

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
OBSERVATÓRIO DO VALONGO

REDUÇÃO DOS DADOS ESPECTROFOTOGRAFICOS
DE UMA ESTRELA DE TIPO SOLAR

PROJETO FINAL DE CURSO

ALUNO: RICARDO PIORNO SCHIAVON

ORIENTADOR: LICIO DA SILVA

Ao grande amigo
Guilherme, um primeiro
resultado dos nossos esforços
uma amostra mínima
dos frutos de uma ami-
zade que cresce a cada
dia e se alimenta de experi-
ências e de realidades, trazando
seu caminho pela vida.
Sou profundamente grato
e honrado por ser seu
amigo,

do seu

Ricardo

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e Observatório Nacional pelo suporte financeiro e computacional;

a Gustavo de Mello que, com tanta amizade e dedicação, dividiu comigo uma parcela do seu imenso entusiasmo, dos seus conhecimentos e de sua sabedoria;

a Lício da Silva, pela orientação e disposição ao longo do trabalho;

a Stênio de Magalhães, Marcelo Assafin e Marco Aurélio Terra, pelo grande auxílio na parte computacional;

a Rundsthen de Nader, pelo companheirismo incansável;

a Ennio, Norma, Enninho e Silvia Schiavon, por terem tornado possíveis tantas coisas;

aos amigos, professores e alunos, do Observatório do Valongo, do Instituto de Física da UFRJ e da pós-graduação do Observatório Nacional, em especial Luiz Cláudio de Albuquerque e Marco Aurélio Terra, que comigo partilharam sonhos e realidades;

a Lília Irmeli, pela presença tantas vezes tão importante.

RESUMO

Apresentamos uma descrição completa do processo de redução dos dados espectroscópicos, contidos em placas fotográficas, da estrela 82 Eridani, com o fim de medir as larguras equivalentes das linhas de absorção no espectro desta estrela. Discutimos brevemente os erros envolvidos em tais medidas, decorrentes da redução dos dados, bem como os critérios de seleção das linhas a serem medidas. A comparação com outro trabalho sobre a mesma estrela indica o rigor dos critérios por nós adotados. As larguras equivalentes de 79 linhas são apresentadas, além de uma relação empírica entre estas grandezas e as profundidades das linhas. Apresentamos também uma breve discussão acerca do método empregado de medida.

ÍNDICE

Capítulo 1 - Introdução	4
Capítulo 2 - Material Observacional	7
Capítulo 3 - Digitalização das Placas	8
Capítulo 4 - Redução dos Dados	11
4.1 - Subtração de Fundos	12
4.2 - Calibração Sensitométrica	13
4.3 - Soma dos Espectros	18
4.4 - Conversão Pixel - Comprimento de Onda ..	23
4.5 - Normalização do Contínuo	24
Capítulo 5 - Larguras Equivalentes	31
5.1 - Definição	31
5.2 - Método de Medida	33
5.3 - Critérios de Seleção	38
5.4 - Teste e Resultados	46
Capítulo 6 - Conclusões	55
Referências Bibliográficas	59

1 - Introdução

Em qualquer pesquisa astronômica de cunho observacional, antes que se possa obter informações cientificamente interpretáveis dos resultados das observações dentro de um contexto teórico, é necessária a realização de um processo de redução e tratamento dos dados obtidos. Este processo pode às vezes revelar-se complexo e demorado. Pretendemos aqui apresentar uma visão detalhada deste aspecto geralmente pouco enfatizado da pesquisa astronômica.

Neste trabalho, realizamos o tratamento dos dados espectrofotográficos da estrela 82 Eridani, cujas características são mostradas na tabela 1. Este tratamento tem como fim a medida das larguras equivalentes das linhas de absorção no espectro dessa estrela (daqui por diante referidas como LE). Essas medidas possibilitam determinar parâmetros atmosféricos fundamentais tais como temperatura, gravidade superficial, abundância metálica, entre outros.

O objetivo central deste trabalho é a descrição, de forma didática, de todas as etapas do processo de redução de dados espectroscópicos contidos em placas fotográficas, desde a primeira etapa depois da aquisição das placas até a obtenção final das grandezas a serem interpretadas astronômica e fisicamente; em nosso caso, as LE. [Essas etapas introduzem incertezas de diferentes naturezas e dimensões, cujas influências sobre os valores encontrados de LE nós tentaremos avaliar.] Apesar de nossa discussão sobre esses erros não ser absolutamente rigorosa, julgamos que nossos resultados fornecem uma visão suficientemente

HD	20794
α (2000)	$3^{\text{h}} 19^{\text{m}} 55^{\text{s}},6$
δ (2000)	$-43^{\circ} 4' 11''$
$\mu(\alpha)$ ("/ano)	+3,040
$\mu(\delta)$ ("/ano)	+0,748
V_r (km/s)	+87
π (")	0,162
V	4,27
B - V	0,71
U - B	0,22
R - I	0,40
Tipo Esp.	G8 III

Tabela 1- Dados da estrela 82 Eridani, extraídos de Hoffleit, D. e Jaschek, C. (1982)

realista dessas influências, dentro do escopo deste trabalho.

Outro aspecto importante do trabalho repousa na discussão que realizamos acerca dos critérios para a seleção das linhas cujas LE devem ser medidas. A confiança a ser depositada em qualquer derivação posterior dessas medidas depende grandemente da confiabilidade desses critérios. Vinculada a este tema, achamos interessante realizar uma breve discussão a respeito do método por nós utilizado na medida das LE.

No capítulo 2, fornecemos uma descrição do material observacional por nós utilizado. No capítulo 3, esboçamos alguns aspectos do processo de digitalização das placas fotográficas. No capítulo 4, descrevemos todas as etapas do processo de redução, discutindo algumas das respectivas fontes de erro. No capítulo 5, descrevemos detalhadamente os critérios por nós adotados na seleção das linhas cujas LE foram medidas, além de compararmos estes critérios com aqueles adotados por outros investigadores, no que diz respeito à redução de dados, em trabalhos semelhantes. Apresentamos também uma pequena discussão a respeito do método adotado de medida das LE. Nossas conclusões são apresentadas no capítulo 6.

2 - Material Observacional

As observações utilizadas neste trabalho foram obtidas com o espectrógrafo coudé do telescópio de 1,52m do European Southern Observatory, em La Silla, Chile, no ano de 1972, por Licio da Silva.

O material consiste de quatro placas espectrofotográficas, H963, H974, H977 e H983, com emulsões IlaO, para a região entre 3500 e 5000Å (do ultravioleta próximo ao azul), mais as respectivas placas de calibração sensitométrica.

A dispersão de todas as placas utilizadas é de 3,3Å/mm. A largura da projeção da fenda do espectrógrafo no seu plano focal é de aproximadamente 20μ.

Até meados de 1989, o PDS1010A era monitorado por um computador PDP-8. Este sistema foi então desativado, ficando o instrumento inoperante até janeiro de 1990.

Em julho de 1989, a digitalização de todas as placas já havia sido realizada. Entretanto, em virtude de problemas com a unidade de fitas do sistema, só puderam ser transferidos para fitas magnéticas os dados das placas H974 e H983. O restante dos dados foi perdido, inclusive as calibrações daquelas placas, de modo que tivemos de aguardar alguns meses até a reativação do sistema.

No ano seguinte, o PDS passou a ser monitorado por um microcomputador PC AT, permitindo que as aquisições fossem realizadas com maior eficiência. Com o novo sistema, foi possível dividir o espectro em intervalos maiores, com varreduras de 12000μ . Assim, com esta nova sistemática, foram executadas novamente as digitalizações de todas as placas.

A principal vantagem apresentada pelo novo sistema está no fato de que os dados são agora armazenados diretamente na unidade de memória permanente do microcomputador, donde podem ser imediatamente transferidos para disquetes, ficando prontamente disponíveis para as várias etapas seguintes de redução.

Estes dados, porém, não puderam ser aproveitados em virtude de um erro grosseiro cometido nas aquisições, devido à má utilização do novo sistema gerenciador do PDS. Este erro introduziu uma inconsistência em nossos dados. A distância ao longo do espectro entre duas linhas quaisquer era diferente para duas placas distintas. Isso tornou impossível a soma dos arquivos correspondentes ao mesmo intervalo espectral.

Porém, mesmo após o esclarecimento do referido problema, realizamos apenas a digitalização da placa H977, seguindo a sistemática antiga (blocos de 7000 μ), a fim de compatibilizar os seus dados com as aquisições feitas anteriormente das placas H974 e H983, que não haviam apresentado este tipo de problemas. Este procedimento justificou-se devido à já excessiva perda de tempo acarretada pela espera da ativação do novo sistema de aquisição de dados.

A placa H963 não pôde ser aproveitada, por motivos que serão expostos mais adiante.

4 - Redução dos dados

O processo de digitalização gera arquivos de dados sob a forma de listas numéricas. Cada número é referente a um valor de densidade fotográfica, correspondendo a um passo da varredura do microdensitômetro. A varredura de uma região de 7000μ de comprimento em passos de 5μ gera, portanto, 1400 valores de densidade. Desta forma, diz-se que cada bloco possui uma extensão de 1400 *pixels*.

A redução dos dados visa, em nosso caso, tornar possível a medida das LE das linhas de absorção no espectro de 82 Eridani.

A definição de LE é dada por

$$W = \int_0^{\infty} \frac{F_c - F_{\lambda}}{F_c} d\lambda \quad (1),$$

onde F_c é o fluxo no nível do contínuo na região da linha e F_{λ} é o fluxo no perfil da linha. Portanto, para medir a LE de uma linha, é necessário conhecer o fluxo espectral como função do comprimento de onda. Adicionalmente, os cálculos necessários para a obtenção das LE são simplificados se o fluxo espectral estiver normalizado em relação ao fluxo do contínuo.

As diversas etapas de redução que serão descritas a seguir, visam converter a representação inicial densidade x pixel, numa representação fluxo normalizado x comprimento de onda.

As fases de redução foram realizadas, em sua maioria, utilizando um pacote de programas de redução espectral, desenvolvido por Stênio Dorê de Magalhães e Lício da Silva.

Este pacote permite a visualização das regiões espectrais, bem como a ampliação de qualquer sub-região, delimitada previamente por uma janela variável comandada pelo usuário. Além disso, o pacote realiza calibração de comprimentos de onda, normalização do contínuo, faz ajustes de curvas gaussianas a perfis de linhas, fornecendo os parâmetros destas curvas, integra diretamente a área sob esses perfis, etc..

4.1 - Subtração de Fundos

O primeiro passo do processo de redução consiste em subtrair a densidade do fundo de placa, das densidades do espectro estelar.

Com este objetivo, foi feita a leitura, para cada bloco de espectro, de um bloco de fundo de placa correspondente em comprimento de onda e de mesmo tamanho.

As regiões de fundo digitalizadas foram escolhidas preferencialmente próximas ao espectro e o mais livres possível de manchas de revelação e de defeitos de aquisição.

A fim de evitar a adição do ruído aleatório do fundo ao do espectro, foi feita a subtração do valor médio de densidade do fundo sobre cada valor de densidade do arquivo de espectro correspondente. *(ao invés da subtração, entre os blocos, ponto a ponto)*

Na placa mais exposta, a diferença das densidades médias de contínuo e de fundo estava em torno de 0,70, tendendo a diminuir para λ crescente. Na menos exposta, a diferença era de 0,50 em densidade. Regiões para as quais este valor esteve abaixo

de 0,40 foram consideradas subexpostas e, por isso, rejeitadas. Por este motivo, a faixa de comprimentos de onda acima de 4850Å não foi utilizada.

As densidades médias das regiões de fundo estiveram, normalmente, em torno de 0,40, chegando, em raros casos extremos, a atingir 0,50.

4.2 - Calibração Sensitométrica

O passo seguinte da redução é a transformação da escala de densidades fotográficas em uma escala de fluxos.

As placas de calibração sensitométrica contêm emulsões do mesmo tipo, foram obtidas com o mesmo espectrógrafo, nas mesmas noites e reveladas juntamente com as respectivas placas de espectro. As exposições consistiram de luz branca difusa, passando por dez filtros com transmissões conhecidas e diferentes entre si. Como resultado, temos um padrão de dez faixas de diferentes densidades percorrendo toda a emulsão na direção paralela ao comprimento de onda, conforme é mostrado na fig.1.

Para se obter os valores de densidade nestas faixas, fazemos uma leitura das placas com a fenda atravessando transversalmente as faixas de densidade (comprimento de onda constante). Ao plotar os dados daí resultantes num gráfico densidade x pixel, obtemos um padrão semelhante a uma função do tipo escada, conforme mostrado na fig.2. Neste gráfico, cada degrau corresponde à densidade de uma das faixas de calibração.

O procedimento consiste então em medir a densidade média

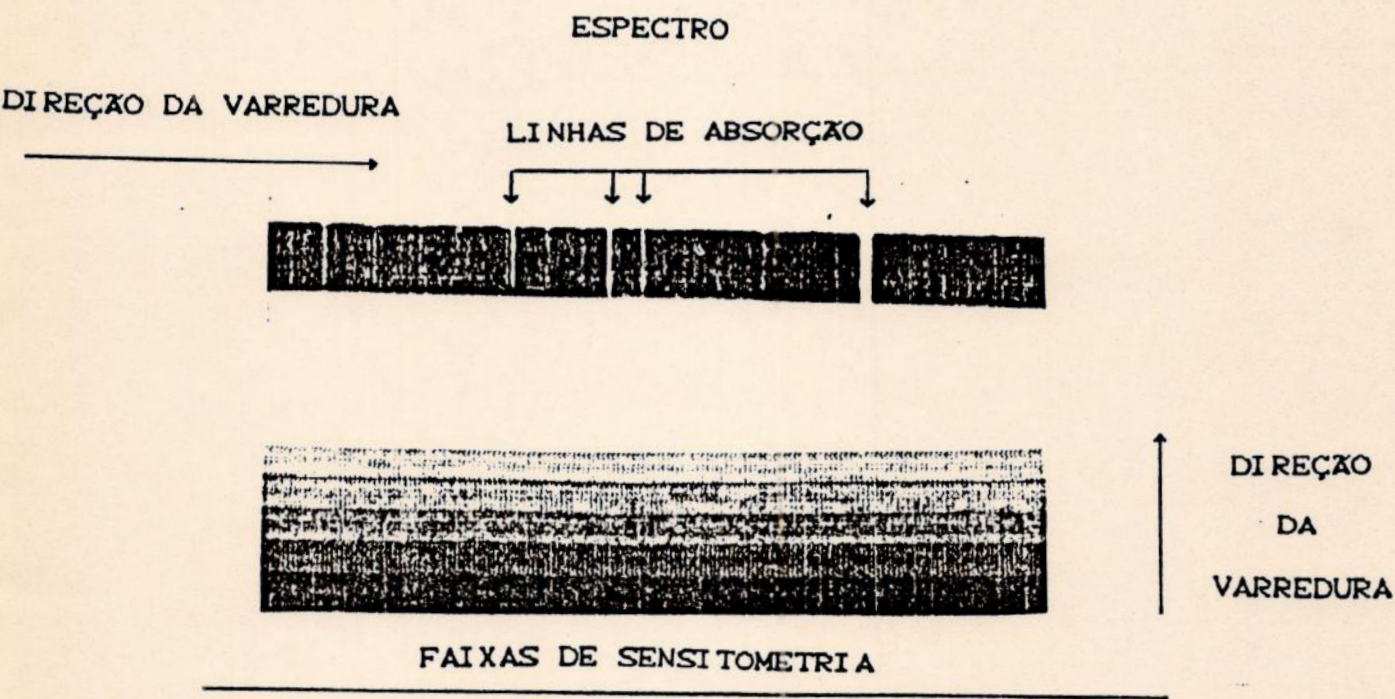


Fig.1- Representação de uma placa espectrofotográfica em que a calibração sensitométrica encontra-se na mesma emulsão que o espectro. Acima do espectro, existem outras cinco faixas de calibração, semelhantes às que aparecem abaixo, com valores diferentes de densidade. As varreduras de espectro e das faixas de fotocalibração são feitas em direções ortogonais.

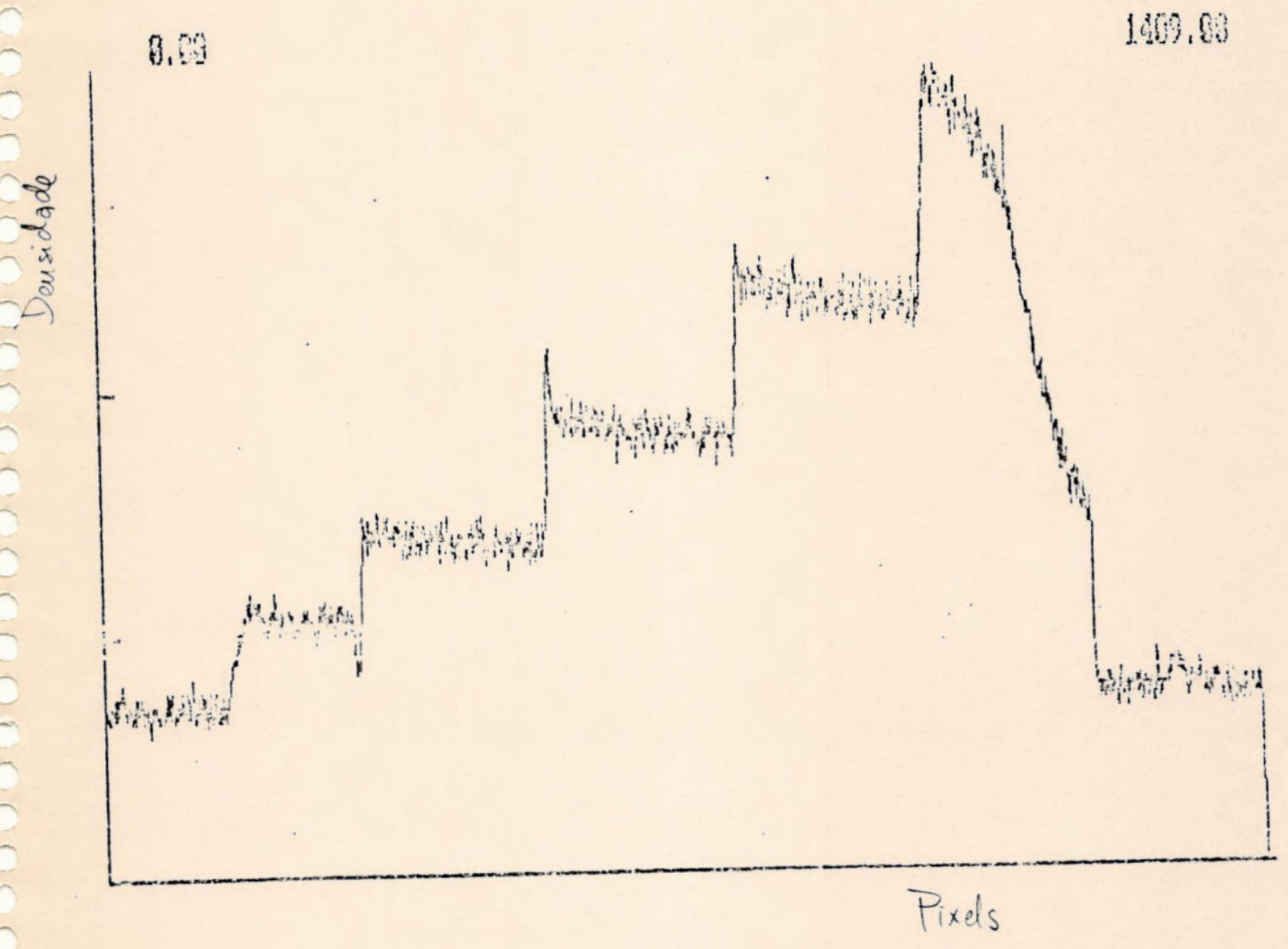


Fig.2- Gráfico densidade x pixel resultante da leitura das faixas de sensitometria. Como se pode notar, a faixa de mais alta densidade apresenta um alto gradiente, que impossibilita a sua utilização.

Problema semelhante ao da placa H977 se deu com a sensitometria clara da placa H983, para os cinco primeiros arquivos. Só que, neste caso, tínhamos à disposição uma sensitometria mais densa que abrangia o nível do contínuo. Esta, porém, não conseguia dar conta das baixas densidades dos centros das linhas mais profundas.

Um procedimento alternativo seria tentar juntar os pontos das duas sensitometrias numa mesma relação. Entretanto, este método não se mostrou satisfatório em nosso caso.

Como pretendíamos o máximo de homogeneidade entre os dados das várias regiões, no tocante ao emprego da fotocalibração e ao número de arquivos somados, optamos por eliminar as cinco primeiras regiões espectrais de toda a nossa análise.

As curvas ajustadas foram polinômios do terceiro grau. Um ajuste típico é mostrado na fig.3.

4.3 - Soma dos Espectros

Após as etapas descritas anteriormente, temos à mão os registros, em fluxo, da leitura de três placas na mesma região espectral, armazenados em 16 arquivos por placa, cada um cobrindo, com seus 1400 pixels, uma região de aproximadamente 23\AA , abrangendo o espectro da estrela entre 4490 e 4850 \AA .

Cabe agora somar, pixel a pixel, os valores de fluxo dos três arquivos, cada um correspondendo a uma placa, em cada uma das 16 regiões espectrais envolvidas. Ao efetuarmos esta adição, tudo aquilo que for informação espectral nos arquivos-parcela deverá se

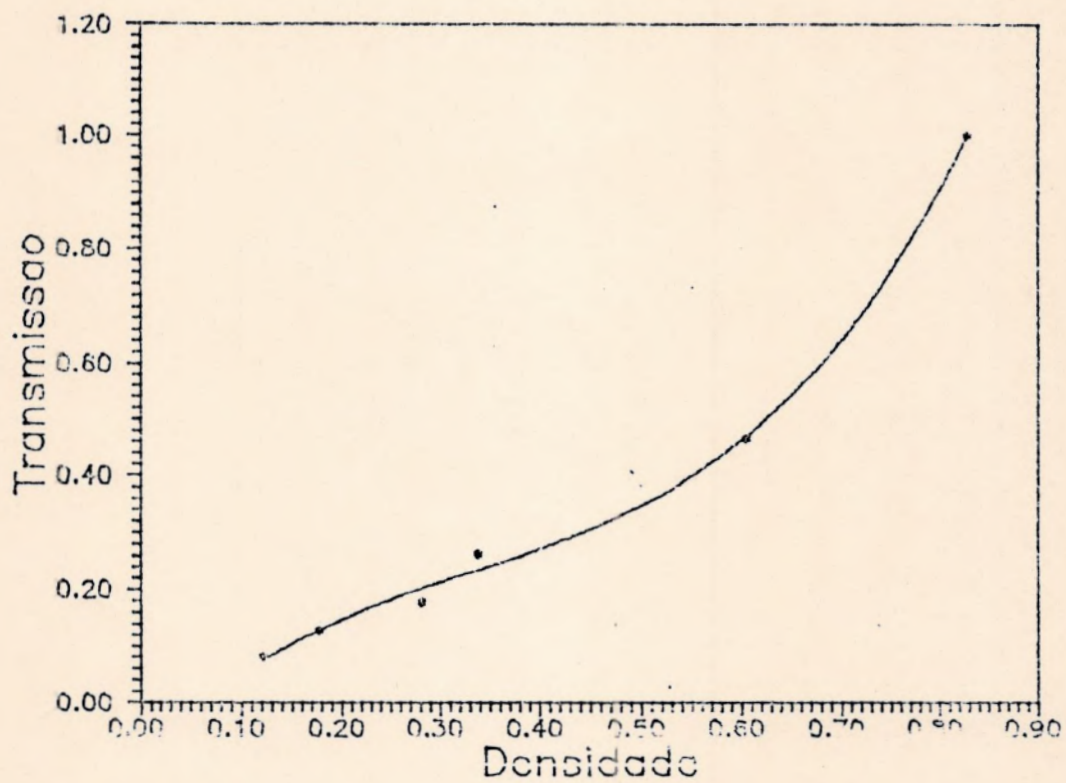


Fig.3- Curva de calibração sensitométrica.

correlacionar, enquanto que o ruído deverá superpor-se aleatoriamente. O resultado dessa soma é, portanto, o aumento da relação sinal/ruído (S/R) dos espectros.

Para efetivar a correlação entre os sinais contidos nos arquivos a serem somados, é necessário combinar corretamente os pixels-parcela dos diferentes arquivos; isto é, o fluxo no pixel referente a um comprimento de onda num arquivo deve ser somado ao fluxo no pixel referente ao mesmo comprimento de onda no outro arquivo.

Acontece que erros sistemáticos e aleatórios na determinação do ponto inicial da aquisição de cada bloco, causam posicionamentos diferentes dos arquivos de cada placa em relação ao próprio espectro, (ou seja, em cada placa, a posição de uma mesma linha espectral corresponde, em geral, a um pixel diferente). Os deslocamentos relativos resultantes entre os arquivos-parcela têm de ser determinados para que se possa fazer corretamente a adição.

Estes deslocamentos irão forçosamente excluir da soma as extremidades inicial e final que estão fora da intersecção entre os arquivos. Estas pequenas regiões serão deprezadas, uma vez que só nos interessam as regiões constituídas pela soma das três placas. Foi com o objetivo de cobrir estas perdas, que se adotou uma superposição de 40 pixels (200 μ) entre arquivos consecutivos.

Os pontos de referência para se avaliar os deslocamentos foram as linhas espectrais. Mais especificamente, foram feitas determinações dos pixels centrais de três linhas por arquivo. A média das diferenças dos pixels centrais das mesmas linhas em arquivos de diferentes placas foi tomada como o deslocamento real

entre esses arquivos.

Isto é, seja $L(i, j)$ a posição, em pixels, do centro da i -ésima linha no arquivo da j -ésima placa. Tomando-se três linhas por arquivo, o deslocamento final entre os arquivos da primeira e segunda placas será

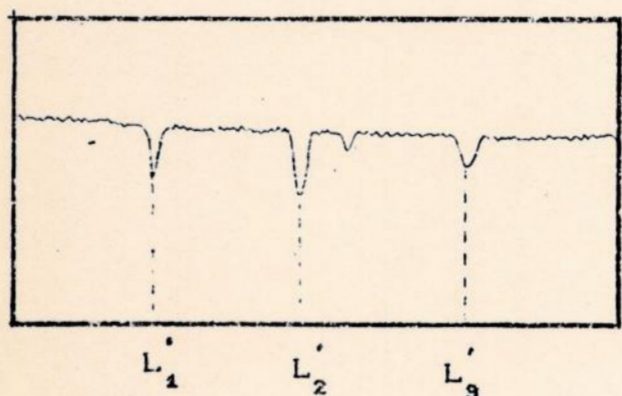
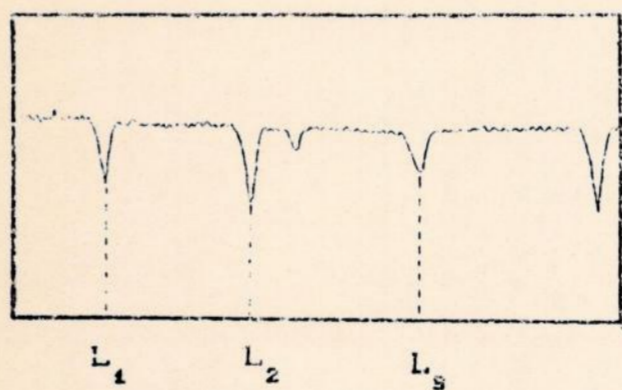
$$D(1,2) = \sum_{i=1}^3 \frac{1}{3} | L(i,1) - L(i,2) | \quad (2).$$

Neste caso serão cortados 2D pixels na hora da soma.

Uma representação esquemática deste processo encontra-se na fig.4.

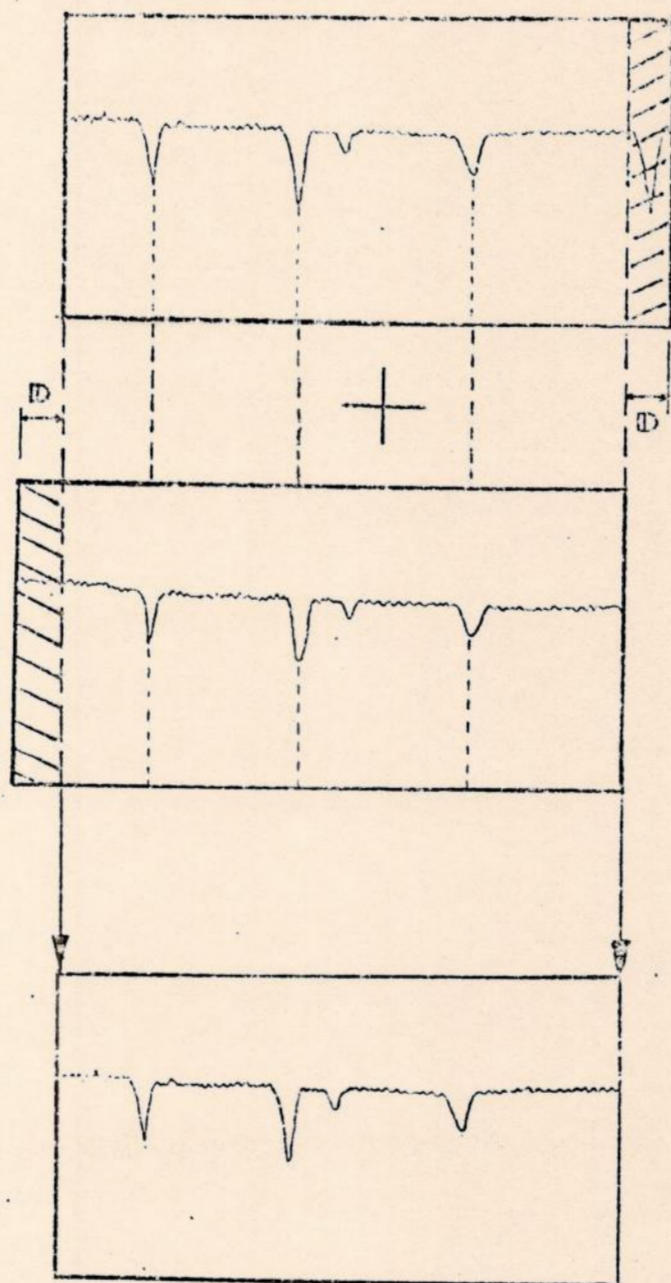
O procedimento foi levado a cabo para todas as regiões espectrais. Em geral, o deslocamento devido a flutuações aleatórias em torno da origem não foi maior do que 5 pixels. Um erro grosseiro, entretanto, foi cometido na digitalização da placa H983, no qual a varredura da terceira região iniciou-se aproximadamente 450μ antes do ponto devido. Levando em conta as superposições adotadas entre blocos sucessivos, este erro acarretou na perda de $0,7\text{\AA}$, em média, entre cada par de arquivos sucessivos, posteriores ao terceiro (o que inclui todos os arquivos analisados, já que nossa análise se inicia, como explicamos no item anterior, no sexto arquivo). A consequência deste fato foi a impossibilidade de medir algumas linhas pertencentes às regiões excluídas.

As posições centrais das linhas usadas no processo exposto acima foram determinadas utilizando um programa do pacote de redução, que ajustava perfis gaussianos aos perfis observados,



$$D = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 (L'_i - L_i)$$

(a)



(b)

Fig.4 - Ilustração do processo de soma dos arquivos. (a) As linhas ocupam em cada arquivo posições diferentes em pixels. Medidas essas diferenças, é possível determinar o deslocamento médio D entre os dois blocos. (b) A partir daí, pode-se realizar a soma, excluindo as regiões que estão fora da intersecção entre os blocos, que totalizam $2D$ em comprimento de onda.

fornecendo o centro da gaussiana em pixels. Para isso, as linhas usadas foram selecionadas de modo a não terem as suas partes centrais contaminadas por outras linhas.

A justificativa para o ajuste gaussiano será discutida mais adiante, no capítulo 5.

4.4 - Conversão pixel - comprimento de onda

Esta etapa visa transformar a escala horizontal do nosso espectro em pixels numa escala em comprimentos de onda, medidos em ângstrons. Novamente, nossas referências são as linhas espectrais da própria estrela em estudo.

O método consiste em identificar, para cada região, os comprimentos de onda de um bom número de linhas com perfis razoavelmente isentos de contaminações. De posse também de seus pixels centrais, determinados através do ajuste de curvas gaussianas mencionado anteriormente, foi possível construir relações empíricas que possibilitassem a desejada transformação.

82 Eridani é de tipo espectral próximo ao do Sol, sendo seus espectros bastante semelhantes. Assim, nós utilizamos o atlas do espectro solar de Minnaert et al. (1940) para o reconhecimento das linhas de absorção no espectro da nossa estrela. Os comprimentos de onda centrais dessas linhas foram extraídos do catálogo de linhas solares de Moore et al. (1966). Em média, foi possível utilizar nove linhas por bloco, distribuídas de maneira a cobrir, dentro do possível, toda a extensão da região.

Foram feitos, para cada arquivo, ajustes de polinômios de segundo e terceiro graus aos pontos obtidos. Nos ajustes de segundo grau, o coeficiente quadrático era, geralmente, entre 5 e 6 ordens de grandeza menor do que o coeficiente linear. A incerteza associada ao coeficiente quadrático era da mesma ordem de grandeza que o próprio coeficiente (em alguns casos, era maior e, num caso extremo, uma ordem de grandeza maior).

Nos ajustes de terceiro grau, o coeficiente de mais alto grau era de 8 a 9 ordens de grandeza menor do que o coeficiente linear, sendo a incerteza sempre maior do que o coeficiente.

Isto denota a quase linearidade do espectro nesta faixa de comprimento de onda, para pequenas regiões. Damos preferência, portanto, aos ajustes quadráticos.

O desvio interno médio, ponderado pelo número de pontos ajustado em cada região, ficou em torno de 0,005Å. Este valor é muito semelhante ao encontrado em trabalhos anteriores, com espectros do mesmo tipo, por de Mello(1989) e de Nader(1990).

Na tabela 2 aparecem os números de pontos utilizados no ajuste de cada região, além dos respectivos desvios internos. As regiões espectrais efetivamente abrangidas por nossos arquivos estão listadas na tabela 3.

4.5 - Normalização do Contínuo

O passo seguinte do processo de redução consiste na normalização dos valores de fluxo espectral em relação ao contínuo, ou seja, as grandezas espectroscópicas tais como as LE

Podem reunir
as tabelas 2, 3, 4
em uma única tabela

Região	Número de pontos utilizados	Desvio interno (Å)
6	10	0,005
7	8	0,002
8	9	0,005
9	9	0,004
10	9	0,007
11	8	0,005
12	8	0,003
13	8	0,004
14	9	0,006
15	9	0,006
16	9	0,004
17	10	0,004
18	10	0,004
19	8	0,003
20	6	0,007
21	6	0,005

Tabela 2 - Dados das regressões lineares aplicadas na
calibração de comprimentos de onda.

Região	Intervalo Espectral (Å)
6	4491,2 - 4513,0
7	4513,6 - 4535,4
8	4536,1 - 4557,8
9	4558,5 - 4580,2
10	4581,0 - 4602,6
11	4603,4 - 4625,1
12	4625,8 - 4647,5
13	4648,3 - 4670,0
14	4670,7 - 4692,4
15	4693,2 - 4714,8
16	4715,6 - 4737,3
17	4738,0 - 4759,7
18	4760,5 - 4782,1
19	4782,9 - 4804,6
20	4805,4 - 4827,0
21	4827,8 - 4849,5

Tabela 3 - Regiões espectrais efetivamente abrangidas pela análise. As falhas de continuidade são devidas ao erro cometido na digitalização da placa H983.

serão referidas a um contínuo com valor de fluxo unitário. Para tal, selecionamos janelas espectrais que fossem livres da presença de linhas ou de defeitos de qualquer espécie.

O procedimento por nós adotado foi o de escolher, em cada região, o maior número disponível de janelas de contínuo. O nível de fluxo das janelas era determinado pela média de todos os pontos pertencentes a um trecho da janela espectral, delimitado visualmente. Este método só foi possível quando a janela apresentava uma extensão suficiente em ângstrons. Quando este não era o caso, o nível de fluxo era estimado visualmente.

*Explicar que o ponto do contínuo
na marcado visualmente com o
auxílio de um cursor.*

As janelas de contínuo foram também selecionadas através da comparação dos nossos espectros com o espectro solar, utilizando os mesmos atlas e catálogo citados anteriormente.

Um ajuste linear, pelo método dos mínimos quadrados, foi realizado para uma média de sete pontos por região. O desvio interno médio dos ajustes, ponderado pelo número de pontos de contínuo de cada região, foi de 0,6%, semelhante aos resultados de de Mello(1989) e de Nader(1990).

Os números de pontos utilizados no ajuste de cada região, bem como os desvios internos, são mostrados na tabela 4.

Após concluído o ajuste, a normalização é feita dividindo-se cada valor de fluxo no espectro pelo valor correspondente (mesmo comprimento de onda) da função ajustada de contínuo.

Como o intervalo espectral de cada bloco não é grande e o espectrógrafo utilizado nas observações não introduz curvaturas acentuadas no espectro, um ajuste linear encontra-se plenamente justificado, dentro da precisão almejada.

Região	Número de pontos ajustados	Desvio interno (%)
6	7	0,7
7	7	0,6
8	7	0,5
9	6	0,9
10	7	0,6
11	8	0,7
12	7	0,6
13	5	0,7
14	5	1,0
15	5	0,8
16	7	0,4
17	7	0,5
18	9	0,4
19	7	0,4
20	6	0,6
21	6	0,6

Tabela 4 - Dados das regressões lineares aplicadas nos ajustes de contínuo.

Esta é a parte mais delicada do trabalho de redução, pois a má determinação do contínuo é reconhecida unanimemente como a principal fonte de erro sobre os valores finais das LE. Por este motivo, a região onde $\lambda \leq 4350\text{\AA}$ não pôde ser utilizada. Nesta faixa de comprimentos de onda, o espectro é muito rico em linhas de absorção, de modo que fica quase impossível encontrar janelas de contínuo livres, reduzindo drasticamente a confiabilidade da sua determinação.

Para verificar a influência de fatores subjetivos, principalmente quanto à determinação visual de pontos de contínuo, sobre o resultado final, realizamos um teste em que o procedimento foi levado a cabo por duas pessoas diferentes, para três regiões. Após isso, foram medidas as LE de vinte linhas para as duas normalizações diferentes.

Diferenças relativas de até 6% foram encontradas nas linhas com $LE \leq 60m\text{\AA}$. Todas as linhas mais fortes apresentaram variações abaixo de 3%.

Este resultado era esperado, visto que a influência dos erros na determinação do contínuo sobre o cálculo da LE deve ser, de fato, proporcionalmente maior para linhas mais fracas.

Na amostra escolhida, as regiões com mais valores de contínuo determinados visualmente não tenderam a apresentar erros maiores do que aquelas onde os valores determinados por média de janela eram mais frequentes. Também não houve nenhuma tendência aparente destes erros quanto ao número total de pontos ajustados por região.

A relação S/R de nossos espectros foi determinada pelo cálculo da dispersão r.m.s. do fluxo normalizado, em janelas de

contínuo selecionadas. O valor médio final encontrado foi 30.

Um exemplo de região espectral com contínuo normalizado é mostrado na fig.5.

REGIAO10

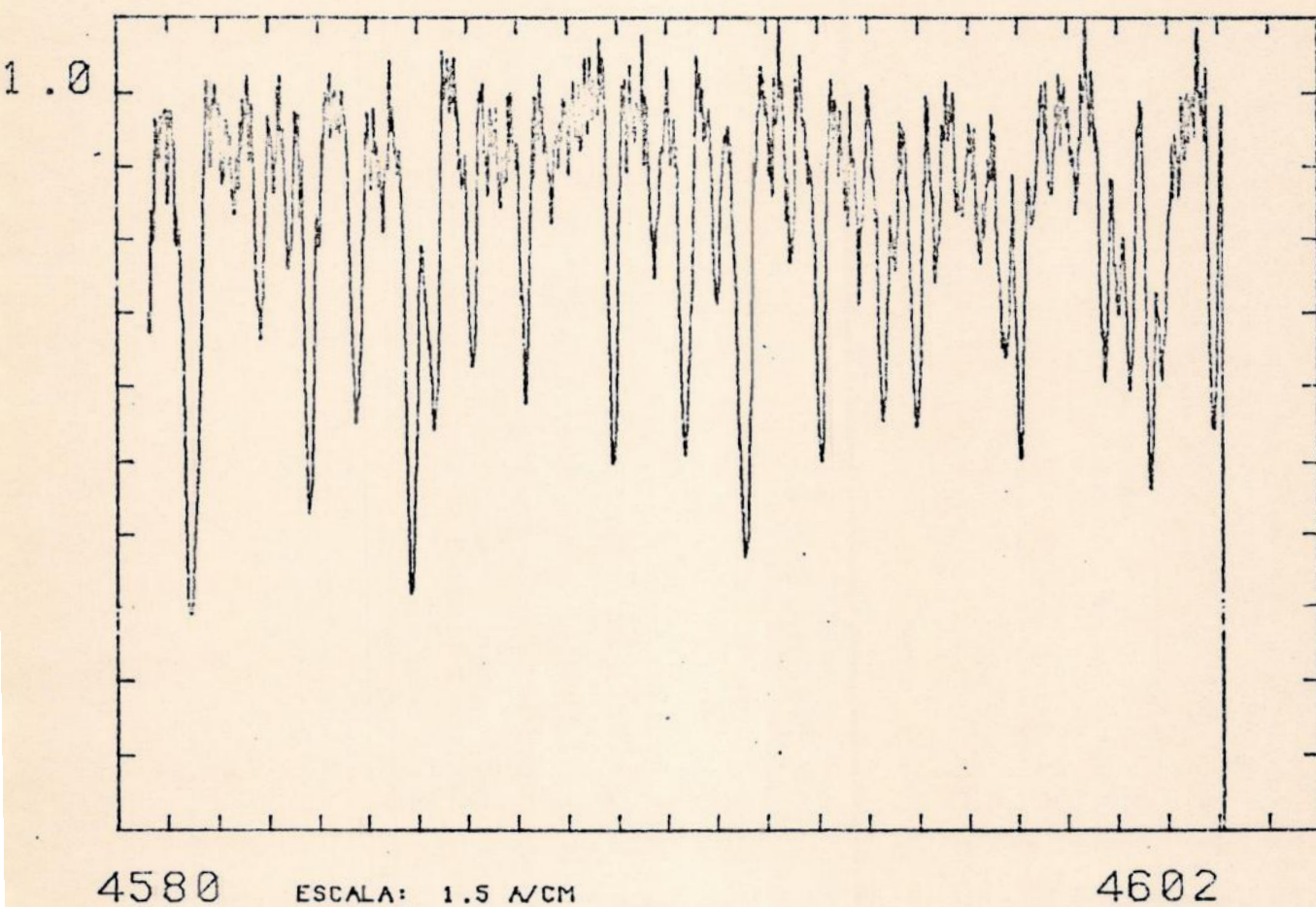


Fig.5- Região 10, após todas as etapas de redução, pronta para fornecer medidas de LE.

5 - Larguras Equivalentes

5.1 - Definição

A definição de LE, apresentada no capítulo 3, é dada pela eq. (1):

$$W = \int_0^{\infty} \frac{F_c - F_\lambda}{F_c} d\lambda \quad (1).$$

Nesta equação, os limites de integração são extrapolações teóricas que visam levar em conta o perfil completo da linha. É possível exprimir a mesma idéia simplesmente definindo o parâmetro Δ como sendo a largura da linha na altura do contínuo e λ_c como o comprimento de onda central da linha. Podemos então reescrever a definição na seguinte forma:

$$W = \int_{\lambda_c - \Delta/2}^{\lambda_c + \Delta/2} \frac{F_c - F_\lambda}{F_c} d\lambda \quad (3)$$

onde $\lambda_c - \Delta/2$ e $\lambda_c + \Delta/2$ são os pontos de contato do perfil da linha com o contínuo. Todos esses parâmetros são descritos na fig.6.

Após a normalização do contínuo, temos $F_c = 1$. Com isso, a definição de LE assumirá a forma

$$W = \int_{\lambda_c - \Delta/2}^{\lambda_c + \Delta/2} (1 - F_\lambda) d\lambda \quad (4);$$

F_λ é agora o fluxo normalizado em relação ao contínuo. Daí decorre, então:

$$W = \Delta - \int_{\lambda_c - \Delta/2}^{\lambda_c + \Delta/2} F_\lambda d\lambda \quad (5).$$

A primeira parcela da expressão acima corresponde à área sob a reta do contínuo, que aparece preenchida com traços horizontais na fig.7. A segunda parcela corresponde à área sob o perfil da linha, que aparece preenchida com traços verticais. A partir daí, podemos, neste caso, interpretar graficamente a LE como sendo a área entre o perfil da linha e o contínuo normalizado.

É importante frisar que a área acima do perfil da linha será numericamente igual ao valor de sua LE tão somente quando estivermos tratando de espectros com o contínuo de valor unitário.

Da fig.6 e da eq.(3), podemos ver que a LE é numericamente igual à largura de uma linha completamente negra, (ou seja, totalmente opaca, de modo que nenhum fluxo é observado em seu perfil) retangular, de área igual à LE da linha medida. Daí vem a denominação de largura equivalente: ela é igual à largura de uma linha perfeitamente negra, cuja área equivale numericamente à integral na eq.(3). É importante ressaltar que

esta declaração é válida para a própria definição geral de largura equivalente e não somente no caso de espectros normalizados.

A LE nos fornece, na realidade, uma medida do quanto de fluxo foi subtraído da radiação fotosférica da estrela naquela faixa de comprimento de onda. Quanto maior a LE, maior a área da "depressão" do fluxo observado em relação ao contínuo e, portanto, menos fluxo é observado na linha: mais forte ela será.

5.2 - Método de medida

O pacote de redução punha à nossa disposição dois métodos diferentes de medida da LE: um por integração trapezoidal direta do perfil da linha e outro por ajuste de curva gaussiana.

O primeiro, além de ser mais sujeito aos erros provenientes do ruído aleatório, depende fortemente da delimitação correta do perfil da linha e da zona de contato entre este e o contínuo. Esta é uma tarefa frequentemente difícil em espectros ruidosos como o nosso.

Por isso, demos preferência ao segundo método, que ajusta uma gaussiana ao perfil da linha, tomando a área entre esta curva e o contínuo normalizado como sendo a LE procurada. Um ajuste gaussiano típico em nossos espectros é mostrado na fig.8. Este método tem algumas vantagens adicionais. Ele permite o isolamento de partes do perfil da linha como dados para o ajuste, possibilitando a medida de linhas parcialmente contaminadas por linhas menores, conforme aparece na fig.9. Além disso, é possível ajustar gaussianas múltiplas a um conjunto de linhas com perfis

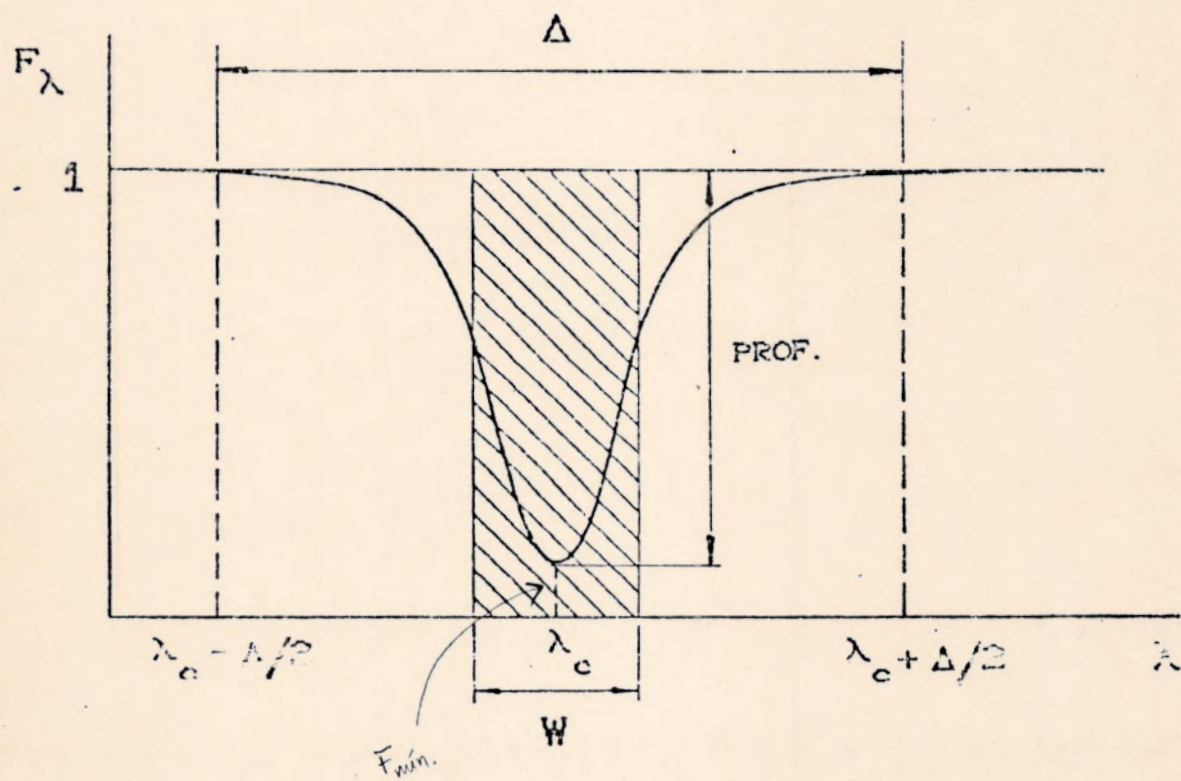


Fig.6- Parâmetros fundamentais que caracterizam
uma linha de absorção.

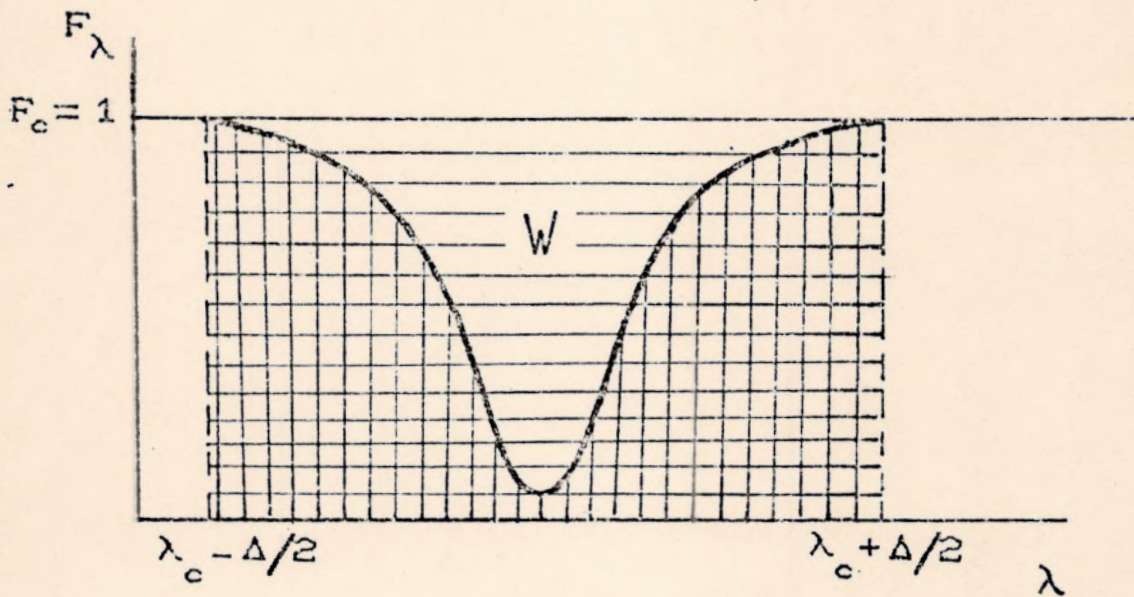
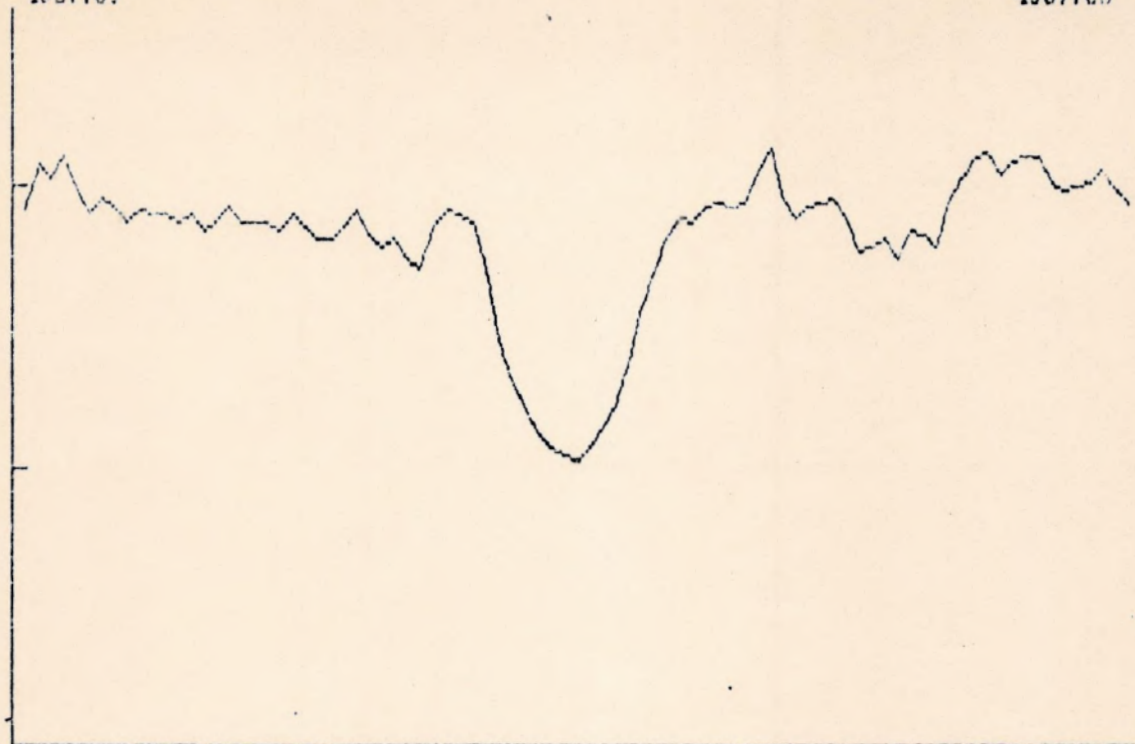


Fig.7- Em espectros normalizados em relação ao contínuo, a largura equivalente é numericamente igual à área entre o perfil da linha e o contínuo unitário.



largura equivalente:	91 nm	4589.06
prof.:	0.507	
largura:	71.86 nm	
centro:	4588.287	
s/n:	44.614	
continuum:	1.00000	

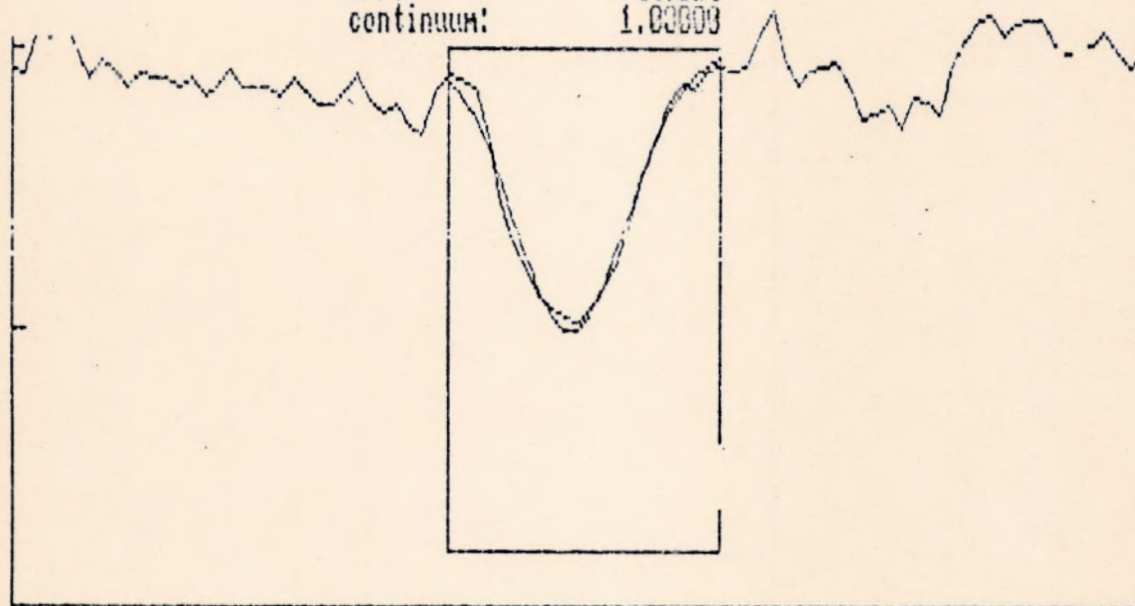


Fig.8- Ajuste gaussiano típico, ao perfil completo de uma linha. Em (a) aparece a região espectral antes do ajuste. Em(b) mostramos a linha com o ajuste de curva gaussiana. A janela retangular indica a região de dados utilizada pelo programa para o ajuste.

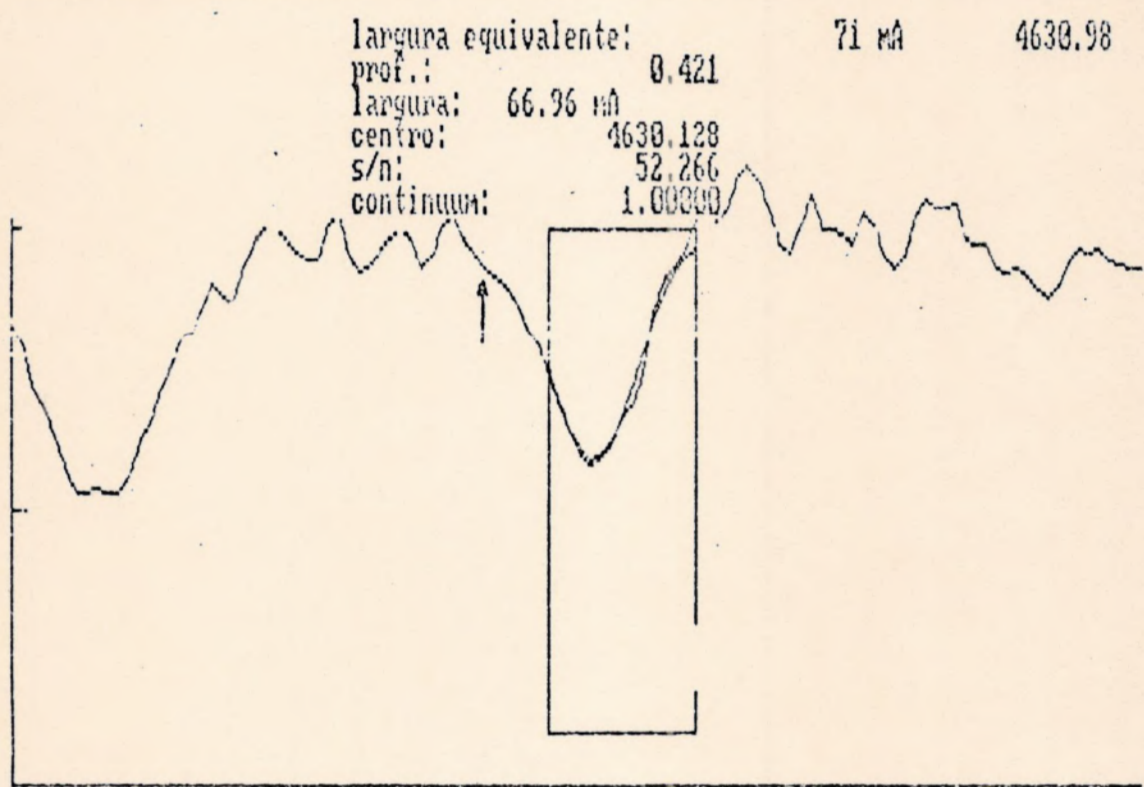
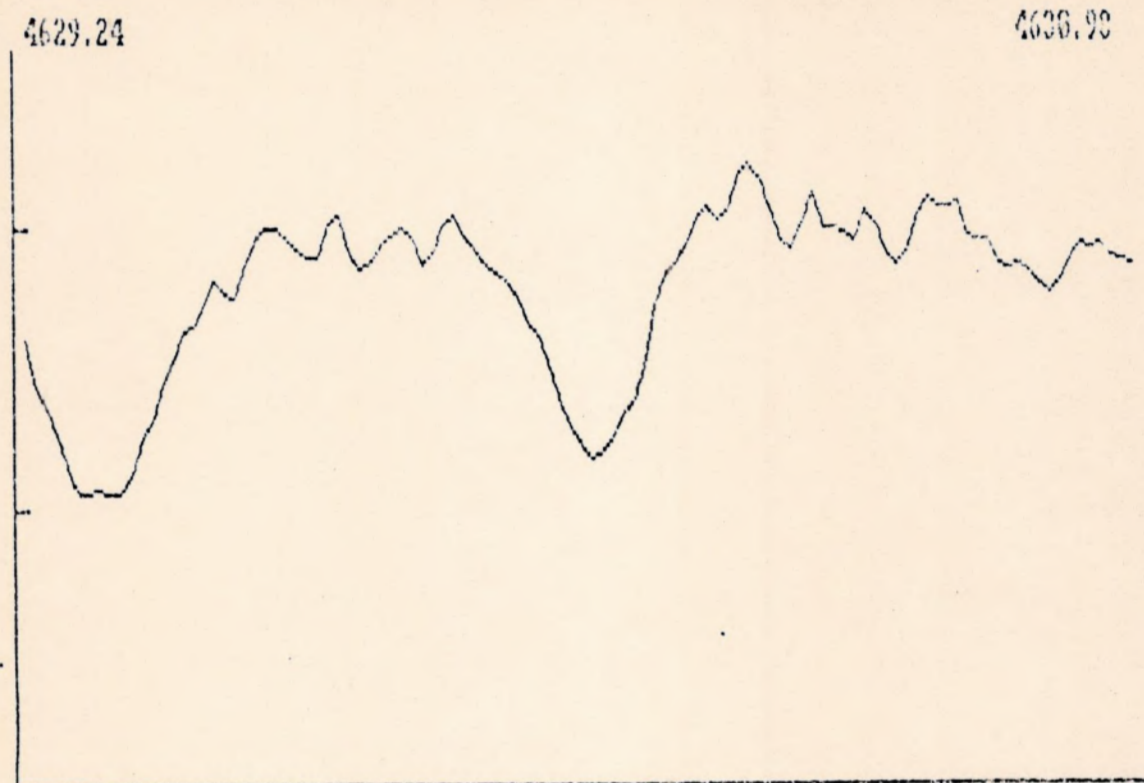


Fig.9- Ajuste de uma curva gaussiana à parte descontaminada do perfil de uma linha. O comprimento de onda central da pequena linha oculta está indicado pela seta.

parcialmente superpostos, como mostramos na fig.10.

5.3 - Critérios de Seleção

A confiabilidade dos resultados finais impõe severas restrições quanto às linhas cujas LE devem ser medidas. Muitas das linhas de absorção do espectro de 82 Eridani não foram medidas.

Em nosso trabalho, adotamos três requisitos básicos que uma linha deve obedecer para poder ser medida:

- não apresentar perfil muito ruidoso;
- não ser muito intensa;
- ser razoavelmente isolada.

Esta ordem não representa qualquer prioridade quanto aos critérios enumerados.

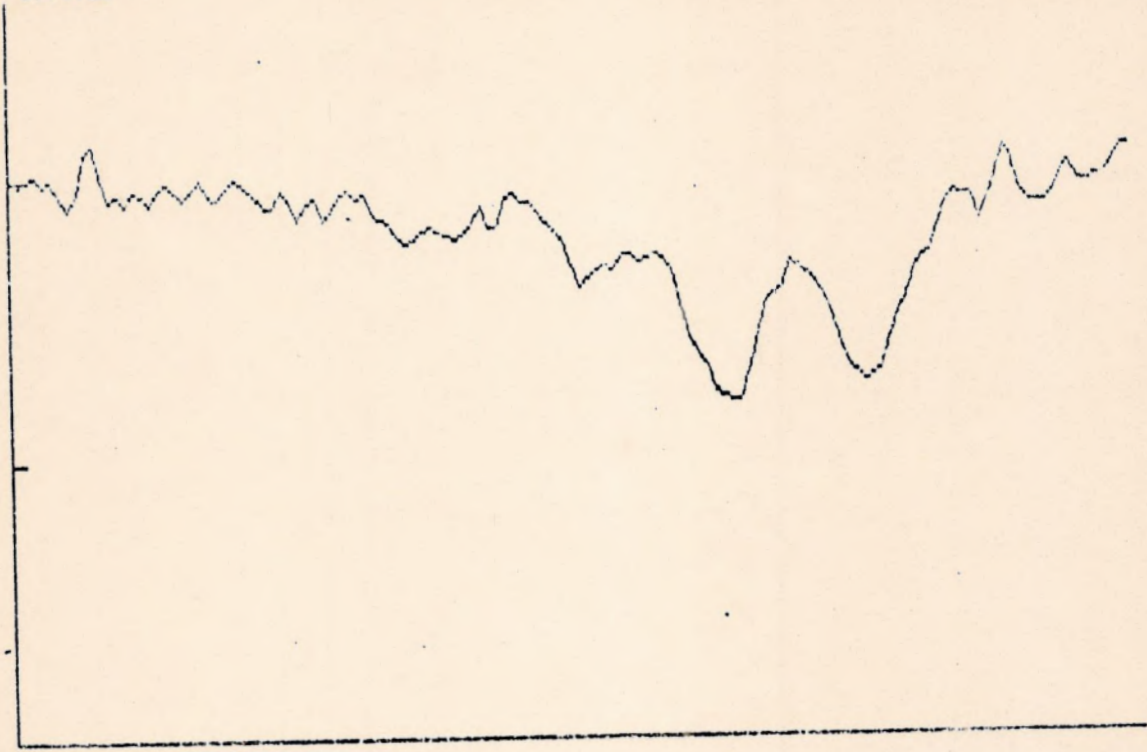
O primeiro requisito diz respeito à qualidade dos ajustes. Linhas com perfis muito dominados pelo ruído são, normalmente, linhas fracas, para as quais pequenos erros representam uma incerteza percentual significativa nas LE medidas. A baixa relação S/R de nossos espectros obrigou-nos portanto a rejeitar um certo número de linhas.

O segundo desses critérios decorre do método de medida empregado.

O espectro observado é o resultado da convolução do espectro real com o *perfil instrumental*. Esta grandeza fornece uma medida das distorções introduzidas no sinal pelo aparato instrumental, sendo a principal determinante da resolução

4785.15

4787.34



centro: 4786.287
 larg. equiv.: 35 mÅ
 largura: 77.08 mÅ
 centro: 4786.548
 larg. equiv.: 77 mÅ
 largura: 76.61 mÅ
 centro: 4786.818
 larg. equiv.: 75 mÅ
 largura: 83.05 mÅ
 continuum:

4787.34

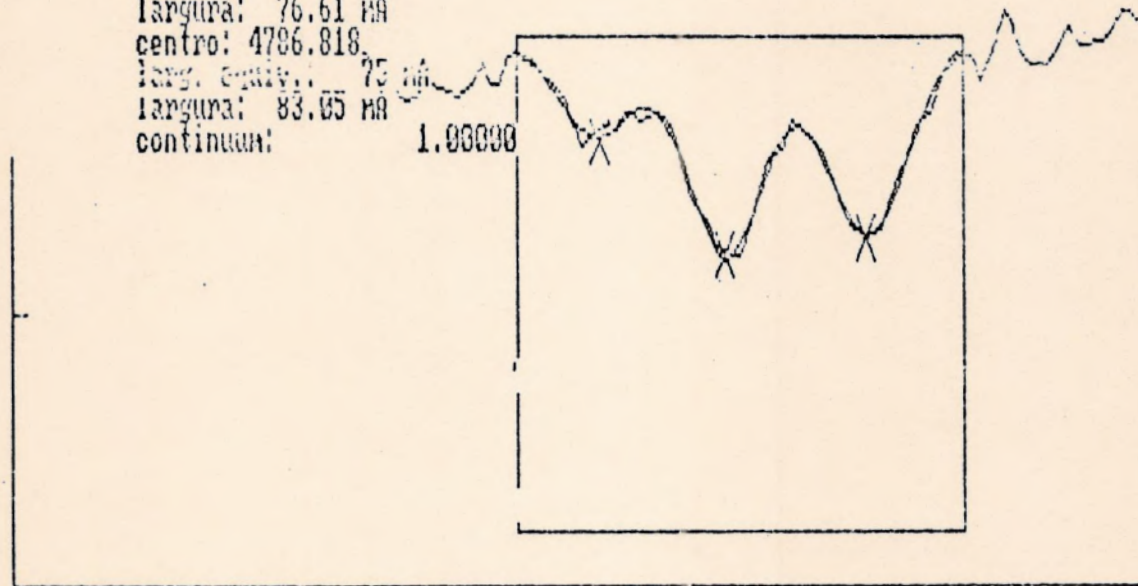


Fig.10- Ajuste de gaussianas múltiplas aos perfis de linhas parcialmente superpostas.

espectral atingida. Matematicamente, temos:

$$D(\lambda) = I(\lambda) * F(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} I(\lambda - \lambda_0) F(\lambda_0) d\lambda_0 \quad (6);$$

onde $D(\lambda)$ é o perfil observado, $F(\lambda)$ é o perfil real e $I(\lambda)$ é o perfil instrumental.¹

É geralmente aceito que o perfil instrumental tenha, nas observações espectroscópicas, uma forma gaussiana. O caso extremo, de um instrumento ideal, seria aquele em que o perfil fosse uma função delta de Dirac, representando uma resolução infinita, quando então o sinal não se veria modificado no processo de aquisição, sendo o espectro observado idêntico ao real.

A intensidade de uma linha de absorção depende, fundamentalmente, do número de partículas absorvedoras presentes na atmosfera (átomos ou íons) e da probabilidade de ocorrer a transição de estados eletrônicos que produz a linha. Na atmosfera de uma estrela, o primeiro destes parâmetros é constante e fixado pela abundância da espécie química em questão. Portanto, as diferentes intensidades das linhas observadas em nossos espectros devem-se às diferenças nas probabilidades das transições que as originam, nas condições físicas da atmosfera da estrela.

Decorre da teoria das atmosferas estelares que a intensidade das linhas fracas, correspondentes às transições de

¹ Uma discussão mais detalhada a respeito do perfil instrumental pode ser encontrada no capítulo 12 de Gray(1976).

baixa probabilidade, é diretamente proporcional à própria probabilidade. A IE da linha, neste caso, cresce a partir do aumento da sua profundidade (definida rigorosamente logo abaixo), já que, outra vez como resultado da teoria das atmosferas estelares, a largura do perfil dessas linhas é determinada essencialmente pela distribuição de velocidades das partículas participantes na absorção, a qual, por sua vez, depende apenas das condições físicas reinantes na atmosfera estelar.

Esta distribuição determina a largura do perfil da linha pelo fato de que, devido ao efeito Doppler, partículas com diferentes componentes de velocidade em relação à linha de visada absorvem fótons com comprimentos de onda ligeiramente diferentes do comprimento de onda de laboratório, que seria o esperado no caso em que elas estivessem em repouso relativamente ao observador.

Uma partícula que se encontre com uma velocidade v_r , em relação à linha de visada, absorverá um fóton cujo comprimento de onda seja:

$$\lambda = \lambda_c + \Delta\lambda \quad (7),$$

com

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_c} = \frac{v_r}{c} \quad (8),$$

onde λ_c é o comprimento de onda de repouso e c a velocidade da luz.

Na realidade, os absorvedores apresentam uma dispersão

continua de velocidades em torno de um valor médio, motivo pelo qual, como veremos, a linha se apresenta alargada em torno de um comprimento de onda central).

Assumindo que as componentes, em relação à linha de visada, das velocidades das partículas do gás obedecem a uma distribuição Maxwelliana à temperatura T:

$$\frac{N(v_r)dv_r}{N} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-\frac{v_r^2}{\alpha^2}\right] \frac{dv_r}{\alpha} \quad (9),$$

$$\alpha^2 = \frac{2kT}{m} \quad (10);$$

(onde $N(v_r)dv_r/N$ é a fração do número total de partículas que possui componente de velocidade em relação à linha de visada entre v_r e $v_r + dv_r$, m é a massa das partículas e k a constante de Boltzmann), temos que, devido ao fato da quantidade de radiação absorvida em cada comprimento de onda ser proporcional ao número de absorvedores, o perfil de linha resultante terá a mesma forma da distribuição de velocidades, que é uma curva gaussiana. A largura deste perfil é denominada *largura Doppler*.

Das eqs.7 a 10, pode-se então notar que a absorção é máxima quando $v_r = 0$. Neste caso, temos $\lambda = \lambda_c$. Ou seja, o comprimento de onda central corresponde ao máximo de absorção, onde o perfil da linha atingirá seu valor mínimo, F_{\min} . Assim, definimos a *profundidade da linha*, (ilustrada na fig.6), como:

↙

$$\text{PROF.} = 1 - F_{\min}$$

(11).

→ marcar na fig. 6

Temos, assim, que o perfil da linha será determinado pela convolução do perfil instrumental, que é gaussiano, com o perfil da distribuição de velocidades, também gaussiano. Uma vez que a convolução de duas funções gaussianas resulta numa outra função gaussiana, o perfil observado da linha apresentará uma forma também gaussiana.

Nas transições cujas probabilidades de absorção tornam-se suficientemente grandes, a combinação destas probabilidades com o número de partículas absorventes eleva a absorção a um tal nível que praticamente todos os fótons correspondentes ao comprimento de onda central da linha sejam absorvidos. A partir daí, uma elevação no valor da probabilidade de transição causa um aumento cada vez menor na profundidade da linha. Diz-se portanto que a mesma se encontra saturada, apresentando ainda a sua largura Doppler, que é fixada pela distribuição de velocidades das partículas na atmosfera. Esta largura, conforme dito anteriormente, é função dos parâmetros físicos da atmosfera.

Como até agora o crescimento da LE se dava em função do aumento da profundidade da linha, ela não poderá mais crescer da mesma maneira que nas linhas mais fracas. Este resultado é, na verdade, aproximado, pois a LE não se encontra exatamente estacionária, porém cresce mais lentamente.

↙

As extremidades laterais do perfil apresentam baixas absorções, devido aos baixos valores da função de distribuição

de velocidades

para comprimentos de onda distantes do centro da linha [eqs. (9) e (10) e discussão em seguida]. Em linhas mais fortes, porém, a probabilidade de transição apresenta valores relativamente maiores que nos casos anteriores, causando um aumento da absorção naquelas regiões das linhas. Essas linhas, portanto, começam a desenvolver em suas extremidades laterais as chamadas asas de amortecimento. Uma vez que este crescimento da absorção nas extremidades laterais do perfil não é mais acompanhado por um crescimento correspondente em profundidade (pois os fótons no comprimento de onda central já foram praticamente todos absorvidos), tais linhas não poderão apresentar perfis gaussianos. Como seus perfis reais não apresentam esta forma, o mesmo se dará com seu perfil observado.

Os valores limites da probabilidade de transição e da LE, para os quais começam a surgir as asas de amortecimento, dependem das condições físicas na atmosfera da estrela. Uma discussão teórica deste nível está além dos objetivos do nosso trabalho. Entretanto, discutiremos na próxima seção uma evidência a favor da suposição de que as linhas por nós medidas encontram-se na faixa de linhas fracas ou pouco saturadas, de modo que podemos seguramente utilizar ajustes de curvas gaussianas aos seus perfis na hora de calcular as LE.

O último critério é o mais importante e seletivo dos três. Quando falamos em uma linha razoavelmente isolada, estamos requerendo que ela seja livre da influência das asas de linhas próximas e muito intensas, que rebaixam o nível do contínuo na região de interesse. Além disso, ela deve ser livre de contaminações de pequenas linhas que possam estar ocultas no

interior do seu perfil.

Linhas que obedecem rigorosamente essas exigências são muito raras na faixa de comprimentos de onda abrangida por nossos espectros. Ainda por cima, são normalmente tão fracas que ficam totalmente mascaradas pelo ruído. Assim, adotamos critérios menos rigorosos:

1) linhas com contaminação invisível, identificada no catálogo de Moore et al. (1966), cuja LE fosse maior do que 3% do valor da suas LE, não foram medidas (para a comparação, foram tomados os valores solares fornecidos no catálogo);

2) linhas com contaminações visíveis na borda só foram medidas quando foi possível realizar o ajuste utilizando apenas a região não contaminada;

3) linhas com bordas superpostas a uma outra linha de LE comparável foram medidas por ajuste de gaussianas múltiplas, desde que não houvesse pequenas linhas ocultas entre as linhas medidas;

4) linhas próximas a asas de linhas intensas não foram medidas.

Adotamos o limite de 3% como um teste de comparação com trabalhos anteriores realizados com espectros semelhantes e utilizando basicamente os mesmos programas de redução. Em seus trabalhos, de Mello(1989) e de Nader(1990) adotaram um valor limite de 10%.

É importante citar que um número bem pequeno de linhas muito intensas deixaram de ser medidas. A maior parte das linhas muito intensas eram muito contaminadas, sendo prontamente eliminadas pelo requisito 3. Entretanto, julgamos importante discutir o critério 2) de seleção, no intuito de justificar nosso

método de medida empregado.

5.4 - Teste e resultados

Com estes critérios de seleção, foi possível medir as LE de 79 linhas. Os valores obtidos são apresentados nas tabelas 5 e 6.

Acreditamos ser esse conjunto de critérios mais adequado à realidade dos nossos espectros. Para verificar a confiabilidade do nosso procedimento, realizamos um teste em que as linhas foram separadas em duas amostras. A primeira contendo aquelas em que qualquer contaminação estava abaixo de 3% (45 linhas); na outra amostra, estavam as linhas com contaminações visíveis nas bordas, acima de 3% (34 linhas).

A profundidade da linha, ao contrário da sua LE, não é alterada pela presença de contaminações pequenas ocultas nas extremidades laterais do seu perfil. Portanto, se as contaminações nas bordas de uma linha estiverem influenciando o valor de LE (calculado utilizando-se a porção não contaminada do perfil), seria de esperar que, para uma mesma profundidade, a linha com esta característica tenda a apresentar LE maior do que aquelas livres, cujo perfil inteiro pôde ser empregado no ajuste. Então, construímos gráficos relacionando profundidade com LE para as duas amostras. Os gráficos aparecem nas figs.11 e 12. Na tabela 7 mostramos o número de linhas medidas por espécie química.

A relação encontrada é, nos dois casos, visivelmente linear. Para as linhas da primeira amostra obtivemos:

λ (\AA)	W ($\text{m}\text{\AA}$)	Prof.	Id.
4491,41	83	0,47	Fe II
4492,31	48	0,25	Cr I
4502,22	81	0,41	Mn I
4502,60	31	0,22	Fe I
4508,29	91	0,51	Fe II
4523,41	48	0,34	Fe I
4525,87	24	0,21	Fe I
4533,25	138	0,69	Ti I
4537,68	30	0,20	Fe I
4542,43	60	0,36	Fe I
4550,77	89	0,48	Fe I
4551,65	29	0,19	Fe I
4554,04	175	0,77	Ba II
4555,49	93	0,55	Ti I
4574,73	76	0,44	Fe I
4583,42	44	0,24	Ti II
4588,20	80	0,41	Cr II
4593,53	37	0,22	Fe I
4600,76	93	0,49	Cr I
4617,28	93	0,48	Ti I
4635,85	67	0,37	Fe I
4639,95	59	0,35	Ti I
4656,47	93	0,47	Ti I

Tabela 5- Linhas com contaminações nas bordas, abaixo de 3%.

λ (Å)	W (mÅ)	Prof.	Id.
4661,54	36	0,22	Fe I
4690,14	64	0,32	Fe I
4700,62	27	0,13	Cr I
4705,47	53	0,23	Fe I
4708,02	71	0,29	Cr I
4708,67	59	0,30	Ti II
4730,72	53	0,28	Cr I
4731,80	42	0,24	Ni I
4737,36	51	0,26	Cr I
4756,12	56	0,31	Cr I
4759,28	52	0,28	Ti I
4765,47	62	0,27	Fe I
4778,26	31	0,12	Ti I
4781,72	25	0,13	Ti I
4783,42	132	0,57	Mn I
4786,81	75	0,36	Fe I
4788,77	62	0,31	Fe I
4798,27	32	0,17	Fe I
4801,03	39	0,21	Cr I
4808,16	24	0,15	Fe I
4813,48	41	0,20	Co I
4840,88	61	0,30	Ti I

Tabela 5- Continuação

λ (Å)	W (mÅ)	Prof.	Id.
4518,03	113	0,59	Ti I
4519,99	55	0,32	Ni I
4526,93	124	0,58	Ca I
4531,63	82	0,47	Fe I
4534,79	135	0,65	Ti I
4545,96	108	0,59	Cr I
4576,34	71	0,36	Fe II
4592,06	50	0,29	Cr II
4596,42	47	0,25	Fe I
4602,01	87	0,47	Fe I
4616,13	113	0,52	Cr I
4619,30	101	0,49	Fe I
4626,18	99	0,50	Cr I
4630,13	71	0,42	Fe I
4643,47	92	0,42	Fe I
4646,17	131	0,56	Cr I
4648,66	112	0,49	Ni I

Tabela 6- Linhas com contaminações nas bordas, acima de 3%.

λ (Å)	W (mÅ)	Prof.	Id.
4651,29	100	0,48	Cr I
4657,20	62	0,32	Ti II
4675,11	62	0,30	Ti I
4678,85	109	0,48	Fe I
4704,95	80	0,37	Fe I
4718,42	63	0,34	Cr I
4739,11	42	0,23	Mn I
4752,43	50	0,29	Ni I
4761,53	59	0,32	Mn I
4764,29	20	0,15	Cr I
4772,82	88	0,41	Fe I
4806,00	51	0,25	Fe I
4810,54	58	0,28	Zn I
4820,41	50	0,27	Ti I
4829,03	63	0,29	Ni I
4831,18	54	0,27	Ni I
4839,55	49	0,24	Fe I

Tabela 6- Continuação

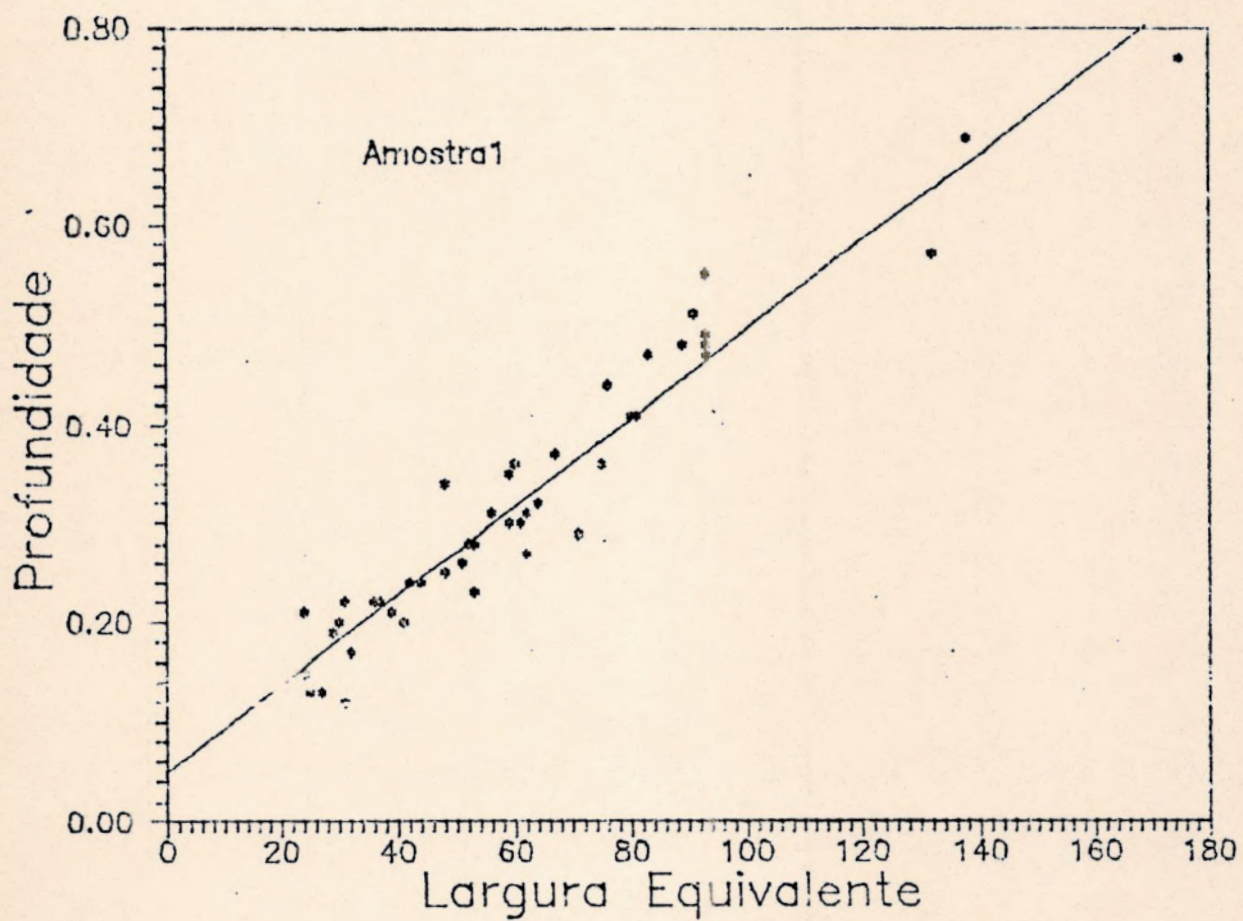


Fig.11- Relação LE x profundidade para linhas cujas contaminações ocultas em seus perfis estão abaixo de 3%.

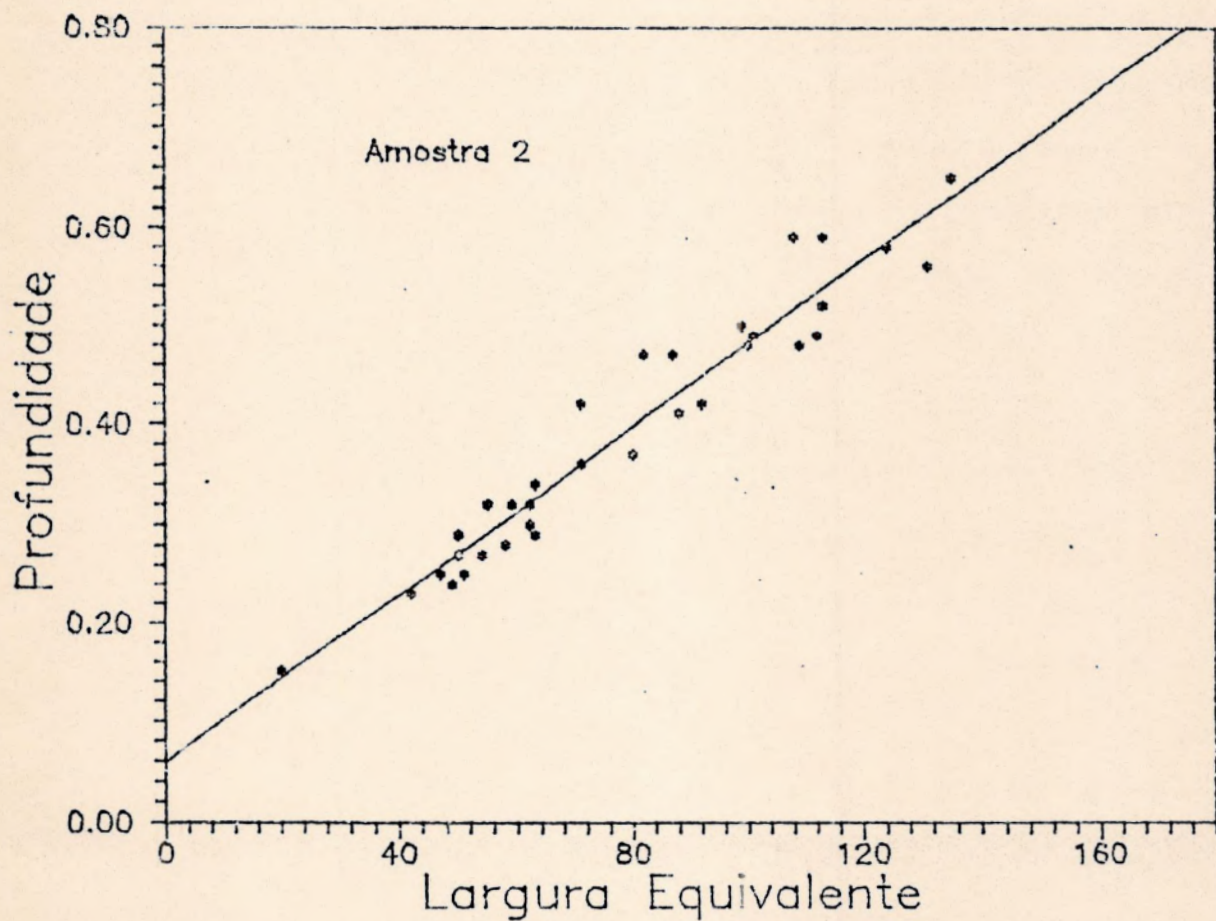


Fig.12- Relação LE x profundidade para linhas com contaminações maiores do que 3% ocultas em seus perfis.

6- Conclusões

Procuramos, neste trabalho, descrever todas as etapas de redução necessárias para a obtenção das larguras equivalentes de linhas a partir de espectros obtidos usando placas fotográficas.

Julgamos haver ficado claro que as várias fases envolvidas no processo de redução de um espectro fotográfico apresentam características e dificuldades distintas, sendo que todas devem ser consideradas cuidadosamente para garantir a mais alta qualidade possível do resultado final, ou seja, os valores das LE das linhas.

Em vista dos nossos resultados, concluímos que a determinação do nível do contínuo é a fonte dominante de erro na medida das LE das linhas fracas e médias. Nossa amostra não possuía um número estatisticamente significativo de linhas fortes para fornecer qualquer conclusão a respeito da fonte de erro predominante sobre as medidas dessas linhas.

A determinação do contínuo é influenciada principalmente pela superposição de pequenas linhas ocultas no ruído ou pelas extensas asas de linhas fortes. Em ambos os casos, o efeito é de rebaixar o nível real do contínuo, levando à medida de LE tendenciosamente menores. Acreditamos que o nosso método de seleção de janelas por comparação com o espectro solar nos tenha permitido minimizar esses problemas. Assim, numa dada região espectral, uma boa determinação depende essencialmente da presença de janelas ou pontos de contínuo confiáveis nas suas proximidades. É bom lembrar, entretanto, que o ruído aleatório, em especial no caso de espectros obtidos fotograficamente, dá origem a um erro

importante no nível medido de cada ponto de contínuo, motivo pelo qual nós procuramos utilizar sempre o maior número possível de pontos por região.

O erro relativo nas LE medidas devido à incerteza no contínuo tende a ser maior quanto mais fraca for a linha.

Outras fontes de erro secundárias, mas não muito menos importantes, são a presença de contaminações ocultas em perfis de linhas e o ruído aleatório no próprio perfil. A influência da primeira é mais frequente em linhas mais fortes, cujos perfis abrangem regiões espectrais maiores. A segunda fonte de erro se faz mais sentida quanto mais fraca for a linha. Contudo, temos razões para acreditar que o método de cálculo por ajuste de gaussianas tenha contribuído para diminuir a influência do ruído sobre os resultados finais.

Atualmente, com o desenvolvimento de detetores de maior eficiência quântica, tais como o *Reticon* e o *CCD*, os problemas originados pelo ruído aleatório surtem efeitos bem menores sobre as medidas espectroscópicas. Capazes de fornecer espectros com relação S/R de várias centenas, tais detetores tornam possível a medição de linhas consideravelmente mais fracas do que as que são mensuráveis em espectros fotográficos típicos como os nossos. Esta desvantagem dos espectros de placas fotográficas é, entretanto, parcialmente compensada, em termos quantitativos, pelo fato delas poderem cobrir, em alta dispersão, uma região espectral bastante extensa, abrangendo assim um número considerável de linhas.

É importante, porém, ressaltar que, em virtude dos motivos anteriormente expostos, uma discussão rigorosa da

incerteza nos valores das LE é extremamente difícil.

de Mello(1989) utilizou espectros fotográficos do mesmo tipo que os nossos em sua análise da estrela ϕ^2 Pav. Ele obteve uma relação S/R média de 40 na mesma região com que trabalhamos. Apesar da relação S/R um pouco melhor, só foram medidas 64 linhas, ao passo que nós medimos 79 linhas.

de Nader(1990) obteve, com espectros da estrela δ Pav, também semelhantes aos nossos, uma relação S/R média de 45, tendo medido 85 linhas na mesma região espectral.

A diferença no número de linhas medidas deve-se, entretanto, aos aspectos particulares dos espectros das estrelas envolvidas em cada uma das análises. Tais aspectos são funções de parâmetros como temperatura, gravidade superficial, abundância metálica, etc (p.ex., δ Pav é mais fria e mais rica em metais do que ϕ^2 Pav). Desta forma, o número de linhas medidas não determina o grau de rigor dos diferentes critérios de seleção usados pelos diferentes autores.

Existe, entretanto, uma análise de 82 Eridani, feita por Hearnshaw(1973), com espectros fotográficos. Nesse trabalho, onde foi adotada uma metodologia totalmente diferente da nossa, foram medidas 40 linhas de Fe I, na região entre 4490 e 4800Å. Na mesma região, nós medimos apenas 26 linhas de Fe I. Daí podemos concluir que adotamos critérios particularmente exigentes, o que reduziu bastante o número final de linhas medidas.

Se, por um lado, é interessante utilizar critérios que permitam a medida das LE de um grande número de linhas, tendo em vista realizar uma análise de abundâncias estatisticamente significativa, por outro isso pode ter como consequência uma

incerteza maior nos valores finais de LE e, portanto, nas abundâncias daí obtidas.

O rigor dos critérios de seleção fica, portanto, dependendo fundamentalmente da qualidade dos espectros e do compromisso entre a quantidade e a confiabilidade das linhas incluídas na amostra, de acordo com as especificidades do objetivo a que se destinam as medidas.

Nesse contexto, o emprego de uma relação bem determinada entre profundidade e LE pode fornecer um meio simples e confiável de se obter LE de linhas parcialmente contaminadas. Se, por um lado, isto pode ampliar significativamente as possibilidades de medida, por outro introduz uma fonte adicional de erro nos valores finais, devida às incertezas na relação LE x Profundidade utilizada.

Por fim, é necessário ressaltar que as placas fotográficas têm ultimamente caído em desuso nos trabalhos espectroscópicos. Pode-se dizer que, hoje em dia, praticamente todas as análises espectroscópicas são feitas com base em observações com detetores de estado sólido. Entretanto, as etapas de redução, a partir do ponto em que se tenham espectros em fluxo, são essencialmente as mesmas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

da Silva, L.; Université de Paris VII. Thèse (1973).

de Mello, G.F.P.; Observatório Nacional, Rio de Janeiro,
Tese (1989).

de Nader, R.V.; Observatório Nacional, Rio de Janeiro,
Tese (1990).

Gray, D.F.; "The Observation and Analysis of Stellar
Photospheres", J. Wiley & Sons, New York (1976).

Hearnshaw, J.B.; Astron. & Astrophys. 29, 165-170 (1973).

Hoffleit, D., Jaschek, C.; "The Bright Star Catalogue",
Yale Univ. Obs. (1982).

Minnaert, M., Mulders, G.F.W., Houtgast, J.; "Photometric
Atlas of the Solar Spectrum", Utrecht, Sterrewacht "Sonnenborg"
(1940).

Moore, C.E., Minnaert, G.F.W., Houtgast, J.; "The Solar
Spectrum: 2925Å to 8770Å", Natl. Bur. Std., U.S. Monograph 61
(1966).

ERRATA

pg.15- A ordenada do gráfico representa densidades fotográficas e a sua abscissa uma escala de distância de varredura, em pixels;

pg.25, 1.1, col.2- Onde está escrito:

"Número de pontos utilizadas",

leia-se:

"Número de linhas utilizadas";

pg.38, 1.9- Os requisitos citados seguem a numeração I), II) e III);

pg.41, 1.3- Onde está escrito:

"... (definida rigorosamente logo abaixo) ...",

leia-se:

"... (ilustrada na fig.6 e definida rigorosamente mais adiante) ...";

pg.45, 1.27- Onde está escrito:

"... eliminadas pelo requisito 3. Entretanto, julgamos importante discutir o critério 2) de seleção, ...",

leia-se:

"... eliminadas pelo requisito III). Entretanto, julgamos importante discutir o critério II) de seleção, ...".