



3º Congresso Geral de Energia Nuclear

22 a 27 de abril de 1990

ANAIS - PROCEEDINGS

DESENVOLVIMENTO DE CABOS DE ISOLAÇÃO MINERAL PARA INSTRUMENTAÇÃO NUCLEAR DE REATORES

Wilson Aparecido Parejo Calvo
 Artur Hess Junior *
 Rudinei de Brito Maciel *

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - SP
 INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
 Caixa Postal 11049 - Pinheiros
 05508 - São Paulo - BRASIL

SUMÁRIO

No controle da operação de reatores nucleares, utilizam-se detectores de nêutrons "in-core" e "out-of-core" conectados a cabos de isolação mineral. O sinal elétrico, pulso ou corrente, é transmitido pelo cabo em altas temperaturas, pressões e radiações sem as interferências eletromagnéticas do meio. O trabalho aborda as propriedades mecânicas e elétricas dos vários modelos de cabos de isolação mineral, confecção, processo de fabricação, selagem, "cable-ends" e suas aplicações nos diferentes detectores nucleares.

ABSTRACT

In-core and out-of-core neutron detectors for reactor and safety control systems are usually connected by means of mineral insulated cables. The electrical signal, either a pulse or a current, is transmitted along the cable at high temperature, pressure and radiation and should not be influenced by electromagnetic interferences from the environment. In this paper it is presented the results of the analysis of the mechanical and electrical properties of several types of mineral insulated cables and also the design, manufacture, sealing, cable-ends and their applications to nuclear detectors of various types.

(*) ECIL S.A. Produtos e Sistemas de Medição e Controle.

INTRODUÇÃO

Os cabos de isolamento mineral, face às elevadas propriedades físicas e elétricas em ambientes agressivos, são amplamente utilizados na fabricação de cabos termopares, cabos de extensão e compensação e cabos para bulbos de resistência. Suas aplicações abrangem às áreas petroquímicas, aeroespaciais, nucleares e criogênicas; explorações geológicas e processos industriais envolvendo atmosferas corrosivas, altas temperaturas e pressões.

No controle da operação de reatores nucleares de pesquisa e potência, utilizam-se cabos de extensão e compensação, conectados a detectores de nêutrons "in-core" e "out-of-core". Na transmissão do pulso ou corrente elétrica, empregam-se cabos coaxiais, coaxiais blindados ou triaxiais de isolamento mineral, dependendo da natureza do sinal. Temperaturas superiores a 573K, pressões de $4,5E+06$ Pa e fluxo integrado de $1,0E+21$ nv t inviabilizam a utilização dos cabos convencionais em materiais orgânicos (1-5).

Os cabos de isolamento mineral, desenvolvidos no IPEN-CNEN/SP e ECIL S.A., são produzidos pelo processo de trefilação, devido à alta produtividade, excelente acabamento superficial e controle dimensional (6).

O objetivo deste trabalho é estudar as propriedades elétricas e mecânicas dos cabos de isolamento mineral nacionais, utilizados em detectores de nêutrons "in-core" e "out-of-core", no controle da operação de reatores nucleares.

MATERIAIS E MÉTODOS

A configuração do cabo coaxial de isolamento mineral de extensão e compensação é apresentada na figura 1. Os cálculos para a construção da matriz foram realizados considerando-se as dimensões geométricas, materiais, impedância e capacitância do cabo, visando sua aplicação específica, tabela 1.

As bainhas e condutores foram confeccionados em aço inoxidável austenítico AISI 304L ou em Inconel 600. Tubos de cobre e aço carbono foram acrescentados à matriz do cabo coaxial blindado, e condutor de cobalto a outra matriz. Todos os cabos utilizaram alumina (Al_2O_3) como dielétrico, pureza superior a 99%, baixo teor de sódio e granulometria de $45\mu m$. O isolante inorgânico foi densamente compactado nas matrizes ou posicionado na forma de miçangas pré-sinterizadas.

As matrizes, com diâmetro externo de 0,025m e 3,0m de comprimento, foram trefiladas atingindo-se as dimensões finais desejadas. Selecionou-se a velocidade, redução, tensão de

trabalho e temperatura de recozimento na trefilação de cada matriz, figura 2.

Terminada a fabricação, verificaram-se as dimensões, acabamentos superficiais, compactações do isolante, concentricidade e continuidade elétrica dos condutores.

Os cabos foram cortados e aquecidos em forno tipo mufla. Na selagem, utilizou-se pó de vidro a base de PbO e micromaçarico a hidrogênio. Avaliou-se a possibilidade de selagem com terminais cerâmicos. Determinaram-se as resistências elétricas entre condutor-bainha dos cabos, com Eletrômetro Keithley 610C.

Os cabos coaxiais foram isolados com fitas radioresistentes em fibra de vidro e soldados a conectores MHV, UHF e proteções. Utilizando-se Câmaras de Ionização Compensada e não Compensada com depósito de B-10, os cabos foram instalados no reator IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP, em fluxo integrado máximo de $5,0E+14$ nvt.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

As figuras 3, 4 e 5 mostram os cabos coaxiais desenvolvidos e as aplicações em detectores de nêutrons "in-core" e "out-of-core".

Os cabos trefilados apresentam densidade uniforme no isolamento, boa maleabilidade e acabamento superficial, controle dimensional, concentricidade e continuidade elétrica.

As resistências elétricas obtidas na selagem são superiores a $1,0E+12$ Ohm. O projeto para os terminais cerâmicos encontra-se na figura 6.

Os cabos coaxiais instalados no reator IEA-R1 apresentam alta radioresistência, impermeabilidade, estabilidade no sinal elétrico e tensão de polarização, baixo tempo de resposta e blindagem eletrostática.

DISCUSSÃO

Os cabos de isolamento mineral desenvolvidos possuem elevado desempenho em ambientes nucleares. A bainha apresenta excelente resistência à corrosão e oxidação. O condutor, com baixa resistividade e atenuação a pulsos elétricos, facilita a transmissão do sinal. O isolante, alta capacidade dielétrica em temperaturas elevadas devido ao campo de radiação gama.

Entre os isolantes inorgânicos comuns, o MgO possui maior capacidade dielétrica em relação à alumina, mas é altamente

higroscópico. Em condições de serviço a temperaturas acima de 1643K, utiliza-se o isolante tóxico BeO (1).

A soldagem de terminais cerâmicos na selagem, garante condições estáveis de resistência elétrica ao cabo (2).

Os cabos coaxiais blindados, impedância 50 Ohms, destinam-se a detectores nucleares que operam em pulsos elétricos, amplificador de sinais e frequências superiores a 30kHz. O cabo elimina as interferências elétricas, geradas por campos eletromagnéticos e diferenças de potenciais nos aterramentos da instrumentação e estrutura metálica do reator (1,4).

Os conectores UHF e MHV apresentam a mesma impedância do cabo coaxial blindado, não provocando reflexões de pulsos elétricos (3).

Em teste anual de radioresistência, os cabos coaxiais serão conectados a "Self-Powered Neutron Detectors" e submetidos a fluxo integrado máximo de $8,0E+20$ nvt e dose gama de $2,0E+12$ R. Experimentalmente, determinar-se-á as impedâncias, capacitâncias e atenuações dos cabos produzidos.

CONCLUSÃO

No dimensionamento dos cabos de isolamento mineral, deve haver um compromisso entre propriedades elétricas, mecânicas, aplicações, instalação e produção.

Os cabos desenvolvidos apresentam elevada radioresistência, alta resistência elétrica em temperaturas elevadas, impermeabilidade e estabilidade no sinal elétrico.

Resultantes do programa de nacionalização entre as empresas IPEN-CNEN/SP e ECIL S.A., os cabos de extensão e compensação apresentam a confiabilidade exigida, no controle da operação de reatores nucleares.

TABELA 1 - Equações para impedância e capacitância dos cabos de
isolação mineral.

Variaáveis	Equações	Considerações
Impedância Z_0	$Z_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \ln \frac{b}{a}$	<p>a, b: raio do condutor e isolante</p> <p>μ: permeabilidade do isolante $\mu \text{ Al}_2\text{O}_3 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$</p> <p>$\epsilon$: permissibilidade do isolante $\epsilon \text{ Al}_2\text{O}_3 = 7,79 \cdot 10^{-11} \text{ F/m}$</p>
Capacitância C	$C = \frac{2\pi \epsilon l}{\ln(b/a)}$	l: comprimento do cabo

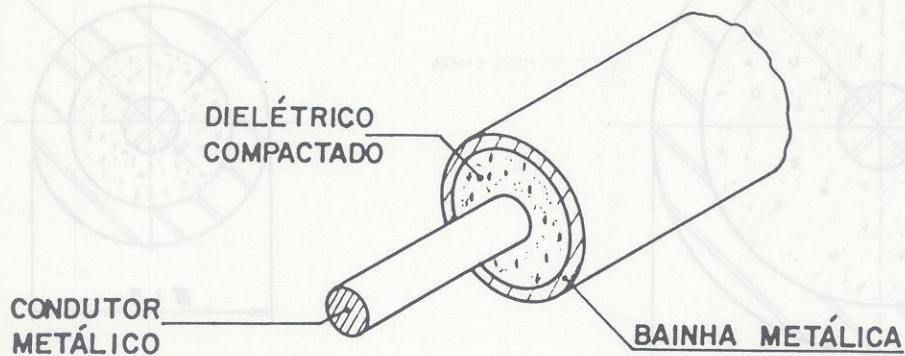


FIGURA 1 - Cabo coaxial de isolamento mineral.

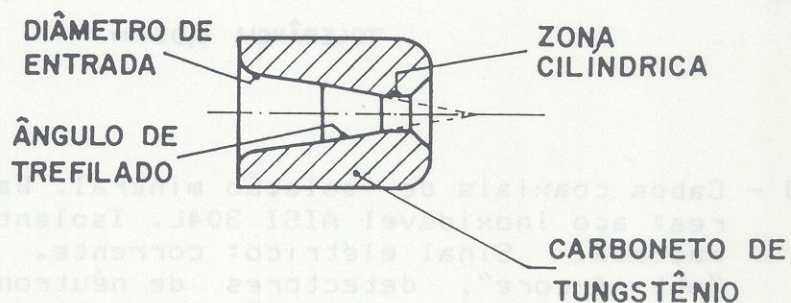
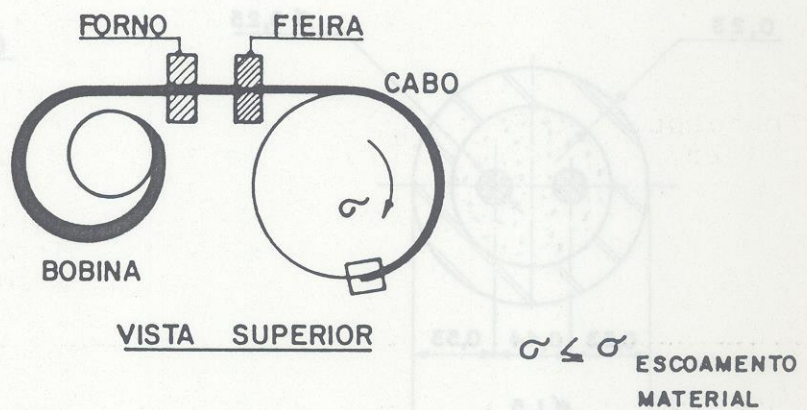
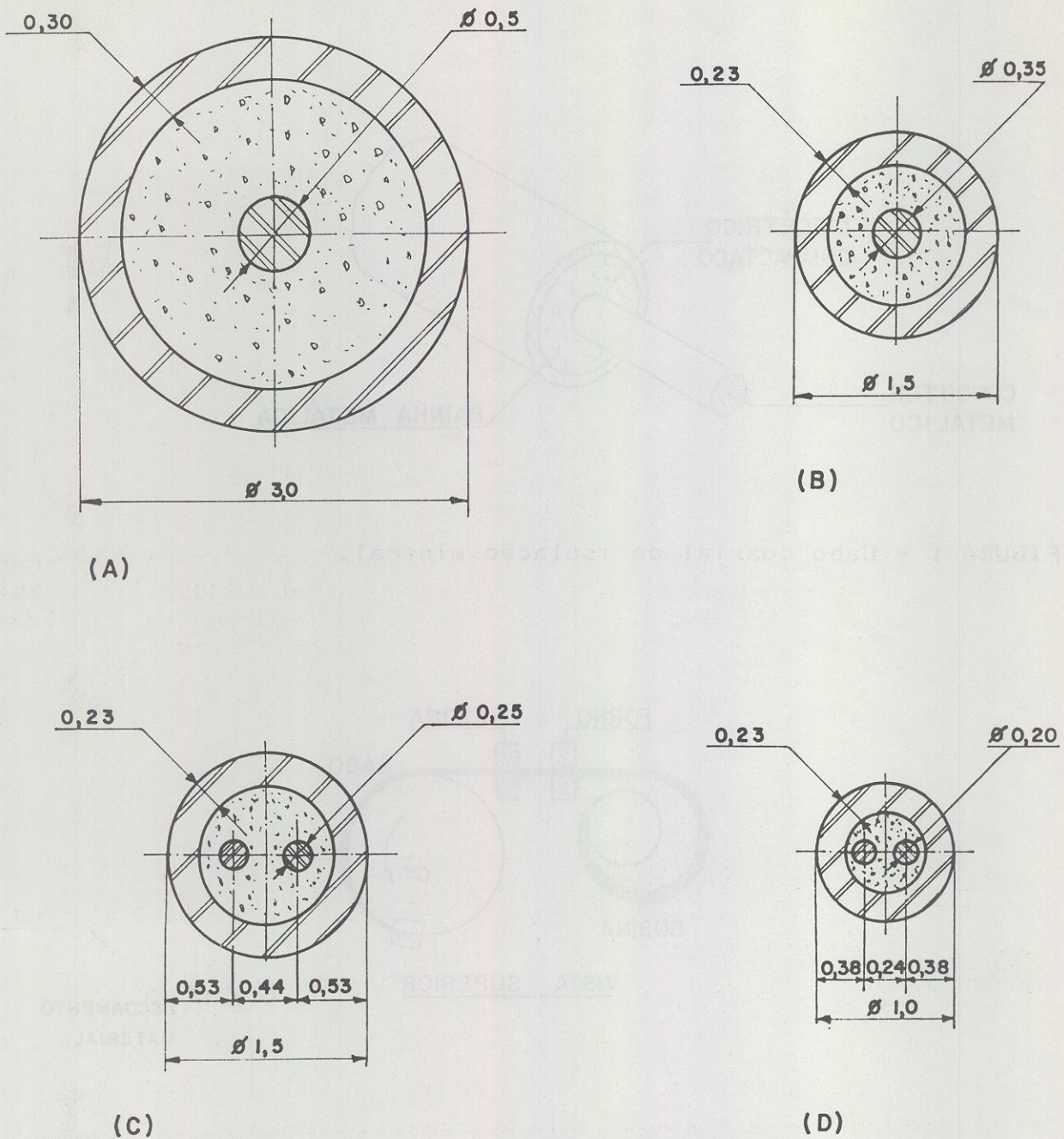


FIGURA 2 - Esquema de uma máquina de trefilar com bloco rotativo e detalhe da fieira empregada.



TOLERÂNCIA 0,05 mm

FIGURA 3 - Cabos coaxiais de isolamento mineral. Bainhas e condutores: aço inoxidável AISI 304L. Isolante: alumina compactada. Sinal elétrico: corrente. Aplicações: (a) "out-of-core", detectores de nêutrons- Câmaras de Ionização Compensada e não Compensada B-10 e Câmara de Fissão U-235; (b), (c), (d) "in-core"- "Self-Powered Neutron Detectors" Ag, Co, Hf, Pt, Rh e Câmara de Ionização Gama Miniatura.

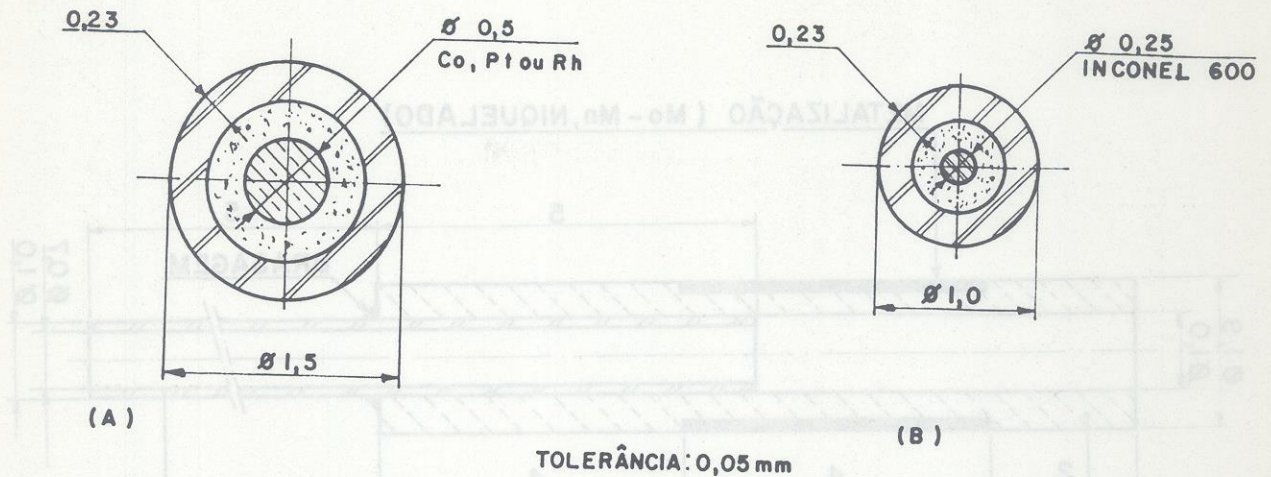


FIGURA 4 - Cabos coaxiais de isolamento mineral para "Self-Powered Neutron Detectors". Bainhas: Inconel 600. Isolante: alumina compactada. Sinal elétrico: corrente. Aplicações: (a) emissor; (b) extensão e compensação.

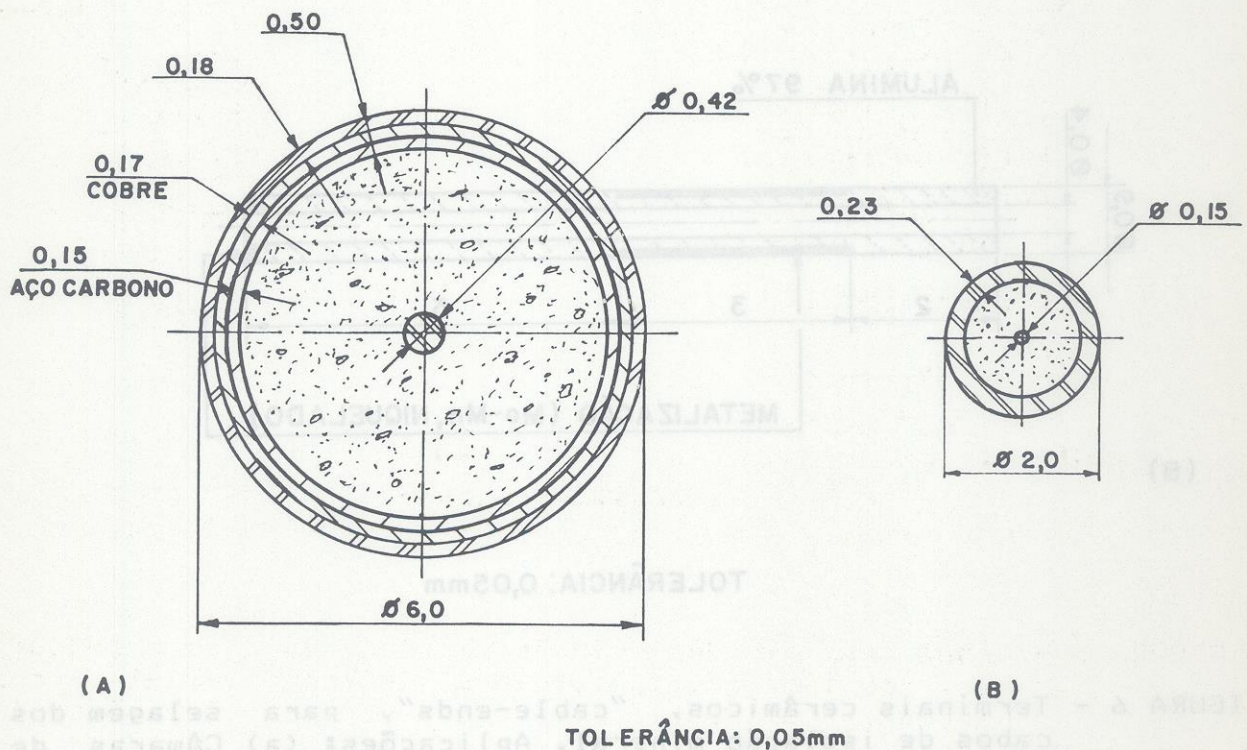
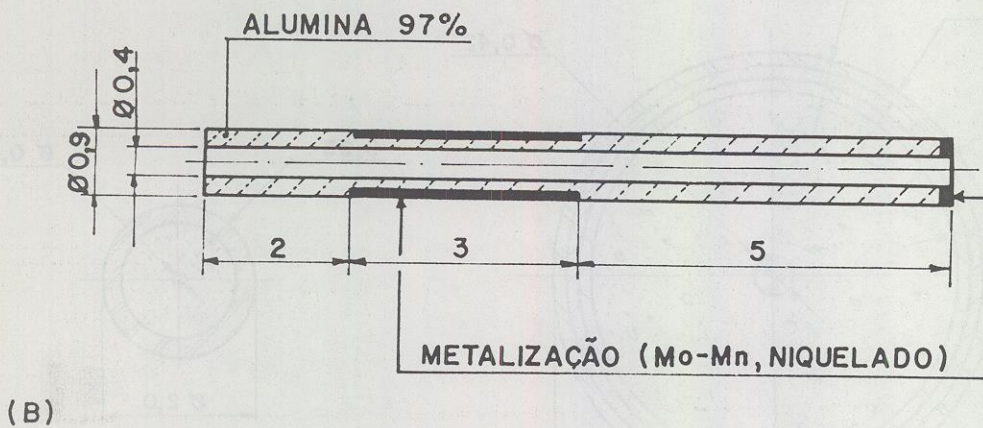
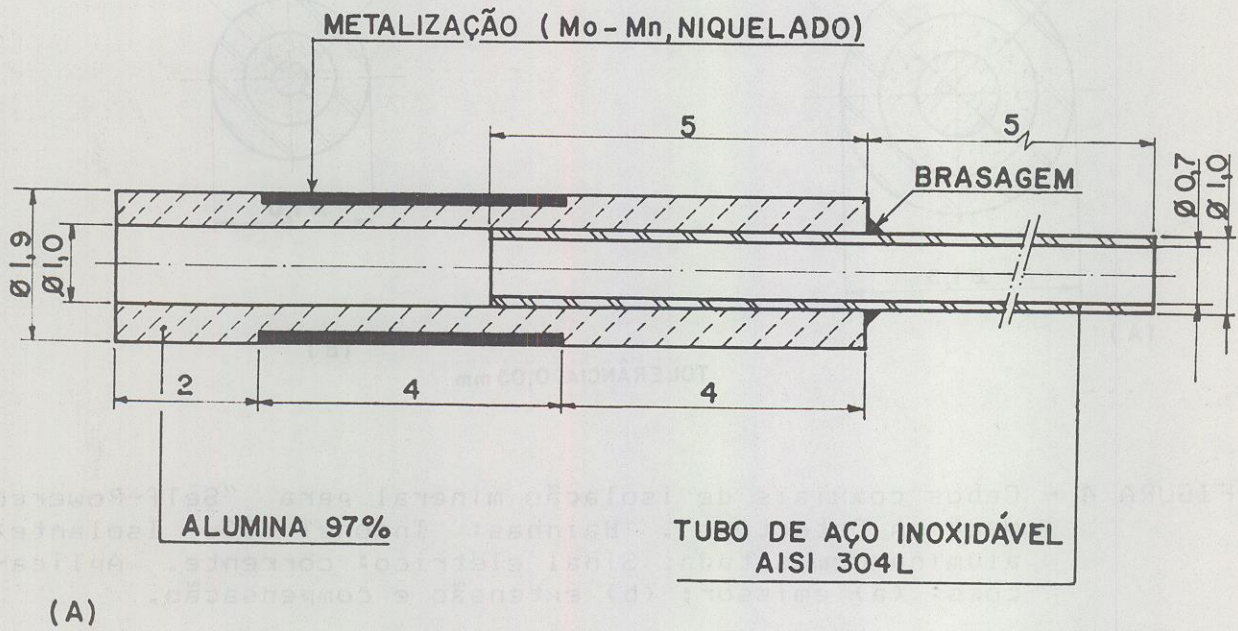


FIGURA 5 - Cabos coaxiais de isolamento mineral para detectores de nêutrons. Bainhas e condutores: aço inoxidável AISI 304L. Isolante: alumina compactada. Sinal elétrico: pulsos. Impedância: 50 Ohms. Aplicações: (a) "out-of-core", coaxial blindado - Câmara de Fissão U-235 e Proporcional B-10; (b) "in-core" - Câmara de Fissão Miniatura U-235.



TOLERÂNCIA: 0,05mm

FIGURA 6 - Terminais cerâmicos, "cable-ends", para selagem dos cabos de isolamento mineral. Aplicações: (a) Câmaras de Ionização Compensada e não Compensada B-10; (b) "Self-Powered Neutron Detectors".

BIBLIOGRAFIA

- (1) COVILLE, P. & TIXIER, M. Les détecteurs à câble intégrés pour utilisation sous flux et/ou à température élevée. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Nuclear Power Plant Control and Instrumentation: proceedings of an international symposium on ... held in Cannes, 24-28 april, 1978, vol.2. Vienna, 1978. p.275-289.
- (2) MCMINN, K.W. & GOODINGS, A. The development of mineral insulated cables for in-core neutron detectors. Journal of the British Nuclear Energy Society, 10:33-40. 1971.
- (3) KNOLL, G.F. Radiation Detection and Measurement. New York, Wiley, 1979. c.16.
- (4) WILSON, I. & FOWLER, E.P. The design and use of high performance screened cables for reducing electrical interference effects in neutron flux measuring channels. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Nuclear Power Plant Control and Instrumentation: proceedings of an international symposium on ... held in Prague, 22-26 january, 1973. Vienna, 1973. p.513-525.
- (5) BUISSON, J. Amelioration de l'immunité aux parasites des ensembles de mesure nucléaire à impulsions. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Nuclear Power Plant Control and Instrumentation: proceedings of an international symposium on ... held in Prague, 22-26 january, 1973. Vienna, 1973. p.503-512.
- (6) HELMAN, H. & CETLIN, P.R. Fundamentos da Conformação Mecânica dos Metais. Rio de Janeiro, Guanabara Dois S.A., 1983. C.6.

ABSTRACT

Fission Chambers are gas-filled type detectors that operate in the ionization chamber regime, which is without electron multiplication. As the fill-gas is not directly ionized by neutrons, fission chambers are lined with fissile material that through interaction with neutrons fission products are produced, and highly ionizing particles. Pulse type operation of these detectors are used for neutron flux measurements during start up and shut-down reactor conditions in which pulses of high amplitude produced by fission products can be easily discriminated from those produced by alpha radiation from uranium and also from the external gamma field. With current or current fluctuation mode operation (Campbell) the use of these detectors can be extended for the whole range of reactor operation.