

Laboratório de Óptica Adaptativa

Projeto de Iniciação Científica para o Edital UFABC/Propes 04/2022

Resumo

O desenvolvimento da óptica adaptativa (AO, na sigla em inglês) é impulsionado pela necessidade de uma maior eficiência na captação da luz do objeto científico em telescópios de astronomia, produzindo uma maior intensidade de luz sendo entregue num número menor de *pixels* dentro dos instrumentos detectores, minimizando assim os efeitos do ruído de fundo do céu e das distorções atmosféricas nas imagens dos objetos celestes. Todos os telescópios extremamente grandes (ELTs, na sigla em inglês) são limitados por estas distorções introduzidas pela atmosfera da Terra. Tais distorções são parcialmente compensadas pelo uso de AO, que consistem em sistemas optomecânicos que podem medir a frente de onda da luz incidente de objetos celestes e rapidamente aplicar uma correção óptica apropriada usando um elemento óptico ativo, tipicamente um espelho deformável.

Neste projeto de iniciação científica (IC), propomos atividades experimentais no Laboratório de Óptica Adaptativa da UFABC, onde o estudante tomará contato com os instrumentos utilizados na aplicação da AO, tais como: um espelho deformável, um sensor de frente de onda, um modulador de luz espacial, etc.

Palavras-chave: Instrumentação astronômica, telescópios extremamente grandes, óptica adaptativa.

Área e sub-área de conhecimento: Astronomia (Instrumentação astronômica).

I. INTRODUÇÃO

Telescópios terrestres para a astronomia moderna exigem o emprego de instrumentos de aberturas muito grandes para obter a sensibilidade e resolução angular necessárias para a observação objetos muito distantes no Universo. Nesta década, testemunharemos a ascensão das maiores instalações de astronomia já construídas, telescópios extremamente grandes (ELTs¹), tais como o Telescópio Gigante de Magalhães (GMT) [1], o Telescópio Extremamente Grande Europeu (E-ELT) [2] e o Telescópio de Trinta Metros (TMT) [3]. Os ELTs serão capazes de observar o Universo mais distante até as primeiras épocas, ver estrelas individuais nas galáxias mais próximas e detectar o brilho fraco de exoplanetas rochosos ao redor das estrelas mais próximas. A era dos ELTs já começou desde que seus construtores abriram caminho em seus respectivos locais.

No entanto, instrumentos tão grandes com grandes aberturas têm uma dificuldade intrínseca: a atmosfera turbulenta acima dos telescópios que degrada e borra a qualidade da imagem dos objetos celestes observados. A forma utilizada para superar essa dificuldade é a aplicação da Óptica Adaptativa (AO), sistemas optomecânicos embutidos nos telescópios que medem e corrigem a fase e a amplitude das frentes de onda antes que elas formem a imagem final (veja a figura 1 para um diagrama esquemático). Parte da luz é extraída para um analisador de frente de onda (ou sensor), onde as diferenças de fases de uma frente de onda plana perfeita são medidas e compensadas pela introdução de caminhos ópticos, geralmente pelo uso de um espelho deformável cuja forma é orientada pelas informações fornecidas pelo sensor de frente de onda.

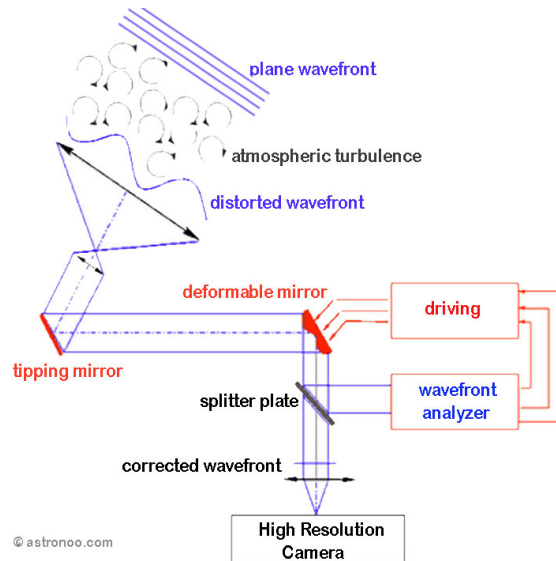


Figura 1: Diagrama esquemático para um sistema AO padrão.

Na figura 2, podemos comparar a imagem final de uma galáxia distante obtida com e sem o uso de AO.

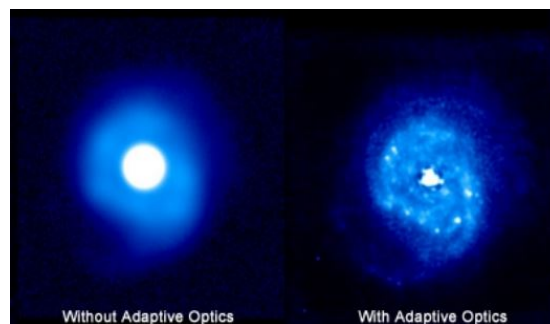


Figura 2: Diferença entre uma imagem sem AO (à esquerda) e com AO (à direita).

¹Adotaremos todas as siglas em inglês.

II. METODOLOGIA

O Laboratório de Óptica Adaptativa (LAO) foi instalado na UFABC para produzir estudos sobre as principais técnicas de AO. Para implementar modulações de fase e detecção de frente de onda no feixe de luz, a configuração experimental da figura 3 foi montada. Um laser He-Ne ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$ e potência de saída de 5 mW) fornece a fonte do feixe. Após passar por um orifício com $5 \mu\text{m}$ de diâmetro posicionado no foco de uma lente plano-convexa ($f = 20 \text{ cm}$), uma frente de onda plana é gerada e a luz passa por um divisor de feixe (50 : 50). Parte do feixe incide sobre o modulador de luz espacial (SLM) que insere as aberrações a serem estudadas (astigmatismo, desfocagem, etc.) através de modulações de fase na frente de onda e a reflete de volta ao divisor de feixe. No segundo braço do divisor, o feixe refletido é superposto ao modulado e eles são focalizados por uma segunda lente ($f = 20 \text{ cm}$) no plano focal (ponto 1 da figura 3), gerando a frente de onda de luz a ser medida e analisada por uma câmera de imagem. Alternativamente, podemos concentrar o feixe à abertura de uma fibra óptica e medir a intensidade de luz que incide nela.

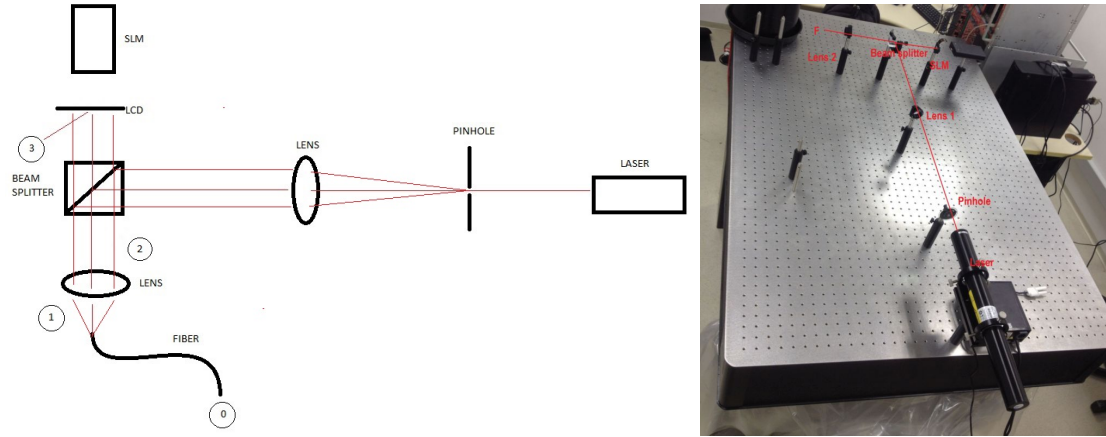


Figura 3: Um diagrama ilustrando o circuito óptico usado para medir os modos de aberração de Zernike (esquerda); e uma fotografia da instalação no LAO (direita).

O modulador de luz espacial (SLM) é um dispositivo amplamente usado em ótica de ondas, espectroscopia de alta resolução ou configurações de armazenamento de dados holográficos. Eles são usados para codificar informações em um feixe de laser exatamente da mesma maneira que uma transparência faz para um projetor. Eles também podem ser usados como um componente em computação óptica ou como parte de uma tecnologia de exibição holográfica. O SLM é capaz de modificar a amplitude, fase ou polarização da frente de onda em tempo real em resposta a sinais de controle ópticos ou eletrônicos. A imagem é alterada eletronicamente, geralmente recebendo entrada por meio de uma interface convencional, como VGA ou DVI.



Figura 4: PLUTO-NIR-011 SLM produzido pela HOLOEYE Photonics [4].

As quatro imagens na figura 5 são fornecidas pelo software PLUTO SLM. Eles são definidos na tela de cristal líquido SLM de forma que a frente de onda do laser refletida seja modulada por cada imagem. A primeira imagem é um padrão de Saturno sem aberração (padrão) e as outras três imagens representam aberrações dadas pelos modos Zernike: desfocagem, astigmatismo vertical e astigmatismo oblíquo.

O sensor de frente de onda (WFS) Shack-Hartmann é composto por uma câmera com um array de microlentes (MLA) montado na frente do sensor da câmera. Em nosso laboratório utilizamos o WFS150-7AR, produzido pela Thorlabs [5]. Trata-se de um Shack-Hartmann WFS de alta resolução, incorporando câmeras CCD com resolução de 1,3 megapixels e passo de lente de $150 \mu\text{m}$, fornecendo medições precisas da forma da frente de onda e distribuição de intensidade do feixe.

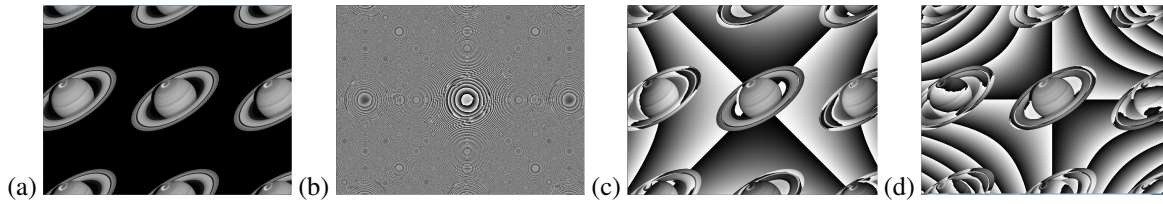


Figura 5: Imagens codificadas pelo SLM no feixe de laser: (a) padrão (sem aberrações); (b) desfocagem; astigmatismo vertical; e (d) astigmatismo oblíquo.

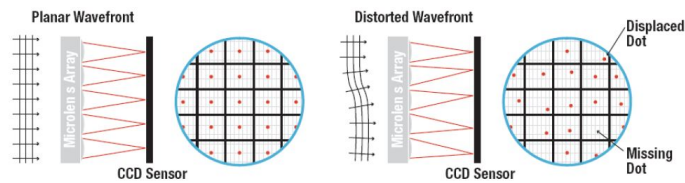


Figura 6: O princípio de funcionamento de um conjunto de microlentes de um Shack-Hartmann WFS.

Um espelho deformável (DM) é um espelho cuja superfície pode ser deformada, para obter controle de frente de onda e correção de aberrações ópticas. É usado em combinação com um sensor de frente de onda e sistemas de controle em tempo real em AO. Compramos um espelho deformável piezoelétrico (DMP) da Thorlabs (DMP40/M-P01) [6], que consiste em um disco piezoelétrico com um eletrodo traseiro segmentado colado a um substrato de vidro carregando a superfície refletiva. O eletrodo traseiro segmentado controla um conjunto de segmentos espelhados independentes. Cada um pode ser forçado a realizar uma flexão local côncava ou convexa, dependendo da tensão aplicada. Na figura 7, é apresentado o DM em funcionamento.

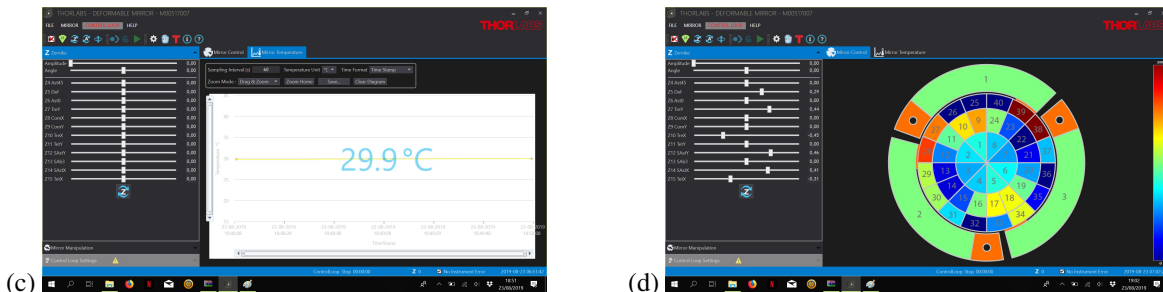
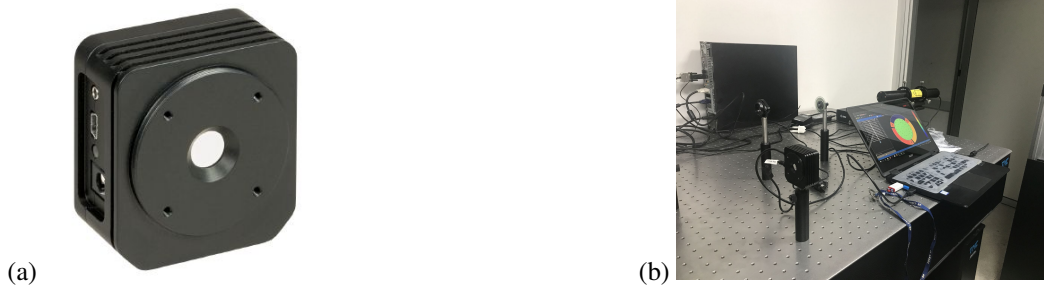


Figura 7: Fotos: (a) do DMP40 [6]; (b) do DMP40 em funcionamento na bancada do LAO; software de controle do DMP40 (c) como sensor de temperatura; e (d) na manipulação de espelhos para diferentes modos de Zernike.

III. OBJETIVOS E METAS

O objetivo principal do projeto é o de fornecer subsídios necessários para o estudante aprender a utilizar, manipular e realizar experimentos com os equipamentos do LAO. Com base neste treinamento, o estudante poderá desenvolver pesquisas de ponta em AO e trabalhar na produção de instrumentos para grandes experimentos científicos de astronomia, como o GMT, do qual o Brasil faz parte.

As seguintes metas específicas foram idealizadas para o atual projeto de IC:

1. Aprender os princípios básicos de trabalho num laboratório de óptica, como, por exemplo, produzir o alinhamento dos instrumentos;
2. Aprender a instalar e utilizar os instrumentos do LAO: o modulador de luz espacial (SLM), o sensor de frente de onda (WFS) e o espelho deformável (DM);
3. Estudar a teoria de AO, em especial, relacionada aos polinômios de Zernike [7];
4. Continuar seus trabalhos de simulação computacional da AO, através do software AdOptSim que estamos desenvolvendo.

A. Viabilidade do projeto

O projeto apresentado tem total viabilidade de ser concluído com êxito, uma vez que possui nível adequado para um estudante de graduação. Ademais, vale salientar que este projeto é uma continuação das pesquisas que o aluno já vem realizando, satisfatoriamente, em projetos anteriores de IC ou do programa PDPD. Este projeto demanda apenas de computadores e de conectividade entre o estudante e o orientador.

Além das atividades de pesquisa supracitadas, o estudante deverá participar de reuniões periódicas do Grupo de Raios Cósmicos (GRC) da UFABC, com o orientador, em que serão discutidos aspectos técnicos, teóricos ou experimentais, das pesquisas na área. Temos também como metas as apresentações de seus resultados nas reuniões do GRC, no Simpósio de Iniciação Científica (SIC) da UFABC, bem como em encontros nacionais e/ou internacionais de astronomia.

IV. CRONOGRAMA

O cronograma de atividades a serem realizadas no presente projeto de IC está apresentada na tabela abaixo:

Mês	Atividades
1	Revisão bibliográfica
2	Instalação e utilização do SLM e do WFS
3	
4	
5	Elaboração do relatório parcial
6	
7	
8	Instalação e utilização do DM
9	
10	Simulação dos resultados
11	Análises finais
12	Elaboração do relatório final

V. CONCLUSÃO

A técnica de AO é fundamental para a nova geração de telescópios de astronomia da categoria ELT, uma vez que dadas suas grandes aberturas, grandes distorções atmosféricas são produzidas nas imagens que são captadas por estes instrumentos. Desta forma, há sempre a necessidade de se produzir correções nas imagens com as técnicas de AO. Neste projeto de IC, propusemos atividades experimentais a serem realizadas pelo estudante no LAO da UFABC. Aproveitando-nos dos vários anos de experiência profissional do orientador na área, temos plena capacidade de desenvolver o projeto com êxito na UFABC.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] Johns, M., McCarthy, P. J., Raybould, K., Bouchez, A., Farahani, A., Filgueira, J. M., Jacoby, G., Sheckman, S., and Sheehan, M., “Giant Magellan Telescope: Overview”, in [Ground-based and Airborne Telescopes IV], Proc. SPIE 8444, 84441H (2012).
- [2] Gilmozzi, R. and Spyromilio, J., “The 42m European ELT: status”, in [Ground-based and Airborne Telescopes II], Proc. SPIE 7012, 70129 (2008).
- [3] Nelson, J. and Sanders, G. H., “The status of the Thirty Meter Telescope project”, in [Ground-based and Airborne Telescopes II], Proc. SPIE 7012, 70121A (2008).
- [4] PLUTO Phase Only Spatial Light Modulators, Manual: v1.7 (01/2016), available online at <http://www.holoeye.com>
- [5] Thorlabs, WFS150-7AR. <https://thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=WFS150-7AR>
- [6] Thorlabs, DMP40 Operating Manual; https://www.thorlabs.com/drawingsc06a64c9027901f2-DBA4BF7B-9608-7206-27302F789DBD0FA4DMP40_M-P01-Manual.pdf
- [7] F. Zernike, Physica **1** (1934) 689-704.