadas no reator TRIGA IPR-R1.

Os reatores TRIGA (*Training, Research, Isotopes, General Atomics*), conforme indica sua sigla, foram desenvolvidos, principalmente, para formação de pessoal e pesquisas. Esses reatores estão, em sua maioria, instalados em universidades e centros tecnológicos, conforme se pode observar na Tabela 1, onde se tem a distribuição dos reatores TRIGA nos vários países (General Atomic, 2010). A Figura 1 (b) mostra alunos de engenharia nuclear na sala de controle do reator TRIGA da Universidade da Pensilvânia (Penn State University, 2000).

Os reatores de pesquisa do tipo TRIGA são caracterizados pela sua segurança intrínseca devido, principalmente, a dois fatores relacionados à transferência de calor. São eles:

- o grande coeficiente negativo de temperatura/reactividade, isto significa que um aumento da potência leva a um conseqüente aumento da temperatura da mistura combustível-moderador, causando o aparecimento de uma reatividade negativa que amortece gradualmente a taxa de aumento de potência estabilizando-a;
- um sistema passivo de remoção de calor do núcleo, podendo operar em potências de até 500 kW, em estado estacionário, com resfriamento apenas por circulação natural da água da piscina.

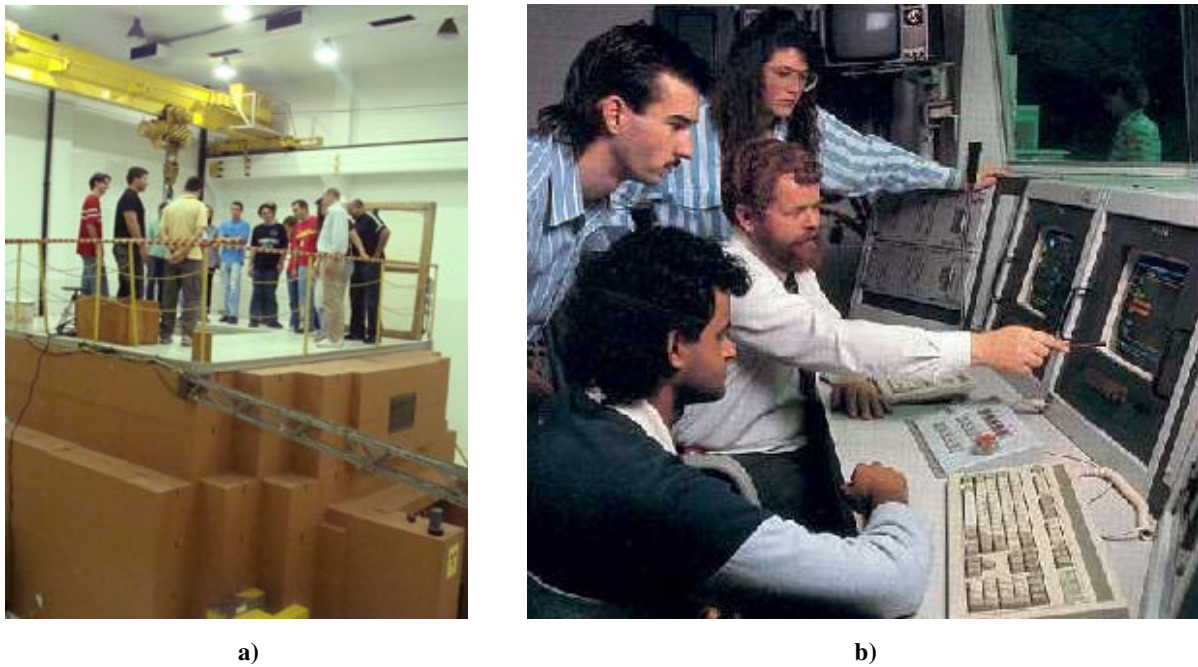
Portanto, os reatores TRIGA são bastante apropriados para pesquisas experimentais em termohidráulica, neutrônica, instrumentação, radioproteção e para a formação de pessoal.

O reator TRIGA IPR-R1 está administrativamente subordinado ao setor de química analítica do CDTN e, historicamente, tem sido utilizado quase que exclusivamente como um equipamento para realização de ensaios para análise por ativação neutrônica. A proposta de trabalho aqui apresentada é utilizar a infra-estrutura do reator TRIGA IPR-R1 e as competências técnica, teórica e experimental do CDTN relativas à engenharia nuclear, expandindo a utilização desse reator nos vários campos de aplicação dessa tecnologia. Propiciando, inclusive, oportunidades à comunidade científica externa ao CDTN de utilizar suas instalações. O CDTN possui um Curso de Pós-Graduação em Ciências das Radiações, Minerais e Materiais, entretanto, neste curso não existe linha de pesquisa relativa à tecnologia nuclear. Propõe-se, pois, a inserção de disciplinas dessa área nesse curso, com aulas práticas sendo realizadas no reator IPR-R1, nos moldes do Curso de Treinamento de Operadores em Reatores de Pesquisa - CTORP, ministrado para os operadores das centrais do programa nuclear brasileiro (CDTN/CNEN, 1997). Os alunos do curso de pós-graduação poderiam ter noções básicas e práticas referentes à tecnologia de reatores nucleares. Não necessariamente destinaria a formar especialistas, para isto existe o Curso de Ciências e Técnicas Nucleares da UFMG. A finalidade poderia ser mais restrita, isto é, permitir ao aluno de pós-graduação não especialista em energia nuclear orientar-se na terminologia referente a este campo e acompanhar a recente retomada e valorização desta área da engenharia.

Essa proposta de trabalho está em consonância com a programação plurianual do CDTN, dentro da Atividade "Desenvolvimento e Aplicações do Reator de Pesquisa TRIGA", no Projeto "Experimentos Neutrônicos e Termohidráulicos no TRIGA IPR-R1". Se efetivado, contribuirá para os objetivos estratégicos do país relativos ao desenvolvimento científico e tecnológico e à formação de recursos humanos para o setor nuclear, indo ao encontro das seguintes políticas e planos do governo (CNEN, 2008):

- Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 do Ministério de Minas e Energia, que estabelece a consolidação da opção nuclear para a geração de energia elétrica no país, por meio da conclusão da usina Angra 3 e a construção de 4 a 8 novas usinas nucleares até o ano de 2030.
- Programa Nuclear - do Plano de Ações de Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI 2007-2010) do Ministério da Ciência e Tecnologia, que estabelece as ações visando o domínio industrial de todas as fases do ciclo do combustível nuclear; a conclusão do reator LABGENE da Marinha; e o projeto, construção e comissionamento do Reator de Pesquisa Multipropósito Brasileiro (RMB). O RMB será um reator de pesquisa de piscina refrigerado à água leve com potência entre 20 MW a 50 MW, com algumas características similares ao reator TRIGA IPR-R1.

Essa proposta atende também às recomendações da Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA, que tem incentivado seus membros a elaborarem planos estratégicos para utilização de seus reatores de pesquisa (IAEA, 2001).



**Figura 1.** a) Alunos do mestrado em aula no reator Argonauta do IEN (IEN/CNEN, 2010b)  
b) Curso de engenharia nuclear no reator TRIGA PSBR (Penn State University, 2000)

## 2. O REATOR NUCLEAR DE PESQUISA TRIGA IPR-R1

O reator de pesquisa TRIGA IPR-R1 é um reator de pesquisas a água leve desmineralizada e seu combustível é uma liga metálica de urânio com o moderador hidreto de zircônio (U-ZrH), contendo de 8% a 8,5% em peso de urânio enriquecido a 20% em  $^{235}\text{U}$ . O núcleo do reator IPR-R1 forma um reticulado cilíndrico onde estão atualmente instalados 63 elementos combustíveis-moderadores, sendo 59 elementos originais, revestidos com alumínio e 4 elementos inseridos recentemente com revestimento em aço inoxidável.

O IPR-R1 foi adquirido da *General Atomics* de San Diego – Califórnia pelo governo do Estado de Minas Gerais em 1960, através do programa do governo americano “Átomos para a Paz”. Foi instalado no antigo Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR), atual CDTN, da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Sua primeira criticidade foi em 06 de novembro de 1960 com uma potência térmica máxima de 30 kW. Posteriormente, acrescentaram-se elementos combustíveis ao núcleo aumentando a potência para 100 kW, sendo essa a atual potência máxima licenciada. Devido ao pequeno gradiente de temperatura dos combustíveis, praticamente não ocorreram pesquisas em transferência de calor na instalação. Em 2002, iniciaram-se pesquisas teóricas e experimentais para se conhecer seu comportamento neutrônico para possibilitar sua operação em 250 kW (Souza et al., 2002 e Dalle, 2005). Nessa data foram realizadas modificações no núcleo e acrescentaram-se novos elementos combustíveis permitindo que a potência alcançasse níveis de 250 kW, iniciando-se estudos para se conhecer os mecanismos de transferência de calor de seu núcleo (Fortini, 2004 e Mesquita, 2005). Embora seu núcleo esteja configurado para operar a 250 kW, tem operado à potência máxima de 100 kW e aguarda-se autorização do setor de licenciamento da CNEN para trabalhar à nova potência. Aumento de potência em reatores de pesquisa significa aumento de temperatura, aumento do fluxo neutrônico e novas possibilidades didáticas e de pesquisas. A Figura 2 mostra o reator IPR-R1 em operação, podendo-se ver a radiação de Cerenkov do seu núcleo.

### 2.1. Previsão do Tempo de Vida Útil do Reator IPR-R1

Dalle (2005) realizou cálculos neutrônicos para o reator IPR-R1 utilizando o código de transporte por Monte Carlo (MCNP) e os códigos de queima e decaimento radioativo ORIGEN2.1 e MONTEBURNS. Conforme os resultados encontrados, a queima média de  $^{235}\text{U}$  foi de cerca de 4%, em 45 anos de operação. Essa queima corresponde a uma redução de 96 gramas na massa de  $^{235}\text{U}$ , em relação ao inventário inicial deste isótopo, nos 63 elementos combustíveis existentes na configuração atual do núcleo. A energia gerada totaliza cerca de 2000 MWh. Cada elemento combustível possui aproximadamente 37 g de  $^{235}\text{U}$ , o que dá um total aproximado de 2,3 kg de  $^{235}\text{U}$  no núcleo. Fazendo-se uma simulação para se tentar prever o fim da vida útil operacional do reator, assumiu-se a totalidade de 68 elementos combustíveis TRIGA inseridos no núcleo (se encontram guardados 5 elementos novos com revestimento de aço inoxidável). Supondo que esses combustíveis sejam queimados até a perda do excesso de reatividade, os cálculos mostram que o reator teria excesso de reatividade para operar a potência de 250 kW até uma queima próxima de 3500 MWh. A simulação mostra redução de 307 g na massa de  $^{235}\text{U}$  em relação ao inventário inicial deste isótopo.

Mesmo essa situação continua indicando uma queima pequena de  $^{235}\text{U}$ , correspondendo a 12,1%, na média dos 68 elementos combustíveis. Considerando os 6 elementos combustíveis com maior reatividade, inseridos no anel mais próximo do centro do núcleo, ainda teriam queima inferior à máxima recomendada pelo fabricante do combustível que é de 20% conforme informações da General Atomic (1986).

Com uma demanda de trabalho igual à média das operações em seus 50 anos, e considerando que o reator irá operar só em 250 kW, o fim da vida útil dos combustíveis aconteceria daqui a 34 anos. Supondo-se que o IPR-R1 expanda suas atividades de pesquisas com operações diárias, estima-se que sua vida útil seria por mais uns 25 anos. Portanto, o TRIGA IPR-R1 poderá ser utilizado ainda por vários anos realizando pesquisas e formação de pessoal.

## 2.2. Atualização da Instrumentação e Controle dos Parâmetros Operacionais do TRIGA IPR-R1

Está prevista a atualização da instrumentação do controle do TRIGA IPR-R1 na Tarefa: *Estudo de Instrumentação e do Controle Digital de Reatores*, integrante do Programa Plurianual CDTN/CNEN. O equipamento mais importante na realização de experimentos e aulas práticas, tanto de transferência de calor, quanto de física de nêutrons, é um elemento combustível instrumentado com sensores de temperatura (termopares tipo k), posicionados em seu eixo central. Este elemento, a não ser pelos termopares, possui as mesmas características nucleares do combustível normal. Um combustível instrumentado foi adicionado ao núcleo do reator IPR-R1 em 2004, viabilizando pesquisas de termohidráulica nesse reator (Mesquita, 2005). Ele permaneceu no núcleo por quase três anos, quando então foi retirado devido à ruptura nos cabos de extensão dos termopares. Um dos objetivos da Tarefa acima citada é a recuperação da funcionalidade dos termopares desse elemento combustível (Mesquita et al., 2009).

Além da Tarefa da programação CDTN foram aprovados, recentemente, dois projetos de pesquisas apoiados pela FAPEMIG e pelo CNPq que tem como objetivo a melhoria da instrumentação de controle dos parâmetros operacionais do reator IPR-R1 (Mesquita, 2009) (Mesquita, 2008). Um projeto para a melhoria da infra-estrutura física das dependências do reator também foi aprovado junto à FINEP/MCT (CNEN/REDETEC, 2008). Esses projetos, se efetivados, contribuirão para a implementação de atividades de pesquisa e treinamento nesse reator.

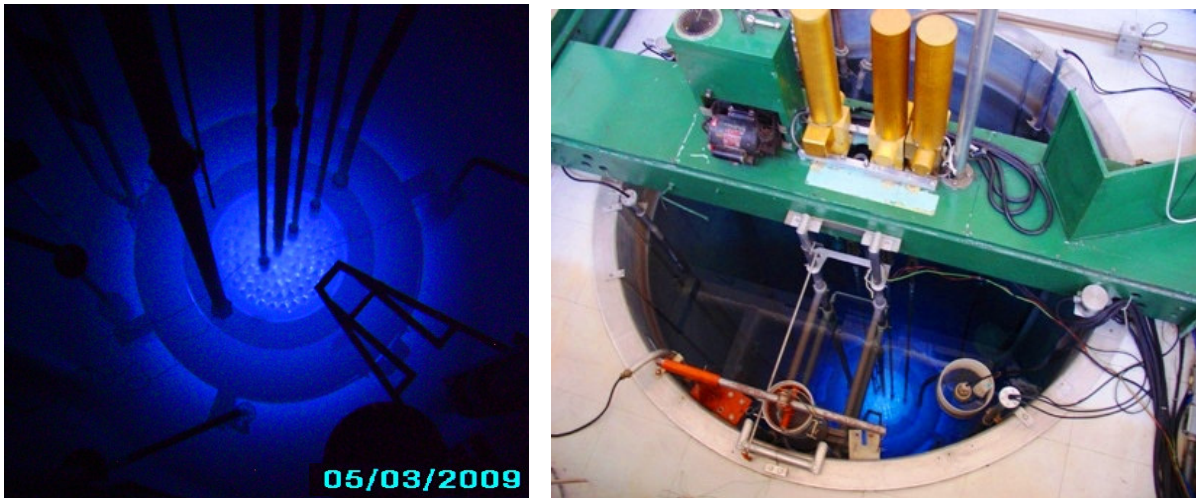


Figura 2. Reator nuclear TRIGA IPR-R1, vista do núcleo e poço com o reator crítico

## 2.3. Atividades Atuais Desenvolvidas no Reator TRIGA IPR-R1

O reator TRIGA IPR-R1, nos últimos anos, tem operado esporadicamente, principalmente, para ativação neutrônica de materiais, com uma média de operação de aproximadamente 4 horas semanais (CDTN, 2009). A técnica de ativação neutrônica permite a análise de 70% dos elementos químicos. As amostras são irradiadas com nêutrons e a análise espectrométrica da radiação gama emitida, permite determinar seus componentes. A atuação do IPR-R1 foi muito importante para o programa nuclear brasileiro na década de 70, quando se realizou a caracterização do minério de urânio de Poços de Caldas.

Outra atividade importante realizada no TRIGA IPR-R1, ao longo dos anos, foi a formação de vários operadores das centrais nucleares brasileiras, através do Curso de Treinamento de Operadores em Reatores de Pesquisa - CTORP (CDTN/CNEN, 1997).

Algumas poucas pesquisas foram realizadas em suas instalações, como exemplos citam-se: a determinação do espectro de nêutrons realizada por Santoro (1975). Mais recentemente, foram realizados experimentos neutrônicos para subsidiar as atividades de aumento da potência para 250 kW (Souza et al. 2002), estudos teóricos em física de nêutrons (Dalle, 2005) e o trabalho executado por Zangirolami (2009) de levantamento do fluxo neutrônico nos terminais de irradiação. Com relação à transferência de calor tem-se o trabalho teórico efetuada por Fortini (2004) e a investigação experimental realizada por Mesquita (2005). Na atual programação do CDTN encontra-se em andamento o projeto: "Experimentos Neutrônicos e Termohidráulicos no TRIGA IPR-R1" (Mesquita e Souza, 2009).

### 3. Atividades Usuais em Reatores de Pesquisa tipo TRIGA

Além das atividades de ativação neutrônica, os reatores de pesquisa, e particularmente os reatores do tipo TRIGA, são utilizados em um vasto campo de aplicações nos países que possuem esse equipamento. A seguir são citadas algumas atividades e aplicações realizadas pelas equipes que atuam em reatores TRIGA, e que poderiam ser implementadas no reator IPR-R1:

- Aulas práticas para alunos de graduação e pós-graduação em tecnologia nuclear e radioproteção. Treinamento de operadores de reatores de pesquisa e de potência.
- Experimentos em transferência de calor por convecção natural, validação de códigos termohidráulicos, medidas de calor de decaimento radiativo, etc.
- Experimentos em física de nêutrons, mapeamento de fluxo, levantamento de seções de choque, etc.
- Estudo de controle de reatores nucleares, desenvolvimento de técnicas de segurança nuclear, proteção radiológica e desenvolvimento de componentes para reatores.
- Desenvolvimento de novas técnicas de avaliação da potência liberada pelo núcleo, como pela radiação de Cerenkov, liberação de  $^{16}\text{N}$ , níveis de radiação gama, etc.
- Desenvolvimento e produção de radiofármacos.
- Desenvolvimento de traçadores radioativos para aplicações médicas.
- Estudo de terapia de tumores utilizando a técnica de *Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)* e tomografia por nêutrons.
- Implementação da técnica de radiografia por nêutrons (neutronografia).
- Desenvolvimento de técnicas de ensaios não destrutivos, irradiação com espectros específicos de nêutrons para testes e estudos de seus efeitos nos materiais.
- Desenvolvimento e teste de elementos combustíveis de hidreto de urânio-zircônio (combustível inerentemente seguro utilizado nos reatores TRIGA).
- Desenvolvimento de técnicas e irradiação neutrônica de silício para a indústria de componentes eletrônicos (dopagem).
- Irradiação experimental de pedras preciosas.
- Implantação da técnica de *PGNAA (Prompt Gamma Neutron Activation Analysis)*.
- Desenvolvimento de técnicas de avaliação experimental de queima de combustíveis (*burnup*).

Portanto, existe uma variedade de possibilidades de pesquisas que poderiam ser desenvolvidas utilizando o reator TRIGA IPR-R1 e não apenas sua utilização como um equipamento de apoio à química analítica. Nos seguintes documentos podem ser encontradas outras aplicações utilizando reatores TRIGA com potência igual à do IPR-R1: Villa et al, (2000), Böck, H., Villa, M (2007), University of Texas (2010), Salmenhaara e Auterinen (2008) e Hameed et al, (2007).

**Tabela 1. Distribuição dos reatores TRIGA (General Atomic, 2010)**

País	Localização	Modelo	Potência		Situação (fev./2003)	Início Operação
			Normal (kW)	Pulso (MW)		
<b>Alemanha</b>	Universidade de Frankfurt	Conversão	1000		Descomis.	1977
	Escola Médica de Hanover	Mark I	250		Desativado	1973
	Centro Alemão para Pesquisa do Câncer, Heidelberg	Mark I	250		Desativado	1966
	Universidade. Johannes Gutenberg, Mainz	Mark II	100	250	Ativo	1965
	Associação para Pesquisa da Radiação, Munique	Mark III	1000	2000	Descomis.	1972
<b>Áustria</b>	Ministério Federal da Educação, Viena	Mark II	250	250	Ativo	1962
<b>Bangladesh</b>	Instituto de Tecnologia Nuclear, Dacca	Mark II	3000	3900	Ativo	1986
<b>Brasil</b>	CDTN/CNEN, Belo Horizonte	Mark I	100		Ativo	1960
<b>Colômbia</b>	Instituto Colombiano Geologia e Mineralogia, Bogotá	Conversão	100		Ativo	1997
<b>Coréia Sul</b>	Instituto Pesquisa de Energia Avançada Coréia, Seul	Mark II	250		Desativado	1962
	Instituto de Pesquisa Energia Avançada Coréia, Seul	Mark III	2000	2000	Desativado	1972
<b>Eslovênia</b>	Instituto Nuclear Jozef Stefan, Ljubljana	Mark II	250		Ativo	1966
<b>E.U.A.</b>	Universidade do Arizona, Tucson	Mark I	250	300	Ativo	1958
	Universidade Técnica de Arkansas, Russelville	Mark I	250	2000	Suspensão	
	General Atomics, San Diego	Mark I	250	1000	Desativado	1958
	General Atomics, San Diego	Mark F	1500	6400	Desativado	1960
	General Atomics, San Diego	Mark III	2000		Descomis.	1966
	Universidade da Califórnia, Davis, Sacramento.	Mark II	2300	1200	Ativo	1990
	Northrop Corporation, Hawthorne	Mark F	1000	1600	Descomis.	1963
	Universidade da Califórnia, Berkeley	Mark III	1000	1200	Descomis.	1966
	Universidade da Califórnia. Irvine	Mark I	250	250	Ativo	1969
	Aerotest Operations, San Ramon	Conversão	250		Ativo	1965
	U.S. Geological Survey. Denver	Mark I	1000	1200	Ativo	1969
	Argonne National Lab.-West, Idaho Falls	Conversão	250		Ativo	1977
	Universidade de Illinois, Urbana	Mark II	1500	6500	Desativado	1960
	Universidade de Illinois, Urbana	LOPRA	10		Desativado	1971
	Universidade do Estado de Kansas, Manhattan	Mark II	250	250	Ativo	1962
	Harry Diamond Labs. (US Army), Forest Glen,	Mark F	250	1000	Descomis.	1961
	Armed Forces Radiological Research Inst., Bethesda,	Mark F	1000	3300	Ativo	1962
	Universidade de Maryland, College Park	Conversão	250		Ativo	1974
	The Dow Chemical Company, Midland	Mark I	300		Ativo	1967
	Universidade Estado de Michigan	Mark I	250		Descomis.	1969
	Veterans Administration Hospital, Omaha	Mark I	18		Ativo	1959
	Sandia National Laboratories, Albuquerque	ACPR	600	12000	Ativo	1967
	Universidade de Columbia, New York	Mark II	250	250	Suspensão	
	Universidade Cornell, Ithaca	Mark II	500	250	Desativado	1962
	Universidade do Estado de Oregon, Corvallis	Mark II	1000	3200	Ativo	1967
	Reed College, Portland	Mark I	250		Ativo	1968
	Universidade Estado de Pennsylvania, University Park	Mark III	1000	2000	Ativo	1965
	Centro Nuclear de Porto Rico, Mayaguez	Conversão	2000		Descomis.	1972
	Texas A&M University, College Station	Conversão	1000	2000	Ativo	1968
	Universidade do Texas, Austin	Mark I	250		Descomis.o	1963
	Universidade do Texas, Austin	Mark II	1100	1600	Ativo	1992
	Universidade de Utah, Salt Lake City	Mark I	250		Ativo	1975
	Westinghouse-Hanford-300 Area, Richland	Mark I	1000		Desativado	1977
	Universidade. do Estado de Washington, Pullman	Conversão	1000	2000	Ativo	1967
	Universidade de Wisconsin, Madison	Conversão	1000	2000	Ativo	1967
<b>Filipinas</b>	Comissão Filipina de Energia Atômica, Quezon	Conversão	3000	1000	Ativo	1988
<b>Finlândia</b>	Instituto de Pesquisa Técnica, Helsinki	Mark II	250	250	Ativo	1962
<b>Indonésia</b>	Agência Nac. de Energia Atômica, Bandung	Mark II	2000		Ativo	1997
	Agência Nac. de Energia Atômica, Jacarta	Mark II	250		Ativo	1979
<b>Inglaterra</b>	Imperial Chemical Industries, Billingham, Teeside	Mark I	250		Descomis.	1971
<b>Irã</b>	Centro de Pesquisa Nuclear, Teerã	Conversão	5000		Suspensão	
<b>Itália</b>	Universidade de Pavia, Pavia	Mark II	250	250	Ativo	1965
	Centro de Pesquisa da ENEA, Roma	Mark II	1000		Ativo	1960
<b>Japão</b>	Inst. Japonês Pesquisa Energia Atômica, Tokai-mura	ACPR	300	22000	Ativo	1975
	Instituto Musashi de Tecnologia, Tóquio	Mark II	100		Ativo	1963
	Universidade Rikkyo, Yokosuka	Mark II	100		Ativo	1961
<b>Malásia</b>	Instituto Tecnologia Nuclear Malásia, Kuala Lumpur	Mark II	1000	1200	Ativo	1982
<b>Marrocos</b>	Centro Nacional Ciências Tecnologia Nuclear, Rabat	Mark II	2000		Ativo	2005
<b>México</b>	Instituto Nacional Pesquisa Nuclear, Cid. do México	Mark III	1000	2000	Ativo	1968
<b>Romênia</b>	Instituto de Pesquisa Nuclear, Pitesti	ACPR	500	22000	Ativo	1979
	Instituto de Pesquisa Nuclear, Pitesti	MPR 16	14000		Ativo	1979
<b>Tailândia</b>	Instituto de Energia Atômica para a Paz, Bangcoc	Conversão	1000	1200	Ativo	1977
	Centro de Pesquisa Nuclear Ongkharak, Bangcoc	MPR 10	10000		Ativo	2005
<b>Taiwan</b>	Universidade Nacional Tsing Hua, Taipei	Conversão	1000		Ativo	1977
<b>Turquia</b>	Universidade Técnica de Istambul	Mark II	250	250	Ativo	1979
<b>Vietnã</b>	Instituto de Pesquisa Nuclear, Dalat	Mark II	250		Descomis.	1963
<b>Zaire</b>	Comissão de Ciência Nuclear, Kinshasa	Mark I	50		Desativado	1959
	Comissão de Ciência Nuclear, Kinshasa	Mark II	1000	1600	Ativo	1972

#### 4. CONCLUSÃO

O CDTN possui um equipamento único em nosso país projetado com a finalidade de realizar pesquisas e treinamento na área de tecnologia nuclear, que é o reator de pesquisa TRIGA IPR-R1 (*Training, Research, Isotopes, General Atomics*). O IPR-R1, 50 anos após sua primeira criticalidade, ainda não foi efetivamente utilizado como um laboratório de pesquisa e formação de pessoal, mas quase que exclusivamente como um equipamento de prestação de serviço, estando subordinado administrativamente a um setor de química analítica e não ao setor de tecnologia de reatores do CDTN.

O objetivo dessa proposta é a utilização da infra-estrutura do reator TRIGA IPR-R1 e as competências técnicas teórica e experimental de nosso centro de pesquisa relativas à engenharia nuclear e utilizar esse reator como um efetivo equipamento de pesquisa. Poderiam ser inseridas no curso de pós-graduação do CDTN disciplinas relativas à engenharia nuclear, com aulas práticas sendo realizadas nas dependências do reator IPR-R1. Os alunos desse curso, não especialista em energia nuclear, teriam noções básicas e práticas referentes à tecnologia de reatores, permitindo orientar-se na terminologia referente a esse campo e acompanhar o recente impulso dessa área da engenharia.

Esse objetivo é praticamente sinônimo da missão do CDTN, ou seja: “*Gerar e difundir conhecimentos, disponibilizar produtos e serviços em benefício da sociedade por meio de pesquisa e desenvolvimento na área nuclear e em áreas correlatas*”.

Essa proposta de trabalho está em consonância com a programação plurianual do CDTN, dentro da Atividade: “*Desenvolvimento e Aplicações do Reator de Pesquisa TRIGA*”. Se efetivado, contribuirá para os objetivos estratégicos do país relativos ao desenvolvimento científico e tecnológico e à formação de recursos humanos para o setor nuclear, indo ao encontro aos planos do governo federal de adotar a opção nuclear na geração de energia e também projetar e construir um reator de pesquisa multipropósito (CNEN, 2008). Para implementação dessas iniciativas é necessário o fortalecimento da base científica, tecnológica e de formação de recursos humanos para o setor nuclear.

O trabalho proposto atende também às recomendações da Agência Internacional de Energia Atômica – AIEA, que tem incentivado seus membros a elaborarem planos estratégicos para utilização de seus reatores de pesquisa (IAEA, 2001).

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais e ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Böck, H., Villa, M., 2007, “Contribution of a Small University Reactor to Nuclear Research in Education and Training”, Atomic Institute of the Austrian Universities. In: Utilization Related Design Features of Research Reactors: A Compendium. Technical Reports IAEA Series No. 455. Vienna.
- CDTN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, 2009, “Livro de Ocorrências do Reator TRIGA IPR-R1.
- CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2008, “Reator Multipropósito Brasileiro-Escopo Preliminar de Projeto”, Relatório Executivo Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento.
- CNEN/REDETEC, 2008, “Projeto MCT/FINEP Pro-Infra: Implantação, Modernização e Recuperação de Infra-Estrutura Física de Pesquisa”. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, REDETEC-CNEN-INFO7.
- CDTN/CNEN, 1997, Curso de Treinamento de Operadores em Reatores de Pesquisa - CTORP.
- Dalle, H.M., 2005, Simulação do Reator TRIGA- IPR – R1 Utilizando Métodos de Transporte por Monte Carlo. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- DEN/UFMG, Dept<sup>o</sup>. de Engenharia Nuclear da Universidade Federal de Minas Gerais, 2009, Comunicação Pessoal e-mail de 09.04.2009.
- Fortini, M.A., 2004, “Análise Teórico-Experimental da Termofluidinâmica de Reatores de Pesquisa Refrigerados a Água em Regime de Convecção Natural”. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- General Atomic, 2010, disponível em [http://triga.ga.com/install\\_usa.pdf](http://triga.ga.com/install_usa.pdf), acessado em 08.01.2010
- General Atomic, 1986, “Characterization of TRIGA Fuel”, GA Project 3442, San Diego, CA.
- Hameed, F. et al; 2007, “Upgrading and Applications of the Neutron Imaging Facility at a Low Power Research Reactor”, Vienna University of Technology, Atomic Institute of the Austrian Universities, Vienna, 2007.
- IAEA - International Atomic Energy Agency, 2001, “Strategic Planning for Research Reactors – Guidance for Reactor Managers”, IAEA-TECDOC-1212, Vienna.
- IEN/CNEN - Instituto de Engenharia Nuclear/Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2010, [http://www.ien.gov.br/oinstitueto/instalacoes/sere/argonauta/aplicacoes\\_11.htm](http://www.ien.gov.br/oinstitueto/instalacoes/sere/argonauta/aplicacoes_11.htm), acessado em 03.02.2010 (a).

- IEN/CNEN - Instituto de Engenharia Nuclear/Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2010, [http://www.iem.gov.br/noticias/pagnoticias/2009set\\_mestradoacademico.php](http://www.iem.gov.br/noticias/pagnoticias/2009set_mestradoacademico.php), acessado em 03.02.2010 (b).
- IPEN/CNEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2010, <http://sistemas.ipen.br/Indicador/Consulta.exe/exibir?centro=CRPq>, acessado em 12.01.2010.
- Mesquita, A.Z., 2009, “Investigação Teórico-Experimental em Termohidráulica e Neutrônica de Reatores Nucleares de Pesquisa”. Projeto de Pesquisa CNPq DT 2009.
- Mesquita, A.Z., 2008, “Atualização e Recuperação da Instrumentação do Reator Nuclear de Pesquisa TRIGA IPR-1”. Projeto de Pesquisa Programa Pesquisador Mineiro - PPM II Edital FAPEMIG 003/2008.
- Mesquita, A.Z., 2005, “Investigação Experimental da Distribuição de Temperaturas no Reator Nuclear de Pesquisa TRIGA IPR-R1”, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. São Paulo.
- Mesquita, A.Z.; Cândido, M.A.; Pinto, A.J.; Dalle, H.M., 2009, “Instrumented Fuel Element Recovery in IPR-R1 TRIGA Nuclear Research Reactor”. Proceedings of the 20th International Congress of Mechanical Engineering - COBEM 2009, Gramado.
- Mesquita, A.Z. ; Souza, R.M.G.P., 2009 “Investigação Teórico-Experimental em Neutrônica e Termohidráulica no Reator TRIGA IPR-R1”, Nota Interna CDTN/CNEN, NI-SERTA 03/09.
- Penn State University, 2000, “The Penn State Breazeale Reactor: A facility for the past, present, and future of the Pennsylvania State”. University. University Park Campus.
- Salmenhaara, S.E.J.; Auterinen, I., 2008, “Current Utilization and Long Term Strategy of the Finnish TRIGA Research Reactor FiR 1”, Technical Research Centre of Finland, Espoo.
- Santoro, C.A.B., 1975, “Determinação do Espectro de Nêutrons no Reator TRIGA pelo Método de Ativação”. Dissertação Mestrado, Belo Horizonte, UFMG.
- Souza, R.M.G.P., Resende, M.F.R., Mesquita, A.Z., Valente, E.S., 2002, “Resultados dos Testes Finais para o Aumento de Potência do Reator TRIGA IPR-R1”, (Nota Técnica CDTN/CNEN – IT4-07/02), Belo Horizonte.
- UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas, 2010, <http://libdigi.unicamp.br/document/list.php?tid=7>, acessado em 04.02.2010.
- University of Texas, 2010, “Nuclear and Radiation Engineering Program”, disponível em: <http://www.me.utexas.edu/~nuclear/>, acesso em 04.02.2010.
- Villa, M. et al. 2000, “Utilization of a TRIGA Type Reactor in University Training and Research”. Proceedings of 11 th EAES/PROG Annual Meeting, Espoo, Finland.
- Zangirolami, D.M., 2009, “Fluxo Neutrônico a 100 kW nos Terminais de Irradiação do Reator TRIGA IPR-R1”. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, Belo Horizonte.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.





**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
*August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil*

## **A PROPOSAL FOR USE OF THE IPR-R1 TRIGA NUCLEAR RESEARCH REACTOR AT THE CENTER OF NUCLEAR TECHNOLOGY DEVELOPMENT (CDTN) IN RESEARCH AND TRAINING**

**Amir Zacarias Mesquita, [amir@cdtn.br](mailto:amir@cdtn.br)<sup>1</sup>**  
**Fernando Soares Lameiras, [fsl@cdtn.br](mailto:fsl@cdtn.br)<sup>1</sup>**  
**Vanderley Vasconcelos, [vasconv@cdtn.br](mailto:vasconv@cdtn.br)<sup>1</sup>**  
**Antônio Carlos Lopes da Costa, [aclc@cdtn.br](mailto:aclc@cdtn.br)<sup>1</sup>**  
**Rose Mary Gomes do Prado Souza, [souzarm@cdtn.br](mailto:souzarm@cdtn.br)<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Center of Nuclear Technology Development/Brazilian Nuclear Energy Commission (CDTN/CNEN),  
CEP: 31.270-901 Campus da UFMG – Pampulha, Belo Horizonte – MG.

### ***Abstract.***

*The IPR-R1 TRIGA nuclear reactor at the Center of Nuclear Technology Development - CDTN (Belo Horizonte), since its first criticality, which occurred in 1960, has been primarily used as a neutron source for analytical chemistry (neutron activation analysis). Reactors TRIGA (Training, Research, Isotopes, General Atomics), were developed with intrinsic safety features, mainly for use in training and nuclear technology research. The present paper proposes the use of the IPR-R1 reactor in various fields of nuclear engineering application. This proposal is in accordance with the activities programming of CDTN. If realized, will contribute to the strategic objectives of Brazil, related to scientific and technological development and training of human resources for the nuclear industry. The federal government plans to adopt the nuclear option for power generation and also design and build a multipurpose research reactor, this reactor has some characteristics similar to the IPR-R1 TRIGA reactor. To implement these initiatives is necessary to strengthen the scientific, technological and human resources for the nuclear industry. The project proposed meets the recommendations of the International Atomic Energy Agency - IAEA, which has encouraged its members to develop strategic plans for their research reactors.*

***Keywords:*** Nuclear research reactor, TRIGA reactor, nuclear technology, neutronic, thermal-hydraulic.