

**Programa para análise de imagens dos fotômetros imageadores:  
UASDA - Univap All Sky Data Analysis**

Valdir Gil Pillat <sup>1,2</sup>  
José Ricardo Abalde Guedes <sup>2</sup>  
Paulo Roberto Fagundes <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)  
Av. dos Astronautas, 1758 – Jd. Granja - São José dos Campos – SP – Brazil – 12227-010

<sup>2</sup>Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)  
Av. Shishima Hifumi, 1911 – Urbanova – São José dos Campos – SP – Brazil – 12244-000

**Abstract.** This work presents the set of computational tools existing in the software “UASDA – UNIVAP All Sky Data Analysis”, which organizes the images in structure of a pattern directory, prepared the “Data Base”, to help the automation process related to image processing. The software permits to view changes in the intensity of the image, applied false color, rotation and zoom in selected regions. The processing of images are the acquired by a network of imaging photometers of the Laboratory of Physics and Astronomic of the Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP at São José dos Campos, SP. The software fixes the effects of non-linearity and distortion of the images; calculates the actual center of the images; correcting the rotation of the images. It also calculates the coefficients of a polynomial function of the fourth order which provides the function transfer and enables to perform the linearization and geographic orientation. Horizontal and vertical cuts in the linearized images can be realized selecting a line or a column of matrix of 512 x 512. The analysis of cuts in consecutive image permits us to obtain the displacement in time of the profile which represents the velocity of the structure presents in observed space. This software was implemented to realize these different operations through a friendly interface which facilitates the work of an analyzer.

**Palavras-chave:** image processing, ionosphere terrestre, imaging photometer, tratamento de imagens, ionosfera terrestre, fotômetro imageador.

## 1. Introdução

O Laboratório de Física e Astronomia da Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP em São José dos Campos, SP pesquisa os processos físicos e químicos que ocorrem na atmosfera superior e ionosfera na região brasileira como parte do estudo geral da relação Sol – Terra para entendimento do denominado Clima Espacial. Neste fim emprega alguns equipamentos que utilizam técnicas de rádio e outros que empregam técnicas ópticas. Neste último conjunto o Laboratório opera três fotômetros imageadores de alta resolução localizados no Campus Urbanova da UNIVAP em: São José dos Campos – SP, no Campus da Universidade Luterana do Brasil - ULBRA em Palmas - TO e no Laboratório Nacional de Astrofísica – LNA do CNPq em Brasópolis – MG. Pillat, et al (2004)

Para visualização e tratamento das imagens obtidas por estes equipamentos nas diferentes frequências de emissão ionosféricas observadas foi desenvolvido um programa denominado UASDA - Univap All Sky Data Analysis, que utiliza os programas IDL, Fanning (2000), para carregar as imagens e o Visual Basic, Perry (1998), como interface para o usuário.

Neste trabalho apresentamos a metodologia prévia necessária para a análise dos dados: calibração da lente do fotômetro imageador através das imagens obtidas por ele e linearização das imagens obtidas pelos filtros de interferência nas diferentes emissões, e alguns dos resultados: cálculo do valor das componentes meridional e zonal da velocidade de deriva das irregularidades ionosféricas, cálculo do valor da altura da base e do pico da camada F ionosférica, morfologia das bolhas ionosféricas e ondas de gravidade e planetárias, tomografia pela comparação e superposição das imagens obtidas em diferentes observatórios.

O UASDA já vem sendo usado em estudos publicados em revistas internacionais: Abalde et al. (2004), Sahai, Y. et al. (2006).

## 2. Metodologia de trabalho

A ferramenta UASDA permite a análise de imagens obtidas na operação de fotômetros imageadores, imagem sem nenhum tratamento até a obtenção dos parâmetros ionosféricos que caracterizam diferentes fenômenos: bolhas de plasma, ondas de gravidade e planetárias, estratificação das camadas ionosféricas observadas. Para extrair os parâmetros ionosféricos característicos é necessário primeiramente realizar a calibração da lente “olho de peixe” ou “all sky” do aparelho, sendo este processo importante para poder quantificar corretamente estes parâmetros. Este processo está dividido em três etapas:

- 1 - cálculo do centro real da imagem, ou ponto zenital da observação;
- 2 - cálculo do ângulo de rotação do eixo da imagem, para ficar orientado com as coordenadas geográficas, posicionando o Norte geográfico na parte superior centrado da tela;
- 3 - geração da função de transferência (coeficientes de um polinômio de quarta ordem), para a linearização das imagens. Pelo efeito óptico da lente elas apresentam-se distorcidas.

No processo é necessário ter como referência uma imagem linear do céu local observado para comparar e fazer as “correções” necessárias. Neste passo utiliza-se qualquer programa que nos forneça estes parâmetros através da associação com a posição das estrelas e outros objetos celestes presentes.

Todas as etapas utilizam uma interface gráfica similar à apresentada na Figura 1, onde são disponibilizadas ao operador opções para: gerar uma seqüência animada de imagens proporcionando a sensação de um vídeo; ampliar uma região definida da imagem; espelhar a imagem em estudo; visualizar os valores calculados para sua orientação; inserir as coordenadas (azimute e elevação) das estrelas; carregar e salvar as informações geradas.

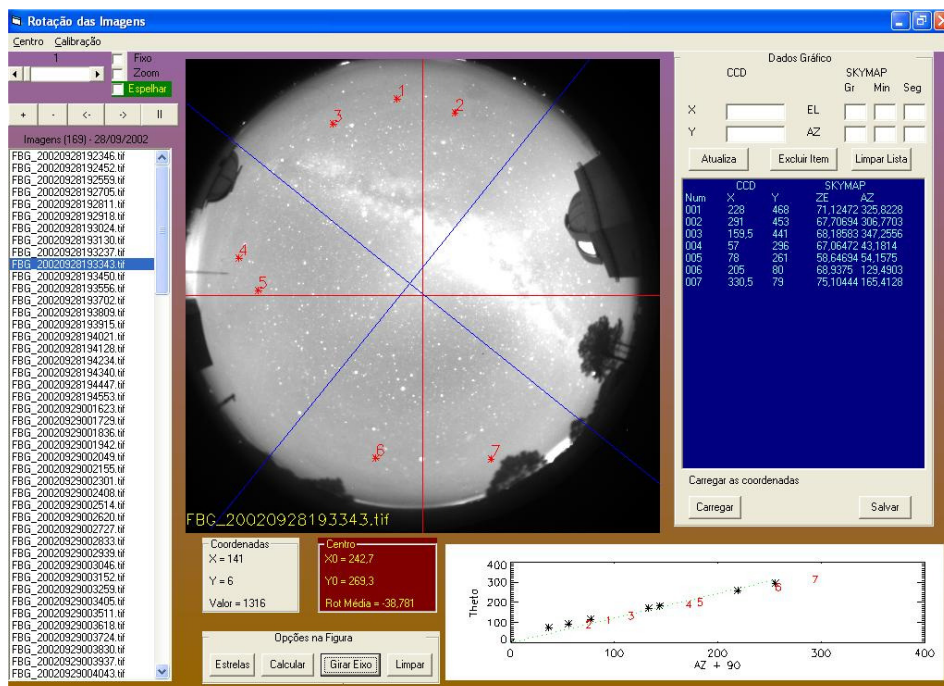


Figura 1 – Exemplo da interface utilizada nas etapas de calibração da lente

## 2.1 Cálculo do centro real da imagem

Nesta interface gráfica é realizado o cálculo das coordenadas do ponto zenital da imagem ou centro real da imagem, primeiro passo para calcular a função de transferência para linearização da imagem. No cálculo do centro real é necessário selecionar algumas estrelas próximas do centro da imagem (coordenadas  $x=256$  e  $y=256$ ), pontos em vermelho no gráfico inferior direito da Figura 1, e associar suas posições nesta imagem não linear (valores  $x$  e  $y$ ) com suas coordenadas celestes de uma outra imagem linear obtidos em qualquer programa disponível (por exemplo, azimute e elevação do programa SkyMap). O operador necessita pressionar o botão do mouse em cima da imagem na posição da estrela selecionada para os valores da posição desse ponto serem registrados e a seguir deve inserir os valores das coordenadas celestes dessa estrela nas janelas respectivas.

Registrado um adequado número de estrelas próximas do centro e inseridas suas posições e coordenadas no respectivo arquivo do programa para realizar o cálculo do centro é pressionado o botão “Calcular” e o programa realiza o cálculo das coordenadas do centro por aproximações sucessivas pelo método de Runge-Cutta começando em passos de 0,5 pixels na coordenada em  $X$  e similarmente na coordenada em  $Y$  calculando também o desvio final dos valores como sendo a soma das distâncias das estrelas entre sua posição na imagem crua (valores  $x$  e  $y$ ) e suas coordenadas imagem linear (azimute e elevação). Ao encontra o menor valor deste desvio, chamado de sigma, as coordenadas do “novo centro” são mostradas na interface gráfica, linhas em azul na Figura 1.

## 2.2 Cálculo do ângulo da rotação dos eixos de coordenadas

Nesta etapa calcula-se o valor do ângulo de rotação dos eixos coordenados aos efeitos de apresentar a imagem linearizada numa posição conhecida para o operador e cômoda para as análises posteriores. A Figura 1 é um exemplo da interface gráfica utilizada neste passo onde se observa o sistema de coordenadas cartesianas original na cor vermelha (eixo  $x$  na horizontal e eixo  $y$  na vertical) e o novo sistema de coordenadas na cor azul com seu centro real (ponto zenital) e seu eixo “vertical”  $y$  orientado Norte-Sul e o eixo “horizontal”  $x$  na direção Leste-Oeste geográfica. No canto inferior direito temos o gráfico do ângulo de

elevação Theta das estrelas em função do ângulo azimute + 90, para verificar se a estrela está com o ângulo correto em relação as suas coordenadas.

Para calcular o ângulo de rotação da imagem é necessário primeiramente carregar o arquivo com os dados das estrelas do centro e depois selecionar e adicionar os parâmetros de algumas outras estrelas posicionadas longe do centro da imagem (coordenadas  $x=256$  e  $y=256$  na imagem crua ou sem tratamento). Com o mesmo procedimento utilizado no cálculo do centro real da imagem, para selecionar os valores da posição de uma estrela basta clicar com o cursor acima dela que os valores das coordenadas  $x$  e  $y$  são registrados e a continuação deve-se digitar os valores das coordenadas da mesma (azimute e elevação) obtida a partir de uma imagem linearizada.

O cálculo do valor do ângulo de rotação é realizado através do botão “Carregar” e obtido a partir da soma das diferenças entre os ângulos na posição para cada estrela em suas coordenadas cruas (valores  $x$  e  $y$  obtidos diretamente da imagem em estudo) e suas coordenadas geográficas linearizadas (azimute e elevação com que alimentamos o respectivo arquivo); o valor da soma dividido pelo número de estrelas consideradas nos fornece o valor médio do ângulo de rotação da imagem. O botão “Gira Eixo” desenha o novo eixo de coordenadas cartesianas geográfico nas direções Norte – Sul (eixo  $y$ ) e Leste – Oeste (eixo  $x$ ) sobre a imagem, como visto na cor azul na Figura 1.

### 2.3 Cálculo da função de transferência

Nesta etapa obtemos o valor dos parâmetros da função de transferência para calibração da lente e posterior linearização das imagens. São calculados os cinco coeficientes de um polinômio de quarto grau que lineariza a imagem, o botão “Calcular” carrega o arquivo com os dados e as estrelas utilizadas no cálculo do centro real e o valor do ângulo de rotação podendo ser adicionadas às coordenadas de outras estrelas. Para adicionar estes valores posiciona-se o cursor na estrela escolhida e se clica acima dela para carregar suas posições  $x$  e  $y$  e logo completar, na janela respectiva, com seus valores de coordenadas (azimute e elevação). Feito isto o programa realiza o cálculo dos coeficientes da função que leva a imagem bruta obtida pela lente “all sky” do fotômetro e “recupera” uma imagem linear adequada para realizar análises quantitativos. Os coeficientes do polinômio podem ser observados, na cor vermelha na parte inferior da Figura 2; nela também pode ser visto o gráfico do ângulo de elevação das estrelas em função do ângulo azimute + 90, para verificar se a estrela está com o ângulo correto em relação as suas coordenadas. Através deste gráfico é possível analisar e corrigir se as coordenadas da estrela estão de acordo com as coordenadas da imagem para aprimorar os cálculos.

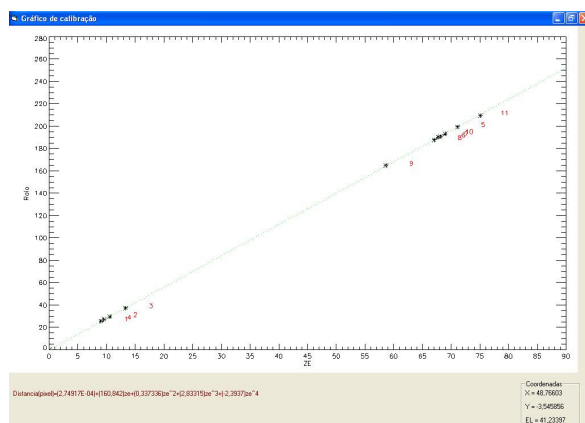


Figura 2 – Exemplo da interface com o gráfico gerado na calibração da lente pela associação das coordenadas de diferentes objetos celestes (em geral estrelas) nas suas posições na imagem crua e na imagem linear.

## 2.4 Linearização

Após a calibração da lente é possível realizar a linearização das imagens. Neste processo inicialmente passamos as coordenadas geográficas do observatório (por exemplo, LNA em Brasópolis – MG ( $45,57^\circ$  O,  $22,53^\circ$  S, altitude 1,8 km)), a altura da emissão observada (por exemplo, 300 km para OI6300 nm) e a área de cobertura (por exemplo,  $1024 \text{ km}^2$ ). Após estas informações são carregadas as informações da calibração da lente: centro real, rotação e parâmetros do polinômio, e através do comando “Congrid” existente na linguagem do IDL se faz uma interpolação linear entre os pontos. Um exemplo deste processo pode ser visto na Figura 3.

Dentro deste processo de linearização é preciso converter a dimensão dos pixels da imagem para graus (coordenadas geográficas) ou quilômetros (distância). A conversão em quilômetros mais simples emprega a regra de proporção, diferente da conversão para graus que é preciso utilizar relações que introduzem as coordenadas do ponto de observação, o raio da Terra e a altitude da imagem a linearizar.

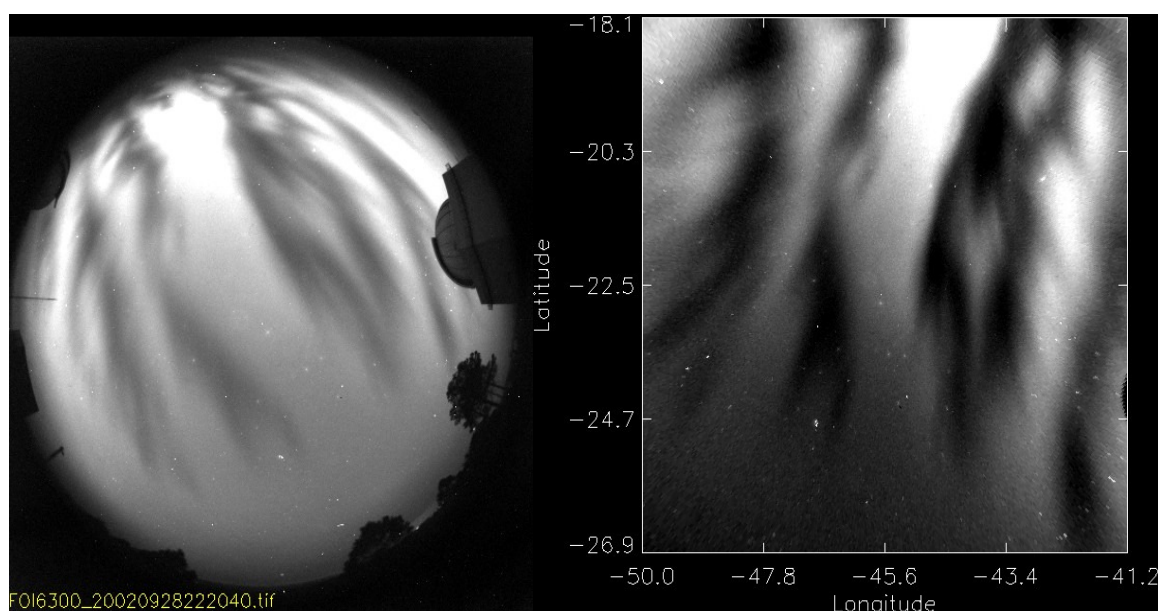


Figura 3 – Exemplo de imagem original (esquerda), obtida no LNA, e linearizada (direita), altitude 300 km e área  $1024 \text{ km}^2$ .

Obtida a linearização das imagens é possível fazer cálculos quantitativos nas mesmas aos efeitos de estudar os fenômenos químicos e físicos presentes nesta região da atmosfera terrestre.

## 3. Resultados

Nesta seção mostramos dois tipos de análises possíveis de ser realizadas sobre as imagens após linearizadas através, também, da ferramenta computacional UASDA: velocidade de deriva e cálculo da altura da camada de emissão.

O cálculo do valor da velocidade de deriva da bolha de plasma é realizado com uma sequência de imagens linearizadas, onde se seleciona os cortes a serem feitos nas imagens, que podem ser na horizontal ou vertical, escolhidas conforme o estudo desejado. A interface gráfica da Figura 4 mostra um exemplo deste trabalho com imagens obtidas pelo fotômetro imageador em operação no LNA em Brasópolis, no dia 09 de setembro de 2002, linearizado a uma altura de 300 km (filtro de interferência na emissão OI630,0 nm) e área de  $1024 \text{ km}^2$ .

Selecionado os cortes, pressionando-se o botão “Gráfico” é possível visualizar o perfil de intensidade de cada corte, como mostra a Figura 5a. Ela ilustra a interface utilizada no cálculo do valor da velocidade da bolha de plasma através do deslocamento das “paredes” da bolha de plasma onde se selecionam os pontos que definem as duas paredes da bolha (gradiente na intensidade da emissão) e conhecido os horários em que esses perfis / imagem foram obtidos (informação que a imagem registra e o programa acessa) se calcula a velocidade com que foi realizado esse deslocamento.

Nesta interface também é possível fazer uma ampliação em regiões determinadas do gráfico e salvar um arquivo com os dados obtidos para o cálculo da velocidade (valores dos cortes, velocidades parciais ou individuais de cada corte e cada parede da esquerda ou da direita da depleção ou bolha) além da própria velocidade média final do deslocamento dessa depleção. Estes arquivos podem ser analisados em outra interface gráfica dentro do UASDA que é carregado a partir da interface principal do programa através do menu “Gráfico Velocidade”, conforme mostra a Figura 5b.

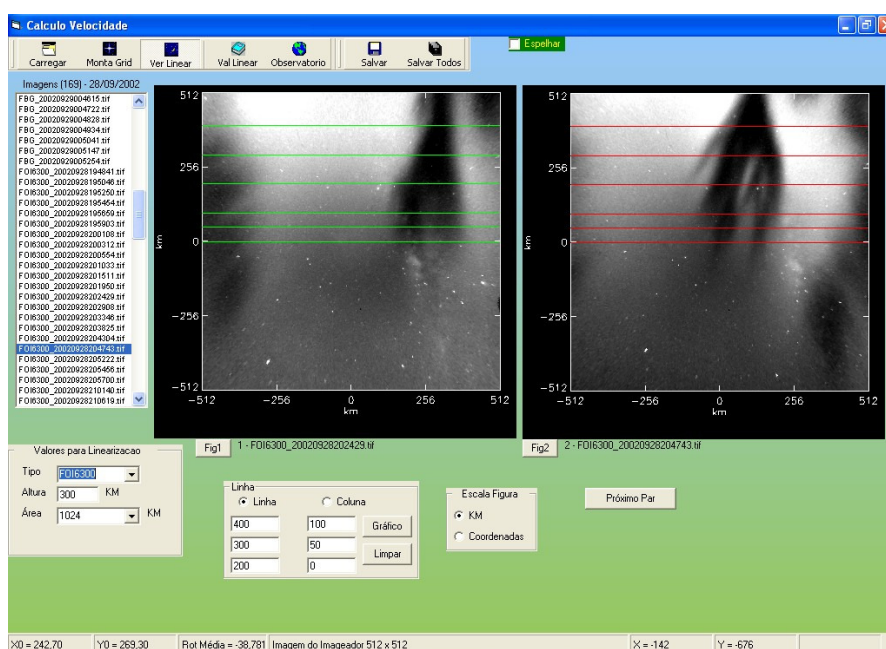
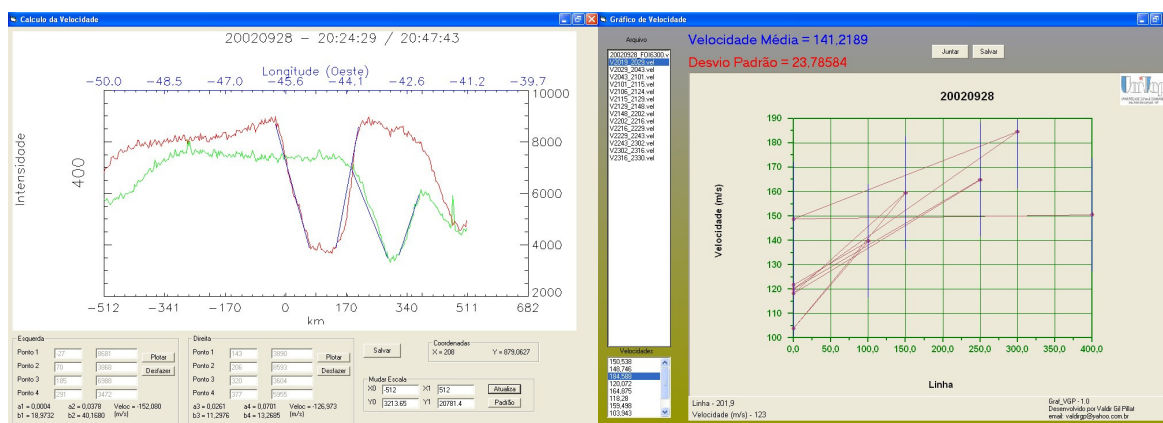


Figura 4 – Exemplo da interface gráfica utilizada no cálculo da velocidade das bolhas de plasma com os cortes na horizontal selecionados.



Figuras - 5a. Exemplo da interface gráfica utilizada no cálculo de velocidade de deslocamento da bolha de plasma a partir do corte no perfil de intensidade de emissão selecionado. 5b. Exemplo da interface onde é analisada a velocidade da bolha de plasma ou depleção ionosférica no período do dia selecionada para estudo.

Na Figura 5b observa-se a interface com o gráfico dos diferentes valores das velocidades de uma bolha de plasma a partir dos cortes selecionados em dois horários escolhidos (Figura 4); o programa calcula o valor médio das velocidades e seu desvio padrão, guardando estas informações num arquivo específico.

O cálculo da altura da camada ionosférica é realizado através da interface mostrada na Figura 6. No programa se faz o cálculo através do método de correlação cruzada entre cortes feitos nas imagens, similarmente ao realizado na interface gráfica do “Cálculo da velocidade”. As imagens são selecionadas de uma relação que o próprio programa disponibiliza para a noite previamente selecionada. A partir de uma delas o programa procura e apresenta a imagem mais próxima no horário dos outros observatórios. O programa prevê cálculos diferentes na correlação para o caso de duas ou três imagens simultâneas.

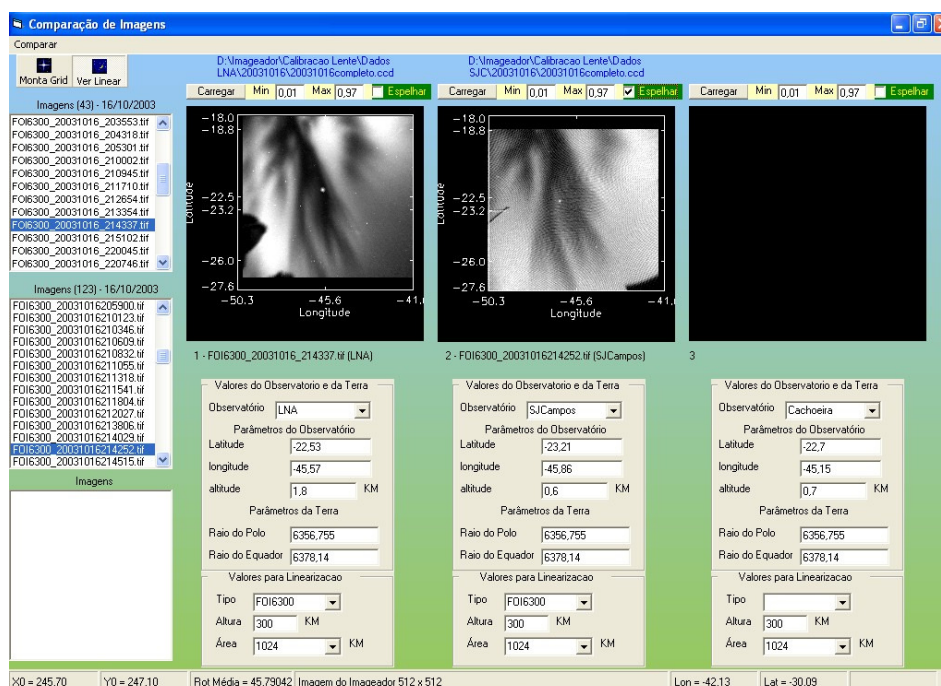
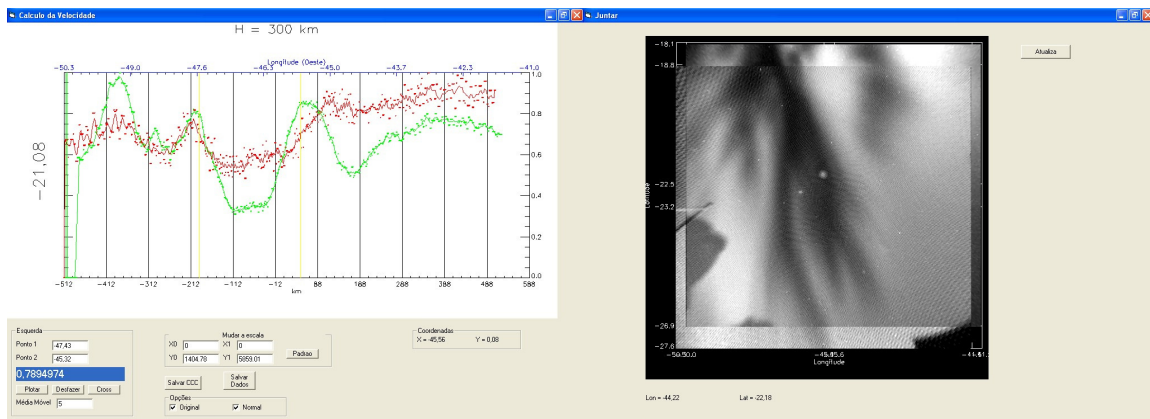


Figura 6 – Exemplo da interface gráfica utilizada para o cálculo da altura com imagens dos fotômetros no LNA em Brasópolis (MG) e na UNIVAP em São José dos Campos (SP).

A Figura 7a apresenta um exemplo do cálculo da correlação cruzada. Inicialmente, na imagem da noite, se seleciona a região onde se faz a correlação, a partir da qual o programa calcula a correlação dos pontos repetindo o procedimento para cada valor de altitude que o operador indica após o qual o programa indica a altitude em que temos uma melhor correlação. Nesta interface temos opção de salvar os valores da correlação e demais dados: altitude, imagens, horários, cortes com a finalidade de poder calcular a correlação entre as imagens com outros algoritmos.

O programa faz a correlação por média móvel para tirar valores espúrios; o valor inicial de pontos na janela de média móvel é 5, podendo ser alterado para qualquer valor ímpar pelo operador (ver janela no canto inferior da Figura 7a).

Na interface inicial, Figura 6, no menu “Comparar” existe a opção “Imagens” que serve para conferir visualmente se as estruturas das duas imagens conferem quando elas são sobrepostas levando em consideração a linearização com os valores em altitude calculados e o deslocamento segundo o zênite delas estar em coordenadas geográficas informadas pelo observatório onde essas imagens foram obtidas. Um exemplo desta “sobreposição” “corrigida” se observa na Figura 7b.



Figuras – 7a. Exemplo da interface gráfica com um dos perfis selecionados com o cálculo da correlação cruzada do corte feito nas duas imagens “simultânea” observadas na Figura 6.  
7b. Exemplo da interface com o resultado da sobreposição das imagens do céu por observatórios diferentes e com as correções apropriadas.

#### 4. Conclusão

O programa computacional “UASDA – Univap All Sky Data Analysis”, apresenta-se como uma ferramenta poderosa na análise dos dados / imagens obtidos pelos fotômetros imageadores de alta resolução. Ele permite através de uma análise apurada das imagens do céu conhecer os fenômenos físicos e químicos presentes nesta região da atmosfera terrestre: cálculo das dimensões das irregularidades do plasma, suas velocidades de deriva, e altura da camada F ionosférica expostos neste trabalho. Ele permite ainda calcular a variação espaço-temporal da densidade eletrônica e o pico da camada F através da análise das imagens nos filtros de emissão OI630,0 nm e OI777,4 nm.

O programa faz estes e outros cálculos de uma forma simples e direta pelo operador que pode ser um pesquisador, aluno de curso de pós-graduação, graduação ou iniciação científica, ou seja ele é eficiente e eficaz.

Finalmente, como todo programa novo o UASDA continua a ser aprimorado nas tarefas que realiza e incrementado com novas opções de estudos na medida que vem sendo usado e requerido e conseqüentemente aumentando sua abrangência.

#### Referências

Abalde, J. R., Fagundes, P. R., Sahai, Y., Pillat, V. G., Pimenta, A. A., e Bittencourt, J. A., 2004. Height-resolved ionospheric drifts at low latitudes from simultaneous OI 777.4 nm and OI 630.0 nm observations, *J. Geophys. Res.*, 109, A11308.

Fanning, D. W., 2000. IDL Programming Techniques, 2ª ed., Fort Collins

Perry, G., 1998. Aprenda em 24 horas Visual Basic 5, Rio de Janeiro, Campus

Pillat, V. G.; Abalde, J. R.; “Calibração da lente do fotômetro imageador utilizando o programa UASDA Univap All Sky Data Analysis”. In: IV Encontro Americano de Pós-Graduação - EPG, 2004, São José dos Campos. VII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Americano de Pós-Graduação - EPG, 2004. p. 1192-1196.

Sahai, Y. ; Abalde, J. R. ; Fagundes, P. R.; Pillat, V. G.; Bittencourt, J. A. First observations of detached equatorial ionospheric plasma depletions using OI 630.0 nm and OI 777.4 nm emissions nightglow imaging. *Geophysical Research Letters*, Washington, v. 33, n. L11104, p. 1-4, 2006.