



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



Desenvolvimento de um Sistema para medidas de Refletância

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Mário Salgado Ribeiro (UNIFESP, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: mario.ribeiro@unifesp.br

Luiz Angelo Berni (LAS/CTE/INPE, Orientador)

E-mail: berni@las.inpe.br

Julho de 2014

Resumo

O objetivo deste trabalho foi montar um sistema para medição de refletância de superfícies de materiais a fim de construir uma biblioteca de dados para calcular BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function), função que descreve as características direcionais da luz sobre uma superfície. Os dados gerados por este tipo de sistema poderão ser utilizados para obter informações sobre a rugosidade de uma superfície, calcular o índice de refração e extinção de um material, em modelos de iluminação e em análise de luz espúria em sistemas óticos. Este trabalho teve início em agosto de 2012, com o sistema fazendo medidas em apenas duas dimensões. Dando continuidade ao projeto em 2013, o sistema foi atualizado e atualmente permite obter as características tridimensionais de refletância de uma superfície. Para fazer as medidas em 3D, o sistema contém uma parte mecânica formada por três braços conectados a motores de passo de 18 Kgf.cm com resolução de $0,4^\circ$ obtidos através de “drives” próprios. O primeiro braço possui uma fonte de luz dicróica de 50 W, o segundo braço possui lente, espelho e uma fibra ótica que transporta a luz espalhada até um sensor com filtros de interferência acoplados a um amplificador do tipo “lock-in”, e o terceiro braço movimentava o braço com a lente sobre o plano da superfície do material, a fim de obter a refletância de diferentes ângulos. Os sinais são transferidos para um sistema de aquisição analógico-digital e enviados para um computador para armazenar e analisar os dados. O sistema atualmente está integrado e um programa desenvolvido em linguagem "C" que permite controlar os motores e fazer a aquisição dos dados. O sistema foi caracterizado em função do espectro da fonte de radiação, área iluminada e desvios em relação ao centro de medida. Em seguida, foram realizadas medidas em amostras de grafite, alumínio anodizado, alumínio, silício poroso e “Spectralon” como padrão de refletância, com diferentes ângulos e planos no espaço. O sistema, entretanto, demanda muito tempo para cada conjunto de medidas, entre duas e três horas para uma medida padrão, o que também foi constatado em outros trabalhos semelhantes. O sistema encontra-se atualmente em uso, e para sua continuidade, a construção de algoritmos e estudos para analisar os dados obtidos se torna necessária, devido a quantidade grande de dados obtidos em cada conjunto de medidas.

Abstract

The objective of this work is to build a system to measure the reflectance of materials in order to build a data library to calculate BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function), function that describe the characteristics over a surface. The data generated by this type of system will be useful to obtain information about roughness of a surface, calculate index of refraction and extinction of a material, in models of illumination and analysis of stray light in optical systems. This work began in august 2012, and the system was making measure only in two dimension. Continuing the project in 2013, the system was updated, and now it may obtain tridimensional characteristics of reflectance of a surface. To make these measures in 3D, the system contain a mechanical part formed with three arms connected to step motors of 18 Kgf.cm with resolution of $0,4^\circ$ controlled with their own "drivers". The first arm contains a dichroic light source of 50 W, the second arm contains a lens, mirror and a optical fiber that transport the scattered light to a sensor with interference filters allocated in a "lock-in" amplifier and the third arm moves the second in order to have different angles. The signals are transferred to an analogic-digital system and then send to a computer to be stored and analyzed. Currently, the system is integrated and use a program in computer language "C", that allows the control of the step motors and the data acquisition. Initially the system was characterized to determinate the spectrum of the radiation source, illuminated area and error about the center of the measurements. Then some measurements were performed in graphite, anodized aluminum, aluminum and "Spectralon" as the reflectance standard with different angles and planes. The system, however is very time consuming, between two and three hours to make an standard measure, which is seen in other works. Currently, the system is in use, and for it continuity, construction of algorithms, and data analysis is needed, and due to the large amount of data in each measure.

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| 3.1 Ilustração do sistema..... | 8 |
| 3.2 Irradiância da lâmpada para cada comprimento de onda..... | 9 |
| 4.1 Perfil de refletância do spectrallon com luz incidente a 15°..... | 10 |
| 4.2 Perfil de refletância do spectrallon com luz incidente a 60°..... | 10 |
| 4.3 Perfil de refletância do teflon com luz incidente a 15°..... | 11 |
| 4.4 Perfil de refletância do teflon com luz incidente a 60°..... | 11 |
| 4.5 Perfil de refletância do grafite com luz incidente a 15°..... | 12 |
| 4.6 Perfil de refletância do grafite com luz incidente a 60°..... | 12 |
| 4.7 Perfil de refletância do aço com luz incidente a 15°..... | 13 |
| 4.8 Perfil de refletância do aço com luz incidente a 30°..... | 13 |
| 4.9 Perfil de refletância do aço com luz incidente a 70°..... | 14 |

SUMÁRIO

| | Pág. | |
|----------|---|----|
| 1 | Introdução..... | 6 |
| 2 | Revisão Bibliográfica..... | 6 |
| 2.1 | BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function)..... | 6 |
| 3 | Materiais e Métodos..... | 7 |
| 3.1 | Dispositivos..... | 7 |
| 3.2 | Caracterização do Sistema..... | 9 |
| 3.3 | Metodologia..... | 9 |
| 4 | Análise dos Resultados..... | 10 |
| 4.1 | Perfis de Refletância..... | 10 |
| 5 | Conclusão..... | 14 |
| 6 | Referência..... | 14 |

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho propõe um sistema para medida da BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function), uma função que descreve características óticas de um material e sua superfície e é usada para simulações gráficas de superfícies iluminadas. Os dados gerados por este tipo de sistema poderão ser utilizados para obter informações sobre a rugosidade de uma superfície, calcular o índice de refração e extinção de um material, em modelos de iluminação e em análise de luz espúria em sistemas óticos. Assim se torna necessário construir uma biblioteca com dados sobre superfícies de materiais para comparação e apoio para estas simulações. Porém para tanto, exige-se uma grande quantidade de dados, devido ao número de graus de liberdade o que tornando a aquisição demorada. O projeto não tem só como objetivo construir uma biblioteca, mas também tornar o processo mais eficiente, tentando reduzir a duração dos testes através de algoritmos mais eficientes, menor tempo no momento da aquisição e com menor erro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function)

A BRDF é uma função com 5 variáveis, considerando uma superfície homogênea, ela representa como um objeto é visto em todas as direções. As variáveis são os ângulos de incidência e reflexão da luz em relação à superfície no plano zênite, os ângulos de incidência e reflexão da luz em relação à superfície no plano azimutal e o comprimento de onda. A tabela 1 resume as unidades utilizadas neste trabalho.

Tabela 1 – Unidades para medida da Luz

| Símbolo | Nome | Unidade |
|------------|-------------|------------------|
| L_r, L_i | Radiância | $Wm^{-2}sr^{-1}$ |
| E_r, E_i | Irradiância | Wm^{-2} |
| f_r | BRDF | sr^{-1} |

O sistema montado cobre os eixos zênite e azimutal, assim, o sistema conta com 5 variáveis, onde o ângulo de incidência é variado pelo motor de passo com a lâmpada, e o ângulo de reflexão é definido pelo outro motor, os ângulos no eixo azimutal que são

definidos pelo movimento do motor sob a mesa que permite o braço sensor girar, o comprimento de onda é variado pela troca de filtros de interferência no sensor.

A partir destes dados, procura-se encontrar os dados que representam a equação 2.1, que é a equação da refletância do material.

$$L_r(\omega_r) = \int_{\Omega} f_r(\omega_r \rightarrow \omega_i) L_i \cos \theta d\omega_i \quad (2.1)$$

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Dispositivos

O sistema é formado por três motores de passo de 18 Kgf.cm com resolução de 0,4° obtidos através de “drives” próprios controlados a partir de um computador desktop, com algoritmos na linguagem “C” (ver Figura 3.1). Dois destes motores estão conectados a braços metálicos que giram no eixo zênite tendo por centro uma mesa ajustável, que possibilita que a superfície do material colocado sobre ela fique no centro do semicírculo onde os motores se movem, e o terceiro gira o braço do motor com o sensor no ângulo, em volta da mesa ajustável.

Um dos braços dos motores contém uma lâmpada dicrónica de 50 Watts, que gera um feixe quase paralelo. O segundo está com uma lente com foco no centro da mesa, que direciona a radiação refletida do material para uma fibra ótica, que está conectada a um fotodiodo da Oriel Instruments Modelo 70336 com filtros e um “chopper” para análise do comprimento de onda de interesse. O terceiro braço está abaixo da mesa ajustável, girando todo o braço com a lente em volta da mesa.

O fotodiodo está conectado a um Sistema de Radiometra Mertlin Modelo 70100 que amplifica sinais de baixa intensidade e fornece uma resposta em Volts, que é enviada para um sistema de aquisição de dados NI-Daq 6210 na forma analógica e convertida em digital. Os dados são enviados a um computador Desktop para armazenar os dados.

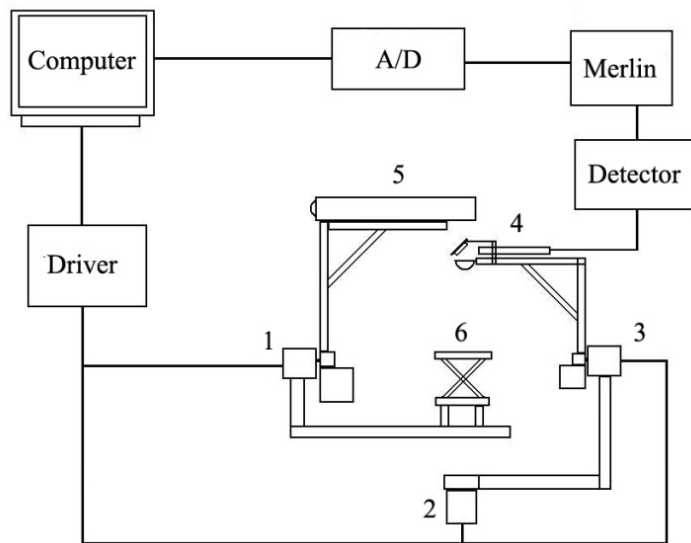


Figura 3.1 - Ilustração do sistema.

Onde:

“Computer” – Desktop com algoritmo controlado pelo usuário para controle das sequências de movimento dos motores de passo. O algoritmo também recebe os dados e os organiza em tabelas.

“Driver” – Driver que controla os motores de passo.

“Detector” – Chopper que gira a uma frequência determinada e um detector com filtro para um comprimento de onda de interesse.

“Merlin” – Sistema de detecção Merlin, que gera uma resposta analógica em forma de potencial elétrico.

“A/D” – Sistema de conversão dos sinais analógico enviado pelo detector em digital, para recebimento do computador (1).

(2) – Braço que permite a lente e a fibra ótica se moverem no eixo azimutal em volta da mesa.

(4) – Braço com lente e fibra ótica que recebe a luz refletida da mesa (6).

(5) - Braço com fonte de luz controlada por um motor de passo que gira perpendicular ao plano da mesa (6).

(6) - Mesa ajustável onde são colocadas as amostras.

3.2 Caracterização do sistema

Foi feita uma medida para encontrar o espectro da luz emitida pela lâmpada, onde se chegou ao gráfico da figura 3.2.

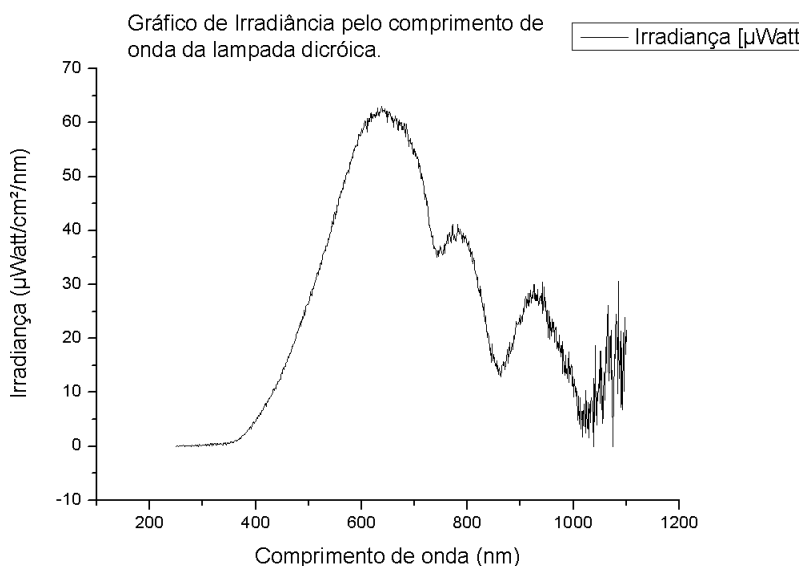


Figura 3.2 – Irradiância da lâmpada para cada comprimento de onda.

Percebe-se que a lâmpada tem maior intensidade entre os comprimentos de onda 500nm e 700nm, assim, colocou-se um filtro de 549,5 nm entre o chopper e a fibra ótica para as medidas. Outras caracterizações realizadas já foram descritas no relatório da primeira fase.

3.3 Metodologia

Assim que todos os equipamentos estão ligados, através do programa em linguagem "C" no desktop, ajustam-se os motores para que os braços fiquem perpendiculares ao plano da mesa. Em seguida coloca-se os intervalos em que os braços atuarão no semi-círculo, bem como o braço que gira no plano da mesa. A medição começa com as medidas de um padrão, medidas de escuro, e depois o mesmo para um material de interesse. Assim, o programa gera um arquivo em formato "txt" com tabelas com os dados das medidas e uma tabela com a razão dos valores do material escolhido pela medida do padrão.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Perfis de Refletância

Os perfis de refletância seguem alguns padrões, que são difuso (totalmente espalhado), espelhado (como no caso de um espelho) e acetinado (espalhamento da luz em uma direção preferencial). O padrão de refletância, material chamado spectralon, apresenta uma natureza difusa, ou seja, ele distribui a luz refletida igualmente em todas as direções como pode ser observado na figura 4.1 e 4.2, onde percebe-se que com a luz incidente em 60° há uma pequena redução na quantidade de luz refletida.

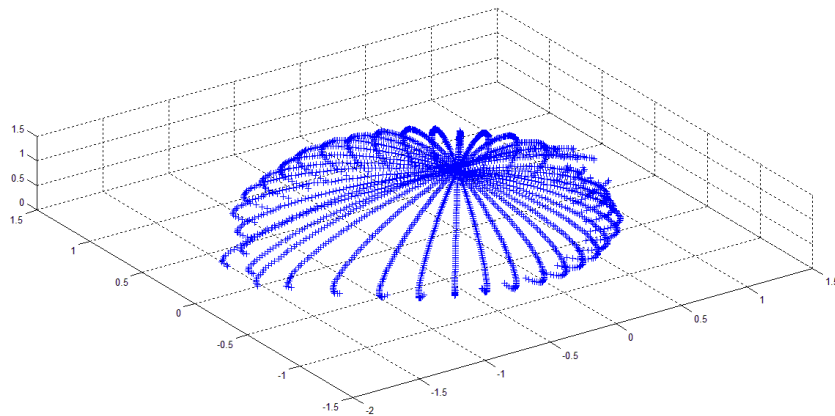


Figura 4.1: Perfil de refletância do spectrallon com luz incidente a 15° .

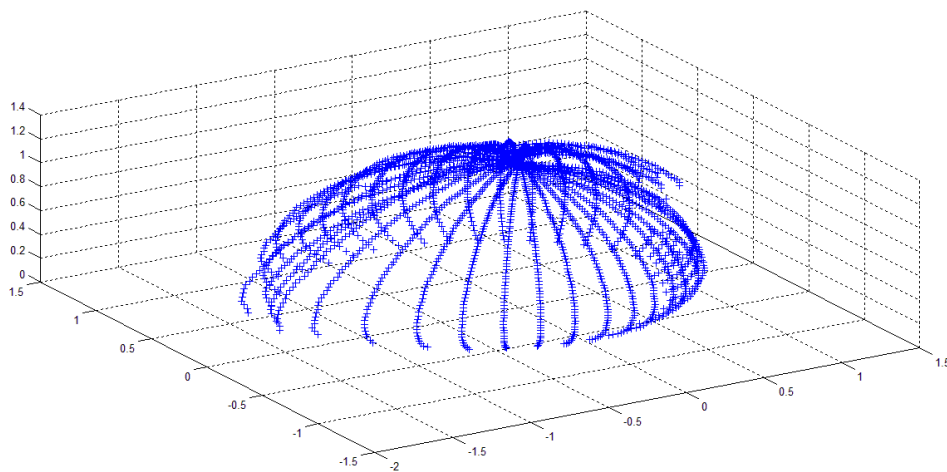


Figura 4.2: Perfil de refletância do spectrallon com luz incidente a 60°

O teflon é um material com características óticas semelhantes a do spectralon, como mostra a figura 4.3. Percebe-se na figura 4.4 que em ângulos de incidência maiores, o teflon começa a deixar a característica difusa, e tem comportamento “acetinado”, como é mostrado na figura 4.4.

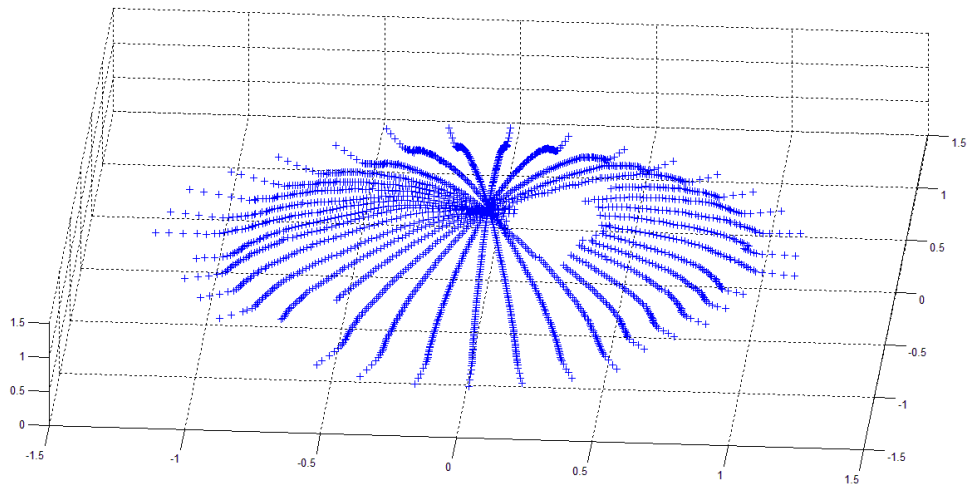


Figura 4.3: Perfil de refletância do teflon com luz incidente a 15°

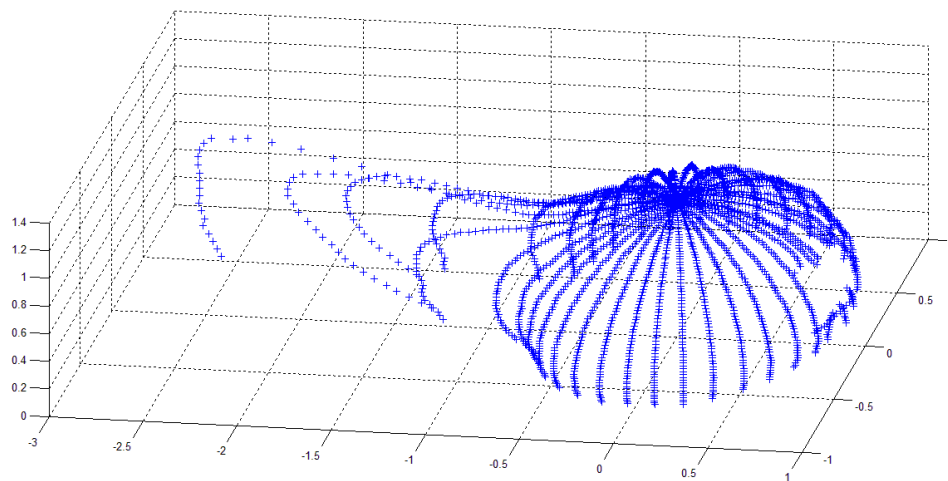


Figura 4.4: Perfil de refletância do teflon com luz incidente a 60°

O grafite apresenta um comportamento difuso para ângulos baixos e acetinado para ângulos altos, como podemos verificar nas figuras 4.5 e 4.6.

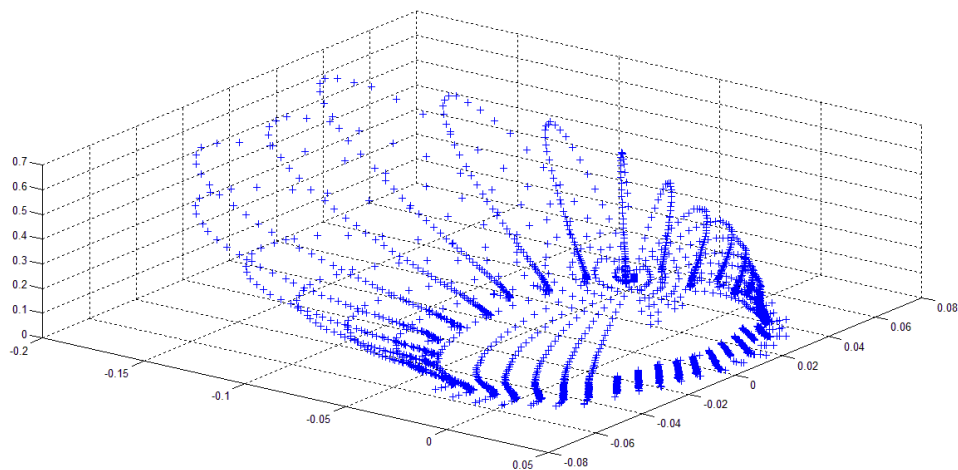


Figura 4.5: Perfil de refletância do grafite com luz incidente a 15°

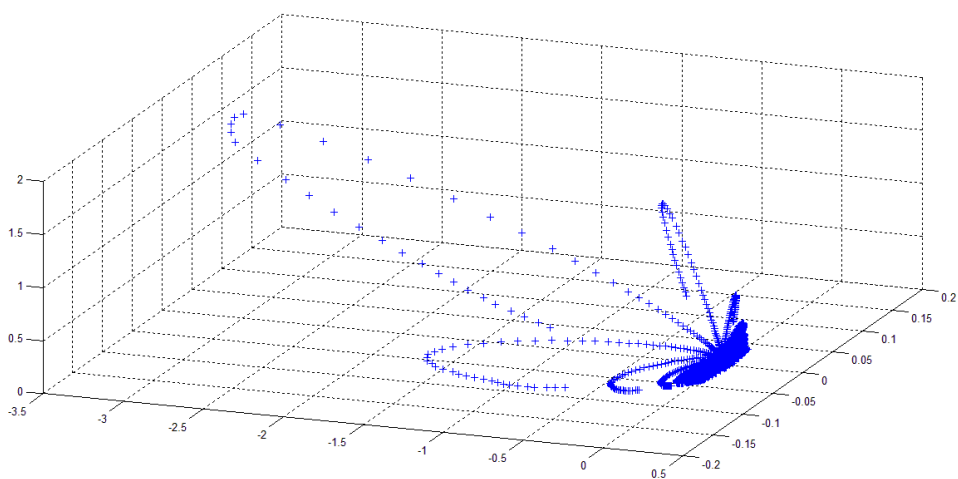


Figura 4.6: Perfil de refletância do grafite com luz incidente a 60°

Os materiais com comportamento espelhado apresentaram medidas em que ultrapassava o máximo que o sensor é capaz de medir, saturando os resultados. Então foi colocado um filtro de 10% de transmitância. Abaixo os resultados do aço para três ângulos de incidência, onde percebe-se que tem um comportamento totalmente espelhado em ângulos de incidência maiores (Figura 4.9), e um pouco de comportamento difuso em ângulos menores, como nas figuras 4.7 e 4.8.

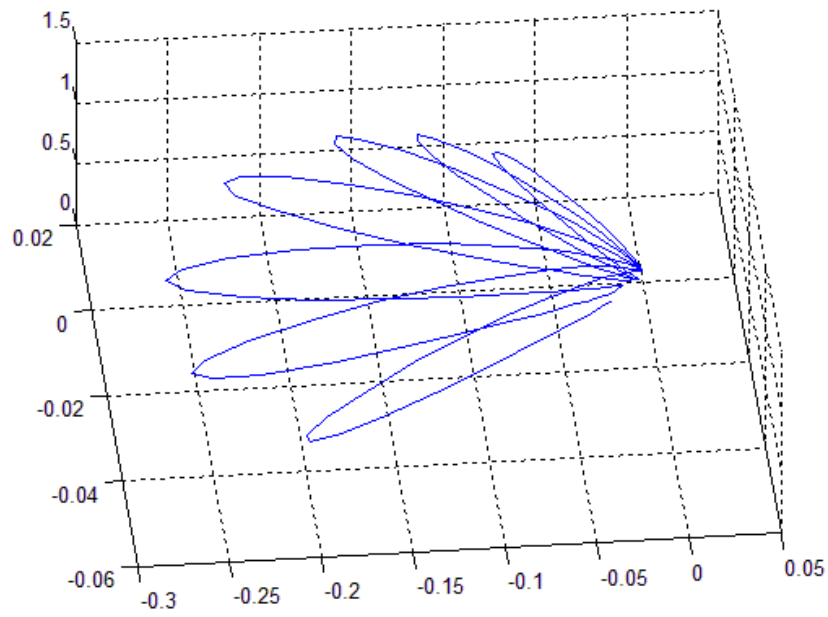


Figura 4.7: Perfil de refletância do aço com luz incidente a 15°

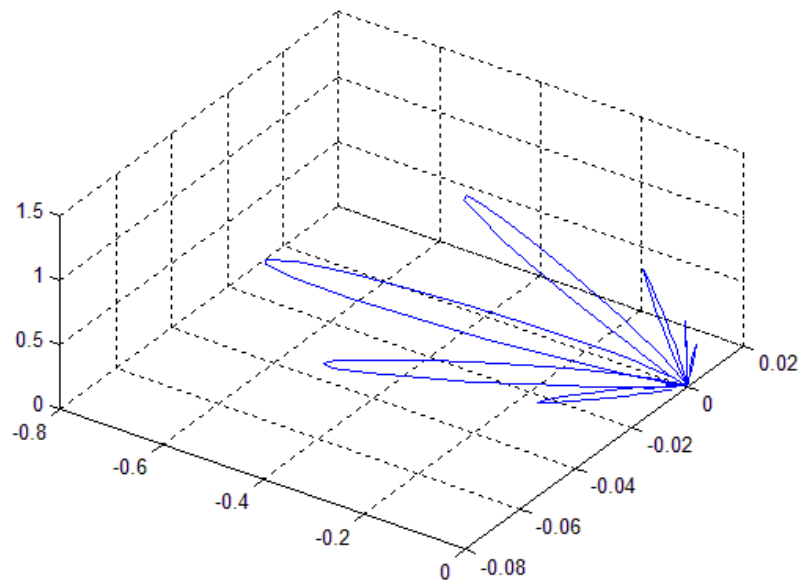


Figura 4.8: Perfil de refletância do aço com luz incidente a 30°

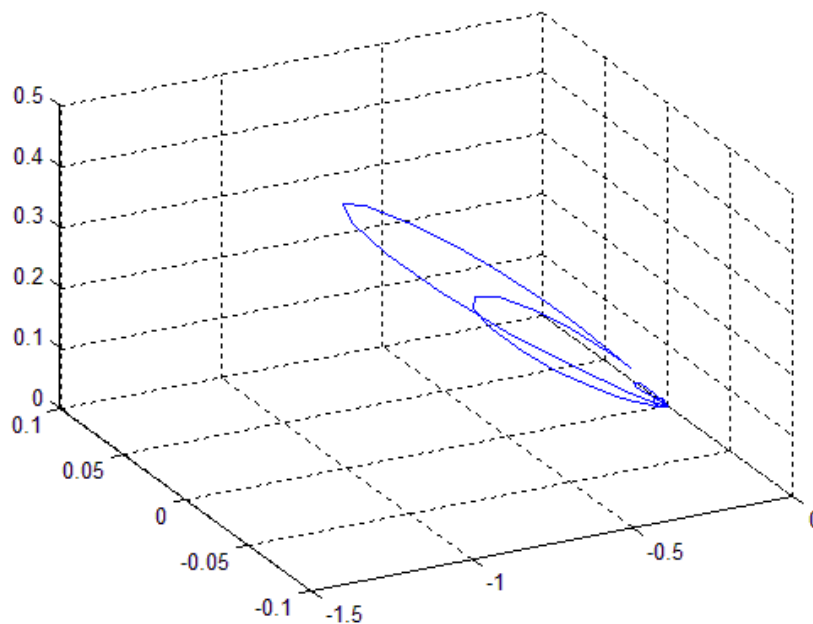


Figura 4.9: Perfil de refletância do aço com luz incidente a 70°

5 CONCLUSÃO

O sistema está funcionando como esperado, e foi possível medir as características de espalhamento de alguns materiais. Como em outros sistemas, o tempo de aquisição é alto devido a grande quantidade de dados gerados. Como próximo trabalho, deverá ser iniciado um banco de dados de BRDF de amostras de alumínio anodizado preto com diferentes acabamentos superficiais e desenvolver uma metodologia de análise dos dados.

6 REFERÊNCIAS

- [1] Acessado em: <http://search.newport.com/?q=70336NS> Data: 04/02/2013
- [2] Acessado em: http://search.newport.com/?q=*&x2=sku&q2=70100 Data: 04/02/13.
- [3] Acessado em: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/pt/nid/203223> Data: 04/02/13.
- [4] Acessado em: <http://www.labsphere.com/products/reflectance-standards-and-targets/reflectance-targets/spectralon-targets.aspx> Data: 04/02/13.

[5] KE, L. **A Method of Light Reflectance Measurement.** 1993. 65f. Tese. Tsinghua University. Vancouver, BC Canada, 1993

[6] BILIOURIS, D. **A Compact Laboratory Spectro-Goniometer (CLabSpeG) to Assess the BRDF of Materials. Presentation, Calibration and Implementation on Fagus sylvatica L. Leaves.** 2007.

[7] COHEN, M. F. WALLACE, J. R. **Radiosity and Realistic Image Synthesis.** Boston, San Diago, New York, London, Sydney, Tokyo, Toronto: Academic Press

Mário Salgado Ribeiro
UNIFESP, Bolsista PIBIC/CNPq

Luiz Angelo Berni
LAS/CTE/INPE, Orientador

Profissional, 1993. 381 p..