

# IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ARTEFATOS EXPERIMENTAIS NO USO DE ESFERA INTEGRADORA PARA MEDIDAS DE REFLETÂNCIA

*Leandro Procópio Alves*<sup>1</sup>, *Ilene Cristine Rosia César*<sup>2</sup>, *Gabriel Côrtes*<sup>3</sup>, *Priscila Christiane Suzy Liporoni*<sup>4</sup>, *Egberto Munin*<sup>5</sup>

<sup>1,2,4,5</sup>Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento (IP&D),  
Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), Brasil, 12244-000  
Fone: (0XX12) 3947-1128 Fax: (0XX12) 3947-1149  
Av. Shishima Hifumi, 2911 – Urbanova,  
12244-000- São José dos Campos, SP, Brasil

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Departamento de Odontologia Restauradora - UNICAMP  
[leandro@univap.br](mailto:leandro@univap.br), [ilecris@univap.br](mailto:ilecris@univap.br), [munin@univap.br](mailto:munin@univap.br)

**Palavras-chave:** Esfera integradora, refletância, artefatos experimentais.

**Área do Conhecimento:** Engenharia

**Resumo** - As esferas integradoras foram desenvolvidas no intuito de suprir as necessidades de integração espacial de sinais ópticos. Recentemente este instrumento se tornou peça chave em diversas aplicações como na medida do percentual de refletância e transmitância de materiais espalhadores ou difusos. O desenvolvimento das esferas integradoras tornou mais fiel as medidas de sinais espalhados, porém é de grande importância conhecer os artefatos experimentais, que podem ocorrer nessas medidas, para não gerar resultados incorretos. O objetivo deste trabalho é identificar e caracterizar artefatos experimentais presentes no uso da esfera integradora para medidas de refletância.

## Introdução

Medidas fidedignas de intensidade de uma fonte de luz incoerente, ou o percentual de refletância e transmitância de uma amostra exigem, geralmente, uma integração espacial do sinal proveniente das amostras ou fontes. Essas aplicações necessitam de um método que possibilite uma medida absoluta ou relativa com boa precisão.

Para auxiliar nas medidas nas quais a integração espacial do sinal se faz necessária, diversos métodos foram desenvolvidos, porém a esfera integradora se destacou como sendo a melhor solução para diversas aplicações.

As esferas integradoras foram utilizadas durante vários anos para obter medidas de intensidade de um feixe de luz, através da homogeneização do sinal ou obtendo uma média por múltiplas reflexões difusas.

Uma esfera integradora consiste basicamente de uma esfera oca com a superfície interna coberta uniformemente por uma camada de material com alta refletância difusa, e orifícios para entrada de sinal e posicionamento da amostra e do sensor.

Este trabalho tem como objetivo identificar e caracterizar os possíveis artefatos experimentais que possam afetar as medidas com uma esfera

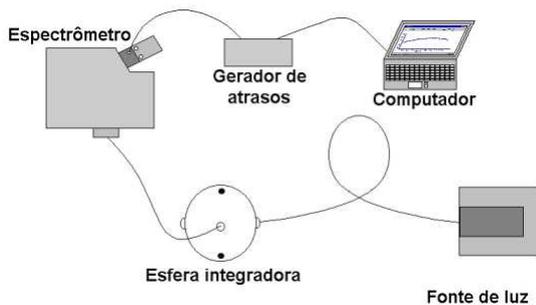
integradora. Tal estudo é de grande importância para os trabalhos que utilizam o método da esfera integradora na caracterização óptica de materiais.

## Materiais e Métodos

Para o presente trabalho foi utilizado uma esfera integradora, construída com teflon, na configuração de refletância.

Como sensor utilizou-se uma camera CCD intensificada com 256x1024 pixels acoplada a um espectrômetro equipado com grade de difração de 300 linhas por milímetro. O sinal óptico da esfera integradora foi capturado por uma fibra óptica com 600 µm de diâmetro, acoplada à entrada do espectrômetro.

Para inserir luz no interior da esfera integradora utilizou-se uma fibra óptica com 600 µm de diâmetro acoplada a uma fonte de luz branca, como ilustrado na Figura 1. A potência óptica disponível na extremidade da fibra óptica foi de 5 mW.



**Figura 1:** Esquema de montagem do experimento

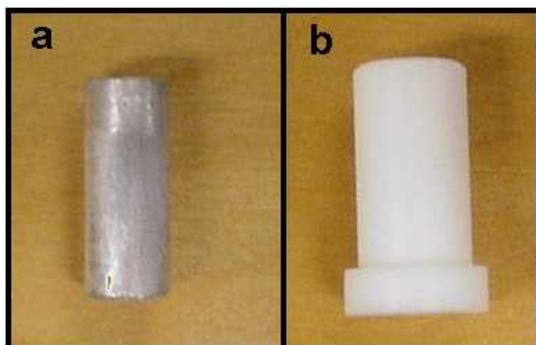
Para porta amostras utilizou-se dois modelos diferentes. O modelo A foi composto por um cilindro vazado de alumínio onde em uma das extremidades a amostra, incluída em resina, foi fixada, Figura 2a. O modelo B foi composto por um cilindro sólido de teflon™ com um pequeno rebaixo em uma das extremidades onde foi posicionada a amostra, Figura 2b.

Um cilindro de teflon™ foi utilizado como corpo branco padrão. A fibra óptica foi posicionada a dois milímetros da superfície do padrão de referência e esta distância foi mantida em relação à amostra, Figura 3.

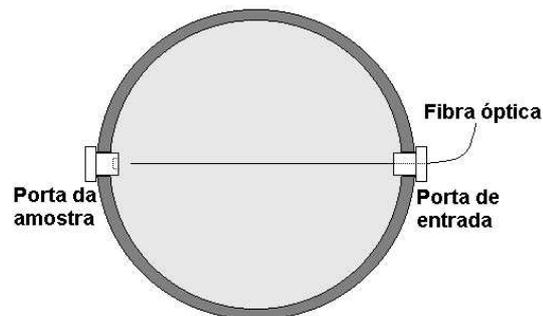
Um material adequado para servir como amostra para este estudo não deve ter suas características ópticas alteradas com o tempo. Um material que atendeu a esta necessidade foi um polímero, devido à estabilidade de suas propriedades. Escolheu-se um polímero de tom claro comercialmente disponível.

Foi fixada uma amostra em cada suporte. A amostra foi ajustada geometricamente na forma quadrada com lado igual a quatro milímetros.

Para cada amostra adquiriu-se 5 espectros de refletância, sendo estes adquiridos de modo intercalado, alternando-se as amostras para cada aquisição.



**Figura 2:** Porta-amostras utilizados no experimento.

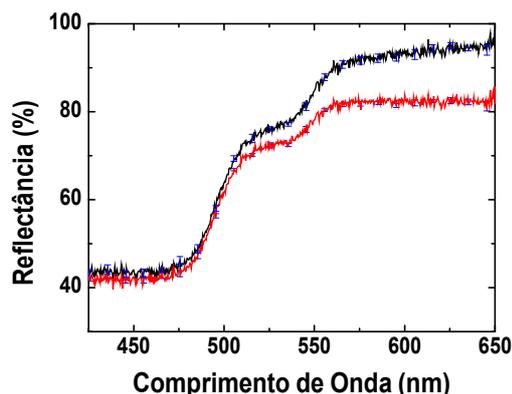


**Figura 3:** Posicionamento do porta amostra e fibra óptica no interior da esfera.

### Resultados

Para avaliar os resultados, foi calculado uma média para cada modelo de porta-amostra experimentado. A

**Figura 4** mostra os espectros promediados, obtidos para ambos os tipos de porta amostras estudados. As barras correspondentes ao desvio padrão das médias são pequenas e se confundem com o traço das curvas.



**Figura 4:** Em preto está representada a média para o modelo B e em vermelho está representada a média para o modelo A.

Observando o gráfico nota-se que o nível de refletância para o modelo B foi superior ao nível de refletância do modelo A no intervalo entre 500 e 650 nm, porém o nível foi semelhante para ambos os modelos no intervalo entre 425 e 500 nm.

A região onde as duas curvas se aproximam é justamente a faixa onde a amostra é altamente absorvedora, minimizando assim a influência dos suportes.

A partir das curvas de refletância graficadas, calculou-se a integral, representativa da área sob as curvas.

Com o valor das áreas de cada curva, aplicou-se um teste estatístico para verificar se houve

diferença estatística entre os resultados. Foi aplicado o teste-t para duas populações independentes e o resultado está e descrito na Tabela 1.

**Tabela 1: Resultado da análise com Teste-t, comparando as áreas definidas pelas curvas espectrais.**

Suporte	Área Média	Variância	N
Á	15159,3	4320	5
B	16535,4	10992	5
t = 24,86662			
p = 7,31449E-9			
Para um nível de significância de 0,05, as duas médias são significativamente diferentes.			

## Discussão

Durante as medidas experimentais com o modelo A, notou-se uma grande quantidade de luz saindo pela porta da amostra, o que não ocorreu com o modelo B.



**Figura 5:** Perda de sinal pela abertura do porta amostras.

O fluxo de luz detectado externamente à esfera integradora corresponde à quantidade de sinal transmitido pela amostra em estudo.

Este sistema consistindo de uma esfera integradora única tem sido utilizada para estudos de clareamento dental *in vitro*, utilizando amostras com dimensões geométricas de 4x4x2

mm<sup>3</sup>. Com esta espessura de 2 mm, a amostra não pode ser considerada como um meio semi-infinito, uma vez que é notável uma quantidade de luz transmitida através da mesma, tal qual a medida obtida com os polímeros (Figura 1). Na medida em que a amostra dental é submetida ao tratamento clareador, a absorção devido aos pigmentos diminui, aumentando a quantidade de luz transmitida. Se atrás da amostra houver um substrato absorvedor negro ideal, ou um substrato vazado, a luz transmitida pela amostra é desacoplada da esfera e portanto perdida. Isto pode resultar em uma redução do sinal no interior da esfera, levando a uma falsa interpretação de escurecimento dental.

## Conclusão

A colocação de um substrato branco atrás da amostra, tal qual o próprio Teflon™ que constitui o material da esfera integradora, resulta em uma realimentação do sinal transmitido para o interior da esfera integradora. O sinal óptico medido nestas condições não corresponde, portanto, exclusivamente ao sinal de fotorefletância. Tal sinal corresponde à soma das refletâncias especular e difusa, do sinal retro-espalhado e da porção do sinal transmitido que é realimentado para o interior da esfera. Com tal geometria experimental, o sinal medido não deve ser referenciado como refletância absoluta, devido às demais contribuições.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à equipe técnica da Oficina Mecânica da Univap, Sr. José Unterkircher, Celso Erasmo de Oliveira e Laercio Cesar de Oliveira, pela confecção da esfera integradora utilizada neste projeto, bem como o auxílio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo – FAPESP, via projeto no. 1996 / 05590-3.

## Bibliografia

A guide to Integrating Sphere, Theory and Applications - Labsphere

Lindseth I., Bardal A., Spooren R. Reflectance measurements of aluminium surfaces using integrating spheres. Optics and Lasers in Engineering 2000