

Experimento para Caracterização de Elementos Dispersivos

Flávio F. Ribeiro^{a,b}; Clemens D. Gneiding^a; Bruno V. Castilho^a

^aLaboratório Nacional de Astrofísica/MCT, Rua Estados Unidos, 154, Itajubá, MG, Brazil

^bUniversidade Federal de Itajubá, Av. BPS, 1303, Itajubá, MG, Brazil

RESUMO

O uso das redes holográficas de volume de fase (Volume Phase Holographic - VPH gratings) em espectrógrafos astronômicos vem aumentando mundialmente devido a sua alta eficiência, flexibilidade na fabricação e baixo custo. Por exemplo, 3 dos 4 espectrógrafos do telescópio SOAR são baseados em redes VPH. Seguindo o crescimento no uso desta tecnologia, são necessárias ferramentas para caracterizar estas redes em sua propriedade física e eficiência de difração.

Foi desenvolvido no LNA, um arranjo para caracterização de redes VPH, redes clássicas e filtros. A eficiência relativa das redes pode ser medida de 350nm até 1000nm, para ângulos específicos (ângulo de blaze) ou pelos ângulos de operação da rede. O experimento é baseado numa fonte monocromática variável, rotação e translação de dispositivos mecânicos e uma câmera CCD. Foi usado para automação a plataforma LabVIEW e rotinas baseadas em IRAF para análise de dados. Além disso, foi medido a planicidade de algumas redes usando técnicas interferométricas.

Neste trabalho também é apresentado o projeto experimental e sua características, é descrito os procedimentos de medida e apresentado os resultados para a caracterização da rede VPH do Espectrógrafo STELES e SIFS. Alguns resultados foram comparados com as medidas enviadas pelos fabricantes das redes e com medidas de outros laboratórios.

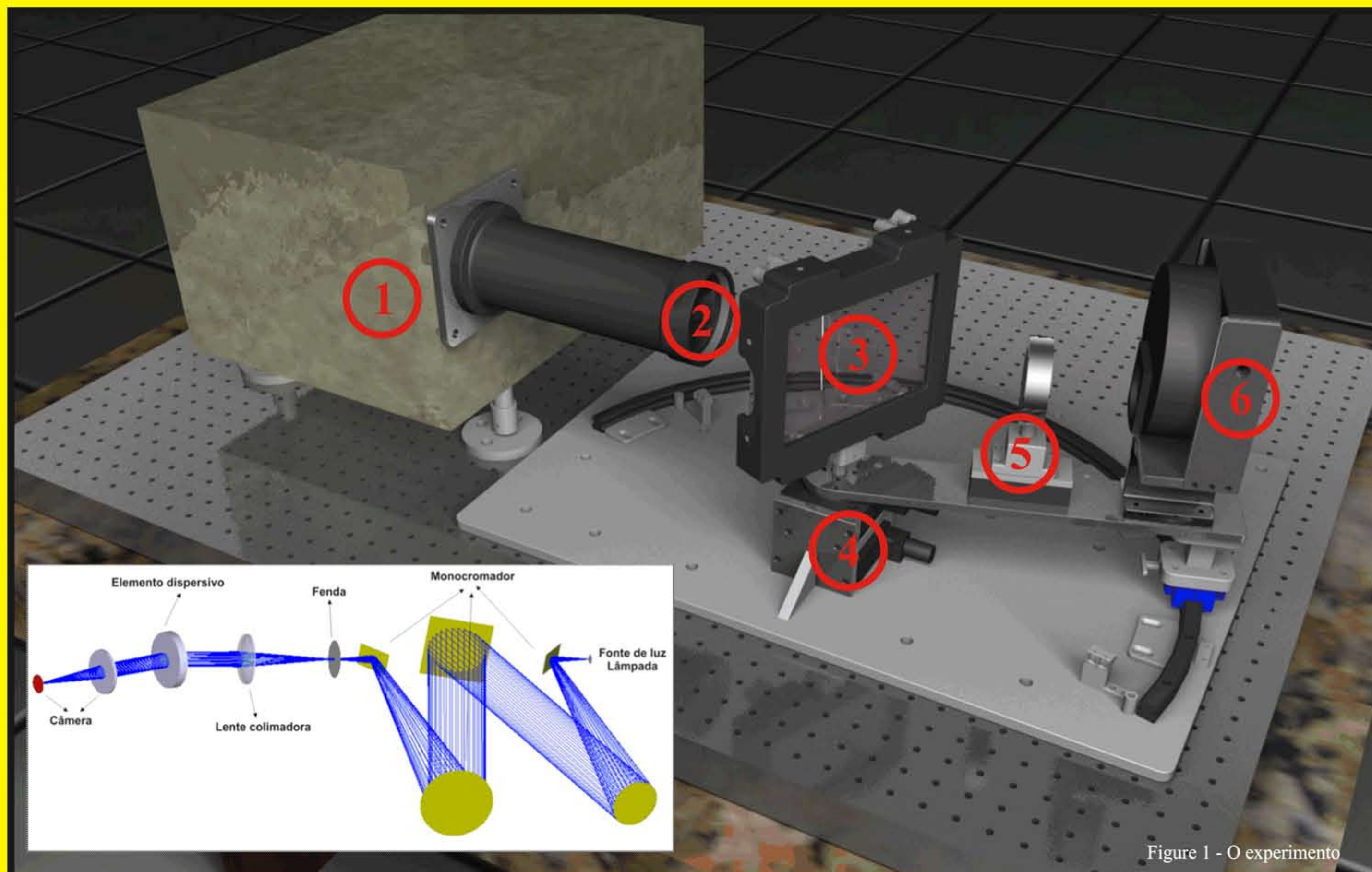


Figure 1 - O experimento

INTRODUÇÃO

A luz que passa através de uma rede de difração obedece a equação das redes, que dada pela seguinte fórmula:

$$m\lambda = \Lambda_g (\sin\alpha_i - \sin\beta_i) \quad (1)$$

onde m é a ordem de difração, λ é o comprimento de onda da luz incidente no espaço livre, n_i é o índice de refração do meio, α_i é o ângulo de incidência da luz, β_i é o ângulo da luz difratada no ar e

$$\Lambda_g = \frac{\Lambda}{\cos\phi} \quad (2)$$

onde ϕ é o «ângulo de inclinação» entre a normal da rede e o plano das fendas. No caso de uma rede VPH nós utilizamos redes com ângulo de fendas perpendiculares ao plano da rede, logo Λ_g é o mesmo que Λ e $\beta_i = -\alpha_i$. Neste caso o fenômeno se torna análogo a reflexão de Bragg para os Raios-X nas camadas atômicas dentro de um cristal³ e a condição de Bragg é dada por:

$$m\lambda = 2\Lambda \sin\alpha_i \quad (3)$$

onde m é a ordem de Bragg. Os termos «Comprimento de onda de Bragg» e «ângulo de Bragg» são comumente usados para descrever o comprimento de onda e ângulos que satisfaz exatamente a condição de Bragg^{3,4}. Mas esta condição não é a condição única para uma alta eficiência. A eficiência de uma rede VPH depende da espessura da rede, da modulação do índice de refração e do ângulo de incidência. Estas são baseadas na teoria de Kogelnik⁵.

PROJETO OPTO-MECÂNICO

(1) Fonte de Luz

- * Monocromador CGA/McPherson;
- * Uma lâmpada de tungstênio e uma de deutério produzem uma faixa de comprimento de onda de 350 até 1000nm;
- * Possui uma unidade automática de filtros (8 filtros) que isolam faixas não desejadas.

(2) Colimador

- * Lente plano convexa de 50mm de diâmetro;
- * f2.

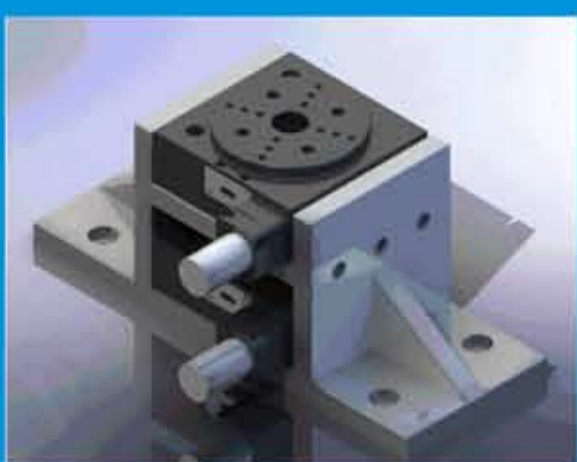


(3) Elemento Dispersivo

- * Liberdade axial (360°);
- * O suporte atual comporta um elemento de até 180x120x10mm

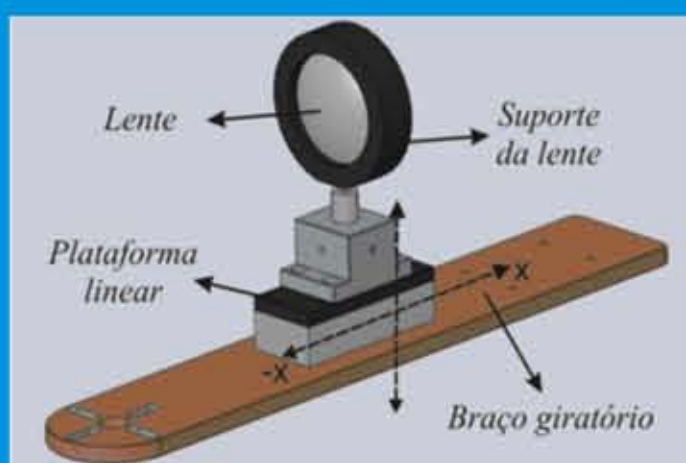
(4) Plataformas motorizadas

- * Repetibilidade angular (~ 30");
- * Acurácia (~ 2");



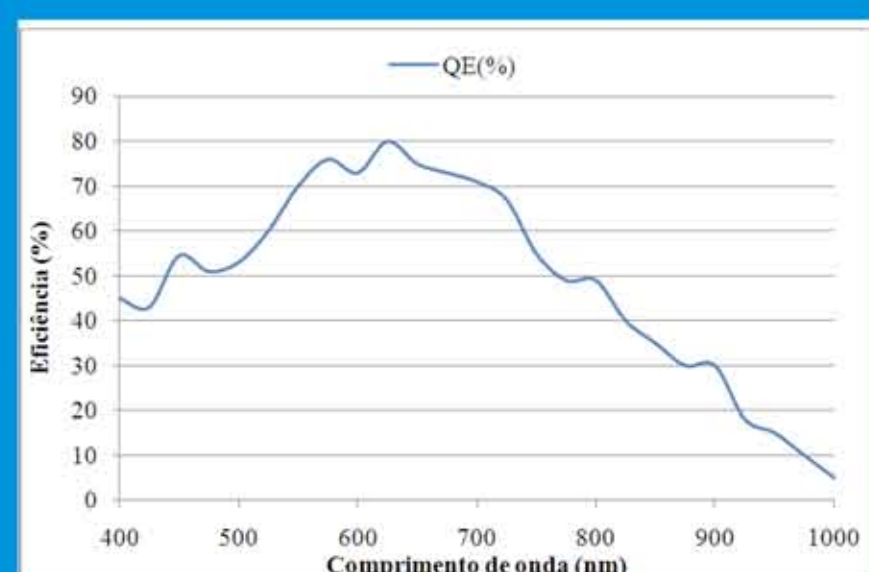
(5) Câmera

- * Lente plano convexa de 50mm de diâmetro;
- * Possui ajuste de translação para uma melhor focalização.

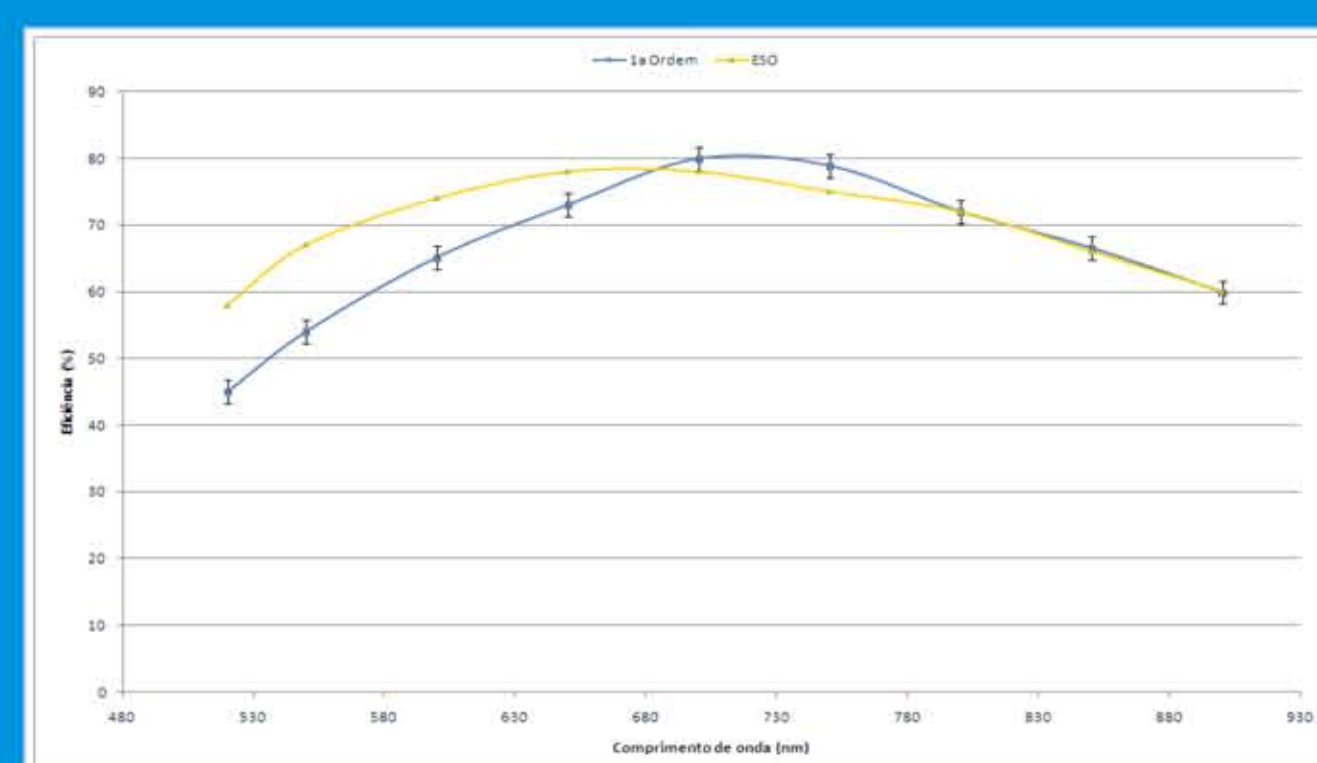


(6) Detector (SBIG ST8-ME1)

- * Tempo de exposição entre 0.12 to 3600s;
- * 2.3 e-/ADU A/D;
- * 15 e-RMS.

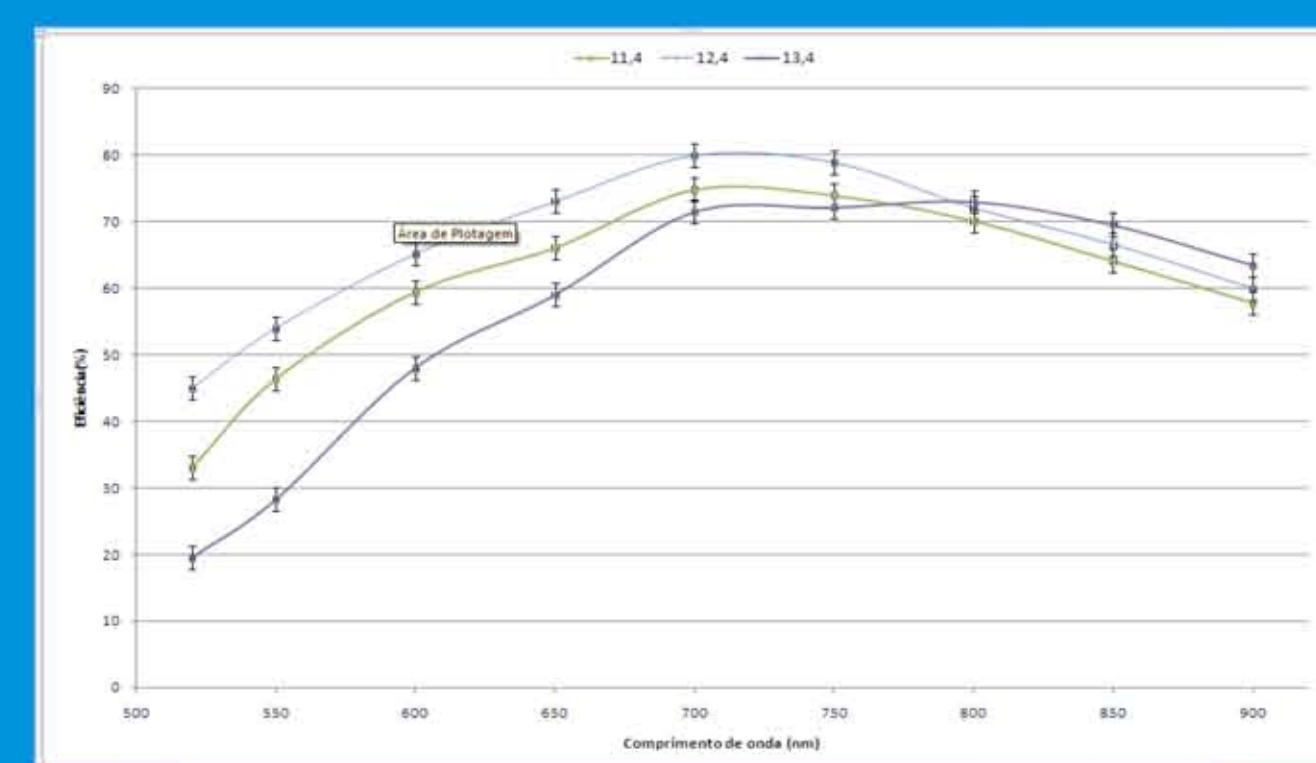


RESULTADOS



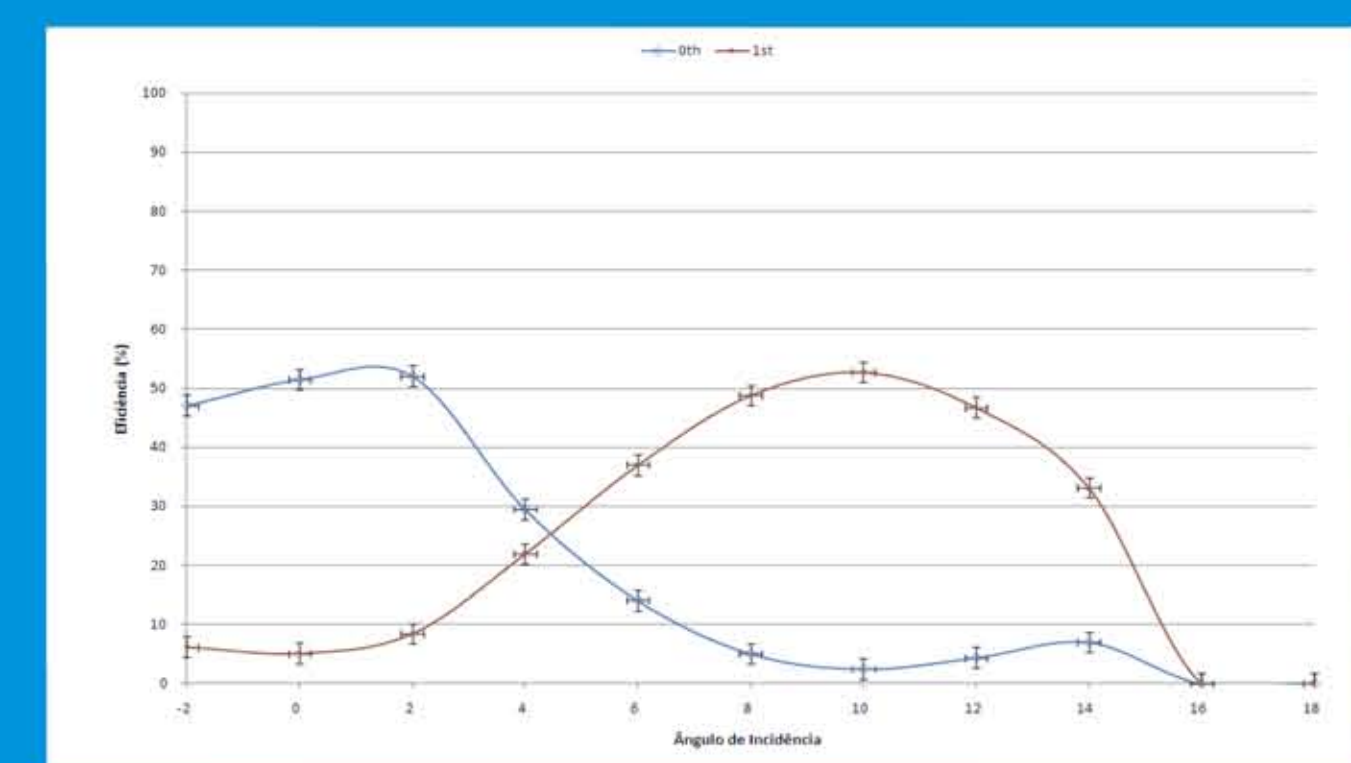
Rede de 600 l/mm do STELES

Curva de eficiência da rede de 600 l/mm do STELES comparada com a mesma curva medida por um experimento do ESO. Há uma diferença de valores para baixos comprimentos de onda, que podem ser justificados por diferenças nos ângulos de incidência dos dois experimentos



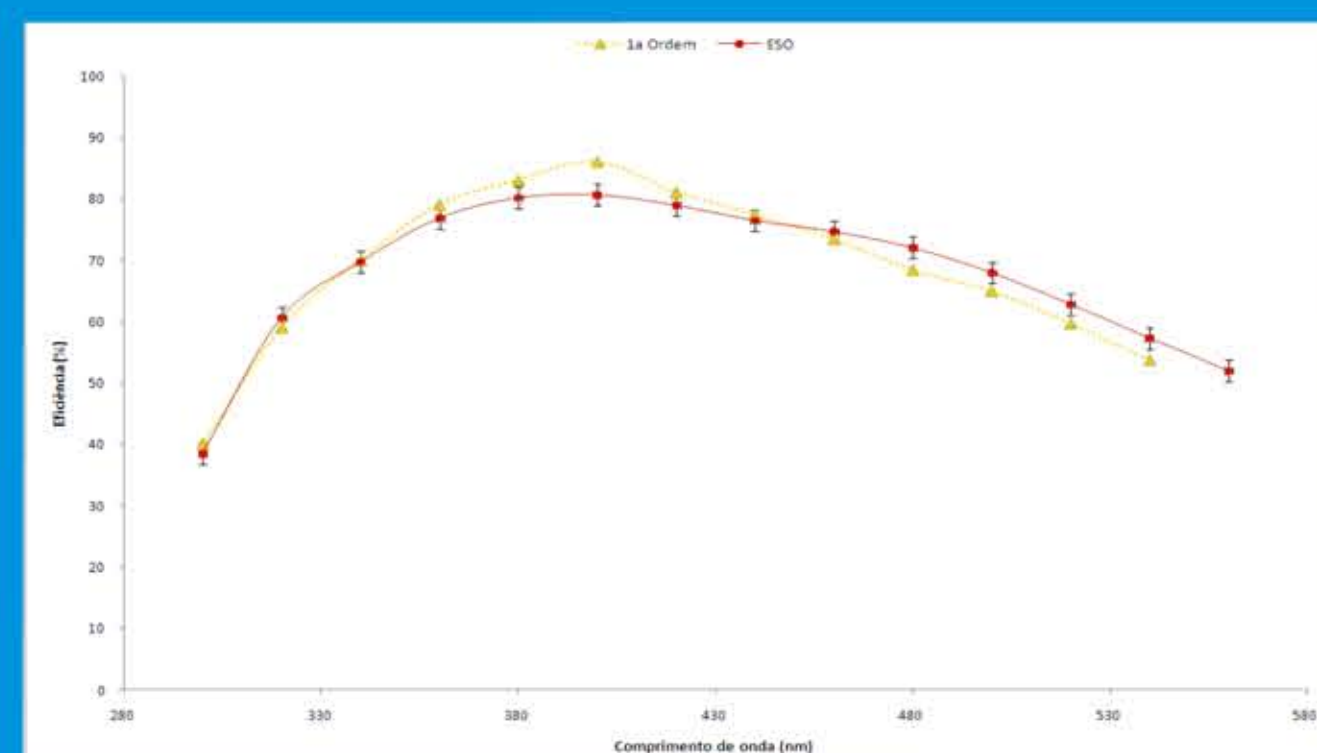
Rede de 600 l/mm do STELES

Curva de eficiência da rede de 600 l/mm do STELES, cujo ângulo de trabalho é de 12,4 graus. É possível perceber que a melhor eficiência desta rede é para o ângulo de trabalho, pois possui a melhor eficiência em todo o espectro de trabalho da mesma.



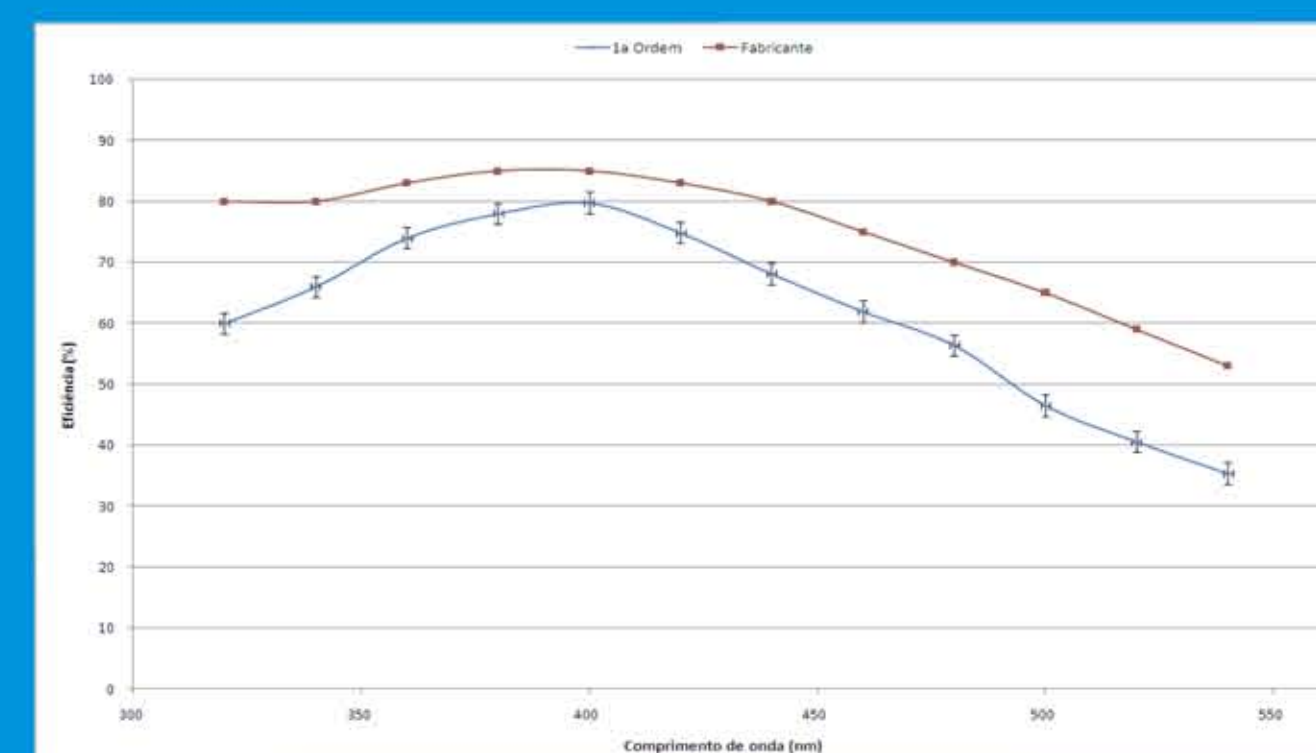
Rede de 600 l/mm do STELES

Curva de eficiência da rede de 600 l/mm do STELES para ângulos diferentes e com o mesmo comprimento de onda (550nm). É possível ver a transferência de energia em função do ângulo de incidência.



Rede de 1200 l/mm do STELES

Curva de eficiência da rede de 1200 l/mm do STELES comparada com a mesma curva medida por um experimento do ESO. Esta curva é importante para nosso experimento pois ela valida o mesmo. Isso é devido as curvas serem muito próximas, com métodos diferentes medindo a mesma amostra.



Rede de 1500 l/mm do STELES

Curva de eficiência da rede de 600 l/mm do STELES comparada com a mesma curva medida feito pelo fabricante. Não é possível fazer muitas comparações, pois não sabemos o método utilizado pelo fabricante, nem ângulo de incidência.



Rede de 2600 l/mm do SIFS

Curva de eficiência da rede de 2600 l/mm do STELES. A curva vermelha corresponde a curva de melhor eficiência total desta rede. As curvas secundárias são as curvas de eficiência para diferentes ângulos de incidência, cujo pico é correspondente ao melhor ângulo para aquele comprimento de onda específico. E com estes picos é formado então o Super Blaze.

SOFTWARE E PROCEDIMENTO DE MEDIDA



* Salva Imagens com extensão .fits;

* Imagens analisadas pelo IRAF (Image Reduction and Analysis Facility);

* Tarefa fotométrica (nodao > digiphot > apphot > polyphot);

* Tarefa calcula o número de fotons dentro de uma caixa na imagem;

* Arquivos Textos para o resultados;

* Utiliza parâmetros do CCD;

* Cabeçalho completo das imagens;

* Interação completa entre Programa, motores e detector;

* Controle de temperatura interna do CCD

* Controle do shutter;

* Imagens analisadas pelo IRAF (Image Reduction and Analysis Facility);

* Tarefas fotométricas (nodao > digiphot > apphot > polyphot);

* Tarefa calcula o número de fotons dentro de uma caixa na imagem;

* Arquivos Textos para o resultados;

* Utiliza parâmetros do CCD;

* Cabeçalho completo das imagens;

* Interação completa entre Programa, motores e detector;

* Controle de temperatura interna do CCD

* Controle do shutter;

MEDIDAS DE FRENTE DE ONDA

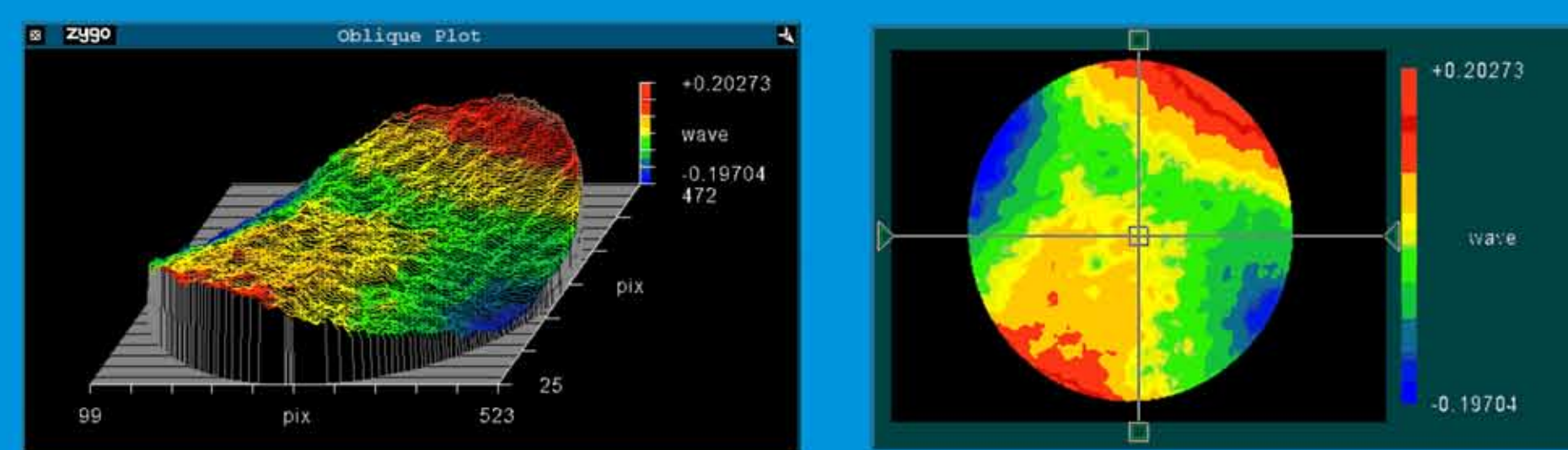


Figure 7 - (a) Oblique plot

(b) Transmitted wavefront distortion

As medidas interferométricas das redes foram feitas pelo interferômetro Zygo GPI 4" XP/D do LNA. O interferômetro está montado em uma bancada óptica estabilizada dentro de um laboratório climatizado. Para a medida das redes foi utilizado montagem com um espelho plano padrão (λ/20) mudando o ângulo do espelho de referência em acordo com o ângulo de difração da rede. As figuras mostram a alguns resultados para uma dupla passagem da frente de onda para a primeira ordem da rede de 1500 l/mm. Como comentado por Barden et al.⁴ muitos espectrógrafos astronômicos esquecem que as redes devem ter erros de frente de onda menores que 1/4 de onda.

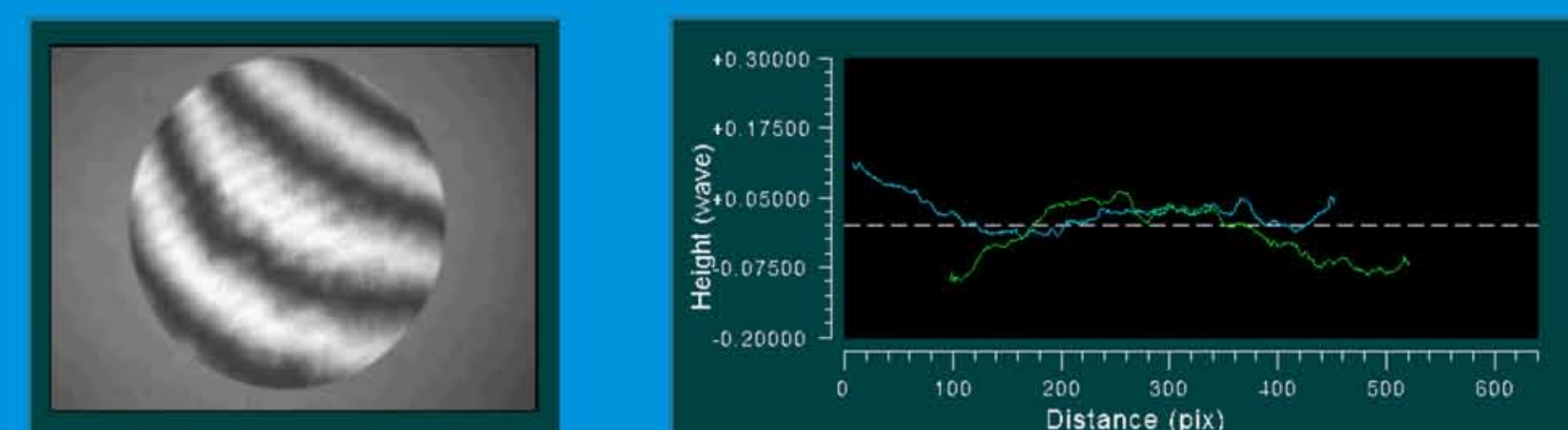


Figure 8 - (a) Double pass Interferogram

(b) Surface wavefront profile

CONCLUSÕES

Com os dados obtidos pelo experimento desenvolvido pelo LNA, é possível dizer que o mesmo está habilitado para caracterizar filtros, pequenos espelhos, redes clássicas de difração e redes holográficas

O experimento:

- * Apresenta Excelente repetibilidade e acurácia no movimento da câmera e do ângulo de incidência;
- * Possui uma fonte de luz de 350 a 1000nm;
- * Salva imagens no formato .fits, podendo as mesmas serem analisadas por outras pessoas.
- * O suporte da amostra pode fixar vários tipos e tamanhos de amostras.
- * O projeto está pronto para medir outros elementos dispersivos que forem necessários.

REFERENCIAS

- [1] J. R. D. Lepine; A. C. de Oliveira, M. V. Figueredo, B. V. Castilho, C. D. Gneiding, B. Barbuy, D. J. Jones, A. Kanaan, C. M. Oliveira, C. Strauss, "SIFUS: SOAR integral field unit spectrograph." Proc. SPIE 4841, 2003
- [2] B. V. Castilho, B. Delabre, C. D. Gneiding, "A new concept for echelle spectrographs: the SOAR Telescope Echelle Spectrograph", Proc. SPIE 5492, 2004
- [3] I. K. Baldry, J. B. Hawthorn and J. G. Robertson, "Volume phase holographic gratings: Polarization Properties and diffraction efficiency. P.A.S.P. 116, 403-414, 2004.
- [4] S. C. Barden, J. A. Arns, W. S. Colburn and J. B. Williams, "Evaluation of volume-phase holographic grating technology".
- [5] H. Kogelnik, "Coupled wave theory for thick hologram gratings", The Bell system Technical Journal 48, pp 2909-2947, 1969.