

## Projeto, análise e qualificação de um filtro helicoidal para utilização no subsistema de coleta de dados ambientais - DCS

Sergio Roberto Scocato Teixeira Junior <sup>1</sup>

Ivan Tosetto <sup>1</sup>

Lúcio Cividanes <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil

scocato@dea.inpe.br

ivan@dea.inpe.br

lucio@dea.inpe.br

**Abstract.** This paper presents the design, performance simulations, environmental testing and the experimental results of a helical filter designed for use in the Data Collection Subsystem (DCS) of remote sensing satellites. It is described the design technique, the mechanical details of the filter and the simulation results obtained using the software ADS (equivalent circuit analysis) and HFSS (electromagnetic simulator). The filter was submitted to vibration and thermal vacuum testing, and the results of the filter curves measured in a Vector Network Analyzer (VNA) prove the good performance of the prototype.

**Palavras-chave:** Subsistema de Coleta de Dados, qualificação, ressonador helicoidal, testes ambientais.

### 1. Introdução

O Subsistema de Coleta de Dados – DCS é um subsistema parte integrante dos satélites SCD1, SCD2 (Satélites de Coleta de Dados) e dos satélites que compõem o programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. A principal função deste subsistema é receber das plataformas de coleta de dados (PCD), espalhadas pelo território nacional, dados ambientais tais como: umidade, pressão, temperatura, direção e velocidade do vento, etc. Estes dados são retransmitidos às estações terrenas de Cuiabá e Alcântara que os enviam ao Centro de Cachoeira Paulista para processamento e disponibilização aos usuários, conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1 – Sistema de Coleta de Dados via satélite

O objetivo deste trabalho é apresentar o projeto, as simulações e os resultados dos testes ambientais realizados no filtro passa-faixa 401,635 MHz que deverá fazer parte do subsistema. Este dispositivo tem sido objeto de embargo por parte dos governos dos países exportadores deste tipo de filtro. Tal tecnologia foi considerada estratégica, o que motivou a realização deste trabalho.

## 2. Principais características

As principais características do filtro helicoidal necessário à aplicação no Subsistema de Coleta de Dados são apresentadas abaixo:

- Frequência Central: 401,635 MHz
- Perda por Inserção (S21) :  $\leq 1$  dB
- Faixa de Passagem de 3dB: 15 MHz
- Impedância de Entrada e Saída: 50 Ohms
- Perda de Retorno:  $\leq -14$  dB
- Atenuação em 462,5 MHz:  $\geq 45$  dB
- Atenuação em 354 MHz:  $\geq 25$  dB
- Faixa de temperatura:  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $+55^{\circ}\text{C}$
- Massa:  $\leq 600$  gramas
- Dimensões externas (LxWxH): 81x35x76 mm

## 3. Projeto

O ressonador helicoidal é similar ao ressonador coaxial de um quarto de onda, diferenciando-se pelo condutor em forma de helicóide no seu interior, Zverev (1967), podendo ser utilizado para frequências de 10 MHz até 1,5 GHz, alcançando fator de qualidade da ordem de 200 a 5000, o que resulta em filtros passa-faixa estreitos, Palma (2005).

Este tipo de filtro pode ser construído com a seção da cavidade no formato circular ou quadrado, Vizmuller (1987). Para o projeto descrito no presente trabalho, optou-se pela cavidade quadrada, a qual é mais fácil de ser fabricada.

Na Figura 2 abaixo é mostrado os valores dos helicóides e das dimensões das diversas partes do filtro.

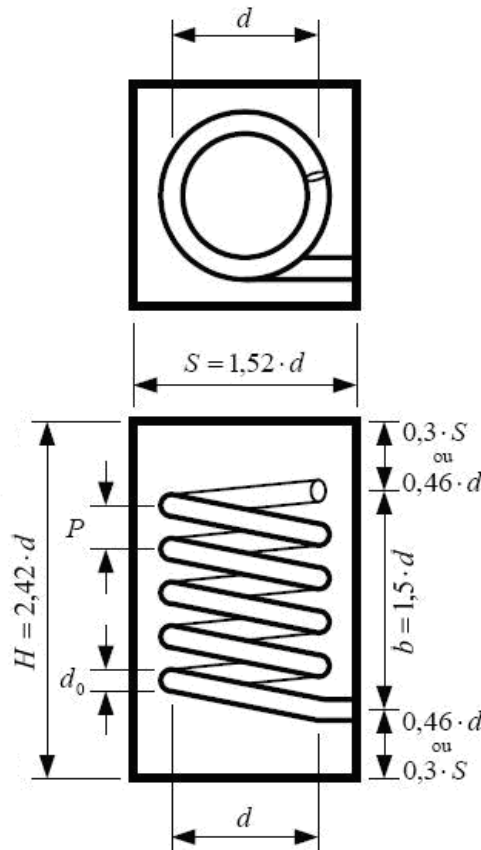


Figura 2 – Ressonador helicoidal com cavidade quadrada

Baseado nos parâmetros da Figura 2 e nos cálculos do projeto, Palma (2005), apresenta-se a seguir as dimensões do filtro que atendem as características necessárias à aplicação no DCS:

- Número de ressonadores helicoidais (bobinas) = 3;
- Largura interna da cavidade (S) = 23 mm;
- Altura interna da cavidade (H) = 36,6 mm;
- Comprimento axial da helicóide (b) = 22,8 mm
- Diâmetro médio da helicóide (d) = 15,2 mm
- Número de voltas do enrolamento da helicóide (N) = 4,37 voltas
- Passo do enrolamento (P) = 5,21 mm
- Diâmetro do fio da helicóide ( $d_0$ ) = 2,6 mm
- Ângulo geométrico de acoplamento ( $\alpha_{tap}$ ) = 71 graus

### 3.1. Simulação do comportamento elétrico do filtro

Foi realizada uma simulação do circuito equivalente do filtro, Figura 3, que segue o modelo do circuito proposto por Palma (2005). A simulação foi realizada com o *software* ADS - *Advanced Design System*.

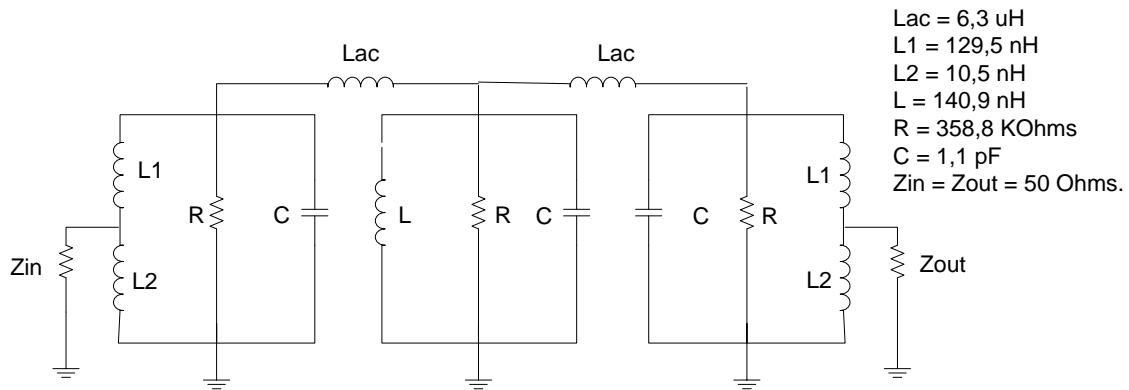


Figura 3 – Circuito equivalente do filtro helicoidal em 401, 635 MHz

O resultado obtido da simulação está apresentado na Figura 4. Pode-se observar que o circuito equivalente do filtro satisfaz as principais especificações requeridas, pois os valores dos marcos m1 (S21), m2 (S11), m3 (atenuação em 354 MHz) e m4 (atenuação em 462,5 MHz) são respectivamente: -0,55 dB; -54 dB; -52 dB e -61 dB.

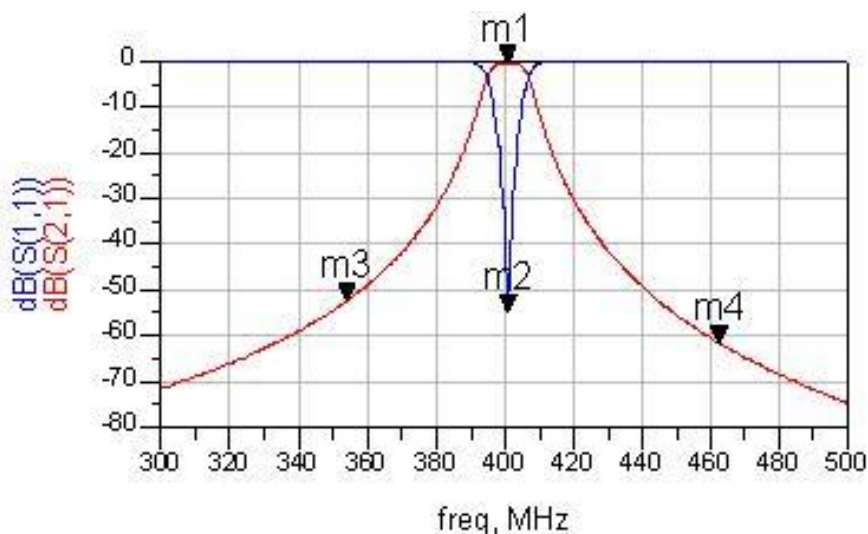


Figura 4 – Simulação do circuito equivalente do filtro helicoidal obtida com o software ADS

### 3.2. Simulação eletromagnética do filtro

Com os valores iniciais do projeto e com o *software* HFSS, partiu-se para a realização de uma simulação eletromagnética do filtro. O objetivo era verificar se os valores de projeto estavam adequados, orientando dessa maneira a fabricação e ajuste do filtro. O resultado da simulação do modelo apresentado na Figura 5 é mostrado na Figura 6. Com a simulação eletromagnética foi possível obter dimensões otimizadas da estrutura física do filtro.

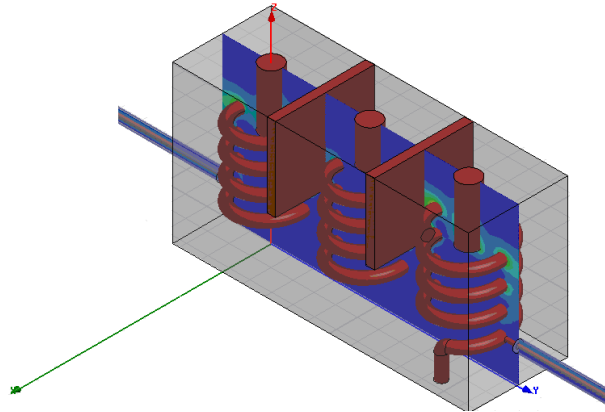


Figura 5 – Modelo 3D para simulação eletromagnética realizada com o software HFSS

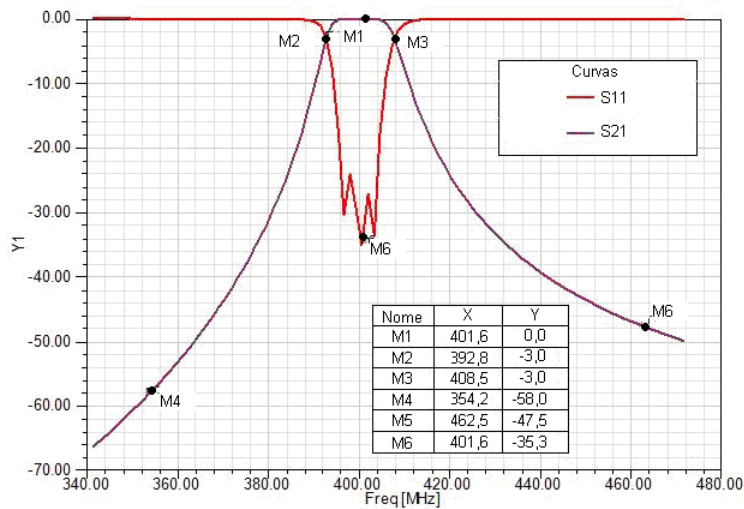


Figura 6 – Simulação no software HFSS dos parâmetros S do modelo 3D do filtro helicoidal em 401,635 MHz

### 4. Construção do filtro

Baseado nos resultados das simulações e nos valores calculados foi montado o protótipo apresentado na Figura 7. O alumínio foi a matéria prima escolhida para fabricação da estrutura do filtro por se tratar de um material amplamente utilizado em equipamentos para aplicações espaciais, pois apresenta massa reduzida e boa condutividade elétrica.

As helicóides, fabricadas com fio de cobre esmaltado AWG 10, foram soldadas em uma base de latão estanhada. Na entrada e saída foram utilizados conectores SMA de 50 Ohms. Os parafusos utilizados na sintonia foram especialmente usinados em latão, com diâmetro de 5 mm (M5) e rosca métrica fina.

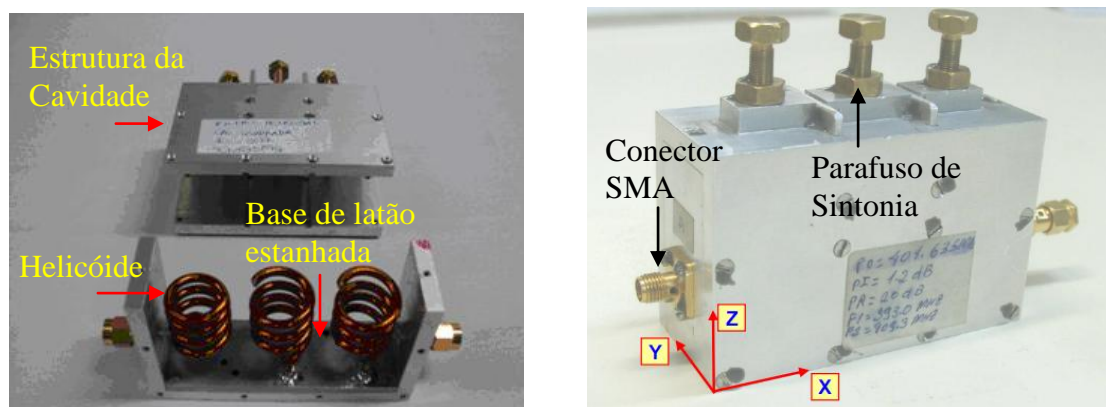


Figura 7 – Protótipo do filtro helicoidal em 401,635 MHz

Na Tabela 1 são apresentadas, para efeito de comparação, as dimensões do filtro helicoidal segundo o projeto calculado, a simulação e as dimensões finais obtidas no protótipo ajustado.

Tabela 1 – Dimensões do filtro helicoidal segundo cálculo, simulação e protótipo ajustado

Dimensões Avaliadas	Cálculo	Simulação HFSS	Protótipo ajustado
Largura interna da cavidade (S)	23 mm	23 mm	23 mm
Altura da cavidade (H)	36,6 mm	36,6 mm	36,6 mm
Comprimento axial da helicóide (b)	22,8 mm	20,28 mm	19,24 mm
Diâmetro médio da helicóide (d)	15,2 mm	15,2 mm	15,2 mm
Número de voltas do enrolamento da helicóide (N)	4,37	3,9	3,7
Passo do enrolamento (P)	5,2 mm	5,2 mm	5,2 mm
Diâmetro do fio da helicóide ( $d_0$ )	2,6 mm	2,6 mm	2,6 mm
Ângulo geométrico de acoplamento ( $\alpha_{tap}$ )	71 graus	71 graus	71 graus

Comparando os valores apresentados na Tabela 1, conclui-se que a metodologia empregada esta adequada.

## 5. Testes realizados

Após montagem do filtro, o mesmo foi submetido a testes elétricos em bancada e aos testes ambientais: termovácuo e vibração, realizados conforme as especificações do documento “CBERS 3&4 Environmental Specification”, Leite et al. (2005).

### 5.1. Teste de vibração

O teste de vibração foi realizado de acordo com os níveis especificados nas Tabelas 2 e 3.

A montagem do filtro na mesa de vibração foi feita conforme apresentado na Figura 8. Os acelerômetros ACE 01 e AZ01 são utilizados respectivamente para controle do nível de aceleração aplicado à base da mesa de vibração e para medição do nível de vibração que atinge o protótipo.

Tabela 2 – Vibração Senoidal – Níveis de Qualificação

<b>Vibração senoidal – níveis de qualificação</b>		
<b>Eixos</b>	<b>Faixa de frequência (Hz)</b>	<b>Aceleração/amplitude Zero-a-pico (g) / (mm)</b>
X, Y, Z	10 – 20	6.25 mm
	20 – 40	10.0g
	40 – 70	12.0g
	70 – 100	10.0g

Tabela 3 – Vibração Aleatória – Níveis de Qualificação

<b>Vibração aleatória – níveis de qualificação</b>	
<b>Faixa de frequência (Hz)</b>	<b>“Spectral density” (g<sup>2</sup>/Hz)</b>
10-100	+3 dB/oct.
100-600	0.2g <sup>2</sup> /Hz
600-2000	-9 dB/oct.
Aceleração rms	12,81 g <sub>rms</sub>
Duração	2 min.
Direção	X, Y, Z

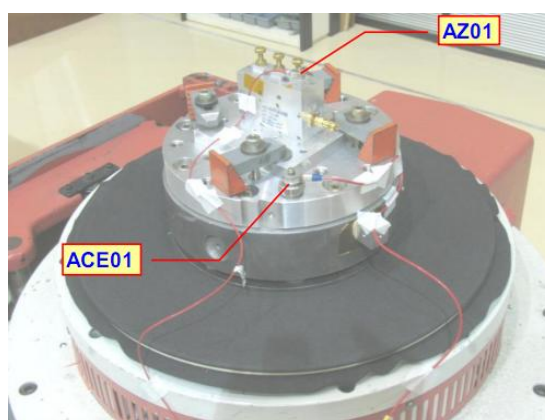


Figura 8 – Filtro montado no shaker para teste de vibração

## 5.2. Teste de termovácuo

Para o teste de termovácuo utilizou-se dos critérios estabelecidos no documento “CBERS 3&4 Environmental Specification”, Leite et al. (2005), como apresentado na Tabela 4.

A Figura 9 mostra a montagem do filtro dentro da câmara de vácuo.



Tabela 4 – Especificação de teste de termovácuo realizado no filtro

Temperatura de teste	Mínima: -20°C	Máxima: +55°C
Pressão	$\leq 1,33 \times 10^{-3}$ Pa	
Número de ciclos	Mínimo 3	
Tempo em cada temperatura extrema	12 horas	

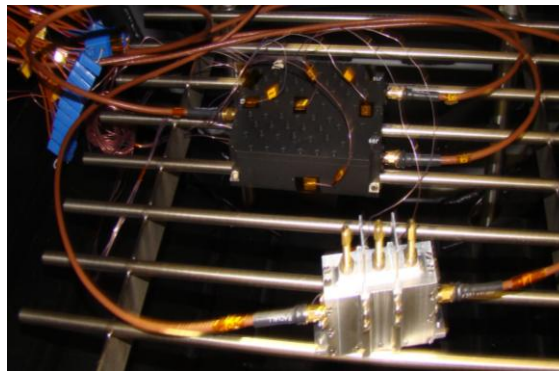


Figura 9 – Filtro dentro da câmara de vácuo

## 6. Resultados obtidos

As Figuras 10 (a) e 10 (b) abaixo mostram a curva experimental, medida no Analisador de Redes da Agilent modelo E8346B, do filtro em 401,635 MHz após o teste de vibração e após o teste de termovácuo. A Figura 11 mostra, para efeito de comparação, a curva realizada em bancada antes dos testes ambientais. Pode-se observar que praticamente não houve nenhuma alteração nas curvas do filtro após os testes, o que comprova o bom desempenho do dispositivo.

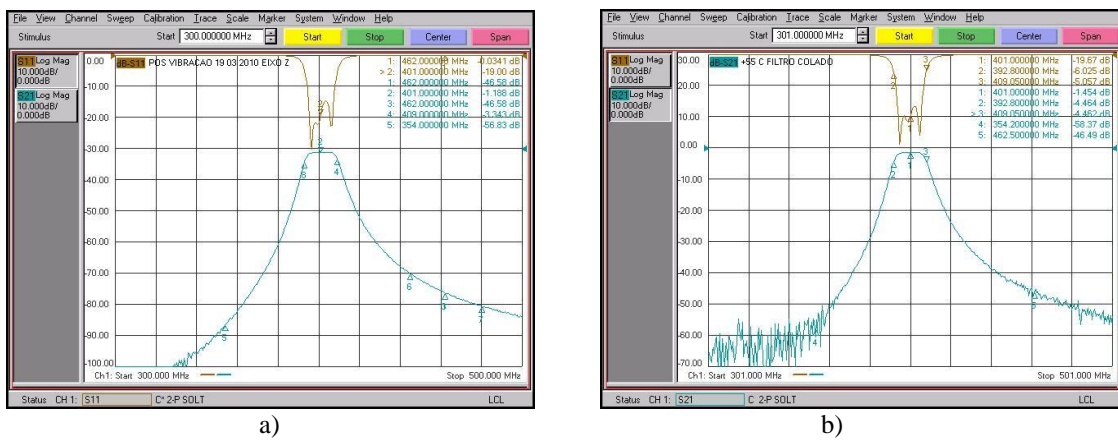


Figura 10 - (a) Curva do filtro após teste de vibração; (b) Curva do filtro após teste de termovácuo

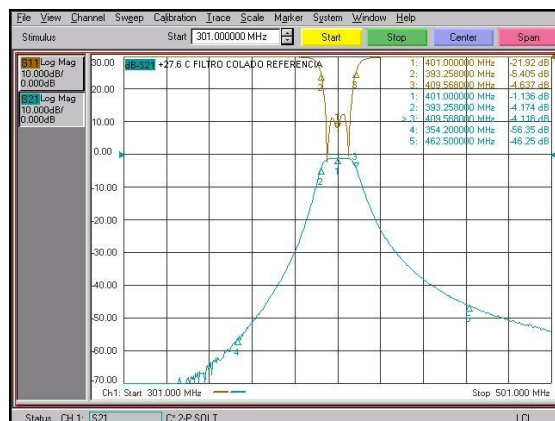


Figura 11 – Curva do filtro em bancada antes dos testes ambientais

## 7. Conclusões

De acordo com os resultados obtidos pode-se verificar que a resposta do filtro está dentro das características necessárias para aplicação no Subsistema DCS.

O grande avanço no projeto e construção deste filtro foi adquirir conhecimento na área de qualificação de filtro mecânico em UHF para uso espacial, comprovando-se a viabilidade do mesmo poder integrar um Subsistema de Coleta de Dados embarcado em satélites de sensoriamento remoto.

Como continuação deste trabalho, um novo protótipo será construído levando-se em conta alívio de massa, e inserção de nervuras para maior rigidez e melhor fixação das placas de ajuste.

## 8. Referências Bibliográficas

Advanced Design System (ADS) versão 2009. Agilent Corporation USA. Material de divulgação disponível em: < <http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsx?nid=-34346.0.00&cc=US&lc=eng> >. Acesso em: outubro 2010.

HFSS™ versão 11.1.3. Ansoft Corporation USA. Material de divulgação disponível em: < [www.ansoft.com/products/hf/hfss/](http://www.ansoft.com/products/hf/hfss/) >. Acesso em: outubro 2010.

Leite, R, et al., **CBERS 3&4 Environmental Specification**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2005. (RB-EVS-0001/02).

Palma, D. P. Uma Nova Abordagem para o Projeto e Simulação Numérica de Comportamento de Filtros Helicoidais na Faixa de VHF. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí. 2005.

Vizmuller, P., **Filters with helical and folded helical resonators**. Norwood, MA: Artech House.1987. 105 p.

Zverev, A. I. **Handbook of Filter Synthesis**. New York, NY: John Wiley. 1967. cap. 09, p. 499-521.