

UM SISTEMA DE METROLOGIA UTILIZANDO REFLECTOMETRIA ÓPTICA DE BAIXA COERÊNCIA

Aluno: Marçal José Vasconcelos Neto

Orientador: Jean Pierre von der Weid

Introdução

A caracterização de dispositivos e sistemas ópticos tem sido cada vez mais relevante nas telecomunicações. Uma técnica poderosa de caracterização é a reflectometria óptica, que permite a determinação da intensidade da luz refletida ao longo do componente ou de uma fibra óptica. Este tipo de medida permite obter parâmetros de grande importância tais como perdas de inserção, perdas de retorno, atenuação e imperfeições tanto de fibras ópticas longas como de dispositivos optoeletrônicos tais como lasers, polarizadores, acopladores, WDMs e atenuadores.

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de metrologia e caracterização de dispositivos ópticos com resolução micrométrica, a partir das técnicas de reflectometria óptica no domínio da coerência, utilizando-se um interferômetro de Michelson com uma fonte luminosa de espectro largo e comprimento de coerência pequeno. Utilizou-se aqui a técnica conhecida como OLCR (Optical Low Coherence Reflectometry - Reflectometria Óptica de Baixa Coerência), onde o sinal das franjas de interferência na saída do dispositivo fornece a posição relativa entre interfaces de meios com índices de refração distintos.

Uma das aplicações mais importantes desta técnica em outros campos do conhecimento é a medida de reflectometria tomográfica da epiderme e mucosas, na detecção preventiva de câncer [1]. Essa técnica, conhecida como OCT (Optical Coherence Tomography – Tomografia por Coerência Óptica), se destaca como técnica complementar no diagnóstico do câncer, com diversas vantagens em relação a outras técnicas existentes, tais como: alta definição da imagem, rápido tempo de aquisição, poder ser usada *in-vivo*, acoplada diretamente a uma ponta de prova ou através de um endoscópio, além de tratar-se de um método não-destrutivo.

Objetivos

Estudo das técnicas de reflectometria óptica e desenvolvimento de uma ferramenta de metrologia OLCR de baixo custo para caracterização de dispositivos ópticos e de meios transparentes, com dimensões submilimétricas para uso em laboratório e de fácil manuseio.

Metodologia

De acordo com a teoria de coerência, quando é lançada em um interferômetro de Michelson uma luz com espectro luminoso largo, franjas de interferência aparecerão na saída do sistema somente quando os comprimentos dos dois braços forem suficientemente próximos, ou seja, enquanto a diferença de caminho óptico for menor que o comprimento de coerência [2]. Conhecendo-se o comprimento do braço de referência, pode-se assim medir o caminho óptico do outro braço pela posição onde se observa a interferência. Como a fonte que foi utilizada nessa montagem era de baixa coerência, foi possível obter resoluções micrométricas.

A construção de um OLCR requer o uso das técnicas de interferometria, e o uso de um interferômetro de Michelson. No experimento original realizado por Michelson em 1881, foi

utilizado o ar como meio de propagação e um divisor de feixe foi o responsável por direcionar a luz por dois caminhos distintos, um deles com um espelho fixo e o outro com um espelho móvel. Nesse trabalho em particular, usamos um interferômetro integrado em fibras ópticas.

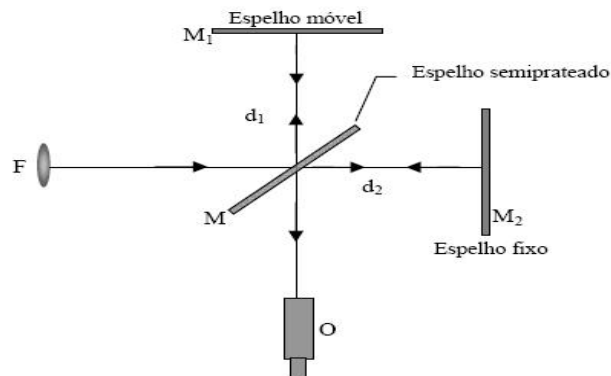


Fig. 1 – Montagem original de Michelson

A figura 2 mostra o diagrama esquemático da montagem inicial realizada neste trabalho. A luz proveniente da fonte luminosa passa pelo acoplador óptico 50/50, onde metade da luz é guiada para o braço do dispositivo de teste, e a outra metade segue para o braço da linha de atraso que possui um espelho na ponta. Quando a luz chega ao dispositivo de teste, uma parcela é refletida devido à descontinuidade do índice de refração. Essa luz é recombinada com a refletida no espelho da linha de atraso e chega ao fotodetector (responsável pela conversão eletro-óptica do sinal). O sinal elétrico segue para o detector de envoltória para uma formatação do sinal (ganho, detecção de envelope). Após a formatação, o sinal passa por um A/D (conversor analógico-digital) e é armazenado em um microcomputador, onde o software de controle e aquisição nos permite uma visualização gráfica do comportamento do sinal. Em destaque, temos a linha de atraso, onde a fibra encontra-se fixada em três segmentos paralelos, o que permite triplicar a distância de varredura do sistema, já que a mesma depende somente do deslocamento do motor, além de aumentar a velocidade da varredura.

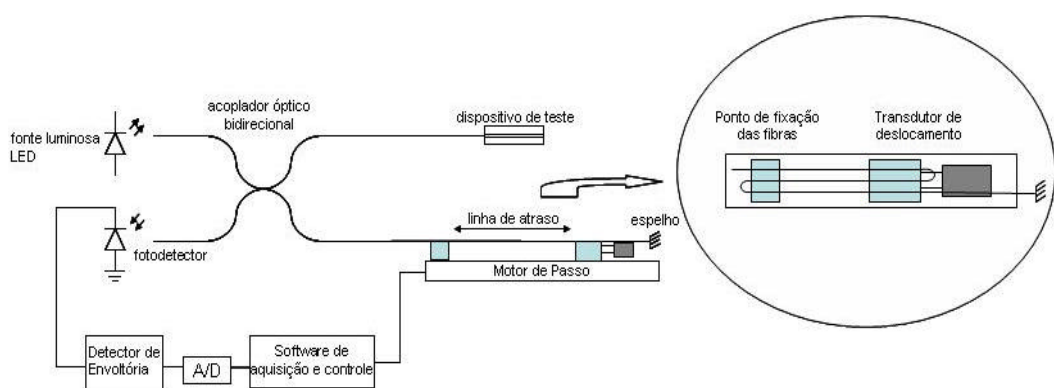


Fig. 2 – Configuração com detector de ganho direto

O funcionamento do sistema é baseado no fato das reflexões oriundas das interfaces no dispositivo de teste estarem atrasadas em relação ao sinal refletido no espelho da linha de

atraso. É importante observar, que inicialmente a fibra encontra-se relaxada e os picos de interferência, ocorrem quando a linha de retardo percorre uma distância opticamente equivalente às distâncias onde os sinais foram refletidos no dispositivo de teste. Tem-se, portanto, a posição de cada interface refletora no braço de teste, dada pelas posições de cada um dos máximos de cada grupo de franjas de interferência. Isso nos possibilita a caracterização de parâmetros importantes de dispositivos ópticos e de qualquer meio óptico onde a luz possa se propagar sem absorção excessiva. Várias configurações do interferômetro foram estudadas, para se obter maior flexibilidade no posicionamento do dispositivo teste.

A montagem desse sistema pode ser dividida em quatro blocos: controle eletrônico do motor de passo responsável pela linha de atraso, montagem do circuito óptico acoplado em fibras ópticas, detecção do sinal óptico e formatação do sinal detectado. A seguir será feito o detalhamento dos equipamentos e dispositivos envolvidos no sistema

Para o controle eletrônico do motor foi desenvolvido um circuito eletrônico capaz de permitir que o usuário configure o deslocamento do motor, a sua velocidade e a direção do deslocamento, retraindo ou esticando a fibra. O software utilizado para o controle do sistema e a visualização do sinal foi o LabVIEW 7.1 da National Instruments. O programa desenvolvido permite a criação de uma interface com o usuário, onde é permitido configurar os parâmetros mais importantes do motor. A escolha do LabVIEW pode ser justificada pela simplicidade na criação de interfaces com o usuário e no desenvolvimento de controles de entrada e saída (I/O) [3].

O controle do motor é feito utilizando-se a porta paralela do microcomputador, enquanto a aquisição é feita através de uma placa A/D, modelo NI-USB6008 da National Instruments. Essa placa possui uma taxa de aquisição de 10KS/s, o que é suficiente para o tipo de medida que se deseja efetuar nesse trabalho, pois a frequência das franjas de interferência possui tipicamente 300 hz. O motor de passo utilizado para efetuar o deslocamento da linha de atraso realiza um deslocamento de $0,1\mu\text{m}$ por passo e tem a sua velocidade máxima de operação (velocidade em que se desloca sem perder nenhum passo) em 200 passos/s. O desenvolvimento de um circuito eletrônico também se faz necessário para a utilização desse motor, pois como o mesmo deve ser capaz de tensionar três fibras de ópticas, com as propriedades mecânicas do vidro, simultaneamente ele deve possuir torque elevado, o que significa um consumo maior de corrente. O circuito desenvolvido basicamente possui uma fonte e amplificadores de corrente capazes de fornecer a corrente que a carga do motor exige.

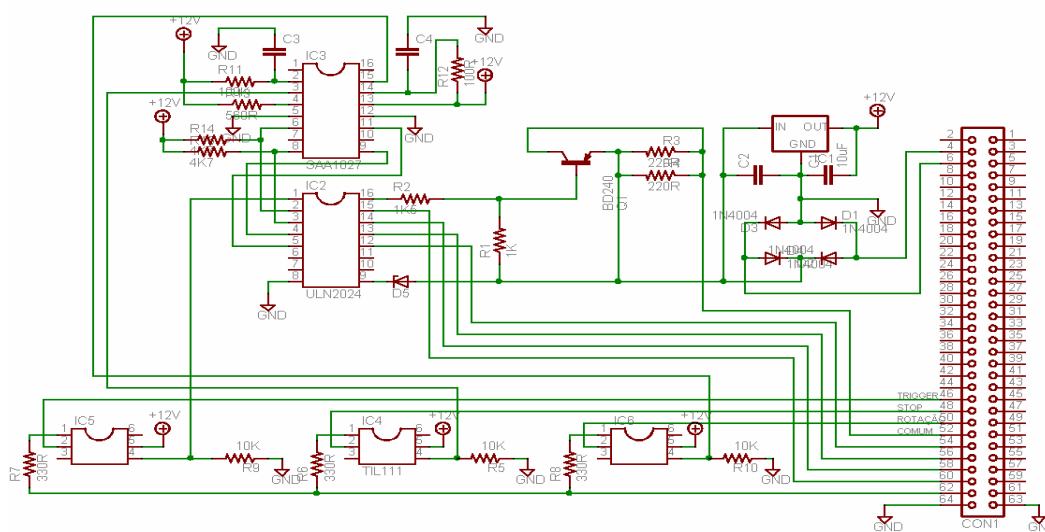


Fig. 3 – Diagrama esquemático da eletrônica do motor de passo

A montagem do circuito óptico é sem dúvida a parte crítica do sistema por ser a mais delicada, pois como já foi comentado anteriormente é necessário que o comprimento dos dois braços sejam suficientemente semelhantes para que as franjas possam ser observadas. Como os comprimentos de cada braço são longos, de ordem de metros, o ajuste inicial do comprimento de cada braço deve ser feito com cuidado. No caso, a fibra óptica de um dos braços já se encontrava colado nos suportes, de modo que era muito difícil conhecer exatamente o seu comprimento por meio de uma medida direta. Para garantir o equilíbrio dos braços foi realizada uma montagem para calibrar os braços do interferômetro utilizando um laser com modulação direta e um voltímetro vetorial, essa técnica permite calcular o caminho percorrido pela luz nos braços da fibra com uma precisão milimétrica. Ela consiste em relacionar a variação na fase da luz que chega a saída do sistema após ser refletida em um dos braços com a variação da frequência da modulação do laser na fibra. Como a fibra óptica tem um índice de refração conhecido e a frequência da modulação também é conhecida, pode-se calcular facilmente o comprimento do braço.

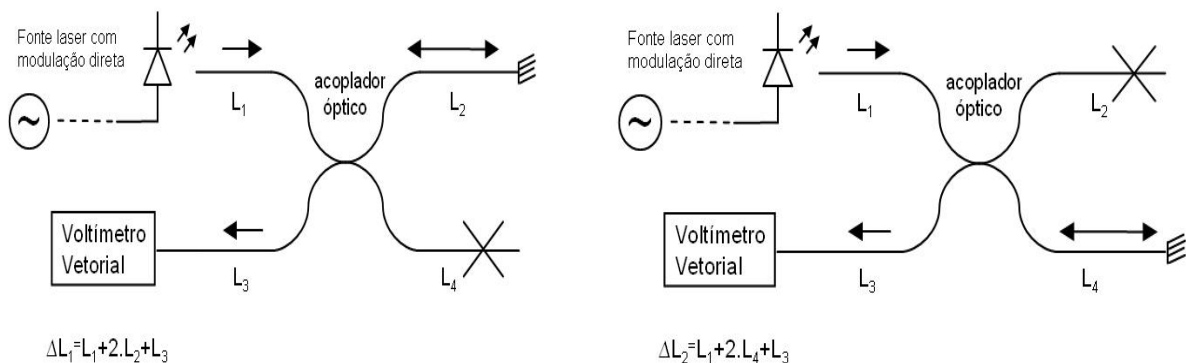


Fig. 4 – Montagem realizada para calibrar o comprimento dos braços do interferômetro

A detecção, conversão eletro-óptica e filtragem do sinal foram feitas através de um fotodetector modelo 2111 da New Focus, com um ganho ajustável máximo de 3×10^4 e uma filtragem com resposta em frequência entre 100 hz e 1 khz. Para a detecção de envelope o sinal passa pelo conversor *True RMS-DC* AD736 da Analog Devices antes de ser aquisitado.

Os resultados obtidos utilizando a montagem detalhada anteriormente, com um detector simples, foram satisfatórios para medidas em meios transparentes e com pouco espalhamento, porém o ganho do amplificador sofre uma limitação devido ao fato da componente DC do sinal saturar o detector. Devido a essa limitação os resultados em meios menos transparentes e com um espalhamento maior foram pouco satisfatórios, sendo a relação sinal-ruído abaixo do esperado.

Uma montagem mais elaborada e eficiente foi realizada substituindo-se o fotodetector anterior por um modelo 2117 da New Focus, esse detector é dotado de um amplificador com ganho diferencial. Também foi acrescentado outro acoplador bidirecional 50/50 entre o interferômetro e a fonte luminosa, o uso desse acoplador se faz necessário para a utilização do fotodetector com amplificador diferencial. A grande vantagem do uso desse dispositivo é a eliminação da componente DC. Para que seja possível tal situação é necessário que a mesma quantidade de luz refletida chegue à ambas as entradas do fotodetector, afim de garantir tal situação introduzimos um atenuador na saída do interferômetro. Outro cuidado necessário a essa configuração é a anulação da outra ponta do acoplador externo, pois a mesma poderia gerar reflexões que diminuiriam a margem dinâmica do sistema.

Com a eliminação da componente DC do sinal através do fotodetector diferencial foi possível utilizar o ganho máximo do mesmo, que representou um ganho de cerca de 18dB em relação a montagem com o detector de ganho direto. Por ser essa última configuração ser a mais eficiente faremos a análise dos resultados obtidos com essa montagem.

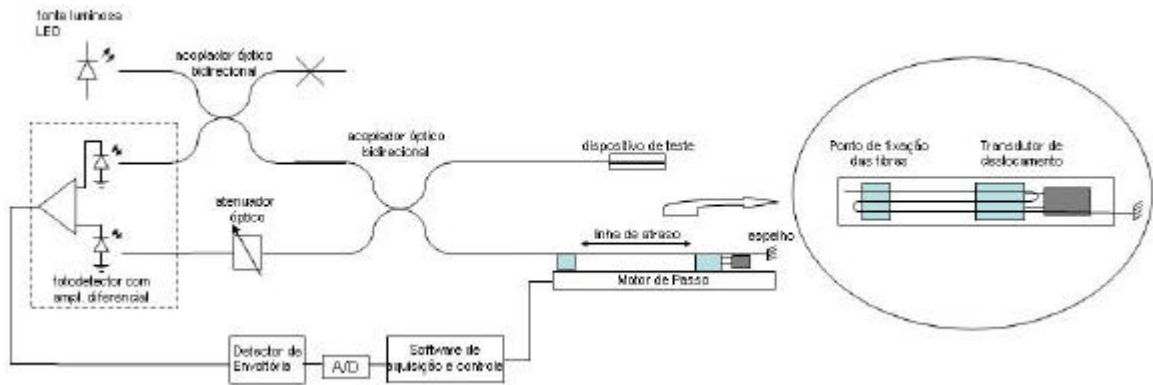


Fig. 5 – Configuração com detector de ganho diferencial

Um detalhe importantíssimo que deve ser lembrado ao analisar os interferogramas é que a linha de retardo é interçada em fibra óptica e o dispositivo de teste na maioria dos casos tem índice de refração diferente do da fibra, além da distância do dispositivo de teste à fibra normalmente está no ar. É sabido que as interferências só ocorrem quando os caminhos ópticos dos dois braços forem iguais. No caso geral, para se obter as distâncias reais das reflexões no sistema basta multiplicar o valor medido na referência pelo índice efetivo da fibra ($\Gamma=1,17$ dado pelos coeficientes elasto-ópticos da fibra que está sendo esticada como linha de atraso [4] e dividir pelo índice do meio.

$$\Delta L_{real} = \Delta L_{referência} \left(\frac{\Gamma}{n_{meio}} \right) \quad (1)$$

Para avaliar o funcionamento do sistema de metrologia foram feitas diversas medidas. Uma medida expressiva e significativa para a sua validação é a da espessura de uma lamínula de microscópio. A lamínula além de possuir uma espessura conhecida, 170 μm , também já foi utilizada em trabalhos anteriores de outros autores [5].

A figura 6 mostra o interferograma gerado para uma lamínula localizada a uma pequena distância da fibra óptica de saída do sistema.

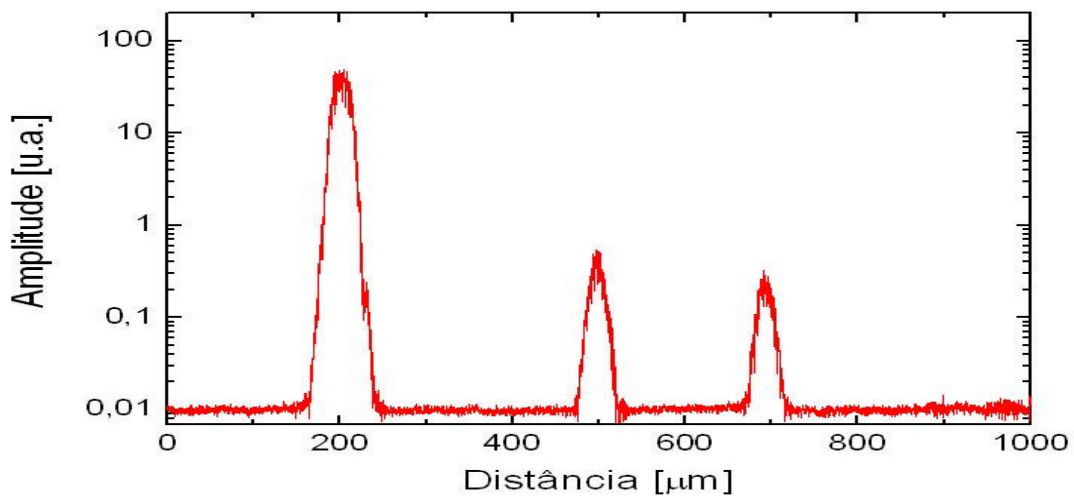


Fig. 6 – Interferograma com lamínula de microscópio

Analisando-se o interferograma gerado pode-se obter a distância da lamínula em relação à saída da fibra óptica e também a espessura da lamínula. Detalhando o interferograma mostrado na figura 6 tem-se: o pico principal, correspondente à interface fibra-ar, o pico correspondente à interface ar-lamínula e um último pico que corresponde à interface lamínula-ar. A posição entre esses dois últimos picos nos fornece a espessura da lamínula. Verifica-se nesse caso que a lamínula está localizada a uma distância de $362\mu\text{m}$ e comprovou-se a espessura de $170\mu\text{m}$, observando a relação da equação (1) usando-se $n = 1$ para o ar e $n_{\text{lamínula}} \sim 1,47$ (quartzo).

Uma outra medida realizada que pode ilustrar a eficácia desse método é mostrada na figura 7, nessa medida temos uma capa plástica transparente, mais opaca e mais grossa que a lamínula de vidro. Como se pode ver mediu-se com precisão sua largura e sua distância em relação à saída do dispositivo. Essa medida é importante, pois mostra que o sistema é capaz de enxergar profundidades grandes mesmo em meios opacos. Na figura 7 pode-se observar 4 picos: o pico central, os picos das reflexões no plástico e um pico menor localizado entre os dois picos secundários, esse último representa uma “assinatura” associada à fonte de luz usada, e que aparece no interferograma mesmo sem nenhum objeto refletor. Podemos observar na figura 7 que a capa está localizada à uma distância de $877\mu\text{m}$ e que a capa plástica possui uma espessura aproximada de $800\mu\text{m}$, essa incerteza na espessura se deve ao desconhecimento do índice de refração do plástico.

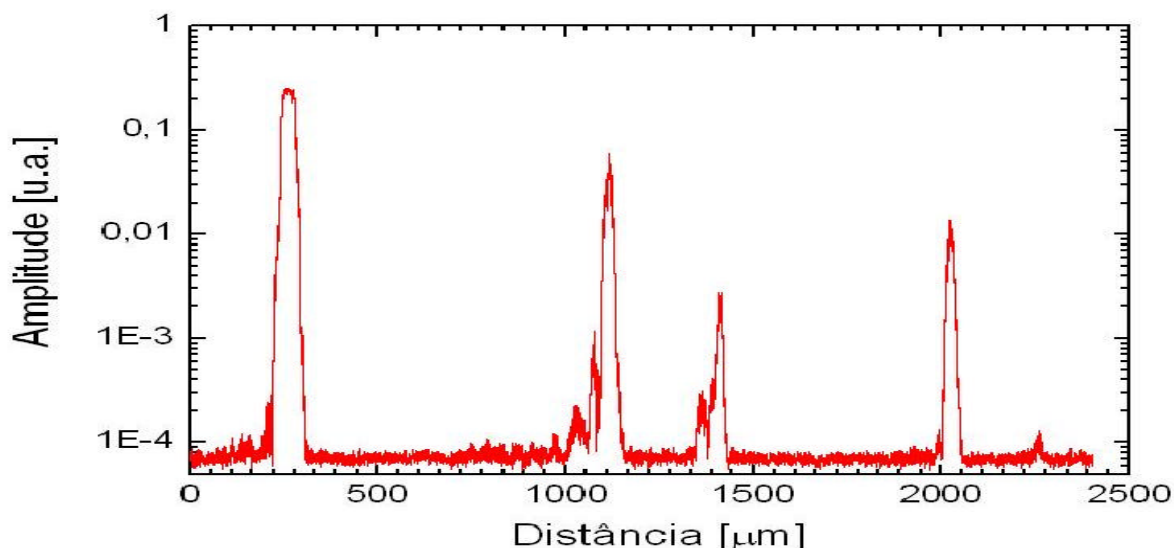


Fig. 7 – Interferograma com plástico transparente

Introduzindo um grau maior de complexidade na medida, fez-se uma medida com um pedaço de copo plástico na saída do sistema. O resultado foi bastante expressivo, pois além de obter a largura da parede lateral do copo com precisão também observamos as múltiplas reflexões devido às diversas camadas na estrutura do plástico, sendo esse último fato de importância qualitativa para a continuação do projeto. O interferograma obtido dessa medida encontra-se na figura 8.

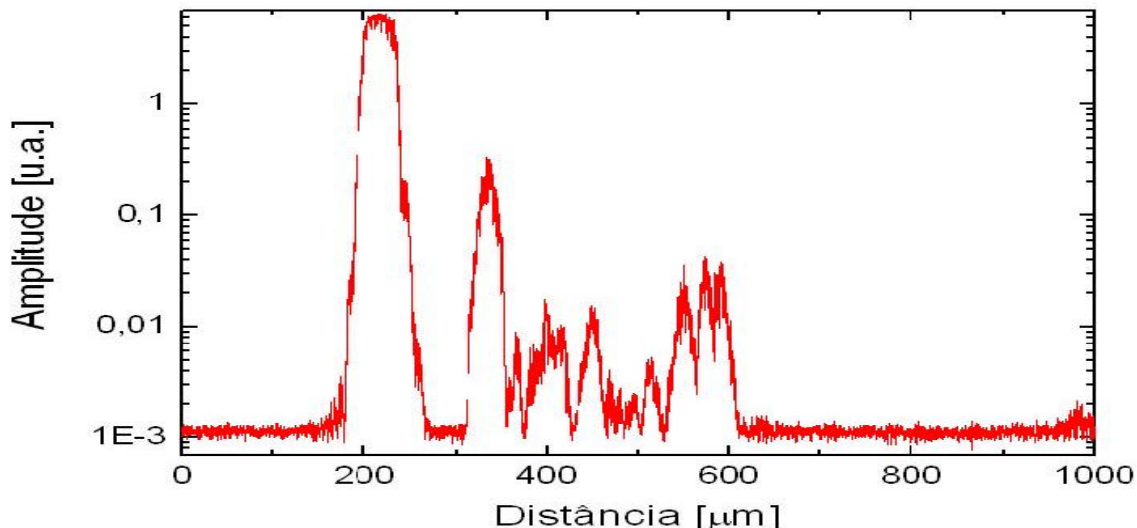


Fig. 8 – Interferograma com plástico branco

Conclusões

O desenvolvimento do projeto permitiu um maior entendimento das técnicas de interferometria, além do desenvolvimento de uma ferramenta de fácil manuseio pelo usuário. A configuração em que o dispositivo de teste não se localiza no interior do interferômetro revelou-se mais prática para as aplicações. A configuração com o detector de amplificador com ganho diferencial mostrou-se mais eficiente aumentando em 18dB a margem dinâmica do sistema em relação a configuração com detector de ganho direto, sendo a configuração da figura 3 a mais prática e eficiente das montagens realizadas nesse trabalho.

O sistema obteve a resolução esperada, da ordem de dez micrometros, considerando a largura do espectro da fonte de luz utilizada. As medidas de maneira geral foram satisfatórias e o sistema pode ser considerado uma eficiente ferramenta de caracterização de dispositivos ópticos ou de materiais transparentes e semi-transparentes..

Referências

- 1 – JUNG, Woonggyu, ZHANG, Jun, CHUNG, Jung-rae, WILDER-SMITH, Petra, BRENNER, Matt, STUART NELSON, J. and CHEN, Zhongping; *Advances in Oral Cancer Detection Using Optical Coherence Tomography*; **IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics**, vol. 11, No. 4, pp. 811-816 (2005).
- 2 – PROLA JUNIOR, Carlos Humberto. *Caracterização de Guias Ópticos com Reflectometria de Baixa Coerência*. **Dissertação de Mestrado, PUC-Rio**, março 1995.
- 3 – DA SILVA, José Augusto Pereira. *Reflectometria Óptica de Baixa Coerência*. **Dissertação de Mestrado, PUC-Rio**, fevereiro 1994.
- 4 – THEVENAZ L., PELLAUX J.-P. and VON DER WEID, J. P "All Fibre Interferometer for Chromatic Dispersion Measurements"; **J. Lightwave Technology** 6, 1 (1988).
- 5 – REGAZZI, Rogério Dias, PEREIRA, Paulo Sérgio, DA SILVA JR, Manoel Feliciano. **Soluções Práticas de Instrumentação e Automação**. 1ª ed. , Rio de Janeiro, 2005