

**Publicação CDTN 881/01**

**IRRADIAÇÕES DE DIAMANTES  
“COM CAPAS” NO REATOR  
TRIGA - IPR-R1**

**Roberto Stasiulevicius  
Dezembro - 2001**

## ÍNDICE

	Página(s)
Apresentação	1
ABSTRACT	2
RESUMO	3
1. INTRODUÇÃO	4 – 5
2. OCORRÊNCIA DE DIAMANTE COM CAPA	6
3. PRESENÇA DE MINERAIS RADIOATIVOS NOS NOS DEPÓSITOS	7 – 8
4. PARTE EXPERIMENTAL	9
5. RESULTADOS	10
6. CONCLUSÕES GERAIS	11-12
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13

Tabela 1 – Percentagens de diamantes com capas verdes e marrom em áreas das Províncias de Diamantina do espinhaço, em comparação com a Província do Alto Paraíba. 7

# **IRRADIAÇÕES DE DIAMANTES “COM CAPAS” NO REATOR NUCLEAR IPR-R1**

**Roberto Stasiulevicius<sup>1</sup>, Mario L. S. C. Chaves<sup>2</sup>, Geraldo F. Kastner<sup>1</sup> e  
Elaine C.C. Bottino<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> **Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, CNEN/CDTN, Campus  
Universitário, Pampulha, C.P. 941, CEP 30123-970, Belo Horizonte, MG, Brasil.**

<sup>2</sup> **Instituto de Geociências e Grupo de Estudos de Mineralogia (GEMA) do Museu de  
História Natural, Univ. Federal de Minas Gerais, Rua Gustavo da Silveira 1035, CEP  
31080-010, Belo Horizonte, MG, Brasil.**

**DEZEMBRO DE 2001**

## ABSTRACT

*The experimental results on the effects of diamonds irradiation with neutrons and other radiations are presented. These results pointed out the consequent changing effects on the original colours and also on the determination of the regional characteristic impurities, pointed as the responsible for the changes in the corresponding coloration centers. Diamond samples containing a green, brown or yellow tiny film, and also colorless ones, were studied. Their typical occurrence is in some sedimentary deposits of the most important producing areas in the Minas Gerais State. The samples were submitted to irradiation in the "rotative rack mechanism" of the nuclear research reactor IPR-R1 TRIGA MARK I (100 kW), with a thermal neutron flux of  $6.6 \times 10^{11} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . The results, obtained by the conventional neutron activation analysis methods, associated with  $K_0$  technique, are represented by typical traces of the detected impurities. The two main hypotheses formulated for the origin of the layers are: in situ irradiation from radioactive materials existing in the neighborhoods, or the presence of certain chromoforous elements located in the outer layer of the crystals, inducing the coloration. The obtained data analysis showed an association among the two factors, depending on the beds' location. In this case with respect of the direct presence of characteristic radioactive minerals: monazite or zircon, present in the vicinities of some investigated deposits.*

## RESUMO

*Estão apresentados os resultados das pesquisas sobre os efeitos das irradiações com nêutrons e outras em diamantes, com os conseqüentes efeitos de mudanças nas colorações originais e também determinações das impurezas características regionais, apontadas como responsáveis pelas transformações nos respectivos centros de colorações. Foram estudadas amostras de diamantes contendo uma ínfima película colorida verde, marrom ou amarela, e também incolores, com ocorrências típicas em alguns depósitos sedimentares das mais importantes áreas produtoras do Estado de Minas Gerais. As amostras foram submetidas às irradiações na mesa giratória do reator TRIGA Mark I IPR-R1 (100 kW), com fluxo de nêutrons térmicos de  $6,6 \times 10^{11} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Os resultados obtidos, pela aplicação dos métodos de análise por ativação convencional associado à técnica do  $K_0$ , são representados por traços típicos das impurezas detectadas. As duas principais hipóteses aventadas para a origem das capas são: irradiação in situ de materiais radioativos presentes nas vizinhanças, ou a presença de certos elementos cromóforos localizados na camada externa dos cristais, induzindo à formação da coloração. A análise dos dados obtidos demonstrou uma associação entre os dois fatores, dependendo da localização das jazidas com a presença direta de minerais radiativos característicos, no caso: monazita e zircão, presentes nas proximidades de alguns depósitos investigados.*

## 1. INTRODUÇÃO

O diamante é considerado um mineral gemológico de alto valor comercial em função de suas principais propriedades: alta dureza, brilho, índice de refração, forte dispersão e coloração, podendo se apresentar incolor, ou em diversas colorações, como amarelo pálido, laranja, marrom escuro, verde, vermelho ou azul. Tais colorações podem ainda ser modificadas ou intensificadas por tratamento térmico ou radiação nuclear.

Logo no início do século, Crooke (1904) demonstrou que as partículas  $\alpha$  emanadas por sais de rádio, quando aplicadas durante vários meses induziam uma coloração verde nos diamantes [1]; resultados similares foram obtidos em 1923 por Lind & Bardwell (*in* Vance et al. 1973) [2]. Somente em 1955, Kukharenko estudando amostras de diamante procedentes dos Montes Urais, fez a suposição de que a pigmentação verde observada poderia ser causada pela presença de Ni e Cu difundidos na superfície do cristal [2]. Gnevushev & Kravtsov em 1960, compararam dados de análises espectrais para fragmentos coloridos de verde, obtidos da trituração de cristais selecionados, com outros cristais incolores, destacando que a camada superficial nas amostras coloridas era rica em Fe difundido [2].

Meyer et al. (1966) descreveram os resultados das análises efetuadas nas superfícies de diamantes com capa verde, obtidos em amostras da Costa do Marfim. Eles estudaram a natureza das reflexões de raios-X nas manchas verdes, destacando difrações térmicas difusas com intensidades não usuais.

Além disso, foi constatado que o parâmetro da rede cristalina era maior nas partes coloridas das amostras. Este fato foi atualmente confirmado, quando amostras de diamante são irradiadas em reatores, adquirindo uma coloração verde, com parâmetros da rede cristalina tendendo a aumentar e ocorrendo intensas reflexões térmicas difusas.

Os autores concluíram que a coloração verde seria causada por interação das partículas  $\alpha$ , não obstante sua pequena penetração, causando danos no material atingido devido à alta energia específica destas partículas, da ordem de MeV [3].

Conclusão similar a de Meyer et al. foi obtida por Raal (1969), que estudou diamantes com capa verde das minas de ouro de Witwatersand (África do Sul). As amostras foram submetidas à irradiação com partículas carregadas, e subsequente recozimento metalúrgico em temperatura não superior à 500°C. A coloração penetrante na casca é consistente em diamantes irradiados com partículas

energéticas  $\alpha$  e  $\beta$  emanadas do U ou dos seus produtos de degradação, uma vez que a presença desse elemento é abundante nos locais onde as amostras foram obtidas [4].

De outra forma, Orlov (1970) atribuiu a presença da capa verde como resultante de processos de difusão na parte externa da superfície do cristal, admitindo que no interior da delgada camada superficial os diamantes podem ser relativamente enriquecidos em impurezas, tais como Si, Na, La, Cu, Mn e Cr [5].

Vance et al. (1973) apresentaram fortes evidências de que a capa do diamante era causada por irradiação com partículas  $\alpha$ , após injeção de kimberlito e subsequente processo de esfriamento [2].

Posteriormente, Harris et al. (1977) demonstraram que diamantes de kimberlitos não meteorizados, como os *pipes* Premier e Koffiefontein, apresentam uma população muito restrita de diamantes com capa verde, enquanto que no *pipe* Finsch, bastante meteorizado, os elementos radioativos foram mobilizados na água subterrânea. Em consequência, uma proporção significativa da população de diamantes foi afetada, e os de capa verde são mais comuns [6].

Com base nas informações dos autores citados, e com a finalidade de complementar os resultados obtidos nos trabalhos de campo realizados efetuados por geólogos pesquisadores da UFMG, foram selecionadas 56 amostras de diamantes das principais jazidas do Estado de Minas Gerais. Tais amostras foram submetidas às irradiações no reator nuclear TRIGA Mark I IPR-R1, do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, para a determinação das impurezas características em diamantes apresentando capas verde e amarela/marrom.

A interligação dos resultados obtidos pelos pesquisadores no campo, com os trabalhos efetuados em laboratório, permitiu obter conclusões adicionais importantes para explicação da origem das capas e de suas colorações nas amostras dos diamantes. Estas informações são importantes tanto para a física como para a mineralogia, não só para entender a formação de tais capas, como também para a proposição de medidas resultem em sua eliminação.

## 2. OCORRÊNCIAS DE DIAMANTE COM CAPA

Diamantes apresentando capas coloridas são comuns principalmente em depósitos antigos, pré-cambrianos, como aqueles que ocorrem em Gana, Costa do Marfim, Brasil e Venezuela.

Tais capas são muito delgadas, da ordem 20  $\mu\text{m}$ , mostrando principalmente as cores verde e marrom/amarela, podendo ser muito densas, ou mostrarem-se como manchas irregulares e/ou pontos. A distribuição da intensidade de coloração na mancha escura também não é uniforme, isto é, predomina o verde intenso no centro, tornando-se mais claro em direção às bordas [7].

A frequência de diamantes com capa verde ou marrom/amarela mostra fortes variações nas principais províncias diamantíferas de Minas Gerais (MG), a saber, a Província da Serra do Espinhaço e a do Alto Paranaíba. Os diamantes com capas, manchas ou pontos verdes são característicos dos depósitos pré-cambrianos, como os dos Distritos de Diamantina e Grão Mogol (Serra do Espinhaço em MG); Distrito da Chapada de Diamantina (Bahia); Rio Tibagi (Paraná); Rio Tepequém (Roraima); Rio Tapajós (Pará), etc.

O mais importante depósito é o conglomerado da Mina do Campo Sampaio, localizado no Distrito de Diamantina, onde cerca de 90% das amostras obtidas apresentaram capas de coloração verde-escura [8].

Os diamantes com capas verde ou castanho-pálida são largamente comercializados na região de Diamantina, representando cerca de 50% da produção local, o que é considerado como a principal ocorrência de diamantes com estas características no Brasil [8].

Na Província do Alto Paranaíba, o inverso ocorre, conforme verificado após a descrição de populações representativas nos depósitos de Coromandel. Desta maneira, a frequência de diamantes com capas apresentou fortes variações conforme os depósitos estudados, cujos dados são sumarizados na **Tabela 1** a seguir.



### 3. PRESENÇA DE MINERAIS RADIOATIVOS NOS DEPÓSITOS

Os dados fornecidos na **Tabela 1** apresentada a seguir, evidenciam a existência de um nítido controle geográfico, em consequência da geologia das áreas e a frequência dos diamantes de capa verde.

Na principal localidade onde ocorrem diamantes com esta característica, a Mina do Campo Sampaio, o percentual da ordem de 90% de cristais tingidos, incluindo parcela significativa de capas densas, indica que a coloração foi adquirida ao longo do tempo no próprio depósito secundário (kimberlitos são normalmente pobres em tais diamantes).

O estudo dos concentrados de minerais pesados amostrados nesta mina e em aluviões próximos, mostrou a presença constante de monazita [Ce,La,Y,Th(PO<sub>4</sub>)] e zircão [ZrSiO<sub>4</sub>], os quais são os responsáveis pela irradiação no nível mineralizado [8].

Em estudo semelhante, Raal (1969) descreveu diamantes recolhidos no conglomerado auro-uranífero de Witwatersrand, onde 100% deles apresentavam um capeamento verde, o qual foi explicado pela emissão de radiação  $\alpha$ .

**Tabela 1** - Percentuais de diamantes com capas verde e marrom em áreas da Província Diamantífera do Espinhaço, em comparação com a Província Diamantífera do Alto Paranaíba (adaptada de Chaves, 1997 [8]).

REGIÃO/LOCALIDADE (Nº DE AMOSTRAS)	CAPAS VERDES (%) (Transp. + Densa = Total)	CAPA MARROM (%)	SEM CAPA (%)
<b>ESPINHAÇO:</b>			
Campo Sampaio (525)	14,80 + 74,30 = 89,12	-	10,92
Datas (597)	33,55 ± 7,01 = 40,56	1,00	58,43
R. Jequitinhonha (1254)	28,71 ± 7,49 = 36,20	0,48	63,32
Grão Mogol (384)	20,31 ± 5,73 = 26,04	0,78	73,18
Jequitaiá (408)	4,41 ± 0,24 = 4,65	9,31	86,03
<b>ALTO PARANAÍBA:</b>			
Coromandel (352)	0,57 + 0,00 = 0,57	-	99,43

No Rio Jequitinhonha, o transporte fluvial de algumas dezenas de quilômetros desde as áreas fontes na serra e a conseqüente diminuição do percentual de capas verdes para cerca de 36% (a maioria composta de capas transparentes), é indício de uma provável mistura com diamantes provenientes de outras localidades onde ocorreriam menores volumes de pedras tingidas.

Não se acredita em desgaste mecânico das capas, pois os diamantes apresentam figuras de corrosão de todos os tamanhos e profundidades, que neste caso também deveriam ter sido erodidas.

Um exemplo típico é a região do Campo de Datas, que apresentou uma freqüência em torno de 40% de diamantes com capa verde. No estudo do concentrado de minerais pesados recolhidos em uma das minas da região, a monazita é raríssima na matriz do conglomerado diamantífero, enquanto o zircão aparece em volume semelhante ao verificado em Campo Sampaio.

Como a presença de elementos radioativos é muito inferior no zircão em relação à monazita, tal fato poderia explicar a diminuição do volume da população de cristais atingidos pela radiação.

Em Grão Mogol, o conlomerado da "Pedra Rica" foi estudado com relação aos seus minerais pesados, em vista a comparações com os caso precedentes. Nesta área, uma parcela significativa de diamantes possui capeamento verde ( $\pm 26\%$ ), porém a monazita não foi constatada e o zircão é raro, indicando assim que esses minerais não podem ser os únicos responsáveis pelo capeamento verde. Assim, outra causa deve ser atribuída à indução do capeamento verde, reforçando a segunda hipótese sobre a presença de impurezas características.

Analogamente aos estudos desenvolvidos na região da Serra do Espinhaço, um corpo de rocha conglomerática do Cretáceo Superior, a qual se considera a principal fonte de espalhamento dos diamantes na Província do Alto Paranaíba [8], foi pesquisada visando seus minerais pesados.

Apesar de possuir uma variedade muito maior de minerais, a monazita não aparece entre eles e o zircão é raro. Neste local foi verificada uma concentração ínfima ( $\leq 1\%$ ) de diamantes com capa verde. (**Tabela 1**).

## 4. PARTE EXPERIMENTAL

Com o intuito de conhecer o comportamento geral de 56 amostras selecionadas de vários tipos de diamantes, elas foram introduzidas na mesa giratória instalada ao redor do núcleo do reator TRIGA Mark I - IPR-R1 operando à potência de 100 kW e com fluxo de nêutrons térmicos de  $6,6 \times 10^{11} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

A mesa giratória é uma facilidade de irradiação que permite movimento de rotação com velocidade uniforme na periferia do núcleo do reator IPR-R1, contendo o total de 40 tubos. Cada tubo tem capacidade para 2 receptáculos de irradiação totalizando 80 posições, sob distribuição uniforme do fluxo de nêutrons térmicos. As amostras de diamante foram colocadas no interior dos tubos nos receptáculos de poliestireno e introduzidas nas respectivas posições de irradiações.

De início os espécimes foram irradiados por alguns minutos, visando a detecção de nuclídeos com meia-vidas curtas. Em seguida as amostras foram irradiadas até 8 horas visando os nuclídeos de meia-vidas longas, através da aplicação do método de análise por ativação com nêutrons e espectrometria  $\gamma$  associada à aplicação da técnica do  $K_0$  [9-10].

A técnica da espectrometria gama é uma ferramenta importante, utilizada em análises de química nuclear, para identificação da presença de impurezas ou traços de elementos. A técnica de nêutron-ativação associada com a técnica do  $K_0$ , método este inicialmente desenvolvido em Ghent (Bélgica), no *Institute of Nuclear Sciences-Rijksuniversiteit*, representa excelente alternativa ao combinar as vantagens oferecidas pelos métodos analíticos absoluto e comparativo.

A equação fundamental do  $K_0$  e seu correspondente valor é considerado uma constante natural do isótopo sob investigação, calculado através de seus componentes básicos. Atualmente, 91 nuclídeos principais de interesse geral, possuem seus valores medidos com valores recomendados e incertezas  $\leq 2\%$ , enquanto outros 21 estão na faixa de  $\pm 5\%$ , medidos por diversos laboratórios.

O detector usado para detecção dos raios  $\gamma$  foi do tipo HPGe (Hiperpure Germanium), contendo pré e amplificação, analisador, e com tensão interligada a micropuntador, contendo monitor de vídeo e impressora. A ordem de grandeza da resolução do detector é de 0,6 keV na energia padrão de 122 keV, característica do nuclídeo padrão  $^{57}\text{Co}$ .

## 5. RESULTADOS

Os resultados experimentais obtidos em relação aos efeitos decorrentes das irradiações das amostras, assim como das medidas de espectrometria de raios  $\gamma$  e identificação das impurezas características, foram as seguintes:

- Todas amostras apresentaram tendência para coloração resultante verde forte ou marrom;

- Algumas amostras mostraram tendência para uma fluorescência azul ou vermelho suave;

- Em todas amostras foram detectados os elementos Au ( $\leq 0,41$  ppm) e Na ( $\leq 72$  ppm), provavelmente como interferentes, devido ao processo químico utilizado no tratamento preliminar;

- Em metade das amostras foram detectados os elementos La ( $\leq 11$  ppm), K ( $\leq 124$  ppm) e Cr ( $\leq 39$  ppm);

- A presença de traços de elementos da família das Terras Raras como Ce, Eu e Yb, foram caracterizados em cerca de 40 % das amostras estudadas;

- Traços de outros elementos detectados em 10% das amostras foram Co ( $\leq 1,2$  ppm) e Sc ( $\leq 0,01$  ppm);

- Em algumas das amostras foram detectadas, isoladamente, os elementos seguintes: As, Br, Co, Fe, Mn, Th e W;

- A presença de elementos como B, Cu, N, Ni e Si provavelmente ocorre na maioria das amostras, entretanto a limitação técnica deste método não permitiu avaliar suas presenças, nesta primeira etapa do trabalho;

- A presença de U não foi constatada nas análises efetuadas. Em próxima etapa do trabalho as amostras serão submetidas ao método de nêutrons retardados, com alta eficiência para determinação de U, pois a simples presença do elemento na capa do diamante pode ser outro indicativo da mudança de coloração do mineral.

## 6. CONCLUSÕES GERAIS

Deve-se ainda admitir que a natureza das pigmentações verde ou amarela ainda não tem uma explicação satisfatória. Se a coloração é o resultado de irradiação natural, torna-se necessária uma explicação para sua ação localizada ou confinada em partes isoladas nas faces dos cristais.

Por outro lado, se a explicação é dada pela difusão de certos elementos existentes na superfície das amostras, entre os quais alguns reponsáveis pela formação de centros de cores, resultaria a formação uniforme da coloração, e não manchas isoladas.

Uma outra hipótese, aventada neste trabalho, é a possível presença direta de materiais naturais como os pertencentes às séries radioativas do U e Th na região da superfície das gemas, que poderiam ser os causadores das mudanças de colorações.

Com relação aos fenômenos capas verde e marrom/amarela nos diamantes de Minas Gerais, o conhecimento geológico de seus depósitos e o estudo de seus minerais pesados acompanhantes, em associação com os exames estatísticos e análises das capas, permitiram diversas interpretações a respeito das referidas colorações:

(1) Existe um nítido relacionamento entre as presenças relativas de minerais radioativos como monazita e zircão, e a presença de diamante com capas entre os diversos depósitos de conglomerados pré-cambriano e seus depósitos derivados, como em Campo Sampaio, Datas e Rio Jequitinhonha, assim como a ausência de capas e de minerais radioativos nos conglomerados cretáceos de Coromandel;

(2) O conglomerado de Grão-Mogol, apesar de mostrar percentagens semelhantes de capas verde e marrom, não apresenta monazita. Talvez a origem das capas seja devida à presença de material radioativo na superfície das amostras, originadas de fontes emissoras de radiação  $\alpha$  no nível mineralizado, tendo em vista sua pequena penetração na interação com a matéria e considerando a espessura característica da capa, da ordem de 20  $\mu\text{m}$ .

(3) A relação entre os diamantes com capas e a presença de certos elementos químicos, como Sc, La, Cr, etc., conforme detectados no processo de análise por ativação com nêutrons e espectrometria  $\gamma$  nas amostras de todas as localidades da Serra do Espinhaço, é fato que pode corroborar para atuação de processos de difusão desses elementos nas partes externas dos cristais, atuando como possíveis formadores de centros de colorações características.

Considerando-se que as capas verdes nos depósitos diamantíferos brasileiros estejam intimamente associadas com rochas fontes (secundárias) pré-cambrianas, e que tanto no processo de radiação como o de difusão pela presença dos citados elementos *cromóforos*, demonstram uma possível atuação em conjunto para explicação da gênese das capas.

Ainda que as capas desapareçam no polimento durante a lapidação, pouco prejudicando o valor comercial (final) das gemas, no estado bruto tais feições podem mascarar consideravelmente a cor real das mesmas e assim prejudicar o seu valor inicial de compra. Considerando que cerca de 50% dos diamantes da região de Diamantina possuam capas coloridas, e que esta localidade seja classicamente a que mais tem produzido diamante no Brasil, é evidente que tal fator tenha forte influência nos valores dos lotes aí comercializados.

As atuações do reator nuclear IPR-R1 e da rotina da aplicação do método de análise por ativação com espectrometria- $\gamma$  foram importantes na realização deste trabalho, principalmente no processo preliminar de elucidação da origem das capas, permitindo associar os fenômenos indutores com a possível presença de radioatividade no local da jazida e as presenças de materiais férteis como U e Th, capazes de liberarem radiações e outros elementos difusores na superfície das amostras estudadas atuando como responsáveis pela formação do capeamento.

Ainda, deve-se ser enfatizada a importância do conhecimento das propriedades e características do diamante diante do avanço da tecnologia moderna, uma vez que o mesmo está sendo utilizado em várias áreas de aplicações, inclusive recentemente atuando como: semicondutor em aplicações diversas; em microprocessadores; nos dispositivos de transistores; em sinalizadores ópticos; nos *displays*, etc.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **CROOKES, N.** Diamonds. Proc. Roy. Soc., Ser. A, 74, London, p. 37-49, 1904.
- [2] **VANCE, E.R.; HARRIS, J.W.; MILLEDGE, H.J.** Possible origins of  $\alpha$ -damage in kimberlite and alluvial sources. Mineral Magazine, 39, p.349-360, 1973.
- [3] **MEYER, H.O.A.; MILLEDGE, H.J.; NAVE, E.** Natural irradiation damage in Ivory Coast Diamonds. Nature, 206, p.206-392, 1965.
- [4] **RAAL, F.A.** A study of some gold mine diamonds. American Mineralogist, 54, p.292-296, 1969.
- [5] **ORLOV, Y.L.** Mineralogy of the diamond. New York, John Wiley & Sons, 235 p., 1970.
- [6] **HARRIS, J.W.; HAWTHORNE, J.B.; OOSTERVELD, M.** Regional and local variation in the characteristic of diamonds from some Southern African kimberlites. In: **BOYD, F.; MEYER, H.** (eds.), Kimberlites, diatremes and diamonds: their geology, petrology and geochemistry. Washington, American Geophysical Union. p.27-41, 1979.
- [7] **CHAVES, M.L.S.C.; KARFUNKEL, J.; BANKO, A.; STASIULEVICIUS, R.; SVISERO, D.P.** Diamantes de capa verde: frequência, distribuição e possível origem nos depósitos diamantíferos de Minas Gerais. Boletim do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Série Científica, 27, p.51-60, 1996.
- [8] **CHAVES, M.L.S.C.** Geologia e Mineralogia do Diamante da Serra do Espinhaço em Minas Gerais. Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 289p., 1997.
- [9] **DE CORTE, F.** The  $K_0$  Standartization method - A move to the optimization of neutron activation analysys. University of Genty. Ph.D. Thesis, Belgium, 464p., 1987.
- [10] **SABINO, C.V.; ROSSI, E.H.M., KASTNER, G.F.; FRANCO, M.B.** Estudo de parâmetros relativos ao Reator TRIGA IPR-R1, visando à aplicação técnica de ativação neutrônica  $k_0$ . Anais do VI Congresso Geral de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, 6p., 1996.

As publicações do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear estão disponíveis para permuta na Biblioteca, CDTN - Caixa Postal 941 - CEP 30123-970 - Belo Horizonte - MG - Brasil.  
Publications of the Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear are available, on an exchange basis, from the Library, CDTN - Caixa Postal 941 - CEP 30123-970 - Belo Horizonte - MG - Brazil  
Tel. (55) (0XX31) 3499-3336 - Fax: (55) (0XX31) 3499-3169