

## Notas Técnicas do Laboratório Nacional de Astrofísica

# Requisitos para a Automação e Operação do Observatório no Telhado

Marcos Paulo Ribeiro, Rogerio Ottoboni

LNA/NT/2017-17  
Dezembro/2017

# Requisitos para a Automação e Operação do Observatório no Telhado

Marcos Paulo Ribeiro<sup>1</sup>, Rogerio Ottoboni<sup>2</sup>

<sup>1</sup>COAST/LNA, *mribeiro@lna.br*

<sup>2</sup>COEDP/LNA, *rottoboni@lna.br*

**Resumo:** O objetivo deste trabalho é propor os requisitos para a automação e operação do Observatório no Telhado, já que atualmente o telescópio *Celestron* é operado via controle manual de fábrica e seu movimento não está integrado à cúpula. Assim, realiza-se descrição técnica do OnT e da instrumentação disponível (espectrógrafo e *CCD*), ainda não aplicada ao mesmo, e propõe-se um manual de operação do OnT às condições atuais. Em seguida, após propor a aplicação de uma *IFU (Integral Field Unit)* no plano focal do telescópio para alimentar a instrumentação, uma breve metodologia observacional e de operação do OnT pós automação é apresentada, visando uma definição mais consistente aos requisitos de automação do mesmo. Por fim, após proposta de estação meteorológica, mostra-se a conveniência de adotar o mesmo sistema de operação do Observatório do Pico dos Dias, o *TCS (Telescope Control System)*, que é adequado para futuras observações remotas discutidas no contexto.

**Palavras-chave:** instrumentação; fibra óptica; manual de operação; divulgação.

## 1. Introdução

O Laboratório Nacional de Astrofísica é um instituto de pesquisa que tem como missão: “Planejar, desenvolver, prover, operar e coordenar os meios e a infraestrutura para fomentar, de forma cooperada, a astronomia brasileira”. Sendo assim, além de operar e gerenciar o Observatório do Pico dos Dias, o LNA está encarregado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) a gerenciar a participação brasileira no Observatório Gemini e no Telescópio SOAR, dos quais também é o Escritório Nacional.

Além do gerenciamento dos telescópios e desenvolvimento de instrumentação astronômica, o LNA atua em pesquisa astrofísica em diversas áreas, como extragaláctica, estelar, buraco negro e exoplanetas.

A instituição também exerce papel importante na fomentação e difusão do conhecimento de Astronomia no País, contribuindo para a Inclusão Social. Portanto, de acordo com seu Regimento Interno [10], transferir para a sociedade serviços e produtos singulares, resultantes de suas atividades de pesquisa e desenvolvimento, faz do LNA uma ferramenta importante à Divulgação e Ensino Informal de Astronomia a nível nacional.

Com isso, em 2012, foi inaugurado um observatório para fins didáticos que, por estar construído no topo de um dos edifícios do LNA, recebeu o nome de Observatório no Telhado (OnT). Este conta com telescópios e instrumentação astronômica que são destinados à divulgação científica, fazendo parte do roteiro de visitas institucionais e de público geral que o LNA recebe regularmente.

### 1.1. O Observatório no Telhado

O Observatório no Telhado está na longitude  $+45^{\circ}29'29''$  e latitude  $-22^{\circ}25'52''$ , a 918 [m] de altitude em relação ao nível do mar. Sob a cúpula de 3,48 [m] de diâmetro, encontra-se fixado um telescópio *Celestron* de 11 polegadas de abertura. Além disso, o OnT conta com um telescópio *Meade*, de 10 polegadas de abertura, e um telescópio *Coronado* destinado à observação do Sol, com objetiva de 4 [cm] de diâmetro e filtro H-Alpha, sendo estes dois telescópios móveis.

Sob a cúpula do OnT, estando o telescópio *Celestron* fixado com montagem equatorial motorizada, este é operado através de seu controle eletrônico (manete) original do fabricante. A cúpula é movida através de um motor trifásico instalado na sua circunferência, porém a trapeira desta é movimentada de forma manual. Portanto, não há integração entre estes sistemas: cúpula, trapeira e telescópio.

O OnT está disponível ao público geral para observação noturna após proferimento de palestra que ocorre no auditório do LNA, evento chamado de Sábados Crescentes, dado que ocorre no sábado mais próximo à Lua Crescente, limitado a 80 pessoas. Instituições de ensino que visitam o LNA seguem roteiro semelhante, porém, como estas visitas são diurnas a observação do céu fica limitada ao Sol, através do telescópio *Coronado*, e à Lua, com o telescópio *Celestron*, se ela estiver acima do horizonte e com magnitude passível de observação, o que não ocorre com frequência durante as visitas.

## 1.2. Proposição

Devido às condições para observação noturna no OnT, limitada ao público geral durante os Sábados Crescentes, surge a necessidade de implementar um sistema que permita que instituições de ensino realizem observações astronômicas.

O atendimento regular de visitas institucionais ao LNA, no período noturno, exige recursos humanos, comissão de avaliação de projetos de observação, confecção de materiais didáticos específicos às instituições clientes e dentre outras atividades. Contudo, o aspecto mais relevante é que um sistema de visitas noturnas para observação astronômica limita a utilização do OnT às instituições de ensino que estejam localizadas em regiões próximas ao LNA, criando um viés de atendimento.

Um acesso remoto ao telescópio *Celestron* do OnT para instituições de ensino faz jus à democratização do mesmo, permitindo que estas realizem observações astronômicas de qualquer localização do Brasil. Entretanto, o OnT não possui seus sistemas integrados (cúpula, telescópio, instrumentação, etc) e realizar esta integração constitui um projeto de automação que torne o OnT apto às observações remotas, de forma similar ao que é realizado no Observatório do Pico dos Dias.

Outras instituições que possuem atuações em Astronomia já buscam democratizar o acesso aos seus telescópios da maneira descrita.

Assim, um grupo de oito instituições acadêmicas (CMPA, INPE, UEPG, UFRGS, UFRJ, UFRN, UFSC e USP), sob a coordenação do IAG/USP, formou um programa de estudos, pesquisas e observação astronômica direta, através de observações remotas em telescópios de pequeno porte de cada instituição. O programa recebeu o nome de Telescópios na Escola [19], visando o ensino formal ou informal de Astronomia, constituindo uma forma eficaz de divulgação científica.

O programa visa a atender alunos dos níveis fundamental e médio, sejam de escolas públicas ou privadas. Desta forma, a instituição de ensino que deseja alocar tempo de observação deve apresentar uma proposta pedagógica a ser analisada pela comissão que gerencia o telescópio desejado.

O LNA sendo, por definição, uma instituição nacional, coloca o OnT como observatório de divulgação científica neste nível. Entretanto, a participação do LNA no programa Telescópios na Escola constitui um mecanismo de divulgação do futuro serviço a ser oferecido à comunidade. Além disso, o programa possui projetos de observação e atividades didáticas já estabelecidas, implicando que as diretrizes do projeto de automação, para posteriormente tornar o OnT operável remotamente, sejam mais bem definidas de acordo com as atividades astronômicas das instituições participantes.

### **1.3. Objetivos**

Este trabalho propõe os procedimentos para a operação manual do OnT como requisitos de base para a automação deste.

No entanto, para melhor definir as diretrizes destes requisitos para a automação, é objetivo também propor modo de operação e metodologia observacional ao OnT após execução de projeto de automação.

## **2. Descrição técnica**

A automação é um conjunto de processos que permite a execução de comandos, adequação de parâmetros e controle de funções de forma automática sem a intervenção humana, de forma direta.

O processo de automação de um observatório pode ser segmentado de acordo com sua composição (cúpula, telescópio, instrumentação, atuadores, etc). Discorre-se nesta seção a descrição sumarizada de cada composição, inclusive da instrumentação disponível e ainda não aplicada ao telescópio.

Neste trabalho, telescópio se refere ao sistema óptico (espelho e lentes) que focaliza a luz proveniente do céu e instrumento é o dispositivo (câmera ou espectrógrafo) que captura a imagem no plano focal do telescópio.

## 2.1. Cúpula do OnT

O telescópio *Celestron* está abrigado sob uma cúpula metálica de diâmetro próximo de 3,48 [m], cujo movimento azimutal (horário ou anti-horário) se dá pelo acionamento do motor através do inversor de frequência (Figura 01). Além das duas opções de rotação da cúpula, há um potenciômetro que permite controlar a sua velocidade.

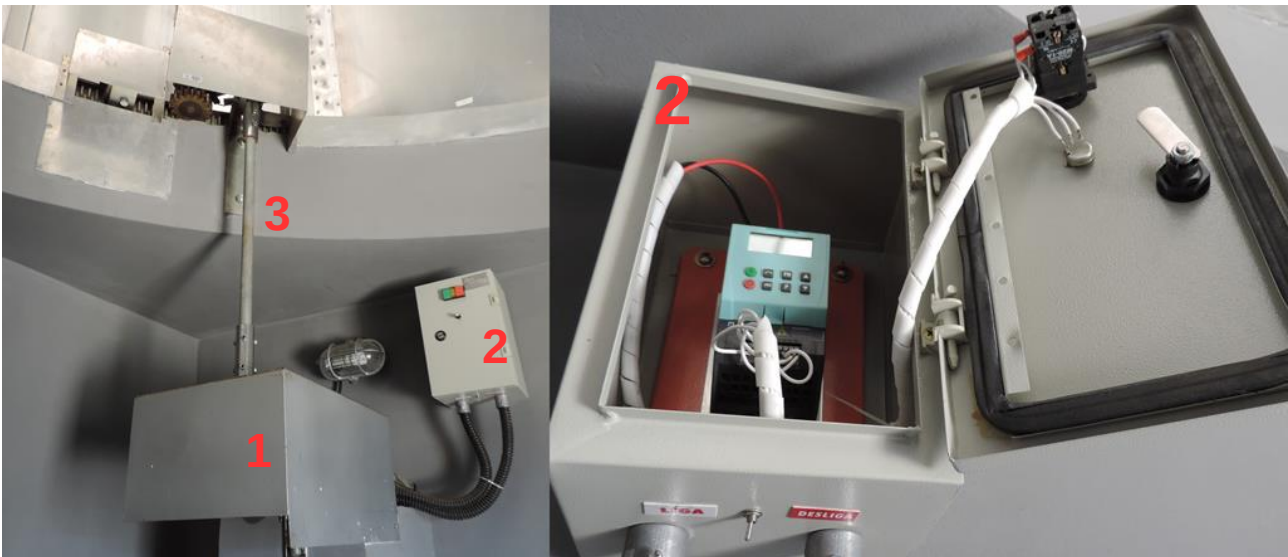


Figura 01 – À esquerda: 1, caixa de proteção do motor; 2, caixa de proteção do inversor de frequência; 3, eixo de transmissão de rotação. À direita: a referida caixa de proteção aberta.

O motor atua na cremalheira através de um eixo de transmissão (peça n° 3 das Figuras 01 e 02) que, através de um sistema de polias conectadas, rotaciona a cúpula. Ademais, para evitar deslocamento horizontal da cúpula durante a sua rotação, há 5 polias fixas (peça n° 5 da Figura 02) ao longo de sua circunferência interna que garantem esta estabilidade necessária. Não há opção de manipulação manual da cúpula.

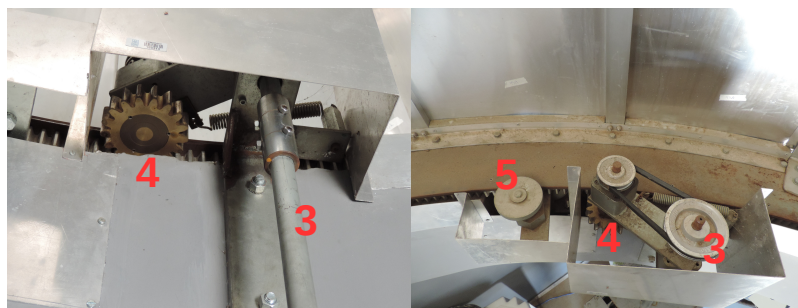


Figura 02 – À esquerda, 4 é a polia que atua na cremalheira e 3, o eixo de transmissão de rotação. À direita, sob outra perspectiva, as peças 3 e 4 descritas, e a peça 5 é uma das polias lisas que conferem estabilidade horizontal à cúpula durante o movimento azimutal.

Contudo, a abertura e o fechamento da trapeira ocorrem de forma manual. Após destravamento de suas duas placas pela alavanca, peça 6 na Figura 03, realiza-se interação pela peça

7. Possuindo cerca de 80 [cm] de abertura, o que permite a movimentação da trapeira é um arranjo de polias tanto na parte superior quanto na inferior, exemplificado por 8 na mesma figura



Figura 03 – Visão parcial da trapeira do OnT. O modo de travamento e destravamento desta é realizado pela peça 6 e as alças para realizar a movimentação manual estão indicadas por 7. O conjunto de polias lisas, na qual a trapeira se sustenta, está exemplificado por 8.

## 2.2. Telescópio

Para a automação, o OnT conta com o telescópio do tipo *Schmidt-Cassegrain* de 11 polegadas de abertura, razão focal  $f/10$  e distância focal de 2800 [mm], da *Celestron* modelo *StarBright XLT Coating* (Figura 04). Com montagem azimutal, este possui um motor em sua base que permite o acompanhamento de objetos no céu.

No entanto, para imageamento astronômico, o eixo de ascensão reta (ou eixo polar) do telescópio deve estar paralelo ao eixo de rotação da Terra, fazendo com que o acompanhamento se dê através de um único movimento de rotação, caracterizando a chamada montagem equatorial e resultando as observações em imagens estacionárias [1]. Por esta razão, a montagem azimutal do telescópio está sobre uma cunha que adapta o telescópio à montagem equatorial do tipo forquilha. Esta cunha profissional da *Celestron* está projetada para suportar montagens de telescópios de óptica *Schmidt-Cassegrain* cujos espelhos são maiores que 11" [3].

A montagem possui, então, dois eixos (de ascensão reta e de declinação) aptos a se movimentarem de forma eletrônica ou de forma manual. Os botões giratórios (Figura 04), uma vez afrouxados, permitem ao usuário movimentar o telescópio exclusivamente de forma manual. A movimentação de forma eletrônica (via controle original do fabricante) só é possível com os botões giratórios levemente apertados (a seção 3 descreve o modo de operação).

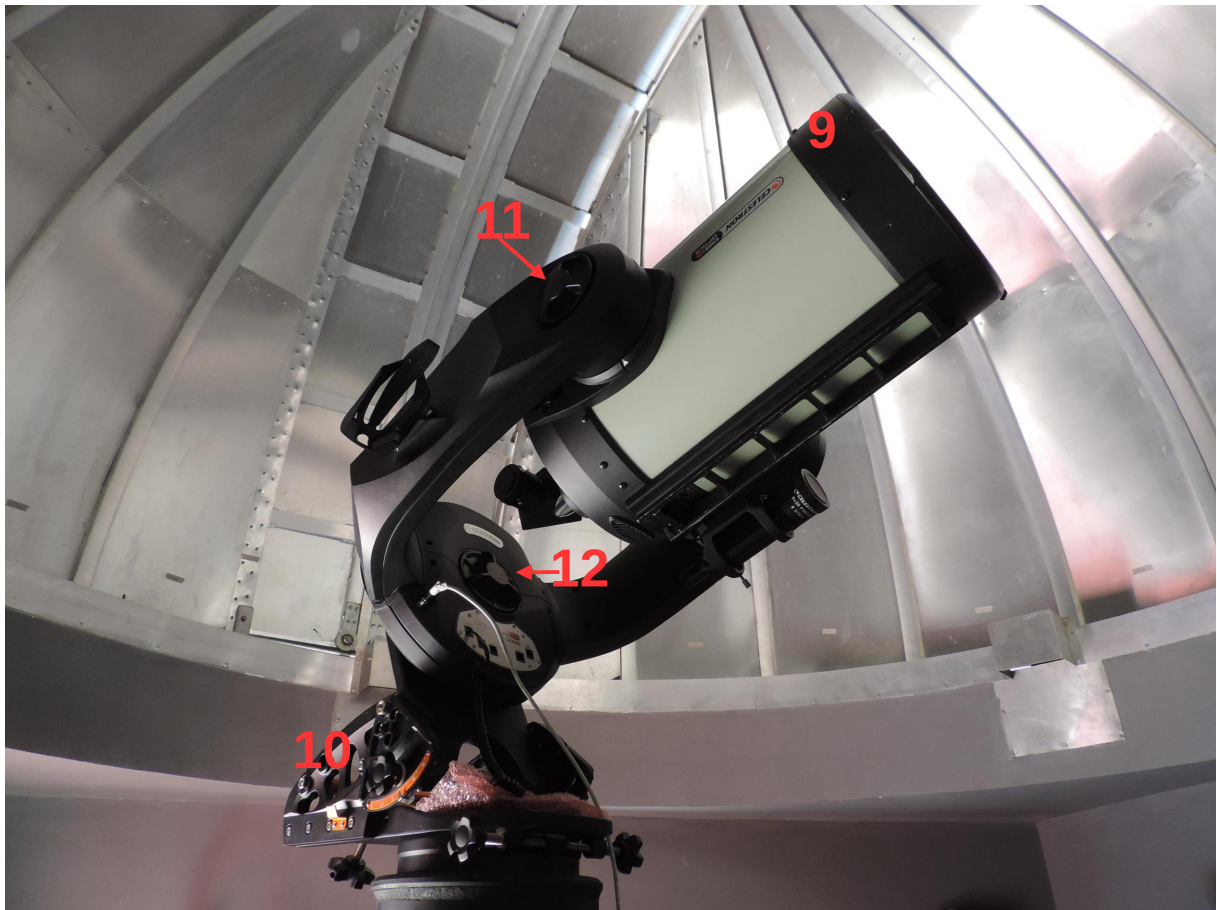


Figura 04 – Telescópio fixado em pilar do OnT. A peça 9 é o tubo óptico que abriga espelho primário de 11” de abertura. A cunha, peça 10, cuja instalação está na base da montagem azimutal, transforma esta em montagem equatorial do tipo forquilha. 11 e 12 são os botões giratórios referentes aos eixos de ascensão reta e de declinação, respectivamente.

Para procedimentos de alinhamento observacional, o telescópio conta com uma buscadora cuja objetiva é uma lente de 1,97” de abertura, resolução média de 2,55 segundos de arco e campo de visão próximo de 5° [2].

Por fim, na base do tubo óptico é possível realizar ajuste focal através de um botão giratório e nesta mesma está o encaixe de 1,25” de diâmetro para oculares.

O Quadro 01 apresenta as principais especificações ópticas do referido telescópio:

Quadro 01: Especificações ópticas\* do telescópio *Celestron*

Modelo	<i>Edgar Optics</i> de 11” de abertura
Distância focal	2800 [mm]
Razão focal	f/10
Obstrução central	3,75”
Resolução	Critério de <i>Rayleigh</i> : 0,50 [arcseg]
	Limite de <i>Dawes</i> : 0,42 [arcseg]
Comprimento do tubo óptico	24”
Escala de placa [20]	73,7 [”/mm]

\*Exceto pela especificação da escala de placa, as demais são provenientes do fabricante.



### 2.3. Espectrógrafo

O *Self Guided Spectrograph (SGS)* da *SBIG* (Figura 06) é um espectrógrafo que cobre uma região espectral compreendida entre 3800 Å e 7500 Å, possuindo duas redes de dispersão. O caminho óptico é compatível ao modelo que se segue, chamado de modelo básico de Ebert [13], conforme Figura 06:

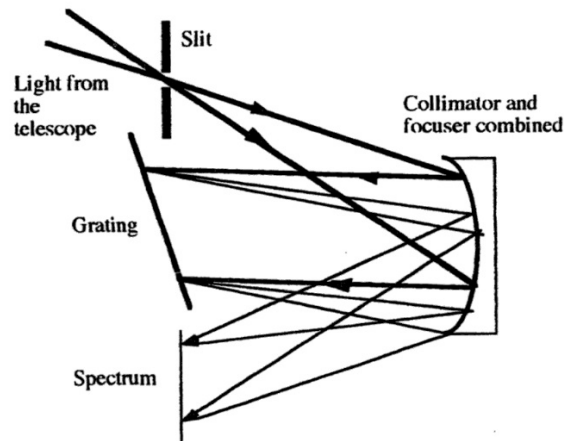


Figura 05 – O *design* de Ebert para uma rede de difração plana que utiliza um colimador. Imagem extraída de Kitchin, 1995 [13].

Ele está otimizado para resolver espectros estelares com alta resolução, mas possui sensibilidade e flexibilidade o suficiente para ser usado no estudo de galáxias mais brilhantes e de nebulosas de emissão [12].

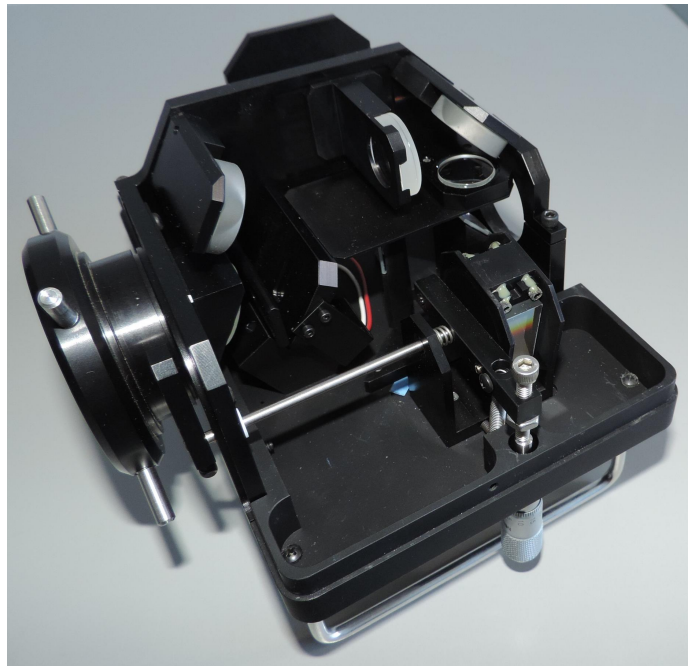


Figura 06 – Espectrógrafo *SGS* da *SBIG* disponível ao OnT.

As especificações [16] ópticas pertinentes encontram-se no Quadro 02:

Quadro 02: Especificações ópticas do espectrógrafo *SGS*

#### Dispersão

Duas redes estão disponíveis:

- 150 linhas/mm (4,3 Å/px)
- 600 linhas/mm (1,0 Å/px)

Largura da fenda

- 18 μm (2 arcseg\*)
- 72 μm (8 arcseg\*)

\* para distância focal de 203 cm

Razão focal: F/6,3 por F/10

#### Resolução

Fenda estreita e 600 linhas/mm	2,4 Å
Fenda estreita e 150 linhas/mm	10 Å
Fenda larga e 600 linhas/mm	10 Å
Fenda larga e 150 linhas/mm	38 Å

## 2.4. Câmera detectora (CCD)

A câmera detectora para o acoplamento do espectrógrafo *SGS* é o modelo *ST-8XME* da *SBIG* que possui um *CCD* de guiagem. Com *pixels* de 9 [μm] de aresta, o *CCD* principal (modelo KAF-1603ME) possui um *Full Frame* de 1530 x 1020 *pixels*, podendo ser tomados com *binning*s do tipo 1x1, 2x2 ou 3x3.

O *CCD* de guiagem modelo TC-237H, construído na câmera, possui uma matriz de 656x495 *pixels*, sendo cada *pixel* de 7,4 [μm].

O Quadro 03 resume as especificações pertinentes da câmera.

Quadro 03: Especificações da câmera *ST-8XME*

Especificações do sensor	
CCD	Kodak KAF-1603ME + TC-237H
Matriz de pixels	1530 x 1020 pixels; 13,8 x 9,2 mm
Tamanho do pixel	9 x 9 microns
<i>Full Well</i>	~100.000 e <sup>-</sup>
Corrente de escuro	1e <sup>-</sup> /pixel/s a 0°C
Especificações de leitura	
Obturador	Eletromecânico
Conversão A/D	16 bits
Ganho A/D	2,3e <sup>-</sup>
Ruído de leitura	15e <sup>-</sup> RMS
Modos de <i>binning</i> s	1x1; 2x2; 3x3

Por fim, a Figura 07 mostra a curva de eficiência quântica [17] do CCD principal, KAF-1603ME:

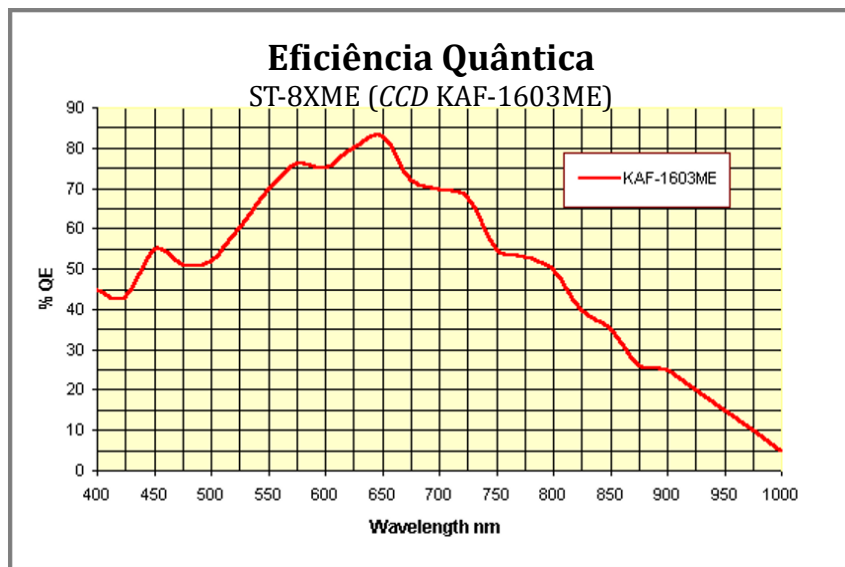


Figura 07 – Curva de eficiência quântica do CCD principal disponível ao OnT.

### 3. Requisitos atuais de operação do OnT

Para se iniciar qualquer procedimento de observação astronômica direta é indispensável realizar o alinhamento de apontamento do telescópio com alguns objetos de céu, além de outras configurações, e ter alguns cuidados extremamente necessários a uma boa performance e durabilidade do telescópio. O *modus operandi* descrito a seguir visa a ser um manual de instrução, garantindo que todos os requisitos de operação sejam atendidos (configurações, alinhamento e cuidados com o instrumento). Este roteiro mostra que qualquer operação manual que o usuário for realizar deverá ser de forma cautelosa e nunca de forma abrupta, preservando a integridade do patrimônio público.

A abertura da cúpula se dá pela trapeira (Figura 03), tornando-a apta a acompanhar o movimento do telescópio. Para isso, através da chave “Liga/Desliga” que se encontra na parte inferior da caixa do inversor de frequência exibida na Figura 01, habilita-se a cúpula a realizar seu movimento de rotação, fazendo uso dos botões verde ou vermelho. A posição inicial desta é tal que sua trapeira está diametralmente oposta ao polo celeste sul.

As tampas de proteção da objetiva e do encaixe da ocular do telescópio devem ser removidas. Para a remoção da primeira, friccioná-la no sentido anti-horário e, quando este movimento cessar, puxá-la do tubo óptico. A Figura 08 mostra detalhes deste procedimento.



Figura 08 – A foto esquerda mostra o alinhamento dos pinos de referência (da tampa e do tubo) na posição inicial da tampa de proteção da objetiva. À direita, posição final destes após fricção no sentido anti-horário.

A buscadora refratora também possui proteção plástica à objetiva e à ocular desta, bastando puxar essas tampas destas circunferências.

Sugere-se o uso de uma ocular com distância focal de 32 [mm] para completar o caminho óptico do telescópio. O local de fixação desta é no suporte do espelho diagonal, que possui abertura de 1,25”, conforme Figura 09.



Figura 09 – À esquerda, tampa de proteção do local de fixação da ocular. Na foto à direita, mecanismo de fixação da ocular.

Após remover a proteção plástica desse suporte, basta inserir o corpo cilíndrico metálico da ocular na abertura projetada para esta finalidade e apertar o parafuso de segurança de forma que seja garantido que a ocular não sairá deste encaixe cilíndrico. A Figura 10 mostra detalhes desta etapa.

Essa ocular fornece na saída de pupila do telescópio um cone de luz próximo de 3 [cm] de diâmetro. Assim, o alinhamento poderá ser facilmente realizado mesmo para usuários com pouca experiência. O ajuste de foco será realizado em etapa futura.

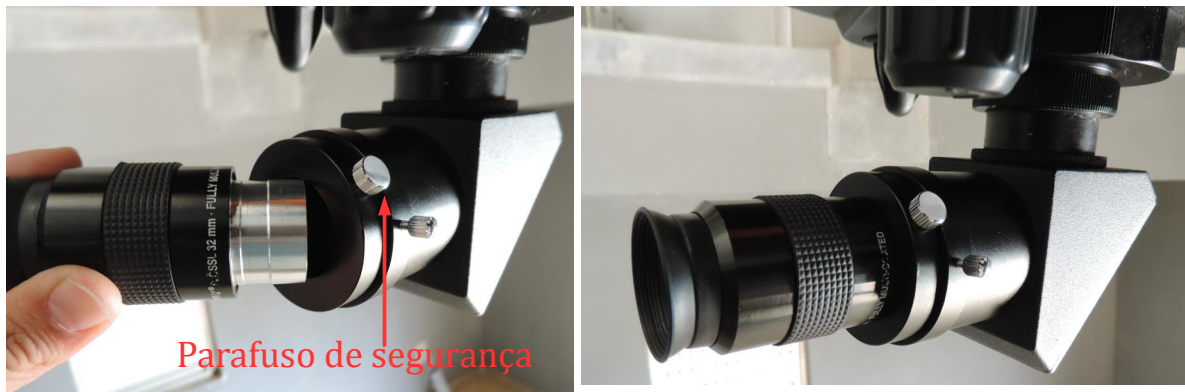


Figura 10 – Na primeira foto, corpo cilíndrico metálico da ocular sendo inserido na abertura do espelho diagonal. À direita, ocular pronta para uso após a fixação, com o parafuso de segurança pressionando-a.

Com a óptica definida, portanto, os botões giratórios (peças 11 e 12 da Figura 04) devem ser totalmente afrouxados para, em seguida, serem levemente apertados rotacionando-os no sentido horário, de modo que o usuário deva parar quando perceber uma resistência ao giro. A aplicação de força em excesso pode danificar o sistema de engrenagens e motores do telescópio, o que pode ser indicado por ruídos durante o movimento eletrônico deste que, neste caso, pode ser irregular.

Após conectar o telescópio à rede elétrica, ativar sua unidade eletrônica através de um discreto botão localizado em sua base, conforme mostra a Figura 11.



Figura 11 – Base do telescópio *Celestron*.

O controle manual (original do fabricante) carrega seus pacotes em alguns segundos e é solicitado ao usuário o alinhamento do telescópio. Contudo, como este encontra-se adaptado à montagem equatorial através da cunha, é necessário entrar com esta informação ao configurar o telescópio.

No teclado do controle manual, pressionar *MENU* (tecla nº 7), pressionar *ENTER* para entrar no submenu *TRACKING* e pressionar *ENTER* novamente para escolher o modo de navegação do telescópio (*MODE*). Em seguida, através dos botões *SCROLL* (teclas nº 6 e 9) selecionar a opção

*EQ-SOUTH* pressionando *ENTER*. Retornar à tela inicial pressionando *BACK* duas vezes. O telescópio, portanto, está configurado no modo de montagem equatorial ao hemisfério sul.

Os vários modos de alinhamento do telescópio oferecem ao usuário precisões variadas de apontamento. São eles: *Skyalign*, *Auto two-star align*, *two-star alignment*, *one-star alignment*, *solar system alignment*, *EQ North alignment* e *EQ South alignment*. Para acessar este pacote, após ter realizado a etapa anterior, pressionar botão *ALIGN* no controle manual. Este solicitará informações temporais. Para editar a hora local, pressionar *BACK* e digitá-la conforme o formato apresentado na tela do controle. Após pressionar *ENTER*, especificar o período do horário (*AM* ou *PM*) através de um dos botões *SCROLL* e pressionar *ENTER* novamente. É necessário, além disso, especificar o fuso horário de referência (*UTC – Universal Time Coordinated*) apontando a qual zona pertence o telescópio. No caso do OnT, através do *SCROLL*, selecionar a zona -3 e pressionar *ENTER*. Por fim, entrar com a informação de data que é solicitada e, preenchendo o formato corretamente, pressionar *ENTER*, concluindo todas as informações temporais requeridas.

O sistema, após essa etapa, oferecerá automaticamente o alinhamento no modo *Skyalign*. Contudo, devido às necessidades de observação do OnT, opta-se pelo modo *Two-star alignment*. Para isso, retorna-se à tela inicial pressionando *BACK*.

Conforme mensagem da tela inicial, pressionar *ENTER* para selecionar o modo de alinhamento desejado (*Two-star alignment*). Se necessário, preencher as informações temporais novamente conforme instruções na tela do controle manual. O sistema oferecerá, então, a primeira estrela disponível para alinhamento e direcionará o usuário, em primeira etapa, ao alinhamento da buscadora com o objeto e, em segunda etapa, ao alinhamento da ocular do telescópio com o objeto. Em ambos os casos, deve-se centralizar a estrela no campo de visão. Contudo, após o alinhamento da ocular do telescópio, a imagem das estrelas não aparecerá focada de imediato. Para realizar este ajuste, o usuário deve procurar a melhor imagem focada, que é aquela que oferece a imagem das estrelas da forma mais pontual possível. O procedimento se repete à segunda estrela e o usuário, em ambos os casos, deve seguir as orientações exibidas na tela do controle manual. Para melhor acurácia de alinhamento, recomenda-se [1] estrelas separadas de 40° a 60° entre si, isto é, longe uma da outra no campo de visão do céu local.

Realizada a calibração do telescópio de acordo o céu, o usuário não deve movimentar o telescópio de forma manual, isto é, afrouxar os botões giratórios, o que ocasiona em perda de alinhamento já que não existe *encoders* no telescópio que avaliem este tipo de movimento.

Após as observações astronômicas serem encerradas, basta desligar o telescópio através do interruptor na sua base, desconectá-lo da rede elétrica e, afrouxando os botões giratórios dos eixos de ascensão reta e de declinação, levar o telescópio à sua posição inicial (posição de descanso) que, via de regra, é aproximadamente apontado ao polo celeste sul. Apertá-los novamente conforme

instrução já descrita (sem excesso de força!). A proteção à objetiva, tampa circular para encaixe no extremo do tubo óptico, deve ser colocada da seguinte forma: posicionar e inserir a fenda (Figura 12) sobre a trava de segurança (pino de encaixe) e, após a tampa estar encaixada no tubo óptico, friccioná-la no sentido horário até que o movimento cesse.

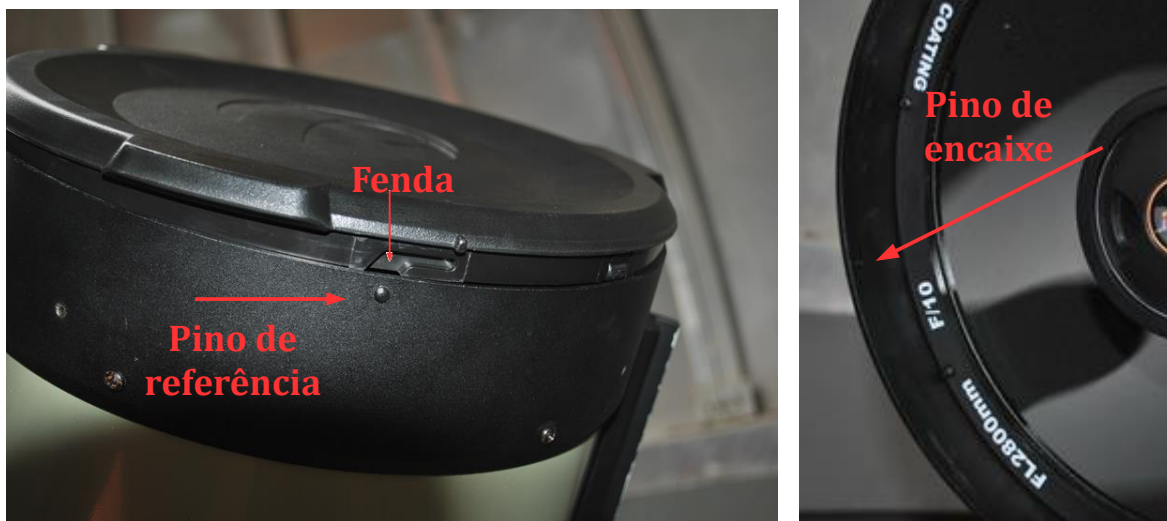


Figura 12 – Na foto à esquerda, fenda da tampa de proteção alinhada com o pino de referência (parte externa do tubo óptico). O pino de encaixe, na foto à direita, encontra-se na parte interna do tubo óptico, alinhado com o pino de referência.

Por fim, fechar a cúpula através de sua trapeira e reposicioná-la na posição inicial (esta posição garante melhor proteção ao telescópio contra chuvas, por exemplo, dado que a trapeira não possui isolamento perfeito). Na caixa de proteção do inversor de frequência, colocar o interruptor na posição “Desliga”, evitando possíveis sobrecargas ao sistema elétrico da cúpula.

### 3.1. Análise de resultados

De forma integrada ao objetivo deste trabalho, a seção anterior propõe, portanto, o primeiro manual de operação do OnT. O autor testou esses procedimentos de operação formalizados com dois estagiários do grupo de Divulgação da Coordenação de Astrofísica.

Apenas observando a execução dos procedimentos por ambos estagiários de forma isolada, constatou-se que houve incertezas durante a embreagem dos botões giratórios, no aspecto de o quanto devem ser apertados estes botões.

Logo, a falta de um parâmetro (quantificável) para o ajuste adequado dos botões giratórios coloca em risco a integridade do sistema de engrenagens do telescópio. A automação do OnT tem se mostrado a solução para este problema.

Os procedimentos de configuração no controle manual foram executados sem dificuldades por ambos os estagiários.

## 4. Requisitos para a automação do OnT

### 4.1. Justificativa

Uma das formas mais eficientes de se difundir a Astronomia é a aproximação do público leigo, em especial de instituições de ensino, com os procedimentos de pesquisa de um astrônomo, isto é, expôr como é a coleta de dados num observatório.

Atualmente, durante as visitas escolares no período diurno, é apenas mostrado (após palestra no auditório e observação do Sol) o espelho primário do telescópio do OnT acompanhado de uma explanação sobre os princípios ópticos envolvidos e como se dão as observações astronômicas, buscando responder às perguntas frequentes de como se dá o processo de aquisição de dados, isto é, como a luz coletada pelo telescópio fornece as informações astrofísicas. Entretanto, a não existência de uma instrumentação básica no OnT coloca em xeque o processo didático envolvido, pois, por mais prático que este seja, os fenômenos físicos envolvidos são relativamente complexos ao público leigo, assim como possuir a concepção mental do que é um espectrógrafo ou um *CCD*.

### 4.2. Fibra óptica e instrumentação

De acordo com observações empíricas, a montagem equatorial do telescópio *Celestron* de óptica *Schmidt-Cassegrain* fica comprometida com pesos excedentes ao da buscadora. Não aplicar a instrumentação diretamente acoplada ao telescópio elimina uma série de problemas pertinentes às engrenagens e motores de ascensão reta e de declinação. Portanto, visando a utilização do espectrógrafo *SGS* acoplado com a câmera modelo *ST-8XME*, sugere-se a aplicação de fibra óptica no plano focal do telescópio.

São várias as vantagens de alimentar o espectrógrafo com fibra óptica acoplada e, no caso do OnT, estima-se que o comprimento do cabo da fibra óptica não exceda 6 metros. Uma delas é a alta estabilidade de iluminação proporcionada pela capacidade de reflexão total da fibra [15]. Assim, visualizar e regular flutuações de entrada, que são amplamente convertidas em variações de intensidade luminosa na pupila de entrada do espectrógrafo, leva a melhor coleta de dados nos procedimentos de *flat-field*, o que é extremamente importante para a obtenção de dados de qualidade (relação sinal/ruído alta) quando se usa *CCDs*.

Alimentar a instrumentação com fibra óptica e poder controlá-la através de um ambiente melhora a estabilidade do sistema e a confiabilidade dos dados, entretanto, existem duas desvantagens [15] ao acoplamento de fibras que são caracterizadas pela curva de degradação focal.



A primeira desvantagem é um fator intrínseco da fibra e a segunda é definida pelo manuseio e trabalho feito com a fibra em questão [9].

Sugere-se que a óptica de entrada seja definida para uma *IFU* (*Integral Field Unit*), com uma terminação em forma de fenda e a outra em um sistema de microlentes coletoras. Uma óptica de entrada bem projetada e executada é aquela que fornece a adequada magnitude da luz proveniente do foco do telescópio para as microlentes da *IFU* [9].

Além disso, para ajuste de foco do telescópio, a instalação de um focalizador motorizado automatizado permite ajustes mais finos, dado um modelo que apresente escala absoluta de leitura e que compense a variação da temperatura local no processo de focalização.

### **4.3. Requisitos de operação da cúpula do OnT**

Tornar a cúpula do OnT apta às observações astronômicas é a primeira etapa de um sistema automatizado e isto consiste, em primeiro momento, na abertura da trapeira. É conveniente ter um sistema simplificado que permita ao usuário a rápida coordenação do movimento azimutal da cúpula e de abertura e fechamento da trapeira, de forma que estes movimentos sejam independentes entre eles. Isto pode ser realizado através de chaves seletoras numa central eletrônica como é feito, por exemplo, no telescópio de 40 [cm] do Observatório do Pico dos Dias.

O apontamento do telescópio para um determinado objeto é realizado de acordo com as suas coordenadas (ascensão reta e declinação), local de observação e informação temporal. Quando se trata de um observatório automatizado, o apontamento do telescópio a um objeto implica, automática e concomitantemente, ao movimento de abertura da trapeira e reposicionamento da cúpula, tal que esta fique coerente com a posição de observação do telescópio. Contudo, a independência destes dois movimentos deve ser assegurada da forma já descrita, pois é necessária à realização de *flat-fields* e outros procedimentos.

Devido à movimentação aparente dos objetos astronômicos, deve ser adotado um sistema de acompanhamento da cúpula de acordo com a posição do telescópio durante as observações. Em geral, durante as exposições, a movimentação da cúpula se dá de forma fina, isto é, em compasso de pequenos graus. Portanto, para a avaliação do movimento da cúpula, pode-se fazer o uso de etiquetas com códigos de barra sobre a circunferência da mesma, como é feito no OPD.

Por fim, é de extrema importância haver a opção de manipulação manual da trapeira e da cúpula, obrigatoriamente da primeira, pois ao caso de interrupção da energia elétrica é possível proteger o telescópio e a instrumentação. Além disso, a instalação de uma para-vento na trapeira da cúpula pode ser essencial para minimizar vibrações do telescópio, principalmente quando este estiver apontado para regiões mais altas.

#### 4.4. Posições *default*

Algumas posições de apontamento do telescópio devem ser padronizadas, como a posição para a realização de *flat-fields*, o zênite e a posição de descanso (posição modo *park*).

Para os *flat-fields* a placa (superfície plana e de cor branca) a ser iluminada deve ser instalada na cúpula do OnT e, portanto, definindo uma configuração permanente de apontamento para esta caracterização do CCD.

Já a posição de zênite ou a posição de *park* devem ser utilizadas quando o usuário necessitar apontar para outro objeto durante a missão, principalmente se este segundo objeto estiver com coordenadas distantes do primeiro, evitando que o telescópio perca a sua orientação espacial. A posição de *park*, muitas vezes chamada de posição de descanso ou *home position*, deverá ser aplicada ao término de cada missão.

#### 4.5. Caracterização instrumental durante a missão

Os *flat-fields* devem ser realizados antes ou após a missão, para cada filtro utilizado, assim como as medidas de *bias*. Medidas de *flat* são indispensáveis porque cada *pixel* do CCD possui uma sensibilidade na detecção dos fótons, que é distinta à sensibilidade dos pixels vizinhos, e este procedimento visa normalizar esta contagem, durante a redução dos dados.

O tempo de integração para os *flats* está estimado em torno de 5 segundos e, de forma similar ao telescópio de 40 cm do OPD, sugere-se a utilização de lâmpada de 55 W/12 V.

As medidas de *bias*, que caracterizam o ruído de leitura do CCD, são realizadas com o obturador fechado e com tempo de exposição zero, sendo utilizadas, portanto, para descontar da imagem final o valor-base de leitura do CCD e possíveis influências de *pixels* “mal comportados” deste [14].

Em algumas imagens há uma região de *overscan*, que é utilizado para avaliar o nível do ruído de leitura do CCD, que talvez necessitem de correções; trata-se de uma região em que foi feita a leitura depois do fim do CCD [5]. Isto implica em realizar um corte nas bordas da imagem, procedimento conhecido como *trim*.

Se o usuário utilizar dois ou mais formatos de leitura do CCD, novos *flats* e *bias* devem ser tomados, novamente para cada filtro também.

É necessário também observar se o espectrógrafo possui boa resposta para a missão pretendida, isto é, verificar se a rede de difração e a abertura da fenda alimentam o CCD com a maior eficiência possível para o comprimento de onda desejado. Uma lâmpada de NeAr ou ThAr pode ser utilizada para a calibração do espectrógrafo por comprimento de onda.

#### 4.6. Metodologia observacional

Os objetos a serem observados, em instância, estarão catalogados no sistema de coordenadas J2000 (além dos nomes populares que estarão acessíveis ao público leigo usuário do telescópio) e deverão ser precessionados no procedimento de apontamento. Entretanto, antes de realizar o apontamento ao objeto de ciência é indispensável a realização da calagem do telescópio, que é a centralização de um objeto conhecido no sistema de referência da data, que pode ser auxiliada pela buscadora. Uma vez realizada esta *calibração* do telescópio, garantindo acurácia de apontamento ao objeto de ciência, o próximo passo é a identificação e verificação da imagem deste objeto no campo do *CCD*, garantindo que esta esteja na posição de maior eficiência da fenda. Verifica-se, então, a orientação desta imagem e se determina a escala (modo de *binning*). Neste momento, o foco pode ser definido integrando o espectro.

Usa-se a imagem do campo do objeto de ciência para identificação precisa deste, que pode ser obtida através de *surveys* do céu, como o *ESO Online Digitized Sky Survey* [6], tipicamente utilizado em observatórios de pesquisa, como o OPD. Sua interface simples e *online* requer apenas que o usuário entre com as coordenadas de ascensão reta e declinação, ou até mesmo o nome de catálogo do objeto, e uma imagem de campo é gerada de forma rápida e precisa. Esta preparação dos campos de identificação deve ser realizada antes da missão, dado que é um procedimento anexo às observações diretas.

Realizado, então, o apontamento ao objeto de ciência, é necessário determinar um objeto de guiagem, principalmente para objetos de brilho fraco. Mesmo para um sistema de acompanhamento *eficiente* pode ocorrer uma desorientação do telescópio no campo do objeto, ocasionando em perda da pesquisa. A câmera detectora *ST-8XME* disponível ao OnT possui um *CCD* de guiagem (modelo TC-237H descrito na seção 2.4) construído sobre o *CCD* principal, chamado de *autoguider*, que pode operar no modo *binning* 2x2 [18]. Esta guiagem será possível mesmo com o acoplamento do espectrógrafo *SGS* (*Self Guided Spectrograph*), pois este foi desenvolvido com um *fore optics* adequado a esta finalidade. Assim, é desejável uma interface que permita a visualização do campo, além de ajuste focal e seleção da resolução.

#### 4.7. Aspectos meteorológicos

As observações astronômicas somente são possíveis se as condições meteorológicas forem favoráveis, não somente em relação ao aspecto óptico (turbulência atmosférica e magnitude) mas também em relação à exposição do telescópio e da instrumentação às condições inadequadas, tais como umidade relativa do ar elevada e alta velocidade do vento. Mesmo para observações

presenciais é indispensável quantificar as condições atmosféricas e manter o histórico destes dados, o que pode ser crucial durante a redução de dados astrofísicos, já que durante esta etapa muitas vezes é conveniente escolher imagens obtidas com a melhor condição atmosférica possível.

Uma estação meteorológica suficiente ao OnT é o modelo *Vantage Pro2* do fabricante *Davis* [4], similar ao modelo do Observatório do Pico dos Dias [8], fornecendo temperatura, umidade, ponto de orvalho, pressão atmosférica, índice UV e velocidade e direção do vento, parâmetros necessários para procedimentos de observação astronômica. Além disso, um sensor de nuvens que parametrize a cobertura destas (sem nuvens, nublado ou fechado), as condições do dia (escuro, parcialmente iluminado ou com muita iluminação) e que também qualifique o nível de pluviosidade (seco, úmido ou chuvoso) é uma ferramenta importante ao histórico observacional.

É uma medida de segurança, durante o processo de aquisição de dados astronômicos, o OnT possuir uma câmera *Allsky* a fim de monitoramento visual do céu sem colocar em risco a baixa iluminação que fica exposto o telescópio durante as observações. Além disso, visando observações remotas [19] pós execução deste projeto de automação, faz jus, além do apoio da central climática, o uso desta câmera conforme adotado pelo Observatório do Pico dos Dias [7].

Muito mais além do apoio tecnológico a fim de monitorar as condições atmosféricas, o usuário do telescópio ou apoio técnico devem possuir condições de avaliar durante o ato das observações astronômicas se há condensação no telescópio e partes externas do OnT, como exemplo grades e porta, e sempre que isto ocorrer a missão deverá ser encerrada imediatamente, protegendo o telescópio e sua instrumentação da forma adequada, além do fechamento da trapeira.

Não eliminando este tipo de inspeção, é convenientemente adotado pelo OPD que se a umidade relativa do ar atingir 100% a missão se encerra imediatamente. Via de regra, o mesmo pode ser adotado ao OnT.

#### **4.8. A interface gráfica**

A interface gráfica deverá gerir todas as características instrumentais, do telescópio e cúpula. Além disso, o usuário deve ter fácil acesso à visualização da câmera *Allsky* e estação meteorológica do OnT.

A utilização do mesmo sistema de operação do Observatório do Pico dos Dias será eficaz em todos os requisitos deste projeto, programa chamado de *Telescope Control System* [11] construído em ambiente *LabView* para plataforma Windows. O *TCS* permite a utilização no modo remoto, atendendo possíveis metas deste tipo de observação para o OnT após a execução deste projeto de automação.

## 5. Conclusão

A automação do OnT, paralelamente com a aplicação da instrumentação descrita, é a primeira etapa para torná-lo apto às observações remotas.

A aplicação de fibra óptica no plano focal do telescópio, na qual o LNA possui amplo *know-how*, evita estresse nas engrenagens dos motores. Ademais, o uso da câmera *Allsky* e a aquisição da estação meteorológica também contribuem para melhores resultados das observações astronômicas.

De forma profissional, o *TCS* permitirá que o usuário manipule o telescópio e a instrumentação e acompanhe, simultaneamente, as condições climáticas durante as missões.

Independentemente da integração do LNA com o programa Telescópios na Escola, a automação do OnT coloca este observatório a nível profissional, contribuindo para as exposições didáticas, o que fortalece ainda mais a instituição como grande precursora da Astronomia.

## 6. Proposta de trabalhos futuros

Após esta proposta de requisitos para a automação e operação do Observatório no Telhado, constitui como trabalho futuro o modelamento e implantação do sistema de automação deste observatório.

Uma vez automatizado, o OnT estará apto ao desenvolvimento de um projeto que o torne operável remotamente.

## 7. Agradecimentos

Agradecimentos a Saulo Gargaglioni, Alessandro da Silva Paula e a Alberto Ardila, coordenadores do OPD, da COEDP e da COAST, respectivamente, por todas as formas de apoio ao desenvolvimento deste trabalho. E à Mariângela Abans, supervisora de estágio da equipe de Divulgação da COAST, por garantir liberdade e autonomia deste trabalho.

A Rogério Ottoboni, engenheiro do LNA, pela orientação deste trabalho que foi imprescindível ao desenvolvimento deste.

A Jesulino Bispo dos Santos, pela receptividade e explicações proferidas.

Aos amigos Geraldo Machado e Luiza Torres, servidores do OPD, por informações técnicas e incentivos ao desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, ao Professor André de Castro Milone do INPE/MCTIC, coordenador do Miniobservatório Astronômico que integra o programa Telescópios na Escola, pela receptividade e explicações detalhadas sobre este programa, disponibilizando também os servidores Marcos Okada

e Lázaro Camargo para melhor compreensão das etapas de automação realizadas no Miniobservatório.

## 8. Referências

[1] *Celestron. CPC Deluxe HD Series, Instruction Manual.* Disponível em <<https://www.celestron.com/pages/manuals>>. Acesso em: 28 de setembro de 2017.

[2] *Celestron. Illuminated right angle correct image finderscope.* Disponível em <<https://www.celestron.com/products/illuminated-right-angle-correct-image-finderscope>>. Acesso em: 04 de outubro de 2017.

[3] *Celestron. Pro HD Wedge, model #93664.* Disponível em <<https://www.celestron.com/products/hd-pro-wedge>>. Acesso em: 02 de outubro de 2017.

[4] *Davis. Vantage Pro2.* Disponível em <<https://www.davisnet.com/solution/vantage-pro2/>>. Acesso em: 09 de novembro de 2017.

[5] *IAG/USP. Objetos Pontuais, redução rápida.* Disponível em <<http://www.astro.iag.usp.br/~polarimetria/gaveta/reducao2.htm#3>>. Acesso em: 17 de novembro de 2017.

[6] *European Southern Observatory. Eso Online Digitized Sky Survey.* Disponível em <<http://archive.eso.org/dss/dss>>. Acesso em: 17 de novembro de 2017.

[7] *LNA/MCTIC. Câmera Allsky do Observatório do Pico dos Dias.* Disponível em <<http://200.131.64.207/allsky/>>. Acesso em: 09 de novembro de 2017.

[8] *LNA/MCTIC. Estação Meteorológica do Observatório do Pico dos Dias.* Disponível em <<http://200.131.64.207/allsky/centralclima.html>>. Acesso em: 09 de novembro de 2017.

[9] *LNA/MCTIC. IFU – Eucalyptus.* Disponível em <[http://www.lna.br/tecno/labo/IFU\\_doc.html](http://www.lna.br/tecno/labo/IFU_doc.html)>. Acesso em: 14 de novembro de 2017.

- [10] LNA/MCTIC. **Regimento Interno**. Disponível em <<http://lnapadrao.lna.br/aceso-a-informacao/institucional/regimento-interno>> Acesso em: 20 de setembro de 2017.
- [11] LNA/MCTIC. *Telescope Control System Pico dos Dias Observatory*. Disponível em <<http://www.lna.br/opd/telescop/telescop.html>>. Acesso em: 17 de novembro de 2017.
- [12] Holmes, A. *Operating Instructions for the Santa Barbara Instrument Group, Self Guided Spectrograph and Spectra Analysis Software*. SBIG. 2009.
- [13] Kitchin, C. R. *Optical Astronomical Spectroscopy*. IOP Publishing Ltd, 1995; p. 139.
- [14] Maia, M. T. **Fotometria e Espectroscopia de Candidatas a Estrelas Gêmeas Solares**. Dissertação de mestrado. UNIFEI, 2012. Disponível em <<https://saturno.unifei.edu.br/bim/0038705.pdf>>. Acesso em: 17 de novembro de 2017.
- [15] Ramsey, L. W.; Huenemoerder, D. P. *A Versatile Fiber Coupled CCD/Echelle Spectrograph System*. Instrumentation in Astronomy VI, Proc. SPIE Vol 627, pp. 282-290. SPIE, 1986.
- [16] Santa Barbara Instrument Group. **Model SGS**. 2011. Disponível em <<http://diffractionlimited.com/support/sbig-archives/>>. Acesso em: 05 de outubro de 2017.
- [17] Santa Barbara Instrument Group. **Model ST-8XE/XME, CCD Imaging Camera**. 2005. Disponível em <<http://www.company7.com/library/sbig/sbwhtmls/st8.htm>>. Acesso em: 19 de outubro de 2017.
- [18] Santa Barbara Instrument Group. **ST-8XME and ST-8XMEI, Enhanced QE CCD Cameras**. 2011. Disponível em <<http://diffractionlimited.com/support/sbig-archives/>>. Acesso em: 05 de outubro de 2017.
- [19] *Telescópios na Escola*. Disponível em <<http://www.telescopiosnaescola.pro.br/>>. Acesso em: 26 de setembro de 2017.
- [20] Wilson, R. N.; *Reflecting Telescope Optics I*. Heidelberg: Springer, 1996. p. 52.