

# PERFORMANCES DA FABRICAÇÃO DE REDE DE BRAGG DE PERÍODO LONGO (LPG) EM FIBRA ÓPTICA MONOMODO (SM) GRAVADA COM ARCO-ELÉTRICO

**Rafael Serafim Zoéga Belmont**  
Universidade Católica de Petrópolis  
[rafael\\_szbelmont@hotmail.com](mailto:rafael_szbelmont@hotmail.com)

**Maria Cristina Quesnel**  
Universidade Católica de Petrópolis  
[cristina.quesnel@ucp.br](mailto:cristina.quesnel@ucp.br)

**Alexandre Bessa dos Santos**  
Universidade Católica de Petrópolis  
[alexandre.b.santos@ucp.br](mailto:alexandre.b.santos@ucp.br)

## RESUMO

Este artigo descreve sobre performances da fabricação de rede de Bragg de período longo, LPG (Long Period Grating), em fibras ópticas monomodo (SM – Single Mode). A pesquisa está sendo realizada com o objetivo de se utilizar as LPGs obtidas por arco elétrico como filtros em sistemas de amplificação Raman e também como sensores de temperatura. As gravações das LPGs são realizadas no laboratório de telecomunicações da UCP. Apresenta-se neste texto resultados de caracterizações de quatro LPGs com periodicidade de 585  $\mu\text{m}$  e com 25 a 40 marcações. Estas caracterizações comprovam a necessidade de se padronizar os procedimentos de fabricação de LPGs por arco elétrico.

**Palavras-chave:** *Fibras ópticas, Redes de Bragg, Redes de período longo, Amplificadores Raman, Filtros ópticos, Sensores ópticos.*

## 1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais os componentes ópticos estão presentes no nosso dia a dia. Como exemplos existem os dispositivos de armazenamento ópticos, as memórias ópticas, os multiplexadores ópticos, os processadores ópticos e muitos outros dispositivos lógicos ópticos. Na área das telecomunicações as redes de fibra óptica de banda larga são acopladas na maioria a dispositivos ópticos e já existem comutadores, roteadores e multiplexadores ópticos.

Observa-se que a óptica está presente em várias áreas tecnológicas tais como medicina, telecomunicações, indústrias, controle e automação, decoração, segurança, etc..

As LPGs (Long Period Grating ou Long Period Fiber Grating) são dispositivos que podem ser utilizados em diversas áreas mencionadas no parágrafo anterior e por isso têm sido motivo de diversas pesquisas.

Os primeiros artigos referentes as pesquisas iniciais de LPGs (MARCUSE, 1991) (YARIV, 1973) fazem referência as estruturas modeladas pela teoria dos modos acoplados que são definidas como estruturas periódicas (com período típico de centenas de  $\mu\text{m}$ ) numa fibra óptica que acopla o modo guiado fundamental aos modos de casca. Uma vez que o acoplamento dos modos é seletivo em comprimento de onda (VENGSARKAR et al., 1996), a rede periódica age como um elemento de perda dependente deste comprimento de onda. Os comprimentos de onda de ressonância das LPGs são dados pela condição de casamento de fase (MELTZ et al., 1989).

As LPGs podem ser fabricadas por diferentes métodos: fabricação por foto gravação (laser UV); fabricação por processo químico (implantação de íons); fabricação por mudanças micro e macroscópicas da fibra óptica (processo que utiliza o arco elétrico ou o laser CO<sub>2</sub>); fabricação por mudanças macroscópicas aplicadas a fibra óptica (pressão mecânica).

Neste artigo faz-se referência as performances de fabricação de LPGs pelo processo de mudanças micro e macroscópicas da fibra óptica obtidas por arco-elétrico.

## 2. GRAVAÇÕES DAS LPGs

As gravações das redes de Bragg de período longo (LPG) nas fibras ópticas SM através de arco-elétrico são realizadas numa máquina de emenda de fibras, antiga, convenientemente adaptada, descrita em (GOMES et al., 2007). Estas gravações são feitas no Laboratório de Telecomunicações da UCP.

A máquina utilizada antes da adaptação é de fabricação da SIEVERTS ERICSSON e modelo FSU 830. A “Figura 1” apresenta a diagrama esquemático do sistema utilizado para gravação das LPGs.

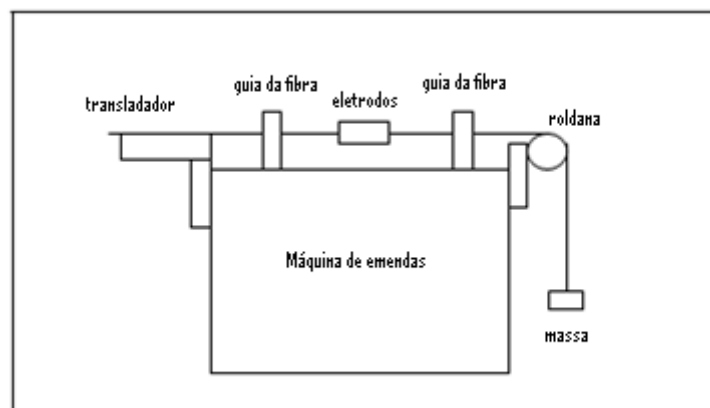


Figura 1 – Máquina para emenda de fibras adaptada para fabricação de LPGs.

O sistema é composto por um transladador onde se fixa a fibra para possibilitar os passos periódicos. A fibra é desencapada em certo trecho de modo que este trecho desencapado fique entre os eletrodos da máquina.

Depois de desencapada a fibra é então posicionada nas bases guias de modo a manter a fibra o mais esticada possível. A fibra passa então por uma roldana para evitar grandes curvaturas e então é fixada uma massa de aproximadamente 16g para garantir uma tensão longitudinal de forma a não alterar o processo de gravação. O processo de gravação ocorre após o posicionamento da fibra onde é disparado um primeiro arco elétrico, a fibra então é transladada de seu período e outro arco elétrico é disparado, repetindo este processo certo número de vezes até se formar a rede pretendida.

### 3. ESTRUTURA EXPERIMENTAL DA CARACTERIZAÇÃO

A caracterização óptica da LPG consiste basicamente em injetar luz de espectro largo proveniente de uma fonte na faixa de 1500 nm na fibra óptica conectada a LPG gravada e obter-se o espectro utilizando um analisador de espectro óptico (OSA - *Optical Spectrum Analyzer*).

A “Figura 2” descreve o esquema do circuito óptico para caracterização das LPGs.

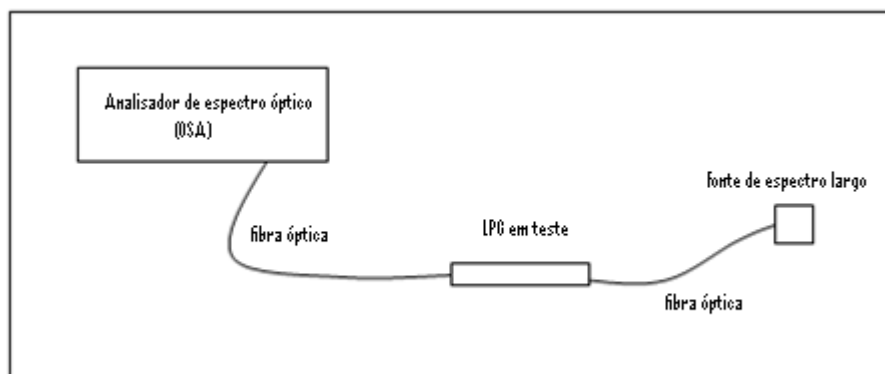


Figura 2 – Diagrama esquemático para caracterização das LPGs.

Para a caracterização a metodologia utilizada consiste em montar o circuito óptico, porém sem a conexão com a LPG, e verificar no OSA o espectro de irradiação da fonte comparado com o nível de ruído, este espectro é gravado no OSA. Após esta verificação conecta-se a LPG ao circuito óptico e obtém-se o espectro de irradiação com a LPG no circuito e grava-se a informação no OSA. No final faz-se uma subtração dos espectros da fonte irradiando sem o LPG no circuito e da fonte irradiando com o LPG no circuito no próprio OS para se obter o espectro normalizado da LPG

### 4. RESULTADOS OBTIDOS APÓS CARACTERIZAÇÃO

Os resultados apresentados neste artigo são de gravações em fibra óptica monomodo ou SM com corrente de arco-elétrico de 13 mA e com duração de 0,5 s e massa de 16 g. As LPGs caracterizadas para este artigo têm periodicidade de 585  $\mu\text{m}$ . A “Tabela 1” correlaciona as condições do processo de fabricação com os dados aproximado do comprimento de onda máximo obtido na caracterização de cada LPG.

Tabela 1 – Dados das LPGs fabricadas com arco elétrico.

Dados das LPGs fabricadas com corrente de arco elétrico de 13 mA e duração do arco elétrico de 0,5 s e massa de 16 g.		
Nº de marcações	Periodicidade ( $\mu\text{m}$ )	Comprimento de onda máximo de ressonância $\lambda_{\text{max}}$ (nm)
25	585	1540
30	585	Não foi possível observar
35	585	1565
40	585	1585

A “Figura 3” apresenta o espectro da fonte e da LPG com 25 marcações (sinal de transmissão da fonte sem LPG (A) e o sinal de transmissão da fonte com LPG (B)).

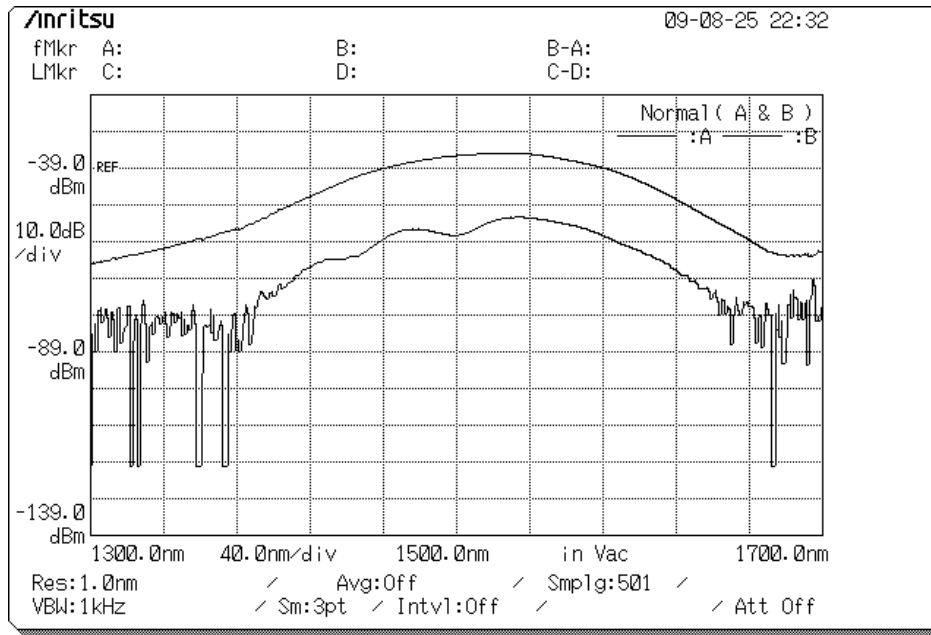


Figura 3 – Espectro da fonte e da LPG com 25 marcações (sinal de transmissão da fonte sem LPG (A) e o sinal de transmissão da fonte com LPG (B)).

A “Figura 4” apresenta o espectro normalizado da LPG com 25 marcações (sinal de transmissão da fonte passando pela LPG menos o sinal de transmissão da fonte sem LPG). A fibra estava esticada.

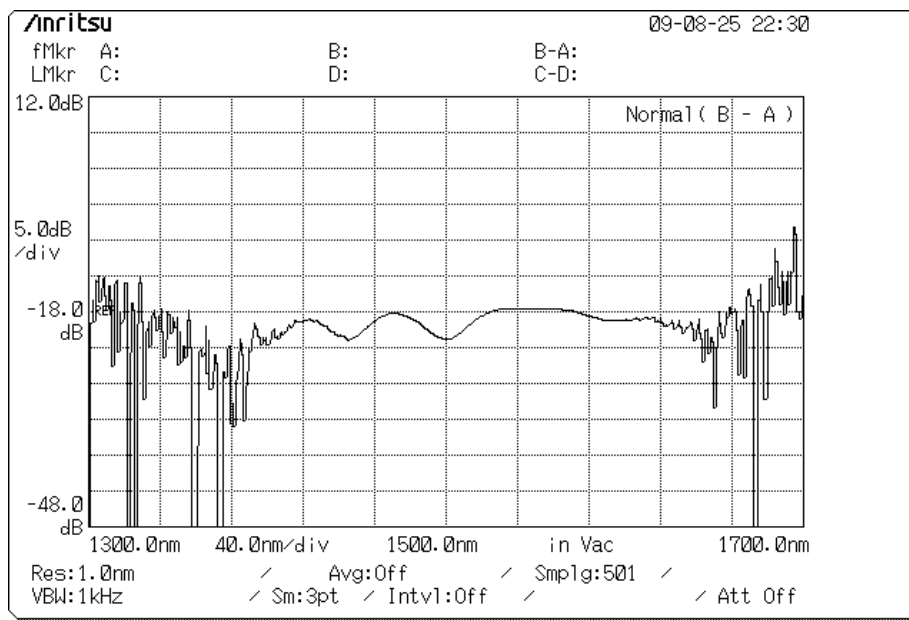


Figura 4 – Espectro normalizado da LPG com 25 marcações (sinal de transmissão da fonte passando pela LPG menos o sinal de transmissão da fonte sem LPG). A fibra estava esticada.

A “Figura 5” apresenta o espectro da fonte e da LPG com 30 marcações (sinal de transmissão da fonte sem LPG (A) e o sinal de transmissão da fonte com LPG (B)).

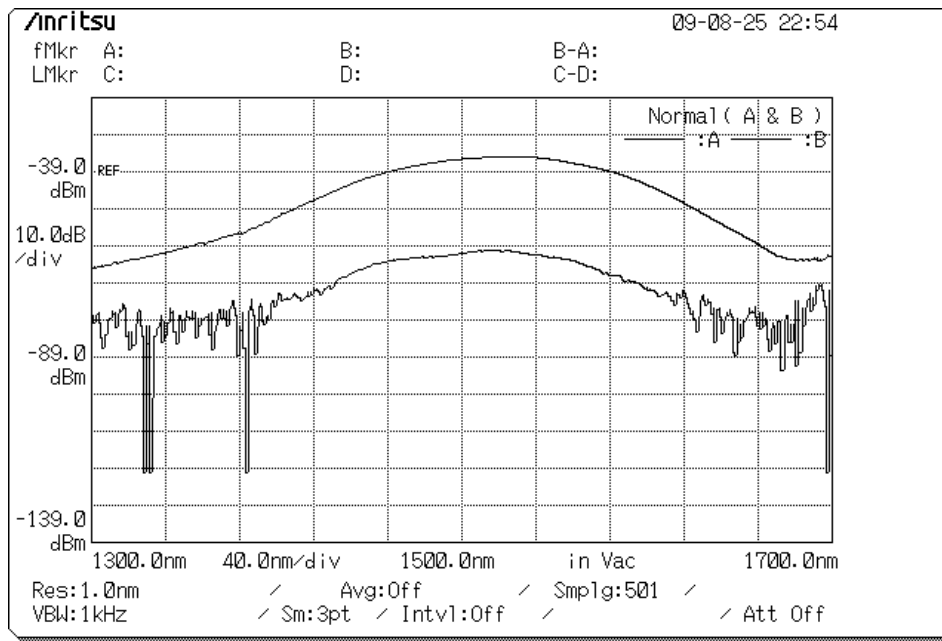


Figura 5 – Espectro da fonte e da LPG com 30 marcações (sinal de transmissão da fonte sem LPG (A) e o sinal de transmissão da fonte com LPG (B)).

A “Figura 6” apresenta o espectro normalizado da LPG com 30 marcações (sinal de transmissão da fonte passando pela LPG menos o sinal de transmissão da fonte sem LPG). A fibra estava esticada.

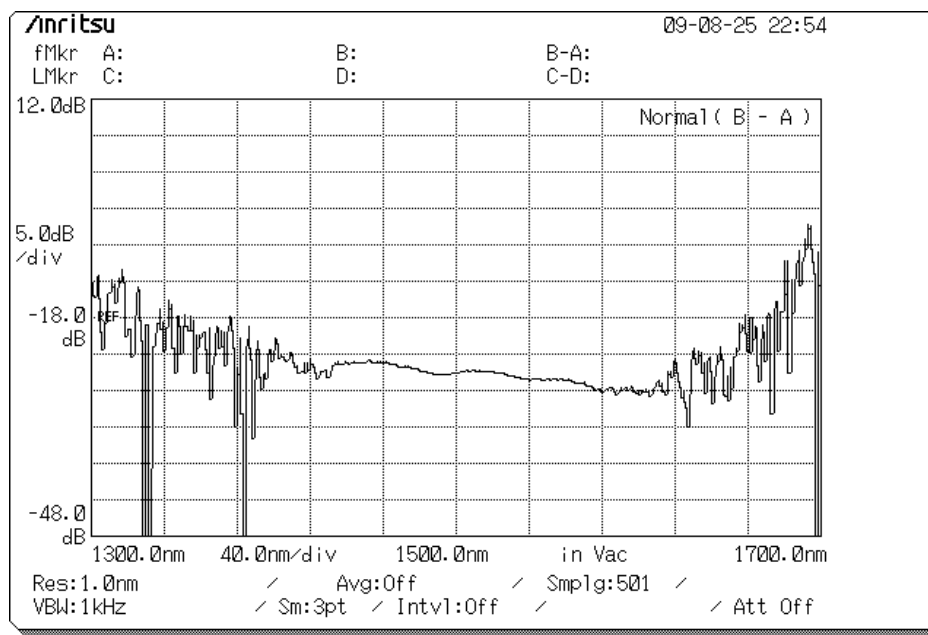


Figura 6 – Espectro normalizado da LPG com 30 marcações (sinal de transmissão da fonte passando pela LPG menos o sinal de transmissão da fonte sem LPG). A fibra estava esticada.

A “Figura 7” apresenta o espectro da fonte e da LPG com 35 marcações (sinal de transmissão da fonte sem LPG (A) e o sinal de transmissão da fonte com LPG (B)).

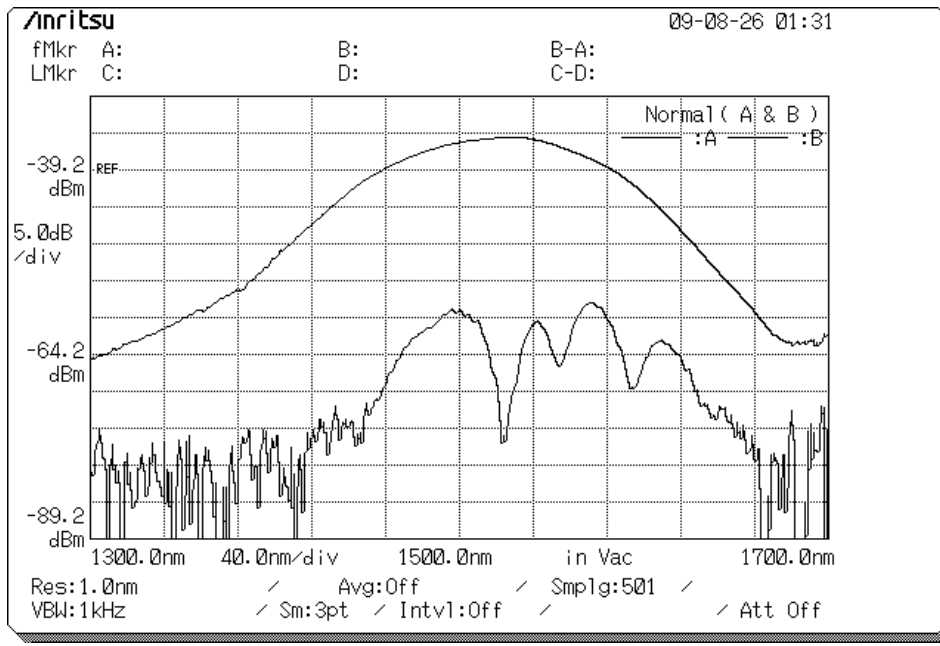


Figura 7 – Espectro da fonte e da LPG com 35 marcações (sinal de transmissão da fonte sem LPG (A) e o sinal de transmissão da fonte com LPG (B)).

A “Figura 8” apresenta o espectro normalizado da LPG com 35 marcações (sinal de transmissão da fonte passando pela LPG menos o sinal de transmissão da fonte sem LPG). A fibra estava esticada.

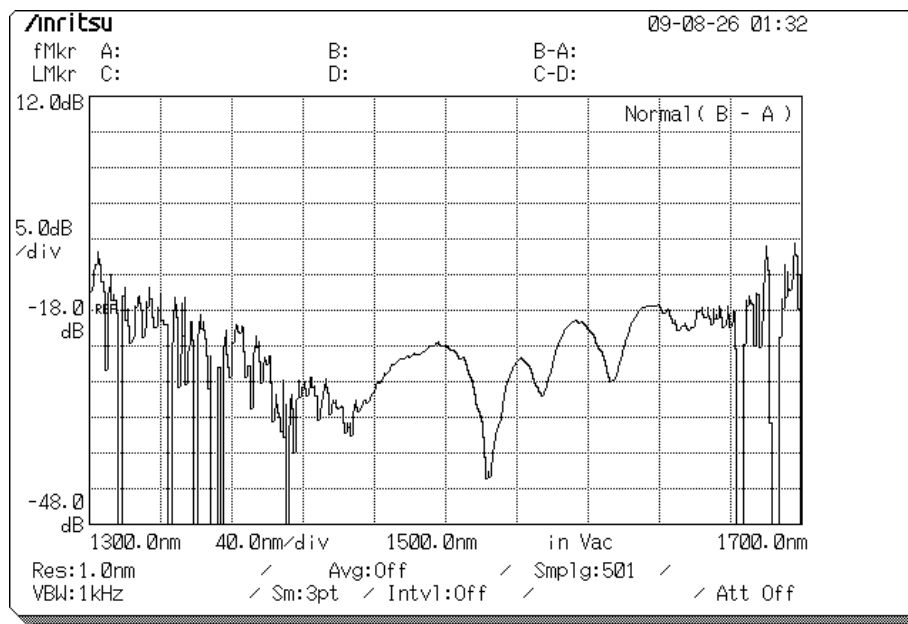


Figura 8 – Espectro normalizado da LPG com 35 marcações (sinal de transmissão da fonte passando pela LPG menos o sinal de transmissão da fonte sem LPG). A fibra estava esticada.

A “Figura 9” apresenta o espectro da fonte e da LPG com 40 marcações (sinal de transmissão da fonte sem LPG (A) e o sinal de transmissão da fonte com LPG (B)).

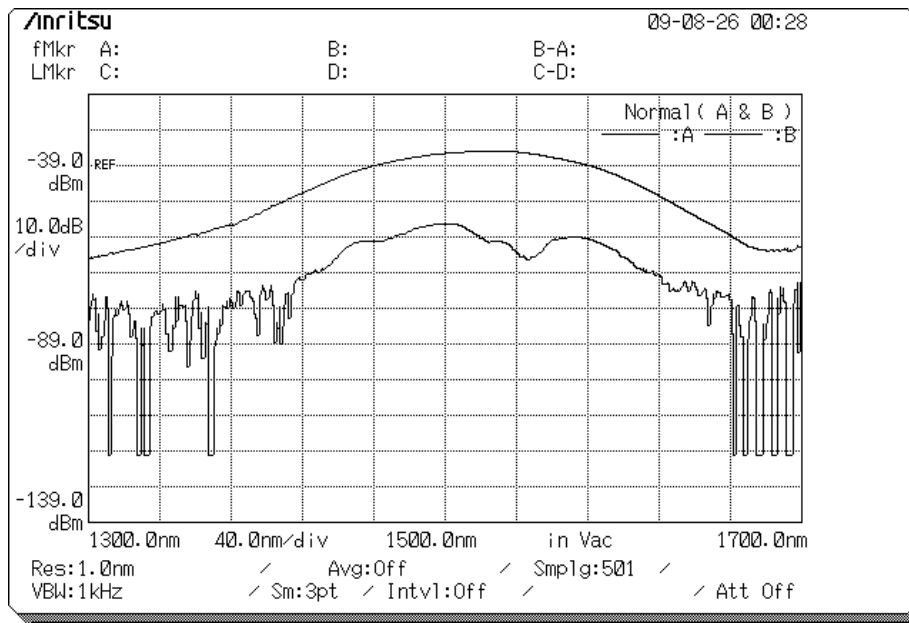


Figura 9 – Espectro da fonte e da LPG com 40 marcações (sinal de transmissão da fonte sem LPG (A) e o sinal de transmissão da fonte com LPG (B)).

A “Figura 10” apresenta o espectro normalizado da LPG com 40 marcações (sinal de transmissão da fonte passando pela LPG menos o sinal de transmissão da fonte sem LPG). A fibra estava esticada.

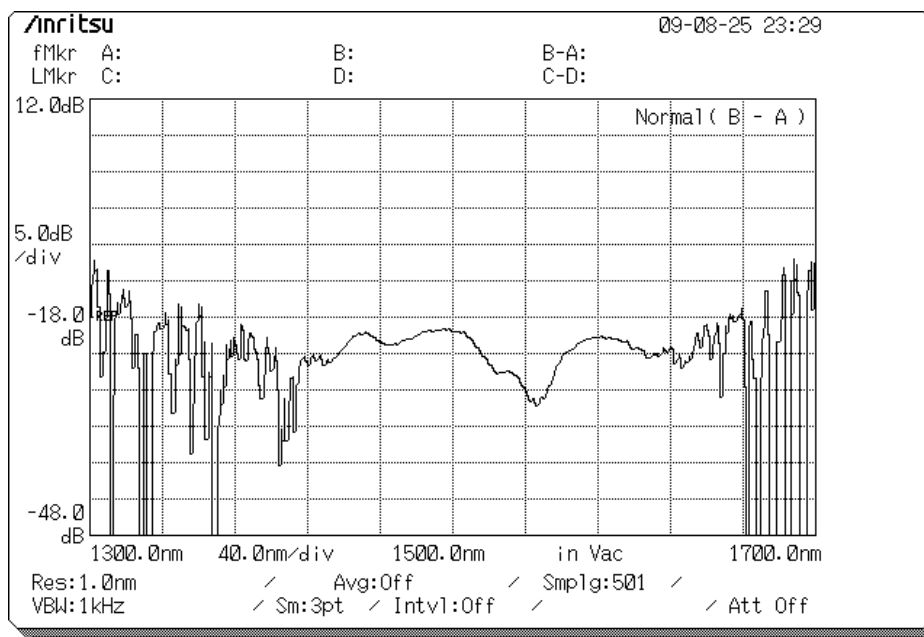


Figura 10 – Espectro normalizado da LPG com 40 marcações (sinal de transmissão da fonte passando pela LPG menos o sinal de transmissão da fonte sem LPG). A fibra estava esticada.

## 5. PERFORMANCES DA FABRICAÇÃO

O uso de arco elétrico para gravação de LPG é possível e reduz o custo de gravação. Entretanto, as redes desta forma gravadas são apenas do tipo rejeita-banda (*notch filter*), não apresentando o espectro de reflexão típico das redes de Bragg convencionais.

Sabe-se que os comprimentos de onda de ressonância das LPGs (LIN & WANG, 2001) dependem dos coeficientes de auto-acoplamentos entre os modos do núcleo e os modos da casca, e variam conforme a magnitude das perturbações (ocorrida na gravação). Mas no caso de número de marcações sucessivas por arco-elétrico, o comprimento de onda de ressonância não depende do tipo de gravação e sim do número de marcações por arco-elétrico conforme verificado na “Tabela 1”.

Os comprimentos de onda de ressonância das LPGs de fabricação por arco-elétrico que provocam deformações física podem ser obtida pela “Equação 1” (LIN & WANG, 2001):

$$\lambda_{max} \cong \lambda_{res} \left[ 1 + \frac{(\delta n_{co} - \delta n_{clad}) \left( \frac{d\lambda_{res}}{d\Lambda} \right)}{(n_{co} - n_{clad})^2} \right] \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

$\lambda_{max}$  é o comprimento de onda máximo de ressonância da LPG;

$\lambda_{res}$  é o comprimento de onda inicial de ressonância da LPG;

$n_{co}$  é o índice de refração efetivo do modo de núcleo;

$n_{clad}$  é o índice de refração efetivo do modo de casca;

$\Lambda$  é o período da rede;

$\delta n_{co}$  é a taxa de variação do índice de refração do modo de núcleo após a incidência do arco-elétrico;

$\delta n_{clad}$  é a taxa de variação do índice de refração do modo de casca após a incidência do arco-elétrico;

A taxa de variação do índice de refração do modo do núcleo ou da casca pode variar devido a somente um tipo de deformação física ou a uma combinação de deformações físicas no processo de marcação por arco-elétrico, tais como: deformação do diâmetro do núcleo; relaxação residual do material do núcleo; difusão do material dopante do núcleo. Existem outras causas que devem ser estudadas e isto foi constatado nas LPGs analisadas neste artigo.

A importância de se investigar os diferentes fatores que modificam os comprimentos de ondas de ressonância máxima nas LPGs de fabricação por arco-elétrico permitirá a obtenção de LPGs que possam ser reproduzidas em série e com espectro de transmissão idêntico.

## 6. CONCLUSÕES

O uso de arco elétrico para gravação de LPG é possível e reduz o custo de gravação. Entretanto, as redes desta forma gravadas são apenas do tipo rejeita-banda (*notch filter*), não apresentando o espectro de reflexão típico das redes de Bragg convencionais.



Nas LPGs apresentadas neste artigo verificou-se que ao se aumentar o número de marcações, a filtragem torna-se mais seletiva embora seja necessário investigar outros parâmetros que contribuem para a performance da fabricação: a massa do estiramento da fibra óptica; a potência do arco elétrico; o tempo de exposição do arco elétrico; o tempo entre as marcações por arco- elétrico.

Estas caracterizações comprovam a necessidade de se padronizar os procedimentos de fabricação de LPGs por arco elétrico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### *Livros*

MARCUSE, D. **Theory of Dielectric Optical Waveguides**. New York: Academic, 1991.

### *Artigos*

LIN, C. Y., WANG, L. A., **A wavelength- and loss-tunable band rejection filter based on corrugated long-period fiber grating**. Photonics Technology Letters, IEEE, v. 13, p. 332-334, 2001.

GOMES, V., QUESNEL, M. C., RIBEIRO, R. R. **Gravação e Caraterização de Redes de Bragg de Período Longo (LPG) em Fibras Ópticas**. Revista de Engenharia UCP, v.3, p. 113- 120, 2007.

MELTZ, G., MOOREY, W. W., GLENN, W. H. **Formation of Bragg gratings in optical fibers by transverse holographic method**. Optics Letters, v. 4, p. 823-825, 1989.

VENGSAKAR, A. M., LEMAIRE, P. J., JUDKINS, J. B., BHATIA, V., ERDOGAN, T., SIPE, J.E. **Long-Period Fiber Gratings as Band-Rejection Filters**. Journal of Lightwave Technology, 1996.

YARIV, A., **Coupled-mode theory for guided-wave optics**. IEE J. Quantum Electron., v. QE-9, p. 919-933, 1973.