

Edmar Camargo  
Laboratório de Microeletrônica  
Escola Politécnica da USP  
Caixa Postal 8174 - CEP 01051  
São Paulo - SP

## RESUMO

Apresentam-se os resultados relativos à caracterização, montagem e circuito equivalente de dois tipos de cápsulas convencionais, TO-5 e "Dual in line" cerâmica. A primeira apresentou até a frequência de 10 GHz, uma perda de retorno de 20 dB e de inserção inferior a 0,6 dB e a segunda apresentou características semelhantes até a frequência de 6,2 GHz.

## 1 - INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é procurar avaliar que tipos de cápsulas poderão ser utilizadas para acomodar circuitos monolíticos de microondas, sejam eles desenvolvidos no Brasil ou adquiridos no mercado internacional. O caminho natural a seguir é analisar que tipos de cápsulas são disponíveis no mercado para as aplicações convencionais. Verifica-se que em geral elas podem ser classificadas em três categorias, a saber: cápsulas de dois acessos, quatro acessos e múltiplos acessos. A primeira possui apenas dois terminais e é normalmente empregada para diodos. A segunda possui 4 terminais e pode acomodar transistores MESFET simples, de duas portas, ou mesmo alguns tipos de circuitos monolíticos. A terceira é aplicável a circuitos monolíticos que compõem um sub-sistema, como por exemplo um conversor de frequências monolítico de microondas.

No caso deste trabalho dois tipos de cápsulas de baixo custo utilizadas para circuitos integrados de baixa frequência serão estudadas: a cápsula metálica TO-5 e a cápsula cerâmica "dual in line". O objetivo é determinar seu circuito equivalente, até que frequências elas podem ser utilizadas e de que forma elas devem ser montadas para apresentar um bom desempenho em microondas.

## 2 - CAPSULA TO-5

Este tipo de cápsula pode ser adquirido com até 8 terminais e é capaz de acomodar um chip de 3X3mm. Sua representação se encontra na figura 1, onde se constata que seu interior se constitui em uma cavidade cilíndrica que ressoa em frequência,  $f$ , definida pela equação:

$$f = \frac{300}{2\pi \sqrt{\epsilon_r}} \cdot \frac{1}{r} \quad (\text{GHz}) \quad (r \text{ em mm})$$

Efetuada o cálculo, têm-se uma frequência de ressonância da ordem de 30 GHz. Portanto, este tipo de encapsulamento é adequado a circuitos que operam na faixa de microondas.

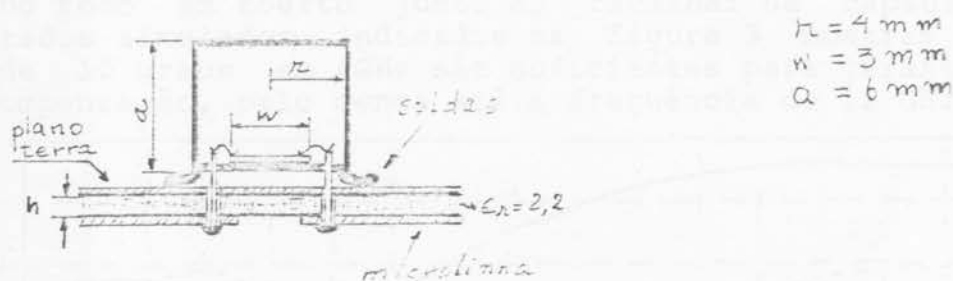


Fig 1 - Capsula TO-5 montada em microlinha de transmissão

Embora ela possa ser montada em estruturas em microlinhas para qualquer tipo de substrato, é mais adequada ao emprego em substrato flexível pela facilidade de montagem. A montagem da cápsula representada na figura 1 mostra que a base da cápsula é diretamente soldada no plano terra da microlinha para garantir um bom contato de terra da cápsula.

A observação da figura 1 permite concluir que o circuito equivalente deste tipo de montagem para a faixa de microondas pode ser representado por uma indutância série,  $L_1$ , correspondente aos terminais da cápsula, uma capacitância em paralelo,  $C$ , devido ao pequeno trecho coaxial constituído pela base da cápsula e o condutor central, e uma indutância série,  $L_2$ , devido aos fios de conexão. A indutância série  $L_1$ , medida no analisador de circuitos, é da ordem de 0,6 nH. A capacitância é baixa e só pode ser determinada por processo de simulação numérica. A indutância do fio de solda é da ordem de 1 nH/mm.

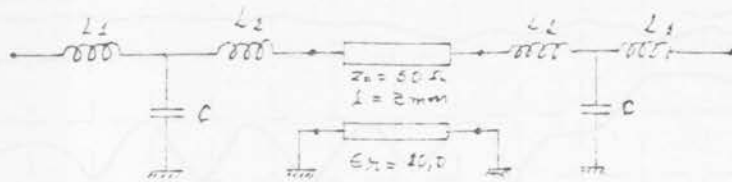


Fig 2 - Circuito equivalente da cápsula TO-5

A resposta do circuito equivalente, e de uma linha de conexão entrada/saída de 50 Ohms construída em alumina de dimensões 3X3X0.25 mm<sup>3</sup>, está representada na figura 3. Verifica-se que o mesmo apresenta uma perda de retorno de 25 dB em 2GHz e de 6 dB em 9,8 GHz. Logo, deve-se prover um meio de compensar a indutância em excesso através de um pequeno toco em aberto junto ao terminal da cápsula. Os resultados simulados indicados na figura 3 mostram que um toco de 10 graus em 4GHz são suficientes para garantir uma boa compensação, pelo menos até a frequência de 12 GHz.

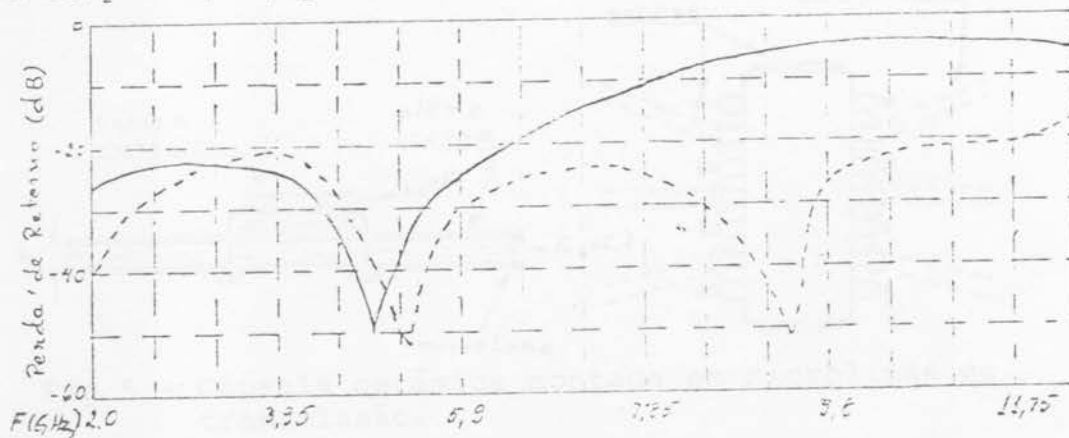


Fig 3 - Simulação do circuito elétrico equivalente.  
(—) modelo da cápsula  
(-- ) circuito compensado

Esta capsula foi montada em microlinha de acesso construída com substrato flexível de 0.25 mm de espessura e constante dieletrica de 2.2. Os resultados obtidos estão na figura 4 onde se observa uma boa resposta até a frequência de 10 GHz. A resposta observada, inclui o comportamento dos conectores e a dispersão com frequência da microlinha de acesso. As baixas perdas de inserção obtidas até esta frequência, menores do que 0.5 dB e o bom desempenho obtido em termos de perda de retorno, inferior a 20 dB, permitem concluir que este tipo de cápsula é adequada ao encapsulamento de circuitos monolíticos de microondas.

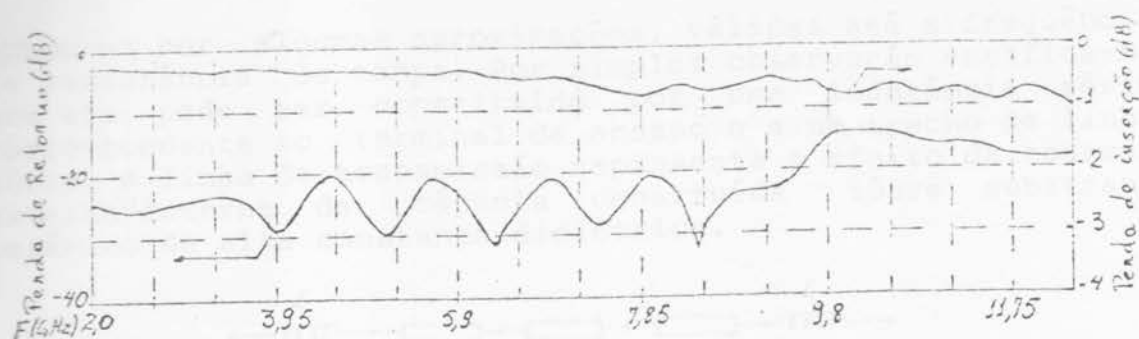


Fig 4 - Resultados experimentais da capsula TO-5.

### 3 - CAPSULA "DUAL-IN LINE" CERÂMICA

A cápsula de 14 pinos é uma das mais populares, pode acomodar um "chip" de até  $6 \times 3 \text{ mm}^2$ , e sua representação se encontra na figura 5. Como se verifica, ela é constituída de uma base metálica que pode ser soldada diretamente no plano terra, e de uma tampa metálica.

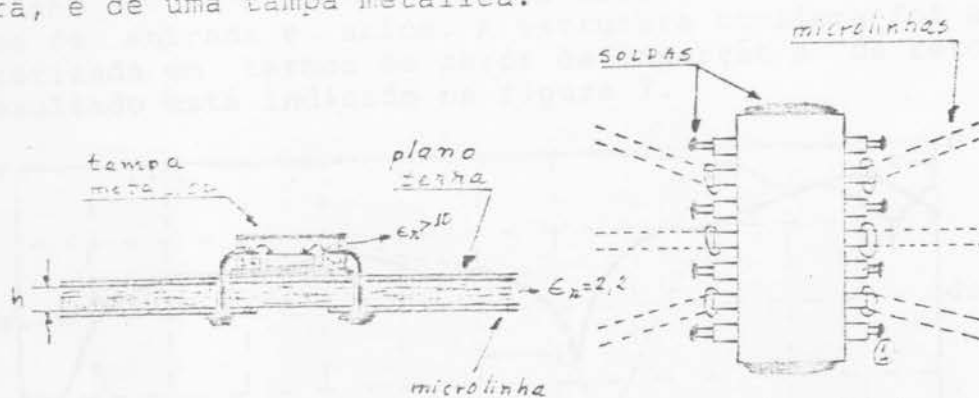


Fig 5 - Cápsula cerâmica montada em microlinha de transmissão.

Pela própria estrutura da cápsula, as condições de ressonância são extremamente complexas. Por exemplo, considerando-se os pinos 4 e 11, acessos de entrada e saída respectivamente de RF, os pinos adjacentes se comportam como trechos de linhas de transmissão ressonantes. Portanto, para minimizar seu efeito, eles devem ser aterrados externamente no plano terra e internamente na placa base. A tampa metálica superior constitui-se em outro circuito ressonante, cujo aterramento não é evidente, exigindo uma montagem mecânica muito complexa. No caso de tampa não aterrada, verifica-se que ela constitui um circuito ressonante em 8,33 GHz, considerando que o dielétrico na parte superior é ar.

O circuito elétrico equivalente, representado na figura 6, também é complexo de modo que para seu modelamento,

optou-se por algumas aproximações, válidas até a frequência de ressonância da tampa. Por simples observação verifica-se que ele pode ser constituído por uma indutância série correspondente ao terminal de acesso e a um trecho de linha série. A linha de transmissão representa o efeito da conexão externa/interna da cápsula construída sobre substrato cerâmico de alta constante dielétrica.

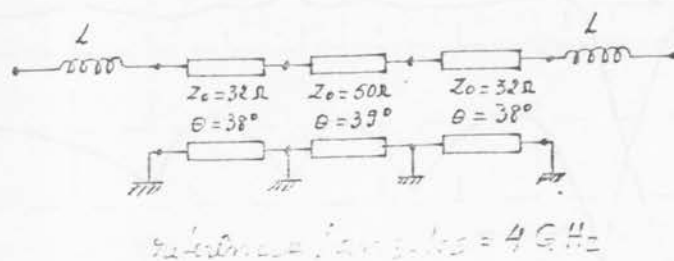


Fig 6 - Circuito equivalente da cápsula cerâmica.

A sua caracterização foi realizada inserindo-se uma microlinha de 50 Ohms construída sobre alumina, entre os acessos de entrada e saída. A estrutura completa foi então caracterizada em termos de perda de inserção e de retorno, e o resultado está indicado na figura 7.

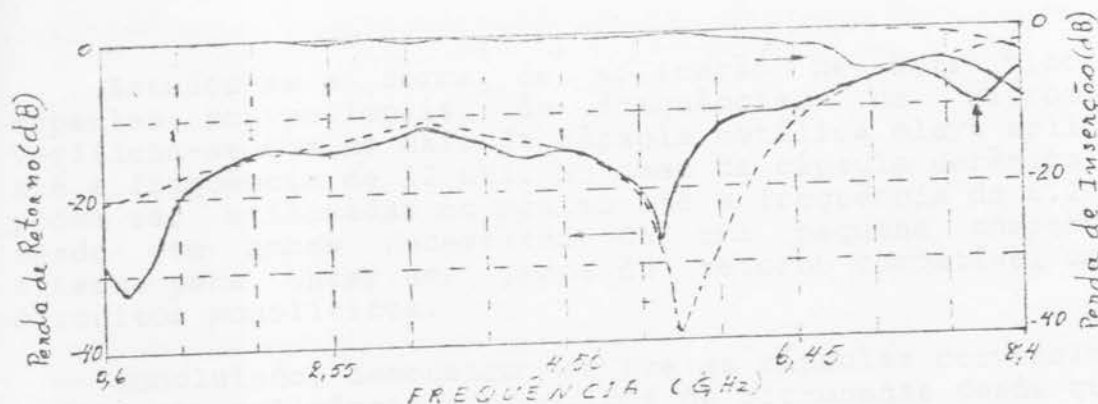


Fig 7 - Caracterização da cápsula cerâmica.

(—) Resultados experimentais  
(-- --) Simulação teórica

Na mesma figura encontra-se o resultado da simulação considerando uma indutância de  $-0.4 \text{ nH}$  e um trecho de linha série de  $32 \text{ Ohms}$  de impedância característica e  $38^\circ$  de comprimento elétrico na frequência de  $4 \text{ GHz}$ . Verifica-se uma boa concordância entre ambos os resultados. O efeito da ressonância da tampa se faz sentir por uma forte perda de inserção introduzida em  $2,2 \text{ GHz}$  e não prevista pelo modelo. Estes resultados permitem concluir que este tipo de encapsulamento é utilizável até frequências da ordem de  $6 \text{ GHz}$ , desde que se efetue uma compensação para melhorar a



perda de retorno. Verificou-se que a introdução de um transformador de  $90^\circ$  em 4 GHz e impedância característica de 42 Ohms, é suficiente para obter uma perda de retorno de 20 dB até a frequência de 6,2 GHz, conforme se observa no diagrama da figura 8.

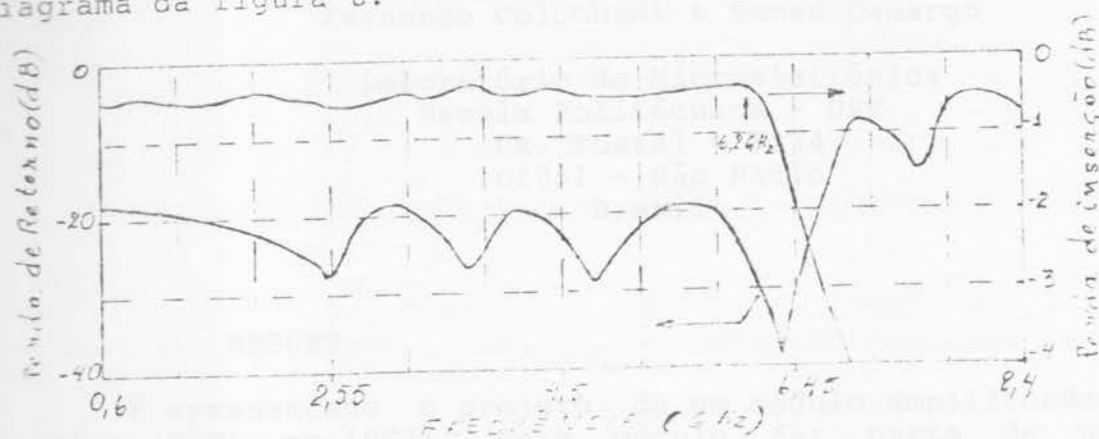


Fig 8 - Resultados experimentais/Cápsula cerâmica compensada.

#### 4 - CONCLUSÕES

Estudou-se a forma de aplicação de dois tipos de cápsulas convencionais às frequências de microondas. Verificou-se que no caso da cápsula metálica ela é aplicável até a frequência de 12 GHz. No caso da cápsula cerâmica elas podem ser utilizadas no máximo até a frequência de 6,2 GHz, sendo que ambas necessitam de uma pequena compensação externa para obter uma perda de retorno compatível com os circuitos monolíticos.

Concluindo, demonstrou-se que as cápsulas convencionais podem ser aplicáveis a circuitos de microondas desde que as montagens e compensações de impedância sejam adequadas. Este primeiro estudo deverá servir de base para a caracterização de outros tipos de encapsulamentos e mesmo fornecer subsídios para o projeto e realização de cápsulas no Brasil.

#### AGRADECIMENTOS

Agradece-se a colaboração de Jair Pereira de Souza nas etapas de montagem e caracterização dos circuitos. Este trabalho foi realizado com o suporte financeiro do CPqD da TELEBRAS.