

Elipsometria Espectral é uma técnica óptica altamente sensível empregada na caracterização de filmes finos dielétricos [1]. Entretanto, a técnica usualmente apresenta múltiplas soluções, o que dificulta a caracterização acurada dos filmes. Para evitar isto, é proposto um Método que combina Elipsometria com medidas prévias de polarimetria (baseada na Técnica de Abelès). O método é comprovado através da caracterização de filmes de TiO<sub>2</sub> depositados em substratos de silício.

## INTRODUÇÃO:

A Elipsometria estuda as modificações na polarização da luz ao ser refletida pelo filme fino, e relaciona estas modificações com propriedades do material (a curva de dispersão e a espessura física). A caracterização acurada torna-se difícil quando não se conhecem previamente as propriedades do material, já que usualmente a técnica fornece múltiplos valores para a curva de dispersão e para a espessura física.

A solução do problema é obtida por medidas complementares que fornecem informações adicionais sobre o material, permitindo filtrar os valores incorretos que tenham sido obtidos. Na maioria dos casos, são necessários outros equipamentos além do elipsômetro para a caracterização acurada do material.

O método aqui apresentado simplifica a solução deste problema. Primeiramente, a curva de dispersão é obtida independentemente da espessura por medidas polarimétricas. Esta curva depois é utilizada como primeira estimativa na análise dos dados de elipsometria. Além disso, ambas medidas são feitas com o elipsômetro e na mesma região da amostra, aumentando a confiabilidade dos resultados.

## EXPERIMENTAL:

Um elipsômetro espectral SOPRA (Fig.1) é usado para a caracterização dos filmes finos de TiO<sub>2</sub> (depositados em lâminas de Si). Para a obtenção da curva de dispersão, medidas polarimétricas baseadas na Técnica de Abelès [2] são realizadas, conforme o esquema mostrado na Fig.2.



Fig.1 Foto do Elipsômetro Espectral SOPRA.

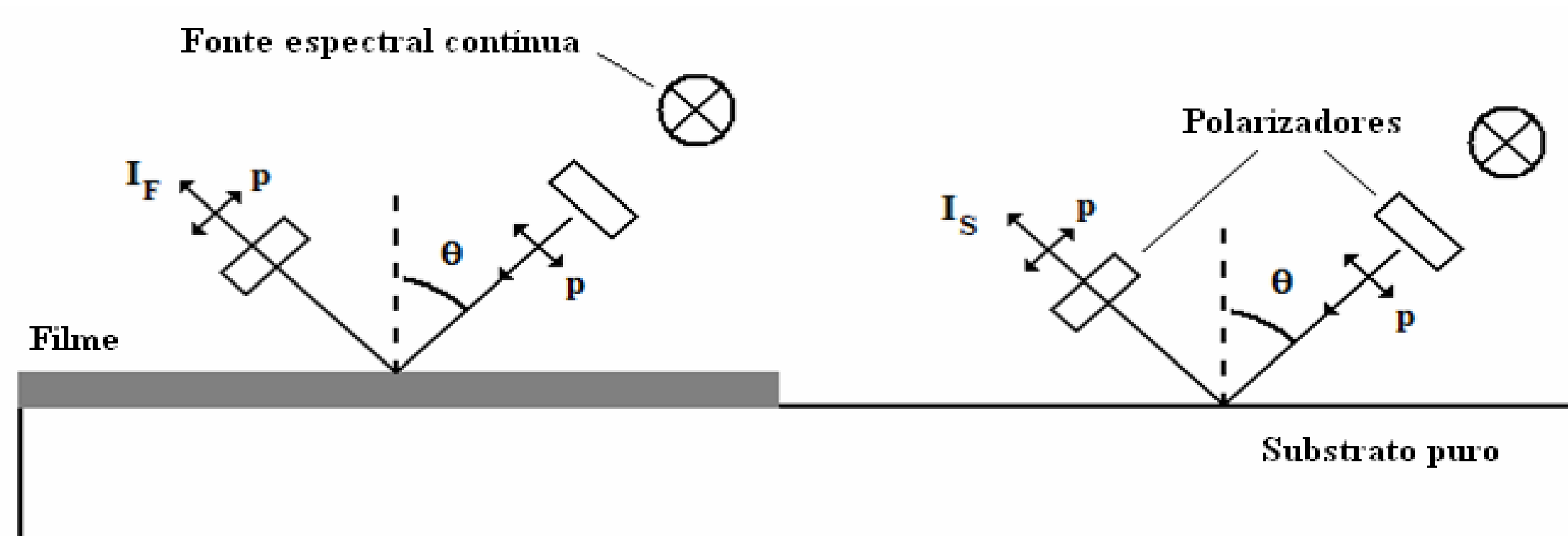


Fig.2 Esquema usado nas medidas Polarimétricas. Luz de uma fonte de espectro contínuo (polarização p) incide no filme ou o substrato puro (ângulo de incidência  $\theta$ ). As intensidades de luz refletidas pelo filme ( $I_F$ ) e pelo substrato ( $I_S$ ) são comparadas para diversos comprimentos de onda.

Para cada ângulo de medida, observa-se uma intersecção entre as curvas de refletância (Fig.3) que corresponde à condição de Brewster [3] para o material num certo comprimento de onda ( $\lambda$ ); sendo o índice de refração calculado pela expressão  $n(\lambda) = \tan\theta$  [3]. Como resultado, é possível ajustar uma curva de dispersão aos pontos experimentais seguindo o modelo de Cauchy [3], conforme Fig.4.

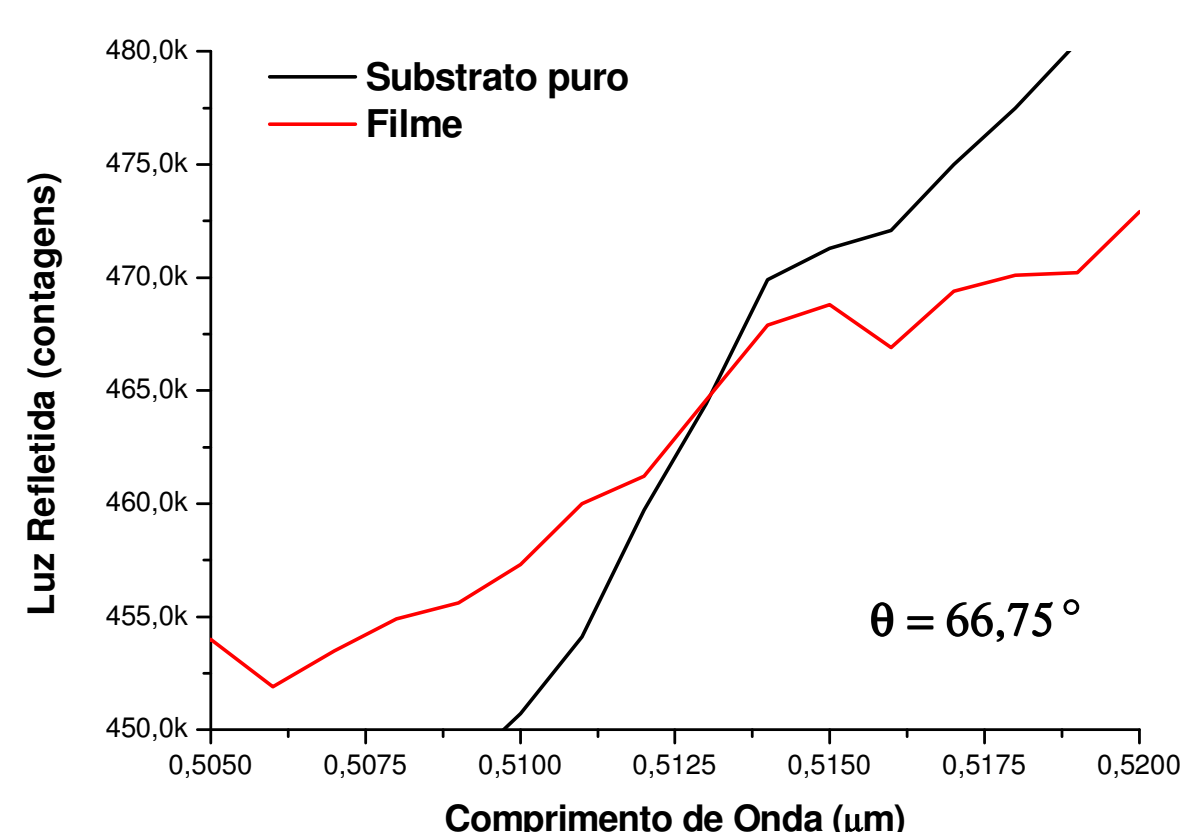


Fig. 3 Intersecção entre as curvas de refletância do filme e do substrato ( $\theta = 66,75^\circ$ ).

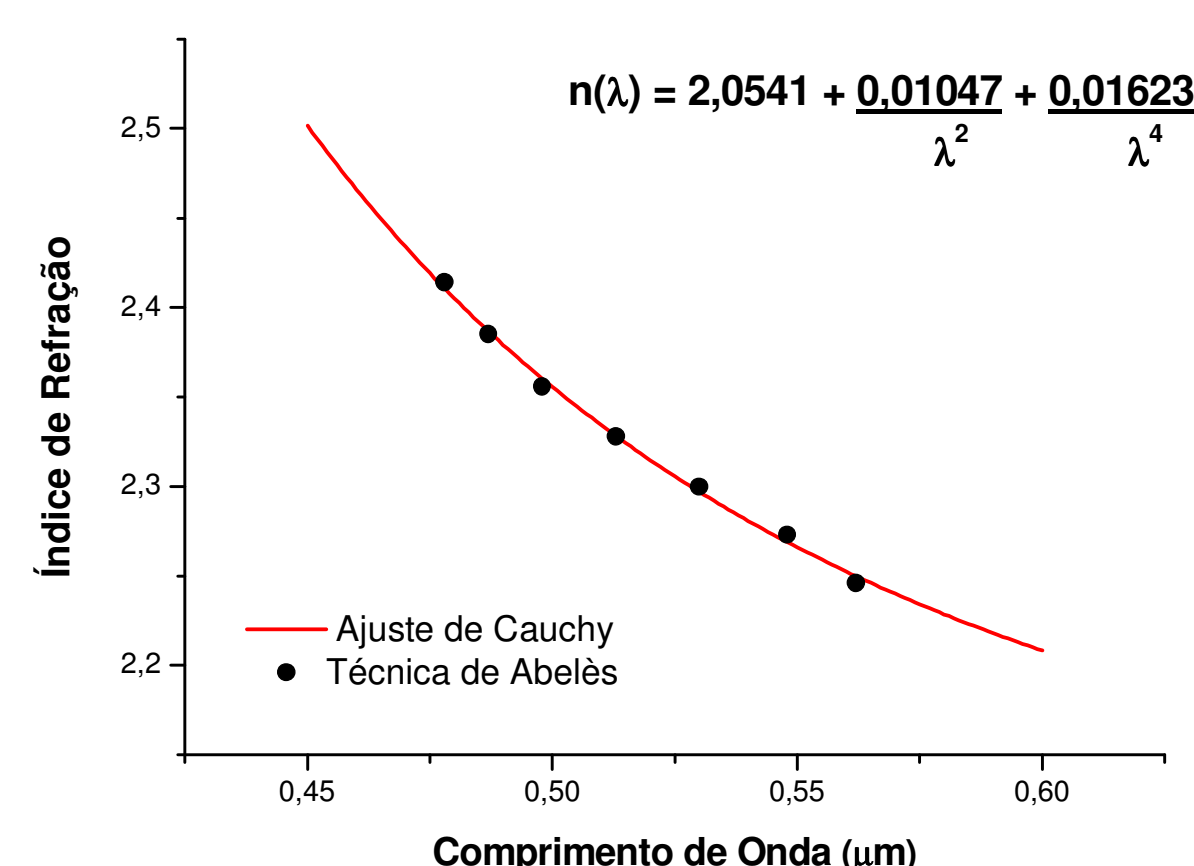


Fig.4 Curva de Cauchy ajustada aos dados obtidos pela Técnica de Abelès.

## RESULTADOS:

**Tabela1:** Curvas de dispersão e espessuras obtidas para a amostra de TiO<sub>2</sub>. A medida de elipsometria fornece dois conjuntos de valores possíveis, sendo o ajuste entre modelo teórico e os dados experimentais para ambos acima de 95% ( $R^2$ ). Com o uso da curva de dispersão obtida pela Técnica de Abelès como primeira estimativa, a elipsometria converge apenas para o conjunto de valores correto.

Coeficientes de Cauchy	Elipsometria		Téc. Abelès + Elipsometria	
	Solução 1	Solução 2	Téc. Abelès (estimativa)	Elipsometria
A	$2.197 \pm 0.003$	$2.951 \pm 0.003$	2.05410	$2.198 \pm 0.003$
B	$0.0019 \pm 0.0004$	$-0.2588 \pm 0.0006$	0.01047	$0.0018 \pm 0.0005$
C	$0.00794 \pm 0.00009$	$0.02343 \pm 0.00009$	0.01623	$0.00795 \pm 0.00009$
Espessura ( $\mu\text{m}$ )	$0.1954 \pm 0.0003$	$0.3211 \pm 0.0005$	Não	$0.1954 \pm 0.0003$
$R^2$	0.992	0.959	Não	0.992

## CONCLUSÕES:

Foi apresentado um método de caracterização que combina Polarimetria Espectral (Técnica de Abelès) e Elipsometria. O método obtém de forma independente, a curva de dispersão do material que é utilizada como primeira estimativa nos cálculos de elipsometria, evitando assim, a obtenção de valores incorretos para as constantes ópticas do filme. Além disto, o método utiliza a mesma instrumentação de elipsometria e sem alterar a posição da amostra, o que aumenta a confiabilidade dos resultados. A validade do método foi comprovada por medidas em filmes finos de TiO<sub>2</sub>.

## REFERÊNCIAS:

- [1] K. H. Zaininger and A.G. Revesz, "Ellipsometry: a valuable tool in surface research," RCA Rev. **25**, 85-115 (1964).  
 [2] Pereira, M.; Barreto, B.; Horowitz, F. Spectral polarimetry technique as a complementary tool to ellipsometry of dielectric films. Applied Optics v. 50, p. C420-C423, 2011.  
 [3] F. Horowitz and M.B. Pereira, "Optical surface analysis of graded index coatings on glass," J. Non-Cryst. Solids **218**, 286-290 (1997).