

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Astronomia

Stephan Hanada Hermenegildo

**Variabilidade da linha $H\alpha$ em estrelas
pré-sequência principal**

São Paulo

2018

Stephan Hanada Hermenegildo

Variabilidade da linha $H\alpha$ em estrelas pré-sequência principal

Trabalho de Graduação II apresentado ao Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Astronomia.

Área de Concentração: Astronomia

Orientador(a): Profa. Dra. Jane Gregorio-Hetem

São Paulo

2018

Agradecimentos

À CNPq pelo apoio financeiro deste projeto.

Ao IAG e, principalmente, ao Departamento de Astronomia por ter me oferecido uma ótima estrutura para o meu aprendizado.

À minha orientadora Profa. Dra. Jane Gregorio-Hetem pelo suporte e apoio neste projeto, por ter dispendido seu valioso tempo comigo por todos esses anos de trabalho e por ter me ajudado a me tornar um pesquisador e, acima de tudo, um ser humano melhor.

À todos os meus veteranos, que me mostraram o caminho das pedras dentro da Universidade e, principalmente, por todos os momentos que vivemos fora.

Aos meus amigos e colegas de turma, que me mostraram que ninguém termina o curso sozinho e, se eu estou me formando agora é porque eu tive a ajuda de vocês.

Aos meus calouros que, de certa forma, me fizeram sentir como se fosse de suas turmas.

À toda a minha família pelo suporte e apoio durante os (incontáveis) momentos difíceis que enfrentei. Em especial, tenho que citar nominalmente a minha irmã Stephanie as minhas avós Lourdes e Shigeko, ou dona Rosa e a minha prima Priscilla.

Obrigado à dona Sueli, minha mãe, por ter sido também um pai e por ter segurado as pontas e feito das tripas coração para sustentar a minha irmã e a mim quando não tínhamos mais que a quem recorrer mesmo sabendo que você poderia não retornar para casa após mais uma sessão de hemodiálise.

E por fim, queria agradecer imensamente a uma pessoa que, infelizmente, não estará na minha formatura e nunca irá ler essas palavras: Luiz Issamu Hanada. Você foi mais que um tio, foi o meu maior incentivador e entusiasta dessa jornada que é ser pesquisador e enquanto eu viver, seu legado e seus ensinamentos estarão comigo.

Esta tese/dissertação foi escrita em \LaTeX com a classe IAGTESE, para teses e dissertações do IAG.

“Life is impossible.”

Misha Mansoor

“He who has ears to hear, let him hear.”

Chrigel Glanzmann

Resumo

Estrelas T Tauri clássicas possuem forte emissão da linha $H\alpha$, o que é um indicativo de interações com o disco circunstelar. A variabilidade das linhas da série de Balmer também são intensas em estrelas do tipo Herbig Ae/Be, sendo explicadas por inhomogeneidades do envoltório através de ejeção de matéria em forma de jatos. Analisamos estrelas Pré Sequência-Principal com indícios de variabilidade em suas linhas. Nosso objetivo é estudar estrelas associadas à nebulosa Sh 2-296 que, possivelmente, passou por um processo de formação estelar induzida (teoria nem confirmada, nem descartada) pois 75% delas não apresentam material circundante, de acordo com estudos anteriores feitos por nosso grupo, indicando que algum processo desconhecido acelerou a sua dissipação.

Para teste de metodologia, três estrelas jovens do catálogo Pico dos Dias Survey foram observadas no telescópio de 1,6 m do Observatório Pico dos Dias. Em seguida, analisamos a largura equivalente da linha $H\alpha$ ($W(H\alpha)$) de objetos observados pelo Observatório Gemini Sul buscando correlacioná-la com a temperatura efetiva e com a fração de luminosidade emitida pelo disco. Pudemos, assim, comparar semelhanças e diferenças entre estrelas com e sem disco no que diz respeito aos processos de acreção.

Nesta monografia apresentamos os resultados da comparação da variação de $W(H\alpha)$ dos objetos associados à nebulosa Sh 2-296. De uma amostra de 61 objetos, selecionamos 35 que apresentaram emissão da linha $H\alpha$, dentre os quais 13 mostraram essa variação maior que 50%. Uma análise mais detalhada levou à indicação de 3 objetos que apresentaram uma variação real desta linha.

Abstract

The spectra of Classical T Tauri stars have strong $H\alpha$ line emission, which is indicative of accretion, by interaction of the circumstellar environment with the star. Herbig Ae/Be stars also show intense variability of Balmer lines, being explained by inhomogeneities formed in the circumstellar envelope, through jets of matter. We have made analysis of Pre Main-Sequence stars showing different circumstellar characteristics and variability indications in their line-profiles. Our current goal is to analyze young stars associated with the Sh 2-296 nebula that possibly is related to induced star formation process (theory not proved nor ruled out). According to previous studies from our group, 75% of the young (1-2 Myr) stars in this nebula do not show a prominent disk, suggesting that some unknown process could have accelerated its dissipation.

Aiming to establish the methodology used in this work, we have studied three young stars selected from the Pico dos Dias catalog. The data acquisition was made using the 1.6 meter telescope at Pico dos Dias Observatory. We performed the analysis of $H\alpha$ line-profile based on our measurements, in order to search for correlations between its equivalent width ($W(H\alpha)$) with stellar temperature and circumstellar characteristics. The analysis was also performed on GMOS spectra, obtained with Gemini telescope, for stars associated with Sh 2-296. Thus, we can compare the differences and the similarities between disk-bearing stars and those without disk, in regard to accretion process.

In this work, we present the results of $W(H\alpha)$ variation for all the stars associated to Sh 2-296 nebula. Among 61 objects, we selected 35 based on $H\alpha$ emission line, of which 13 presented $W(H\alpha)$ variation greater than 50%. A meticulous analysis of these stars revealed that 3 of them were the best candidates regarding to $H\alpha$ line-profile's real variation.

Lista de Figuras

1.1	Ilustração do perfil P Cygni.	18
1.2	Composição gaussiana para a linha $H\alpha$	19
1.3	Exemplo de ajuste do modelo de distribuição espectral de energia	20
1.4	Distribuição espectral de energia de estrelas jovens	21
1.5	Exemplo de espectros das linhas $H\alpha$ e LiI	21
2.1	Exemplo de ajuste gaussiano para as linhas de emissão.	25
2.2	Medição de $W(H\alpha)$ entre F15 e os obtidos neste trabalho para o <i>Cluster 1</i>	27
2.3	<i>Zoom-in</i> da Figura 2.2	28
2.4	Medição de $W(H\alpha)$ entre F15 e os obtidos neste trabalho para o <i>Cluster 2</i>	28
2.5	Medição de $W(H\alpha)$ entre F15 e os obtidos neste trabalho para o <i>Cluster 3</i>	29
3.1	Composição dos perfis da linha $H\alpha$	32
3.2	Perfil da linha $H\alpha$ para a PDS103.	33
3.3	<i>Overplots</i> de objetos cujos perfis da linha $H\alpha$ são semelhantes.	36
3.4	<i>Overplots</i> de objetos cujos perfis da linha $H\alpha$ mudaram.	37
3.5	<i>Overplots</i> de objetos cujos perfis da linha $H\alpha$ variaram de emissão para absorção	38
3.6	Gráfico de P_v em função de T_{eff} para toda a amostra.	39
3.7	Gráfico de P_v em função de T_{eff} para objetos com $P_v < 50\%$	39
3.8	Gráfico de $W(H\alpha)$ em função de T_{eff} para toda a amostra.	40
3.9	Gráfico de $W(H\alpha)$ em função de T_{eff} para toda a amostra, exceto os objetos Cl108 e Cl118.	40
A.1	Ajuste da asa vermelha para PDS098.	51

A.2	Ajuste da asa azul para PDS098.	51
A.3	Ajuste da asa vermelha para PDS101.	52
A.4	Ajuste da asa azul para PDS101.	52
A.5	Ajuste da asa vermelha para PDS103.	52
A.6	Ajuste da asa azul para PDS103.	53

Lista de Tabelas

2.1	Detalhes das observações GMOS.	26
3.1	Valores da posição das asas da linha $H\alpha$ e $W(H\alpha)$ para alvos OPD	33
3.2	Lista dos objetos obtidos pelo GMOS que foram analisados.	35
A.1	Medidas de $W(H\alpha)$ para as 4 exposições do <i>Cluster 1</i>	54
A.2	Medidas de $W(H\alpha)$ para as 4 exposições do <i>Cluster 2</i>	55
A.3	Medidas de $W(H\alpha)$ para as 5 exposições do <i>Cluster 3</i>	55

Sumário

1. <i>Introdução</i>	17
2. <i>Metodologia</i>	23
2.1 Aquisição e tratamento dos dados OPD	23
2.2 Dados GMOS	25
3. <i>Resultados</i>	31
3.1 Amostra observada no OPD	31
3.2 Estrelas observadas com o GMOS	33
4. <i>Análise</i>	41
4.1 PDS098, PDS101 e PDS103	41
4.2 Estrelas associadas à nebulosa Sh 2-296	42
5. <i>Conclusões</i>	43
5.1 Conclusões	43
5.2 Perspectivas de continuação	44
<i>Referências</i>	47
<i>Apêndice</i>	49
A. <i>Figuras extras</i>	51
A.1 Ajustes para obtenção dos resultados apresentados na Tabela 3.1	51
A.2 Medidas completas de $W(H\alpha)$ apresentadas na Tabela 3.2	54

Introdução

Estrelas T Tauri clássicas (CTTs) são estrelas jovens com, aproximadamente, a massa do Sol e possuem um disco circunestelar, que é o resquício de sua formação a partir da nuvem protoestelar (*Johns & Basri, 1995*). Esses objetos possuem características peculiares como a variação de seu brilho em um período de poucos dias e seu espectro possui forte emissão de linhas da série de Balmer e absorção na linha do Lítio (LiI - 6708 Å). A variação no brilho das T Tauri (TT) é devida a diferentes fatores como manchas frias fotosféricas (fortes campos magnéticos), ocultação pelo disco e manchas quentes, que estão associadas à atividade de acreção, que se correlaciona com a emissão da linha H α (6562 Å). Mas há casos em que essas estrelas não possuem esse disco, as chamadas *weak-TTs* ou WTTs. Nelas, essa linha se mostra fraca devido a ausência do material circundante. Geralmente, quando há a ejeção desse envoltório, H α possui um perfil chamado P Cygni, assim como ilustrado pela Figura 1.1a. A existência de absorção desviada para o azul (*blueshifted absorption*) é devida a dois fatores:

1. a linha em absorção é produzida quando um feixe de luz atravessa uma região de gás frio, neste caso, o disco;
2. a região do envoltório que produz esse padrão de linhas está se aproximando da Terra a uma velocidade típica de 80 km s⁻¹ como exemplificado na Figura 1.1b .

Já a parte em emissão, ou *redshifted emission*, é causada pelas partes laterais e pelo lado oposto (em afastamento). Quando há a acreção de matéria, a linha H α é ilustrada pelo perfil P Cygni inverso, onde temos a emissão desviada para o azul e a absorção desviada para o vermelho.

Assim, a avaliação dessa linha em estrelas jovens traz muitas informações sobre elas. No

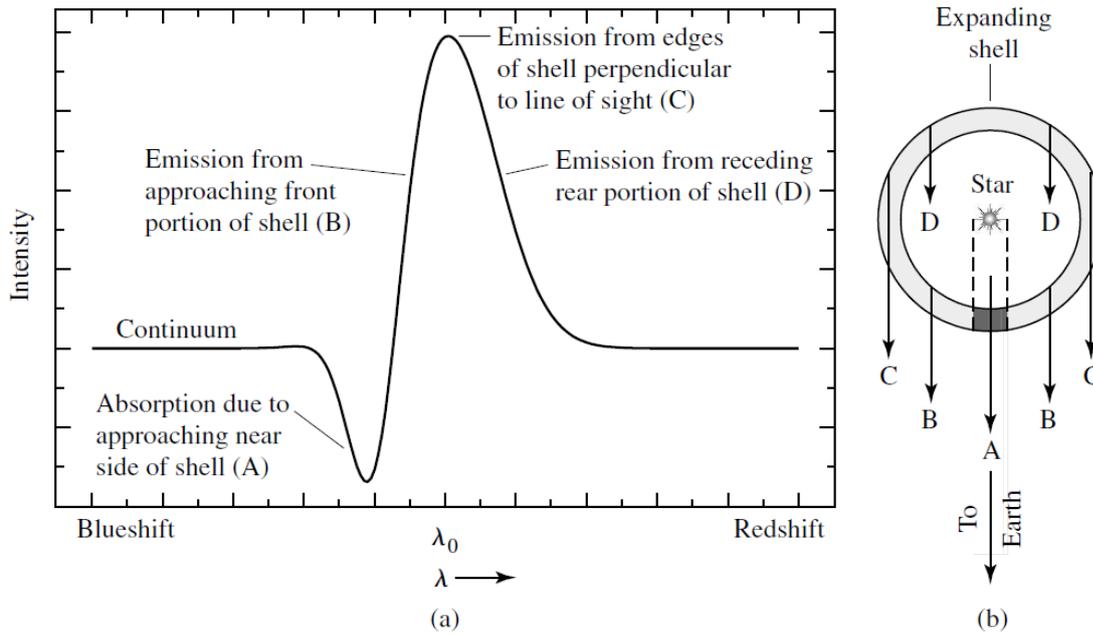


Figura 1.1: A Figura (a) mostra o perfil P Cygni da linha $H\alpha$. A Figura (b) mostra uma ilustração da formação do perfil P Cygni: a parte em absorção é devida ao movimento do material circundante que está se movendo em direção à Terra (A) e a parte em emissão é causada pelas partes indicadas por B, C e D. (adaptado de Carroll, B. W. e Ostlie, D. A. (2014). *An Introduction to Modern Astrophysics*. London: Pearson)

caso das TT estas informações podem conter dados sobre a fotosfera, o disco e a nebulosa. Esse mesmo aspecto pode ser observado em estrelas jovens de massa intermediária (2 a 8 M_{\odot}) conhecidas como estrelas do tipo Herbig Ae/Be (HAeBe).

A variabilidade das linhas da série de Balmer são intensas em CTTs e HAeBe, explicadas por inhomogeneidades em seus envoltórios, através da ejeção de matéria em forma de jatos. Já a emissão nas WTTs é devida apenas à sua atividade cromosférica.

Como resumido por Fonseca (2016), o perfil dessas linhas podem ser divididos em cinco composições gaussianas: emissão nebular, emissão circunstelar, absorção fotosférica, absorção deslocada para o azul e para o vermelho. A Figura 1.2 mostra essa composição para a estrela V354 Mon.

Estrelas CTTs, WTTs e HAeBe são geralmente encontradas em nebulosas como Sh 2-296, a qual possui uma forma de arco e está associada à região Galáctica de formação estelar chamada Canis Major R1 (CMa R1) que contém dois grupos com idades distintas coexistindo (≤ 5 Myr e ≥ 10 Myr) (Fernandes et al. 2015, daqui para frente F15). Porém, o mecanismo que deu início à formação estelar nessa região ainda é desconhecido. Possivel-

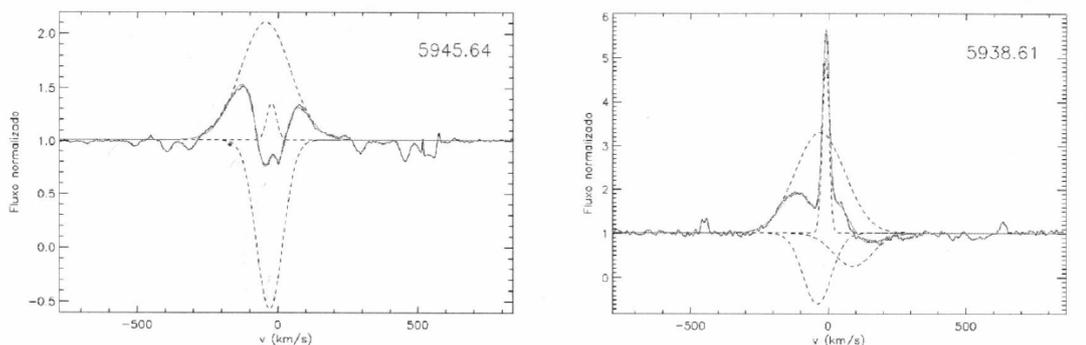


Figura 1.2: Composição gaussiana para a linha $H\alpha$ da estrela V354 Mon feita por Fonseca (2016). As linhas tracejadas são as emissões e absorções do sistema e a linha cheia é o resultado da composição dos ajustes gaussianos.

mente, CMa R1 teve uma formação induzida, teoria ainda nem provada e nem descartada. Vários estudos estão sendo realizados a fim de se conhecer mais sobre esses ambientes.

Um exemplo é o aglomerado jovem NGC 6530, que possui dois grupos estelares com diferentes idades (1-2 Myr e 6-7 Myr). Prisinzano et al. (2012) encontraram duas gerações de objetos estelares jovens (*young stellar objects* - YSOs) deduzindo parâmetros estelares de 78 objetos deste aglomerado. Outro exemplo semelhante é encontrado na nuvem molecular de Lupus, o qual Mortier, Oliveira & van Dishoeck (2011) estudaram e determinaram a correlação entre alguns parâmetros estelares como temperatura efetiva, massa e idade, além de usarem a linha $H\alpha$ e LiI para distinguirem dentre os objetos quais seriam CTTs ou WTTs.

Vieira et al. (2011) estudaram a natureza de uma amostra de 27 candidatas a HAeBe selecionando as altamente embebidas (primeiras fases das estrelas Pré-Sequência Principal - PSP), como no exemplo da Figura 1.3, que ilustra o uso de um modelo de disco (Hetem & Gregorio-Hetem 2007) para reproduzir a distribuição espectral de energia (SED) observada. O mesmo ajuste de SED é apresentado na Figura 1.4 para TTs com pouca emissão circunstelar, estudadas por F15, que realizaram espectroscopia multiobjetos no telescópio Gemini Sul (GMOS) para caracterizar fontes de raios X detectadas pelo satélite XMM na Nebulosa Sh 2-296, com base nas linhas $H\alpha$ e LiI (vide Figura 1.5). Pela caracterização espectral e infravermelha, F15 verificaram que dentre as mais jovens (1-2 Myr), somente 25% apresentam indícios de um disco protoplanetário proeminente. Essa baixa fração de estrelas com disco não é usual na maioria das regiões de formação estelar nessa faixa de idade (Haisch et al. 2001, Hernandez et al. 2008), indicando que algum fator externo pode

ter acelerado a dissipação do disco dessas TTs.

Os discos circunstelares afetam o modo como a estrela rotaciona ao redor do seu próprio eixo. Linhas do campo magnético conduzem a matéria contida no disco até a estrela por meio dos tubos magnéticos de acreção. Nas TT, essas linhas ligam os polos da estrela e, portanto, a acreção deste material é feita nestas regiões. Quando há o choque dessas partículas com a estrela, manchas quentes são formadas aumentando a intensidade na emissão da linha $H\alpha$ (Fonseca, 2016).

Inspirados nos resultados da literatura, realizamos um estudo de estrelas TT e HAeBe que possuem diferentes características circunstelares. A interação do disco/envoltório com a estrela é indicada pela variabilidade nos perfis de linhas de emissão, que podem revelar as condições da evolução de discos protoplanetários. Para teste da metodologia, foram observadas no OPD (Observatório Pico dos Dias) três objetos de variabilidade confirmada por fotometria BVRI: duas TTs (PDS101 e PDS103, Batalha et al. 1998), e uma HAeBe binária (PDS098, Grankin et al. 2008), cuja estrutura circunstellar foi estudada no infravermelho com alta resolução espacial (Anthonioz et al. 2015). Também, visando o estudo comparativo de estrelas jovens com e sem disco, avaliamos espectros de média resolução para estudar os perfis da linha $H\alpha$. A confrontação dos resultados, adquiridos numa mesma base de dados, permitiu uma análise entre esses objetos.

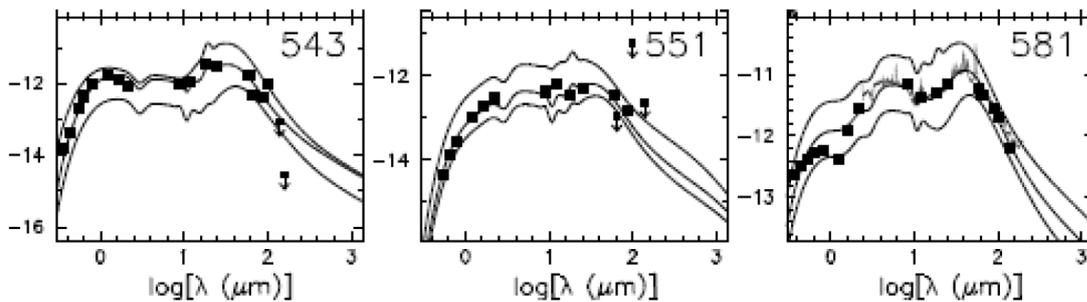


Figura 1.3: Exemplo de SED das estrelas HAeBe PDS543, 551 e 581 dada em $\log(\lambda F_\lambda [W m^{-2}])$ em função de $\log(\lambda [\mu m])$. Os quadrados cheios mostram os dados fotométricos e as linhas cheias mostram a variação do ajuste do modelo teórico (adaptado de Vieira et al. (2011)). O excesso de emissão no infravermelho mostra a presença de disco circunstellar.

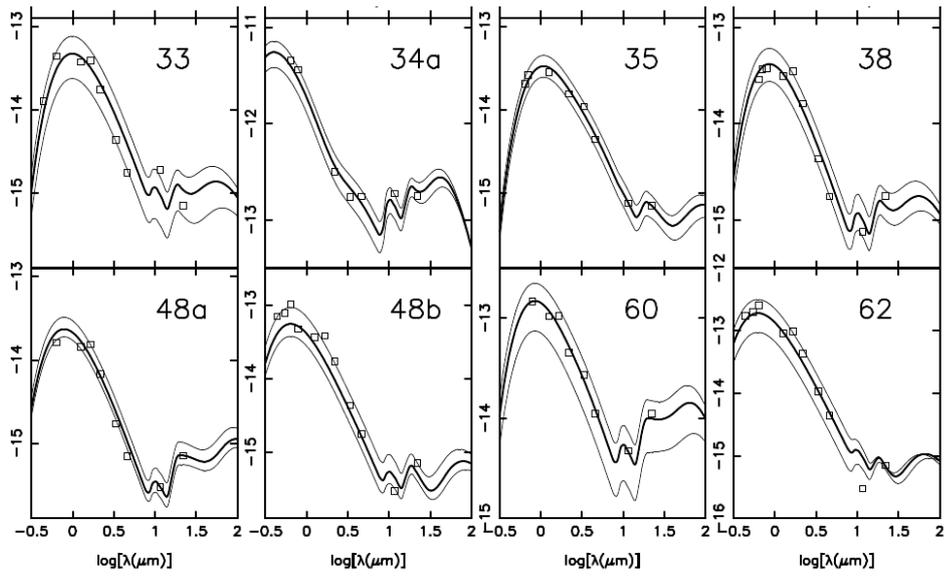


Figura 1.4: SED de algumas estrelas jovens observadas com o GMOS (adaptado de F15). O ajuste da SED indica a fraca emissão circumstelar.

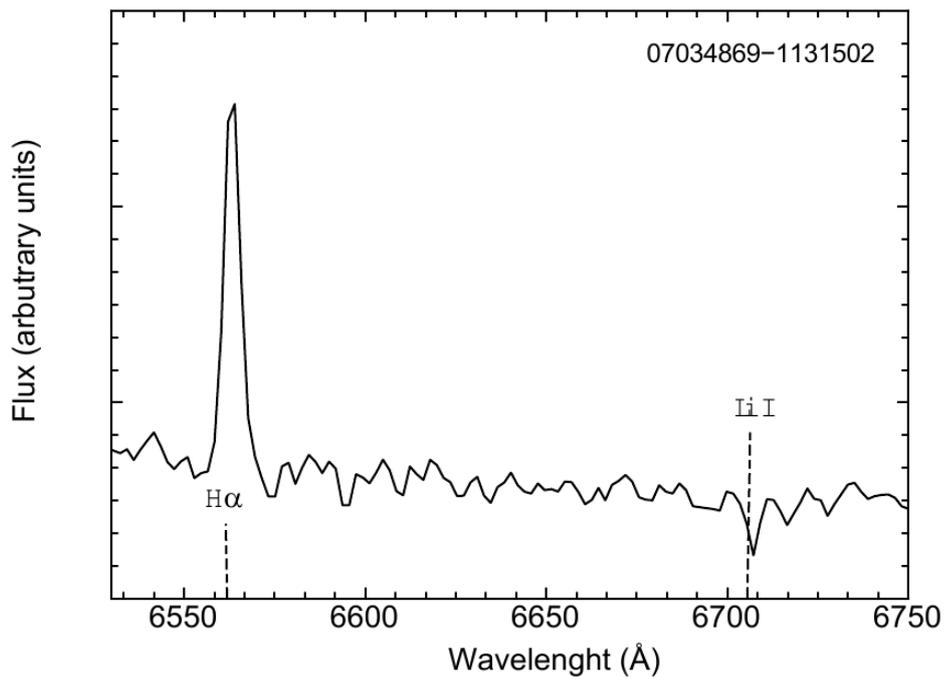


Figura 1.5: Exemplos de espectros (visão parcial) obtidos com o GMOS buscando identificar as linhas $H\alpha$ e Lítio (6708 Å), características típicas de TT (adaptado de F15).

Metodologia

Para o aprendizado das técnicas de aquisição, tratamento e análise dos dados espectroscópicos, foi realizada uma missão observacional durante um projeto anterior de Iniciação Científica conforme descrito na Seção 2.1, que é um resumo do relatório apresentado em TG 1. O método de medição das linhas em espectros obtidos por F15 com o GMOS é descrito na Seção 2.2.

2.1 Aquisição e tratamento dos dados OPD

Para a primeira parte do projeto, a aquisição dos dados foi feita no Observatório Pico dos Dias (OPD) em setembro de 2015 (missão presencial de 6 dias) e em dezembro do mesmo ano (observação remota de 3 dias). Na primeira data, duas estrelas TT (PDS101 e PDS103 - ambas as variações confirmadas por fotometria BVRI) e uma HAeBe (PDS098) foram monitoradas em um intervalo de 30 minutos cada.

Um monitoramento fotométrico no telescópio Boller & Chivens de 0.6 m foi solicitado para se somar aos dados do espectrógrafo para comparação entre variabilidades espectral e fotométrica na região do infravermelho. Porém não foi possível tomar dados fotométricos no IR com a CamIV por conta do mau tempo.

Já a segunda data foi reservada para a coleta de dados da nebulosa Sh 2-296. Porém, as más condições de observação se repetiram em dezembro e, novamente, nenhum dado pôde ser obtido. Com isso só foi possível fazer o monitoramento espectroscópico de PDS098, PDS101 e PDS103.

A obtenção dos espectros foi feita no telescópio Perkin-Elmer de 1,6 m, utilizando o espectrógrafo Coudé. Foi usada a rede de 600 linhas mm^{-1} no CCD#98 centrada em 623

nm que abrange uma faixa de 113 nm cobrindo as linhas espectrais de interesse.

Para o tratamento dos dados, rotinas padrão do IRAF (*Image Reduction and Analysis Facility*) foram utilizadas. No caso do *bias* e do *dark*, cujos tempos de exposição foram de 1 e 60 segundos, a rotina *imarith* foi utilizada para subtrair esses ruídos dos dados. Em seguida o mesmo procedimento foi feito para a divisão da imagem contendo o alvo pelos arquivos de *flat-field*.

Como o arquivo que o CCD fornece corresponde a um espectro bidimensional, foi necessária a extração do sinal pelo *apextract* e, em seguida, a redução dos dados para apenas uma dimensão. Na janela gráfica, foi retirado o ruído de fundo e, em seguida, foi ajustado um polinômio de ordem 3 e os pontos aberrantes foram eliminados, obtendo uma *root mean square* (RMS) da ordem de 10^{-2} . O mesmo procedimento foi feito para os arquivos do espectro obtido pela exposição de uma lâmpada de Th-Ar (Tório-Argônio).

O passo seguinte foi a indentificação das linhas e calibração por comprimento de onda utilizando a lâmpada de Th-Ar e a rotina *identify*. Comparando o espectro da lâmpada com a posição das linhas fornecidas pelo manual do espectrógrafo, foi ajustado um polinômio de ordem 2.

Finalmente, a correção por dispersão é aplicada aos espectros dos alvos. Utiliza-se a rotina *refspec* para indicar no cabeçalho da imagem qual é o espectro de referência (lâmpada) onde os pares (x, λ) foram identificados. O mesmo polinômio obtido da calibração em comprimento de onda foi então aplicado ao espectro da estrela, por meio do *dispcor*.

A medição da linha $H\alpha$ foi realizada com o *splot*. Nele é possível escolher uma região do espectro de interesse para ajustar uma curva gaussiana ao perfil das linhas (vide Figura 2.1), utilizando o lado esquerdo, o lado direito ou ambos os lados da curva como referência. Com esse ajuste, parâmetros como largura equivalente da linha $H\alpha$ ($W(H\alpha)$) e posição do pico foram obtidos e analisados nos Capítulos 3 e 4. Para os perfis de $H\alpha$ que apresentaram um pico duplo, esses ajustes foram aplicados à asa azul e a asa vermelha.

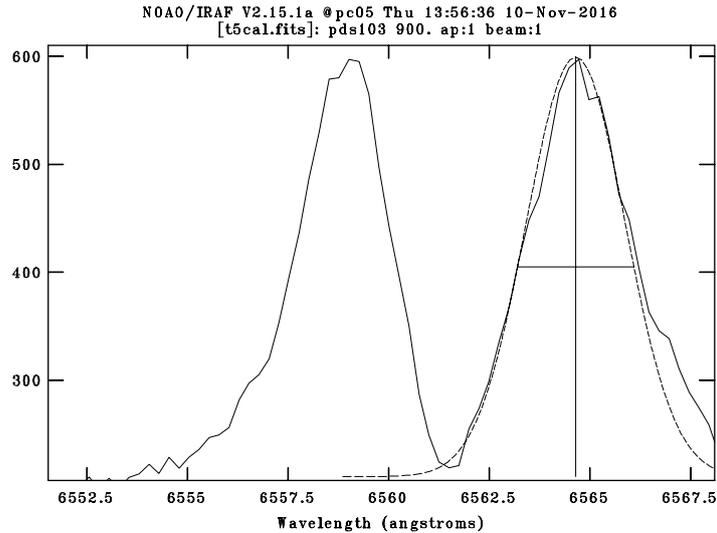


Figura 2.1: Exemplo de ajuste gaussiano (linha pontilhada) de uma das asas da linha $H\alpha$ em emissão da estrela PDS103 (linha cheia). A reta vertical mostra o centro do ajuste enquanto a reta horizontal mostra a largura à meia altura.

2.2 Dados GMOS

Para a obtenção dos dados obtidos pelo GMOS, foi necessário centrar a rede em dois comprimentos de onda ligeiramente deslocados, causando uma sobreposição para cobrir as lacunas do CCD, além de vários tempos de exposição (150 e 180 segundos para as exposições curtas, 450 segundos para a exposição média e 600 segundos para as exposições longas) a fim de que não se perdesse objetos fracos e, também, que não houvesse saturação de estrelas brilhantes.

Seguindo o mesmo método descrito na Seção 2.1, as medições das linhas também foram realizadas com as rotinas padrão do IRAF. Os dados já estavam reduzidos (disponibilizados por F15), estando prontos para a avaliação dos perfis das linhas. Os alvos foram divididos em grupos estelares, ou *clusters*, que possuem fontes de raios X e foram nomeados por Gregorio-Hetem et al. (2009) como CMaX, os quais estão localizados na borda da nebulosa. A Tabela 2.1 apresenta a lista dos três grupos estelares com informações referentes aos espectros GMOS obtidos por F15. O número de objetos estudados em cada *cluster* é indicado por N_T . O horário (UTC) indica o início de cada aquisição de dados e os respectivos tempos de exposição. As colunas indicadas pelos dois comprimentos de onda centrais adotados (648 nm e 652 nm) mostram a identificação dos diferentes conjuntos/arquivos

de dados. Por exemplo, o arquivo 272 corresponde à exposição curta obtida com a rede centrada em $\lambda = 648$ nm.

Tabela 2.1 - Detalhes das observações GMOS. O número de objetos em cada *cluster* é indicado por N_T . O horário (UTC) indica o início da aquisição de dados com tempos de exposição dados por t_{exp} .

CMaX	Cluster	α_{2000}	δ_{2000}	N_T	Horário	648 nm	$t_{exp}(s)$	Horário	652 nm	$t_{exp}(s)$
66	1	07:03:53	-11:34:15	18	07:57:55.9	272	150	08:13:42.1	276	600
					08:00:58.5	273	600	08:24:15.6	277	150
71	2	07:03:57	-11:30:15	8	06:42:40.3	102	600	06:56:53.1	105	600
					07:07:58.6	106	180	07:13:14.9	109	180
75	3	07:04:08	-11:24:30	10	05:42:57.5	91	600	05:55:31.2	94	600
					06:07:56.4	95	450	06:24:35.2	99	150
					06:19:30.1	96	150			

Os espectros tiveram seus contínuos normalizados pela média de todo o espectro e, assim, foi estimada a medida de $W(H\alpha)$ variando ligeiramente a posição da base da linha três vezes e mantendo o mesmo comprimento de onda central ($\lambda_{central}$), sendo que as barras de erro são decorrentes dos desvios padrões devidos às três medidas. Note que os valores da largura equivalente são negativos pois, por convenção, linhas em absorção têm valores de $W(H\alpha)$ positivos.

Em seguida, foram estudadas as comparações entre as medidas feitas de $W(H\alpha)$ por F15 e por nós. Como os espectros são os mesmos, esperava-se que as medições seriam semelhantes ou, o mais provável, que tivessem diferenças sistemáticas, pois a definição do contínuo varia ligeiramente de pessoa para pessoa. A Figura 2.2 mostra a comparação entre os valores medidos por nós para o *Cluster* 1 e os valores correspondentes obtidos por F15. Das 4 exposições para este *cluster*, não havia dados de F15 para o arquivo 277. A Figura 2.3 é um *zoom-in* aplicado à parte superior direita pois os objetos Cl108 e Cl118 possuem valores altos de $W(H\alpha)$. Já a Figura 2.4 mostra a mesma análise para o *Cluster* 2, assim como a Figura 2.5 refere-se aos dados do terceiro *cluster*.

Ao se comparar as medidas feitas por F15 e por nossa equipe podemos dizer que, se as medidas fossem iguais (a mesma escolha para o contínuo) as medições, mostradas nas Figuras 2.2 à 2.5 coincidiriam com a reta $x=y$. Para o *Cluster* 1 as medições feitas por nós foram sistematicamente menores, ou seja, os pontos estão "abaixo da reta" (vide Figuras 2.2 e 2.3). O mesmo padrão é visto nas Figuras 2.4 e 2.5 (*Clusters* 2 e 3 respectivamente) sendo que para o primeiro gráfico um dos valores dos objetos Cl203, Cl205 e Cl211 foram

maiores que as medidas de F15, isto é, estão "acima" da reta.

As linhas tracejadas indicam uma faixa de abrangência dos pontos definida por inspeção visual. Para o *Cluster 1*, essa região é dada pela por $W(H\alpha)_{SH} = (W(H\alpha)_{F15} - 4,0) \pm 3,5 \text{ \AA}$, para o *Cluster 2* a relação é $W(H\alpha)_{SH} = W(H\alpha)_{F15} \pm 1,5 \text{ \AA}$ e para o *Cluster 3* temos $W(H\alpha)_{SH} = (W(H\alpha)_{F15} - 1,5) \pm 1,0 \text{ \AA}$, onde $W(H\alpha)_{SH}$ indica os valores de $W(H\alpha)$ deste trabalho enquanto $W(H\alpha)_{F15}$ refere-se às medidas feitas por F15. Essas expressões serão utilizadas como um dos critérios para a seleção de objetos que possuem variabilidade da linha $H\alpha$ (vide Seção 5.2). Portanto, essa comparação serviu para a validação da metodologia utilizada neste trabalho.

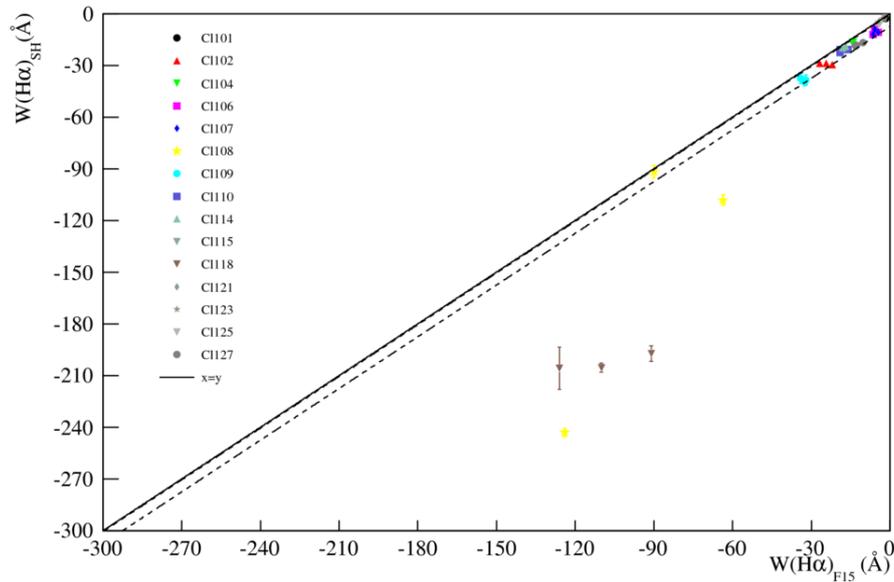


Figura 2.2: Medição de $W(H\alpha)$ entre F15 e os obtidos neste trabalho para o *Cluster 1*. As linhas tracejadas indicam uma faixa de abrangência dos pontos definida qualitativamente.

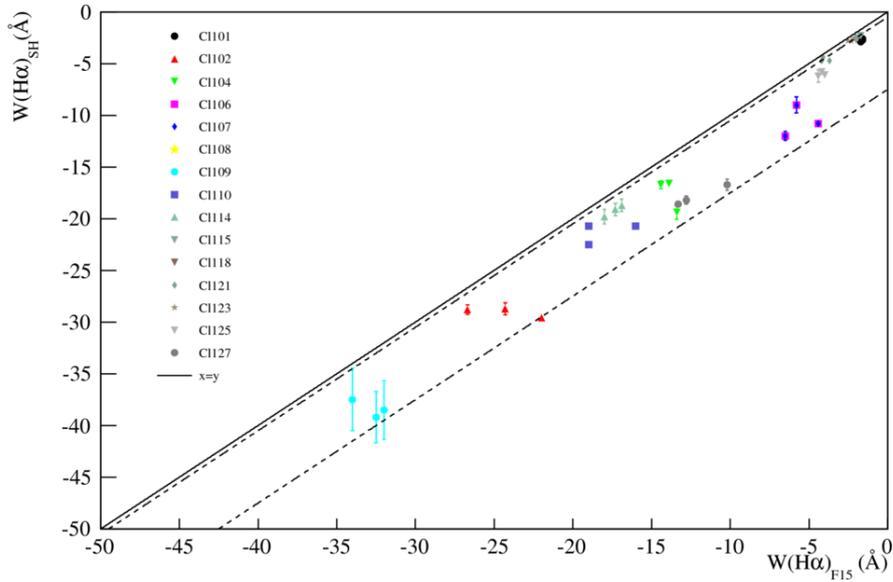


Figura 2.3: Zoom-in da Figura 2.2. As linhas tracejadas indicam uma faixa de abrangência dos pontos definida qualitativamente. F15 não apresenta medidas para o arquivo 102.

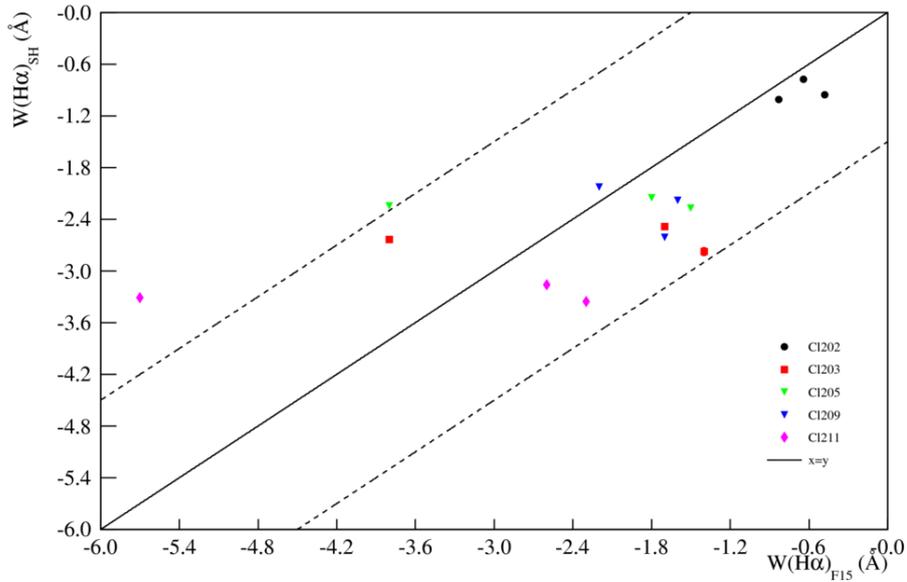


Figura 2.4: Medição de $W(H\alpha)$ entre F15 e os obtidos neste trabalho para o *Cluster 2*. As linhas tracejadas indicam uma faixa de abrangência dos pontos definida qualitativamente.

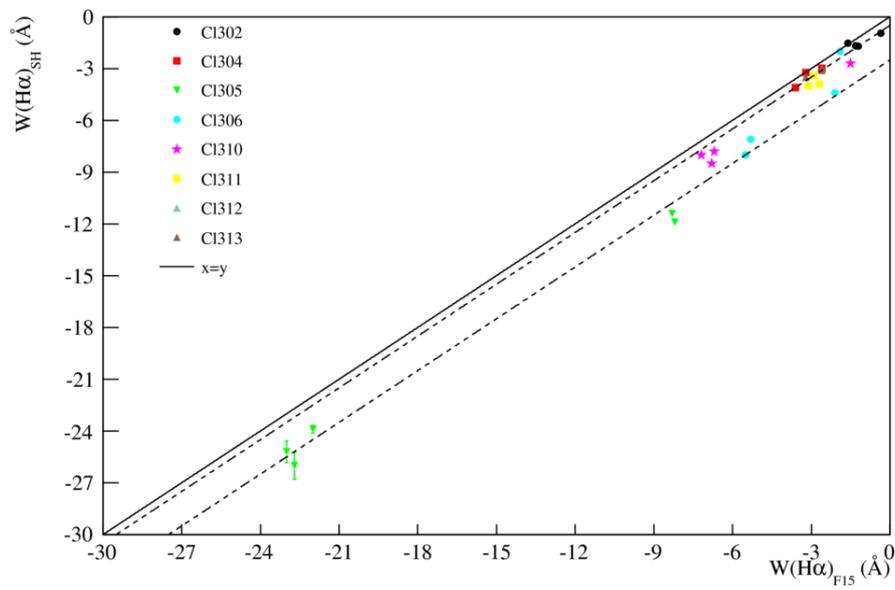


Figura 2.5: Medição de $W(H\alpha)$ entre F15 e os obtidos neste trabalho para o *Cluster 3*. As linhas tracejadas indicam uma faixa de abrangência dos pontos definida qualitativamente.

Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos tanto para a amostra observada no OPD (Seção 3.1) quanto para o GMOS (Seção 3.2).

3.1 Amostra observada no OPD

Para os alvos PDS098 e PDS101 a normalização foi feita pela média de todo o espectro usando a rotina *imarit*. Já para PDS103 a normalização precisou ser feita pelo valor do contínuo perto da linha $H\alpha$ pois o próprio contínuo variou de intensidade da parte azul para a parte vermelha do espectro. Para uma melhor visualização do perfil das linhas entre uma observação e outra, foi feita uma subtração dos perfis normalizados (vide Figura 3.1). A Figura 3.2 mostra as duas observações de PDS103, a qual não apresentou variação da linha $H\alpha$.

Além de buscar por possíveis variações no perfil da linha, também foi verificado um eventual deslocamento da posição tanto da asa azul quanto o da asa vermelha, um possível indicativo de alteração nos processos de acreção ou ejeção. A Tabela 3.1 resume essas informações. Os respectivos ajustes estão disponíveis no Apêndice A.1.

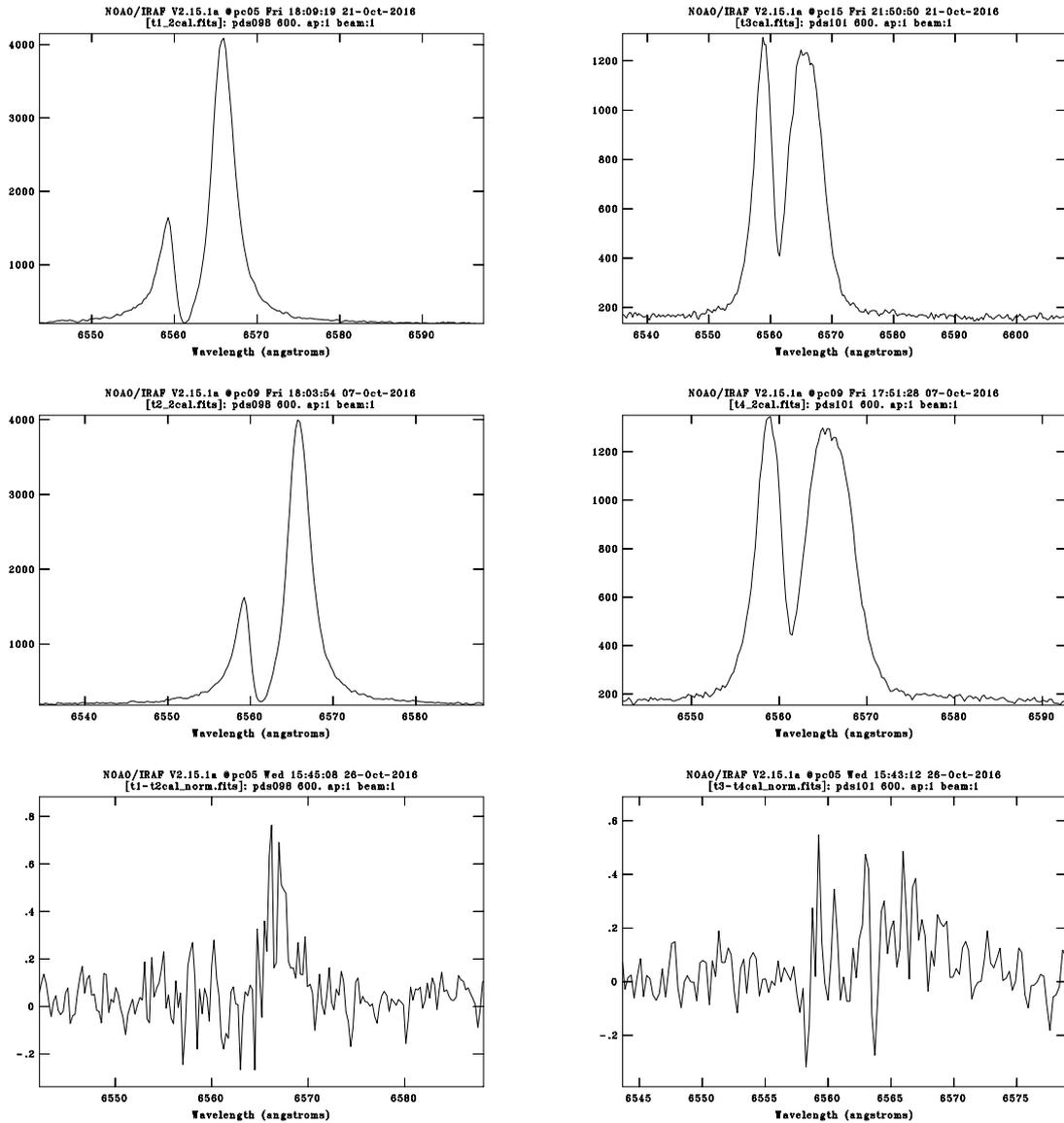


Figura 3.1: Composição dos perfis da linha H α . Na primeira linha, os perfis de PDS098 à esquerda (Figura 3.1a) e de PDS101 à direita (Figura 3.1b) para a primeira observação. Na segunda linha, os perfis de PDS098 à esquerda (Figura 3.1c) e de PDS101 à direita (Figura 3.1d) para a segunda tomada de dados. Última linha tem-se a subtração dos perfis da PDS098 (Figura 3.1e) e de PDS101 (Figura 3.1f).

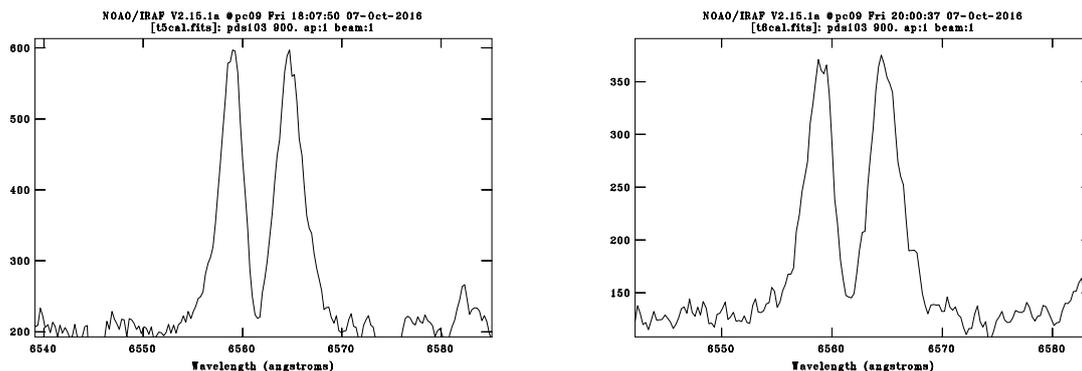


Figura 3.2: Perfil da linha $H\alpha$ para a PDS103. A figura da esquerda mostra o perfil na primeira observação. Já a figura da direita mostra o perfil obtido na segunda observação.

Tabela 3.1 - Valores de $W(H\alpha)$ e da posição λ onde ocorre as asas da linha $H\alpha$ (ambos em \AA) para PDS098, PDS101 e PDS103. Os índices a e b nos três alvos correspondem à primeira e segunda observação, respectivamente.

Objeto	Asa Vermelha		Asa azul	
	λ	$W(H\alpha)$	λ	$W(H\alpha)$
PDS098a	6565,9	-54,5	6559,2	-16,7
PDS098b	6565,8	-50,1	6559,2	-12,2
PDS101a	6564,8	-36,4	6556,8	-22,5
PDS101b	6565,6	-39,4	6558,9	-23,1
PDS103a	6564,6	-6,7	6559,1	-5,9
PDS103b	6564,5	-6,7	6558,8	-6,0

3.2 Estrelas observadas com o GMOS

Para os espectros obtidos pelo GMOS, o procedimento de medidas de linhas foi repetido para os três *clusters*. Com isso, foi possível inferir os valores máximos ($W(H\alpha)_{max}$), mínimos ($W(H\alpha)_{min}$) e a média ($W(H\alpha)_{med}$) de $W(H\alpha)$ de um mesmo objeto nas suas diferentes exposições. Os erros adotados para estes valores vêm da propagação de incertezas a partir dos desvios padrões descritos na Seção 2.2.

Definimos, então, um parâmetro de variação, P_v , que indica o quanto esses valores variaram para um mesmo objeto e é escrito como

$$P_v = \frac{\Delta}{W(H\alpha)_{med}} \quad (3.1)$$

onde

$$\Delta = W(H\alpha)_{min} - W(H\alpha)_{max} \quad (3.2)$$

Δ foi definido assim pois, como explicado na Seção 2.2, os valores de $W(H\alpha)$ de linhas em emissão são negativos por definição.

Esse parâmetro nos permitiu verificar quais objetos possuem uma variação significativa da linha e selecioná-los para um estudo mais aprofundado. Os objetos que não apresentaram a linha $H\alpha$, ou que a região da linha coincidiu com o *gap* do CCD, ou que mostraram essa linha em absorção em 2 ou mais exposições (para os *Clusters* 1 e 2) ou 3 ou mais exposições (*Cluster* 3) foram descartados. De um total de 61 objetos analisados, selecionamos 35 sendo 18/27 do *Cluster* 1, 8/17 do *Cluster* 2 e 9/17 do *Cluster* 3. As barras de erros de P_v foram calculadas por propagação de incertezas dos valores máximos, mínimos e médios de $W(H\alpha)$. A Tabela 3.2 lista os objetos e alguns dos seus parâmetros estelares, características circunstelares, medidas de $W(H\alpha)$ apresentadas por F15, $W(H\alpha)_{med}$ obtidas no presente trabalho e os valores de P_v e Δ . Os valores da largura equivalente em todas as exposições estão listados nas Tabelas A.1, A.2 e A.3.

Para o objeto Cl316 a sua temperatura não foi determinada originalmente por F15 então, como se trata de uma HAe, supomos que sua temperatura característica seja cerca de 9700 K. Este objeto foi analisado em separado por possuir uma temperatura muito maior que as CTTs e WTTs além de seus valores de P_v e Δ serem baixos.

Para confirmar a variação da linha $H\alpha$, foi feita a sobreposição de espectros normalizados (*overplots*) dos objetos que apresentaram $P_v \geq 50\%$. Para realizar as análises, separamos os objetos em três categorias, de acordo com o comportamento dos perfis da linha ao longo das diferentes exposições. A Figura 3.3 mostra os objetos em que o perfil das linhas são semelhantes porém com intensidades diferentes. Já a Figura 3.4 relaciona objetos em que o formato das linhas e/ou o $\lambda_{central}$ apresentou variação. E a Figura 3.5 reúne os espectros que tiveram a linha $H\alpha$ variando entre emissão e absorção.

As Figuras 3.6 e 3.7 mostram os gráficos de P_v em função de T_{eff} . Já as Figuras 3.8 e 3.9 mostram os gráficos de $W(H\alpha)$ em função de T_{eff} . Para as quatro figuras os círculos representam objetos com $P_v > 50\%$, os triângulos invertidos referem-se a $P_v < 50\%$, os símbolos vazios indicam objetos com contribuição circunstelar ($f_c < 30\%$) e os símbolos cheios representam objetos que possuem $f_c > 30\%$.

Tabela 3.2 - Lista dos objetos analisados. Cl indica a nomenclatura dos objetos dentro do *cluster*, ID indica a numeração usada por F15, T_{eff} é a temperatura efetiva da estrela, f_c trata-se da contribuição circumstelar, $W(H\alpha)_{med}$ trata-se da largura equivalente média da linha $H\alpha$, P_v é o parâmetro de variação e Δ indica a diferença entre os valores mínimos e máximos de $W(H\alpha)$. Os objetos Cl124 e Cl125 são anãs de tipo espectral M que possuem, em seu espectro, linhas em emissão (dMe).

Medidas retiradas de F15						Nossas medidas		
Cl	ID	$T_{eff}(K)$	f_c (%)	Tipo	$W(H\alpha)$ (Å)	$W(H\alpha)_{med}$ (Å)	P_v (%)	Δ (Å)
108	18	3060	33	CTT?	-104,6	-158±1	95,4±2,8	151±4
305	36a	3705		CTT	-17,4	-19,7±0,1	74,4±4,1	14,7±0,8
304	36c	5334		CTT?	-3,4	-3,4±0,1	32,8±1,0	1,1±0,1
104	30	5190	35	CTT	-14,3	-17,8±0,1	16,1±3,9	2,9±0,7
110	10b	5047	38	CTT	-19,0	-21,5±0,1	8,4±0,8	1,8±0,2
114	14	5047		CTT	-19,4	-19,4±0,2	7,1±4,6	1,4±0,9
210	13	4698	11	CTT	-22,5	-22,7±0,1	5,3±2,7	1,2±0,6
109	23	4698		CTT	-36,3	-38,1±0,6	5,2 ±6,6	2,0±2,1
118	9	2990	29	CTT?	-137,2	-203±1	4,3±2,6	8,6±5,3
102	37	4008		CTT	-27,7	-29,1±0,1	2,9±2,2	0,9±0,6
316	34a	(9700)	36	HAe?	-11,7	-9,7±0,1	23,1±1,6	2,2±0,2
302	41	4698		WTT	-1,0	-0,8±0,1	470±6	3,7±0,1
306	36b	3415		WTT	-10,0	-9,9±0,1	262±7	26,0±0,6
317	46	2990	8	WTT	-7,6	-7,5±0,1	162±2	12,2±0,1
313	48b	5190	3	WTT	-2,6	-2,4±0,1	159±26	3,8±0,6
203	21	4078		WTT	-2,1	-3,5±0,1	102±1	3,6±0,1
310	35	3630	8	WTT	-6,9	-5,9±0,1	100±2	5,9±0,1
311	36d	4147		WTT	-3,1	-3,1±0,1	94,1±2,3	2,94±0,07
211	29	3630	3	WTT	-3,3	-4,2±0,1	88,2±1,9	3,7±0,1
205	15	4147		WTT	-2,2	-2,6±0,1	61,3±1,5	1,6±0,1
209	20a	4698	2	WTT	-1,9	-2,6±0,1	57,4±1,0	1,5±0,1
202	24	4873	1	WTT	-0,5	-1,0±0,1	41,5±2,1	0,4±0,1
106	26	2990		WTT	-6,4	-10,3±0,2	29,4±8,6	3,0±0,9
204	17	4078		WTT	-3,8	-4,5±0,1	20,8±2,3	0,9±0,1
115	12	4493	33	WTT	-1,8	-2,5±0,1	15,9±14,4	0,4±0,4
112	11	3705		WTT	-1,9	-2,56±0,04	15,3±7,3	0,4±0,2
103	31	5047	18	WTT	-0,7	-0,66±0,02	14,7±1,9	0,1±0,1
312	48a	4147	9	WTT	-2,6	-3,2±0,1	14,7±1,0	0,5±0,1
208	20b	3560		WTT	-2,8	-4,2±0,1	14,1±1,0	0,6±0,1
123	5a	3630	46	WTT	-2,2	-2,7±0,1	12,1±9,2	0,3±0,3
127	1	2990		WTT	-13,9	-18,1±0,1	11,2±3,2	2,0±0,6
101	39	4147		WTT	-1,9	-2,7±0,1	11,0±2,3	0,3±0,1
121	6	3630		WTT	-4,0	-4,5±0,1	9,8±5,6	0,4±0,3
107	25	3630		WTT	-10,6	-12,3±0,1	5,0±5,6	0,6±0,7
125	3	2990		dMe	-11,0	-19,5±0,2	58,2±4,8	11,4±0,9
124	4	3060		dMe	-4,1	-6,3±0,1	18,4±5,0	1,2±0,3

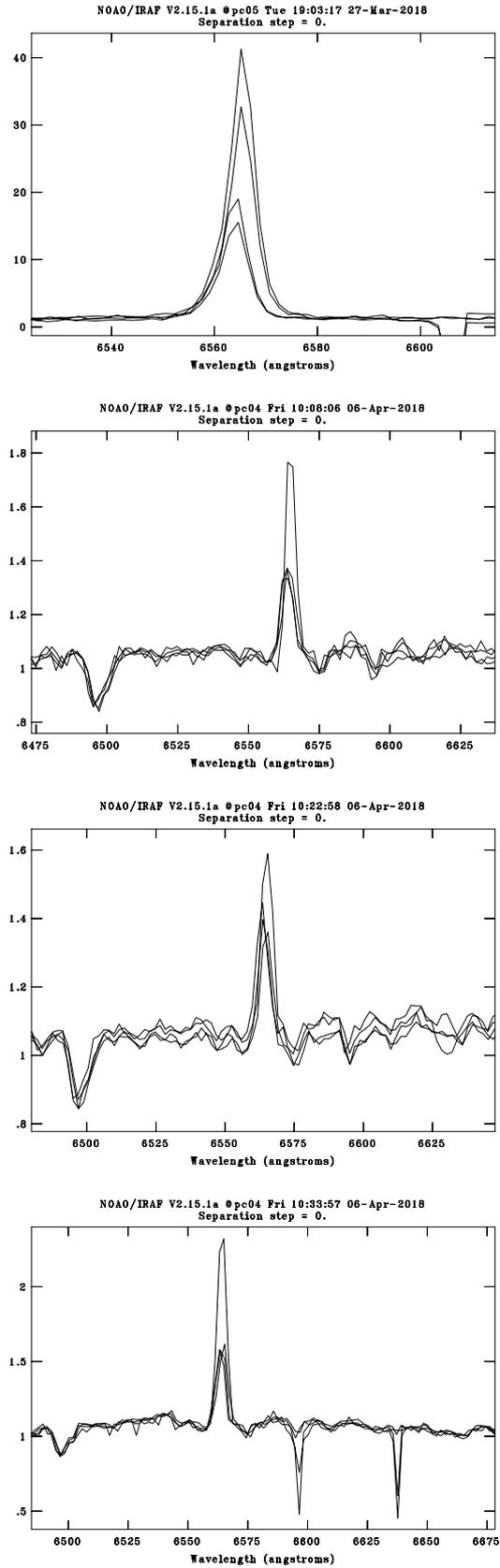


Figura 3.3: *Overplots* na região de $H\alpha$ de objetos com $P_v \geq 50\%$. Os quatro espectros apresentam a mesma característica: o perfil das linhas são semelhantes em suas exposições, diferindo apenas pelas suas intensidades. De cima para baixo: C1108, C1205, C1209 e C1211.

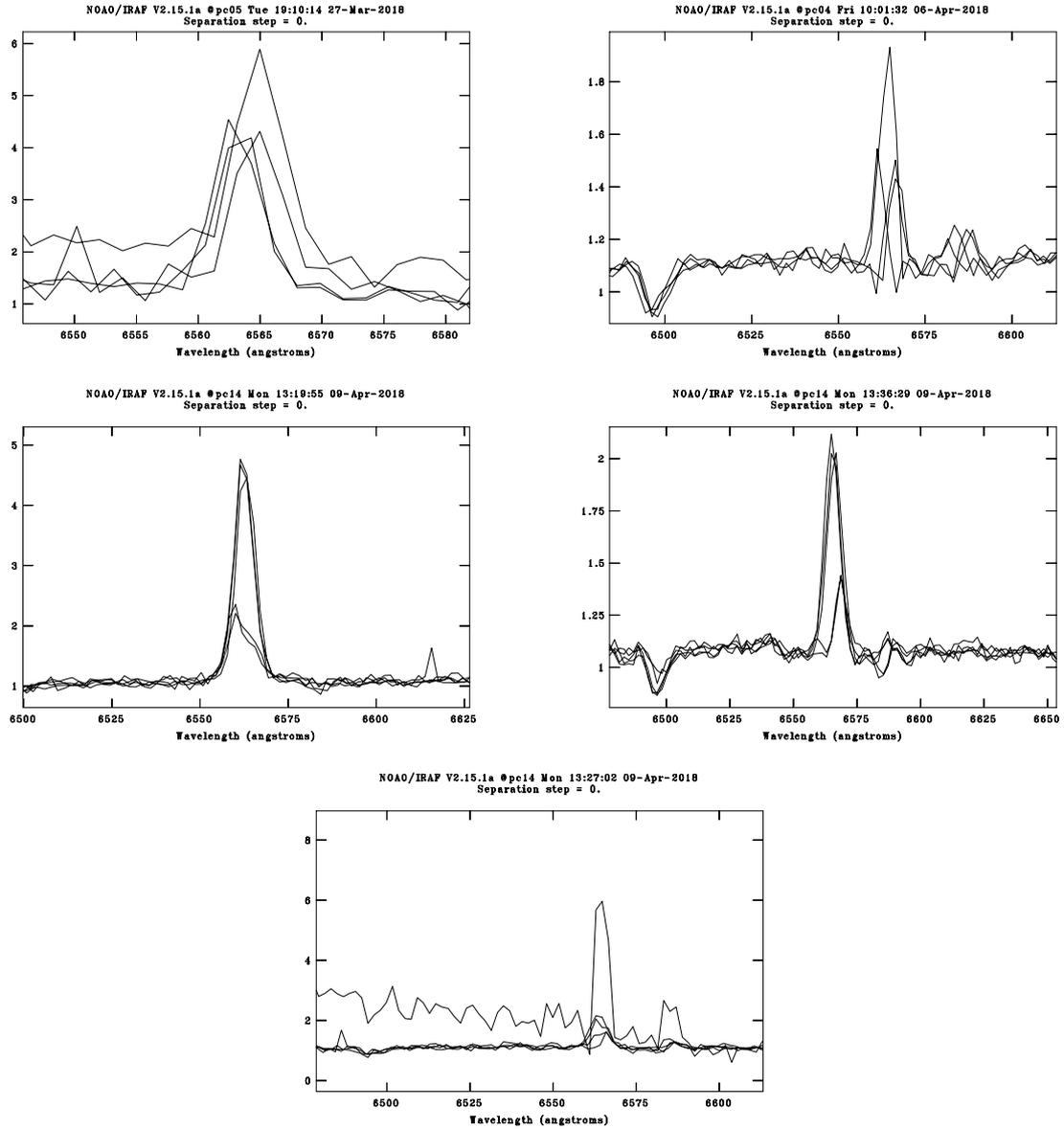


Figura 3.4: Overplots na região de H α de objetos com $P_v \geq 50\%$. Os cinco espectros apresentam a mesma característica: o perfil das linhas variou em suas exposições além da diferença em relação às suas intensidades. De cima para baixo e da esquerda para a direita: C1125, C1203, C1305, C1310 e C1306.

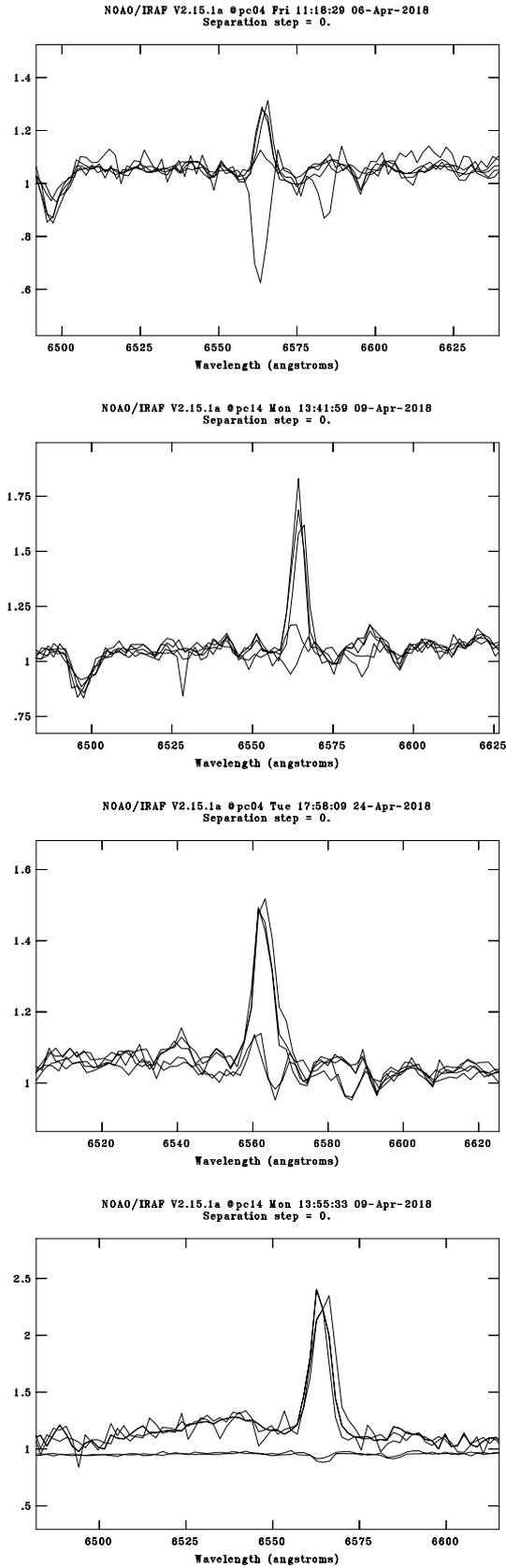


Figura 3.5: *Overplots* na região de $H\alpha$ de objetos com $P_v \geq 50\%$. Os quatro espectros apresentam a mesma característica: o perfil das linhas variaram de absorção para emissão, além da diferença em relação às suas intensidades. De cima para baixo: Cl302, Cl311, Cl313 e Cl317.

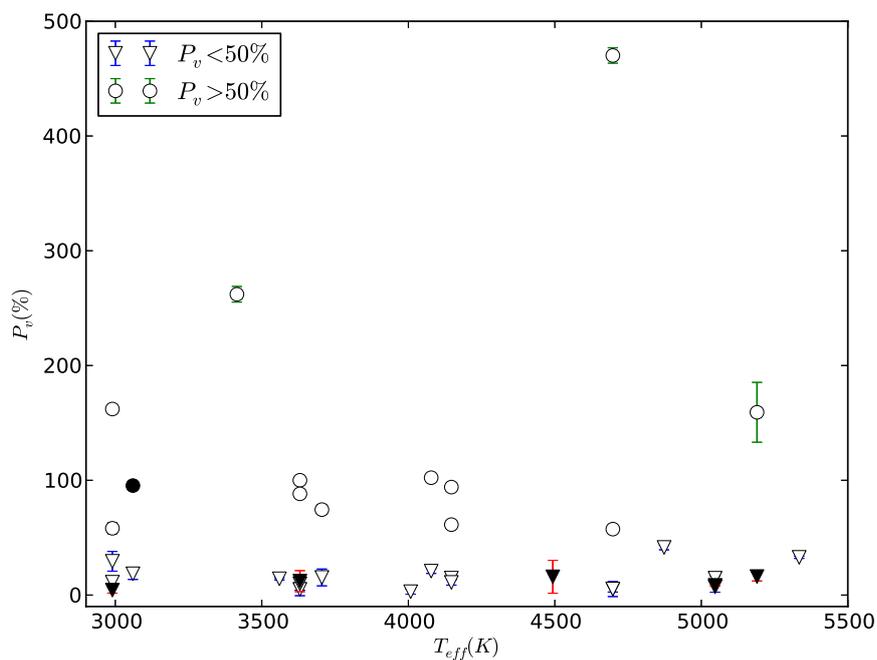


Figura 3.6: Gráfico de P_v em função de T_{eff} para toda a amostra. Os símbolos vazios indicam $f_c < 30\%$ e os símbolos cheios possuem $f_c > 30\%$.

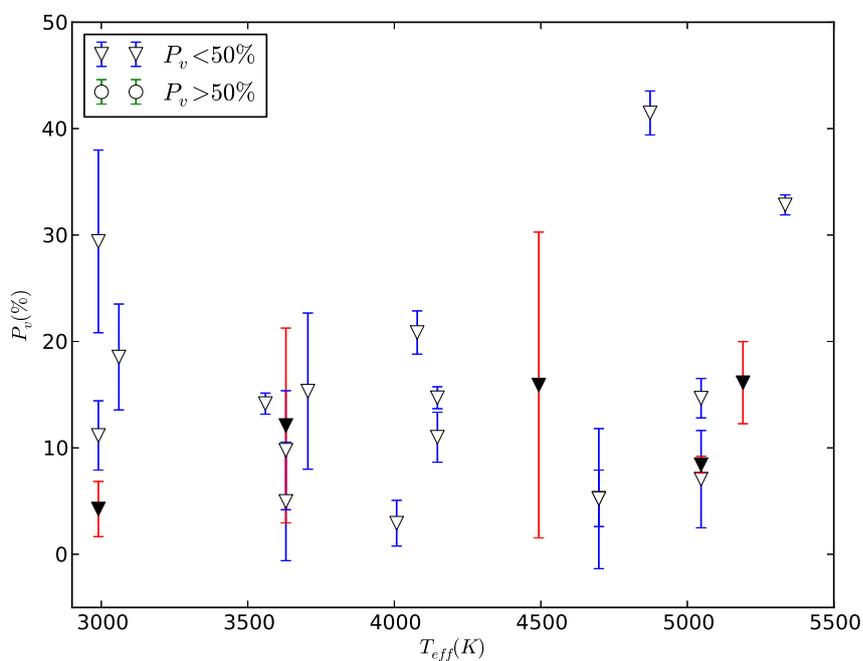


Figura 3.7: Gráfico de P_v em função de T_{eff} para objetos com $P_v < 50\%$. Os símbolos vazios indicam $f_c < 30\%$ e os símbolos cheios possuem $f_c > 30\%$.

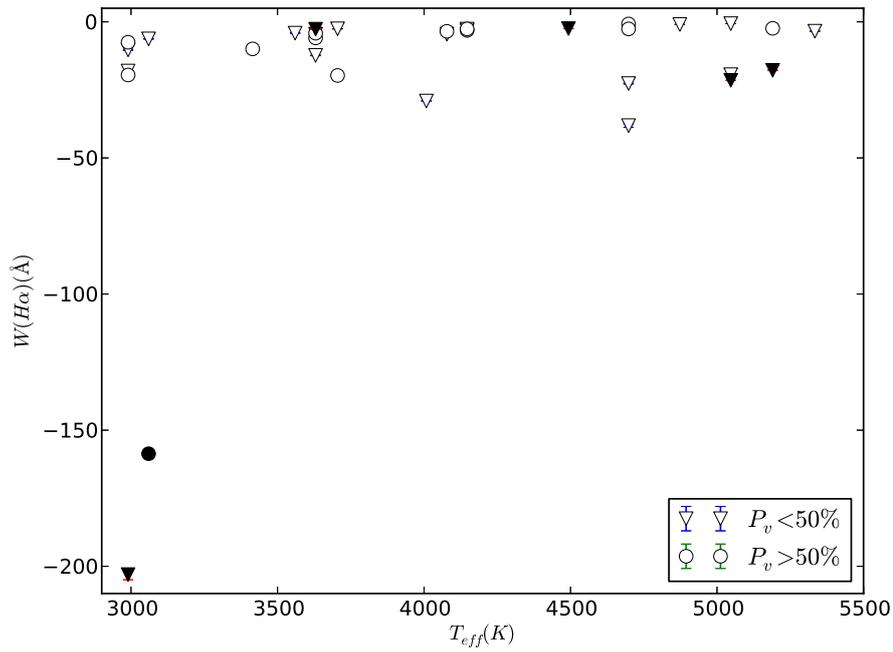


Figura 3.8: Gráfico de $W(H\alpha)$ em função de T_{eff} para toda a amostra. Os símbolos vazios indicam $f_c < 30\%$ e os símbolos cheios representam objetos que possuem $f_c > 30\%$.

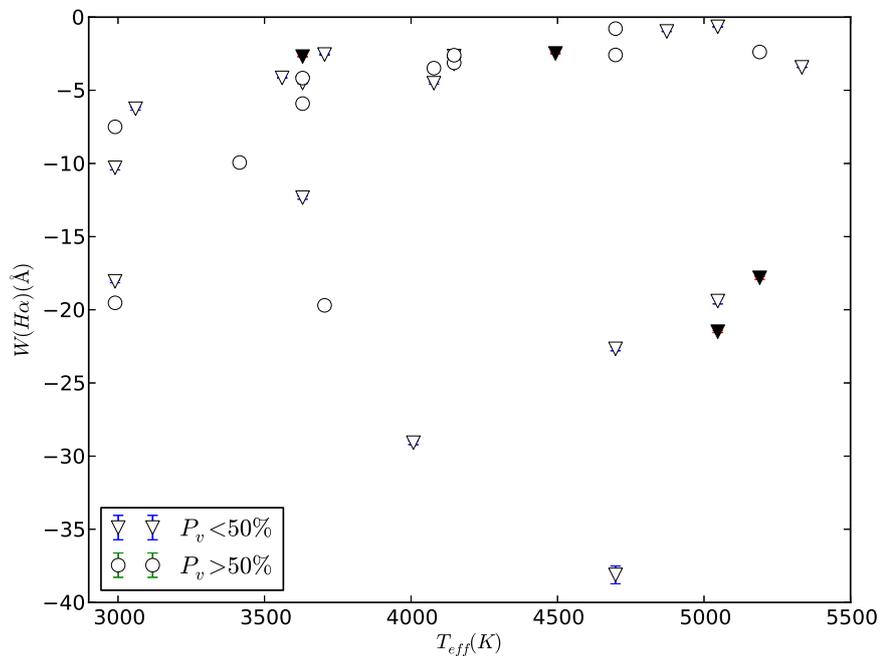


Figura 3.9: Gráfico de $W(H\alpha)$ em função de T_{eff} para toda a amostra, exceto os objetos C1108 e C1118 que possuem alta intensidade de H α . Os símbolos vazios indicam $f_c < 30\%$ e os símbolos cheios representam objetos que possuem $f_c > 30\%$.

Análise

Este capítulo é destinado às análises e as discussões sobre os resultados apresentados no Capítulo 3, tanto para PDS098, PDS101 e PDS103 (Seção 4.1) quanto para os objetos associados à nebulosa Sh 2-296 (Seção 4.2).

4.1 PDS098, PDS101 e PDS103

A partir dos dados na Tabela 3.1 é possível perceber que as medidas de $W(H\alpha)$ para PDS098 (Figuras 3.1a e 3.1c), que é uma CTT, são as mais intensas, sendo que PDS101 (Figuras 3.1b e 3.1d), uma HAeBe, possui intensidades medianas e para o caso da WTT PDS103 as intensidades são as menores comparadas com os outros alvos, de acordo com o esperado. Pode-se ver também que há variações na largura equivalente para PDS098 e PDS101 e que isso se reflete nos resíduos obtidos da subtração dos espectros, mostrados na Figura 3.1e e na Figura 3.1f. É possível notar também que a asa azul de PDS101 possui a mesma intensidade da asa vermelha, o que não ocorre com PDS098.

Já para a PDS103 não houve essa variação no mesmo período de tempo (Figura 3.2). As linhas possuem intensidades equivalentes na primeira e na segunda tomada de dados e quando se faz a subtração dos espectros, a variação do perfil se confunde com o próprio ruído do contínuo. Neste caso, supõe-se que a variabilidade, se existir, ocorre em um período maior que o observado, portanto, é necessário um monitoramento mais longo.

Um outro ponto interessante diz respeito à posição das asas, que não variaram de uma observação para outra, considerando 1σ de significância, o que, portanto, não é suficiente para inferir deslocamento Doppler das linhas em nenhum dos três alvos.

4.2 Estrelas associadas à nebulosa Sh 2-296

Analisando as Figuras 3.3 à 3.5 nota-se que os *overplots*, de objetos com $P_v \geq 50\%$, confirmam visualmente as variações mostradas na Tabela 3.2, mas que não necessariamente indicam uma variação real da linha. A Figura 3.3 mostra quatro sobreposições de espectros de objetos cujos perfis da linha $H\alpha$ são semelhantes mas com intensidades diferentes. Porém, a Tabela A.2 revela que, para Cl205, Cl209 e Cl211 as menores medidas de $W(H\alpha)$ são referentes ao arquivo 102, que é uma exposição longa (vide Tabela 2.1).

Já a Figura 3.4 mostra cinco *overplots* que apresentaram variação do perfil da linha e, em alguns casos, o deslocamento do $\lambda_{central}$ ao longo das exposições. Para os objetos Cl125 e Cl306 é possível ver que há um espectro normalizado dentro dos conjuntos que possui um valor do contínuo maior que os demais. Para estes objetos será necessário reajustar estes contínuos para que a comparação seja feita de forma igual para todos os espectros. A Tabela A.3 mostra que, para os objetos Cl305 e Cl310, os menores valores de $W(H\alpha)$ são provenientes dos arquivos 94 e/ou 99, que são arquivos correspondentes a uma exposição longa e curta respectivamente. Cl203 tem valor de $W(H\alpha)$ mínimo medido no arquivo 102 que apresentou problemas sistemáticos.

Por fim, para a Figura 3.5 vemos quatro objetos cujos perfis da linha variaram de emissão para absorção. Nota-se nesse caso que todos os objetos têm medidas que podem ser considerados inválidas por estarem relacionadas com os arquivos 94 e/ou 99.

De acordo com a Figura 3.6, há 13 objetos com $P_v \geq 50\%$, sendo 10 WTTs, 2 CTTs e 1 dMe e outros 22 com $P_v < 50\%$, sendo 13 WTTs, 8 CTTs e 1 dMe. Ou seja, WTTs e dMes estão divididas quase que igualmente entre $P_v > 50\%$ e $P_v \leq 50\%$ enquanto há muito mais CCTs com $P_v \leq 50\%$. Analisando as Figuras 3.8 e 3.9 e a Tabela 3.2 nota-se que dois objetos possuem $W(H\alpha) < -150 \text{ \AA}$, 11 objetos com $-40 \leq W(H\alpha) \leq -10$ e outros 22 objetos com $W(H\alpha) > -10$.

No próximo capítulo apresentamos as melhores candidatas que foram reveladas no presente trabalho.

Conclusões

Após a apresentação dos resultados no Capítulo 3 e as suas respectivas análises discutidas no Capítulo 4, apresentamos as conclusões parciais e as perspectivas de continuidade deste trabalho.

5.1 Conclusões

Com o fim das análises dos dados obtidos em setembro/2015 no OPD, é possível dizer que as estrelas PDS098 e PDS101 mostraram uma variação mínima do perfil da linha $H\alpha$. PDS098 sofreu uma queda de intensidade em relação à primeira observação enquanto PDS101 teve um aumento de intensidade, ou seja, um comportamento oposto em um período de trinta minutos. Mas isso pode ser considerado uma flutuação dentro da faixa de erro esperada.

Já PDS103 não apresentou variação alguma neste mesmo intervalo de tempo. Isso pode indicar que não há variação significativa no perfil da linha ou que essa variação ocorre em um período maior. Isso só poderá ser respondido com um monitoramento mais longo.

Além disso, não foi percebida variação na posição das asas dessas linhas para os três alvos. A variação ficou na casa dos décimos de \AA , o que indica que (quase) não há movimento relativo do material de acreção em relação à Terra. Ou se há, não foi possível dizer apenas com base nos dados apresentados na Tabela 3.1.

Levando em consideração as Tabelas A.2 e A.3 juntamente com as Figuras 3.3 à 3.5 vemos que os objetos dos *Cluster 2* e *3* tiveram os seus valores de P_v e Δ afetados por medidas dos arquivos 102, 94 e 99, respectivamente. No caso do arquivo 102 o motivo mais provável é uma saturação nos dados, o que pode ter dado uma alteração em uma

das medidas de linha, indicando uma alta variabilidade da linha $H\alpha$. Já para o terceiro *cluster* não se sabe ainda o motivo para que os valores dessas duas exposições tenham sido sistematicamente maiores. Portanto, as variabilidades para estas estrelas podem não ser reais. Pode-se ver também que os *overplots* feitos para os 13 objetos que apresentaram $P_v \geq 50\%$ confirmam as variações do perfil da linha $H\alpha$ apresentadas na Tabela 3.2. Porém os problemas encontrados nos arquivos mencionados devem ser levados em consideração.

Olhando para as Figuras 3.6 e 3.7 não é possível dizer que existe correlação entre P_v e T_{eff} , assim como, pelas Figuras 3.8 e 3.9, não há entre $W(H\alpha)$ e T_{eff} .

Ainda olhando para a Tabela 3.2, as melhores candidatas a apresentar variações reais são aquelas que mostram Δ maior do que a variação típica encontrada ao se comparar medidas do presente trabalho com F15 (Figuras 2.2 à 2.5). No caso do *Cluster 1* era da ordem de 7 Å, para o *Cluster 2* da ordem de 1 Å e no *Cluster 3*, cerca de 4 Å.

Além disso, escolhemos apenas candidatas cuja máxima variação não fosse devida a uma medida de $W(H\alpha)$ que tenha sido realizada em uma das exposições com suspeita de ajuste de contínuo incorreto. Ou seja, as exposições 102 (*Cluster 2*), 94 e 99 (*Cluster 3*).

Dentre essas candidatas, temos duas CTTs: Cl108, que tem uma presença de disco confirmada ($f_c \sim 33\%$), e Cl305, que não tem indicação de emissão circunstelar. Dentre as WTTs, apenas Cl306 se destaca como uma provável candidata a apresentar variabilidade na linha $H\alpha$. É interessante notar que essa estrela, junto com Cl305 acima mencionada, pertence a um sistema múltiplo, identificadas com estrelas #36a e #36b no trabalho de F15. Isso torna ainda mais interessante explorar em detalhes, por meio de monitoramento das candidatas selecionadas no presente trabalho, com o objetivo de confirmar a variabilidade e fornecer uma explicação física para esse fenômeno.

5.2 Perspectivas de continuação

Apesar de não haver correlação aparente entre parâmetros estelares, características circunstelares e $W(H\alpha)$, podemos explorar outros aspectos dos dados obtidos pelo GMOS, como o cálculo da velocidade rotacional projetada ($v \cdot \sin(i)$) a partir de linhas em absorção seguindo o mesmo critério que foi usado para a seleção de objetos que apresentaram emissão da linha $H\alpha$, descrita na Seção 3.2, principalmente dos três objetos que mostraram uma variação real dessa linha, ou seja, Cl108, Cl305 e Cl306. Atualmente estamos

medindo nos espectros a posição das linhas LiI e CaI (6717,7 Å) como ponto de partida para o reconhecimento das outras linhas a serem medidas. No entanto, a baixa resolução espectral desses dados não permite o reconhecimento de linhas de absorção nos casos de altas intensidades de $H\alpha$ (fenômeno de velamento). Dessa forma, a aquisição de novos dados, com maior qualidade, é necessário para estudar em maior detalhe os alvos de interesse, assim como obter dados de monitoramento.

Referências Bibliográficas

- Anthonioz, F.; Menard, F., Pinte, C., Le Bouquin, J.-B. Benisty, M. et al. 2015, A&A 574, A41
- Batalha, C., Quast, G., Torres, C.A.P.C.O., et al. 1998, A&AS, 128, 561
- Carroll, B. W. e Ostlie, D. A. (2014). "An Introduction to Modern Astrophysics". London: Pearson
- Fernandes, B., Gregorio-Hetem, J., Montmerle, T., Rojas, G. 2015, MNRAS 448, 119
- Fonseca, N. N. J., 2016, "Análise da Interação Disco-Estrela no Sistema Estelar Jovem V354 Mon", Tese de doutoramento, ICEx/UFMG, Belo Horizonte (MG)
- Grankin, K. N., Melnikov, S. Yu., Bouvier, J., Herbst, W., Shevchenko, V. S. 2008, A&A 479, 827
- Gregorio-Hetem, J., Montmerle, T., Rodrigues, C. V., et al. 2009, A&A, 506, 711
- Haisch, K. E., Lada, E. A., & Lada, C. J. 2001, ApJ, 553, L153
- Hernandez, J., Hartmann, L., Calvet, N., et al. 2008, ApJ, 686, 1195
- Hetem A., Gregorio-Hetem J., 2007, MNRAS, 382, 1707
- Johns, C. M., Basri, G., Y. 1995, AAS 2800, 2816
- Mortier, A., Oliveira, I. & van Dishoeck, E. F. 2011, MNRAS 418, 1194
- Prisinzano L., Micela G., Sciortino S., Affer L., Damiani F., 2012, A&A, 546, A9

Vieira, R. G.; Gregorio-Hetem, J.; Hetem, A.; Stasinska, G.; Szczerba, R., 2011, A&A 526, A24

Apêndice

Figuras extras

A.1 Ajustes para obtenção dos resultados apresentados na Tabela 3.1

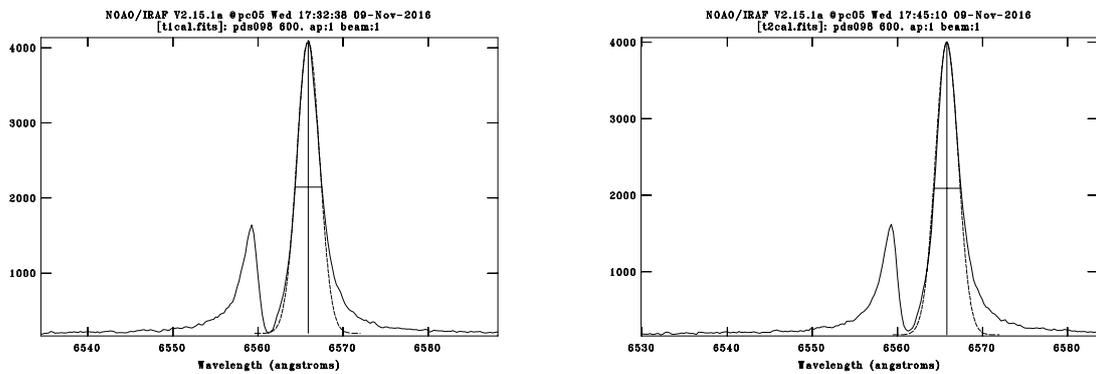


Figura A.1: Ajustes da asa vermelha para PDS098. À esquerda, a primeira observação e à direita, a segunda observação.

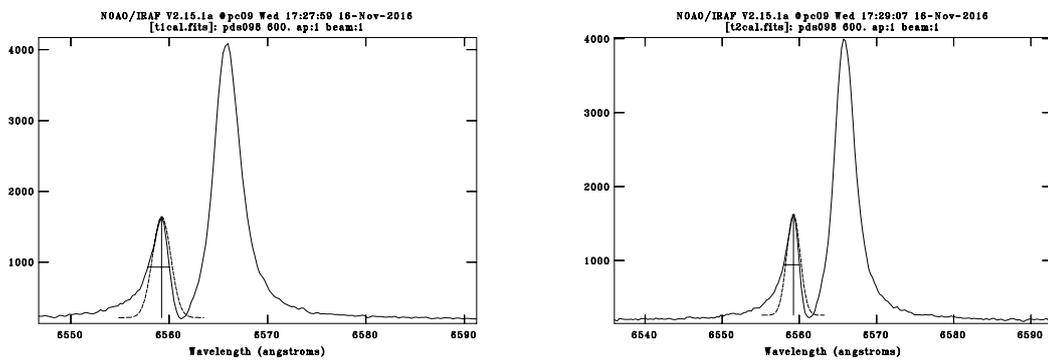


Figura A.2: Ajustes da asa azul para PDS098. À esquerda, a primeira observação e à direita, a segunda observação.

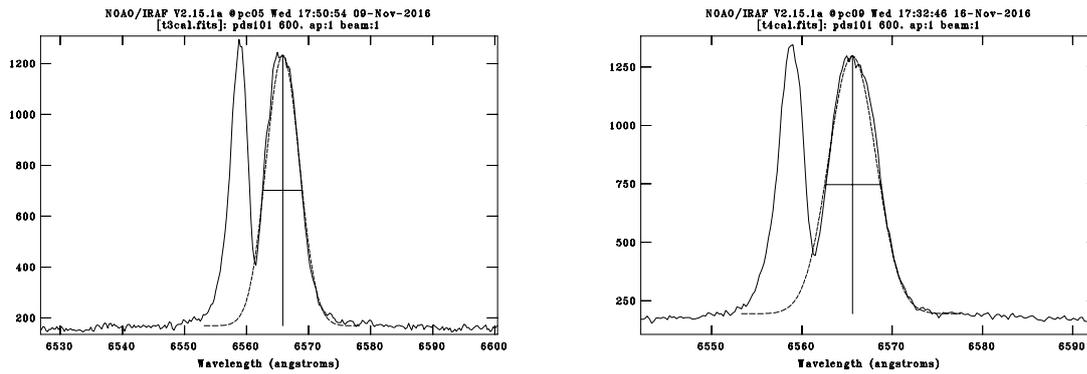


Figura A.3: Ajustes da asa vermelha para PDS101. À esquerda, a primeira observação e à direita, a segunda observação.

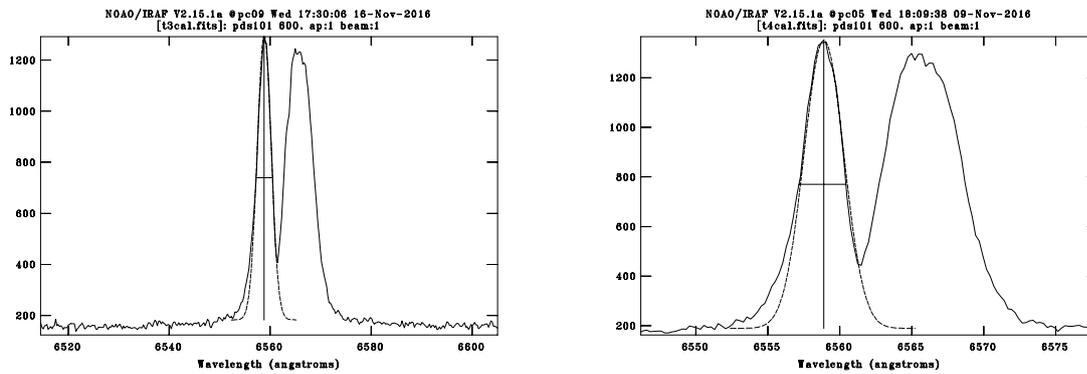


Figura A.4: Ajustes da asa azul para PDS101. À esquerda, a primeira observação e à direita, a segunda observação.

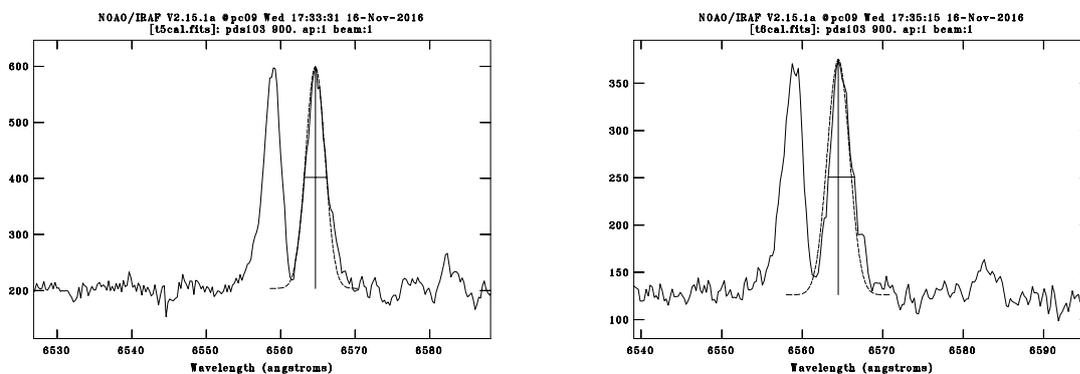


Figura A.5: Ajustes da asa vermelha para PDS103. À esquerda, a primeira observação e à direita, a segunda observação.

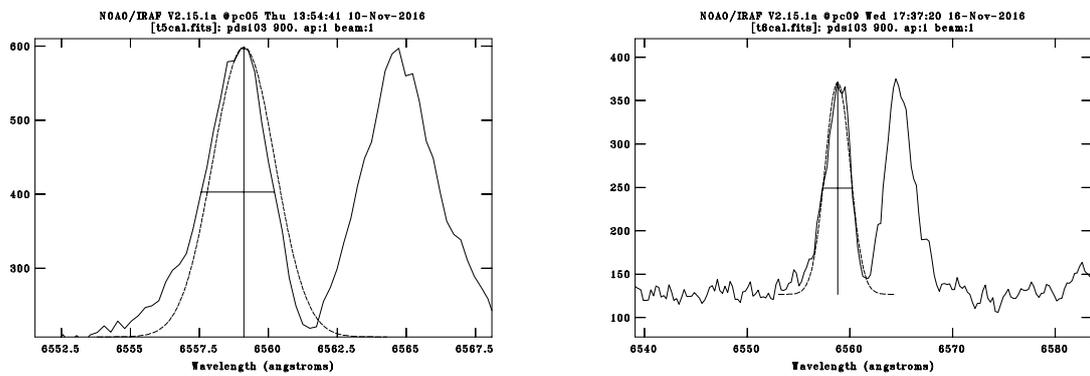


Figura A.6: Ajustes da asa azul para PDS103. À esquerda, a primeira observação e à direita, a segunda observação.

A.2 Medidas completas de $W(H\alpha)$ apresentadas na Tabela 3.2Tabela A.1 - Medidas de $W(H\alpha)$ para as 4 exposições do *Cluster 1*. Todos os valores estão em Å.

Cl	272	273	276	277	$W(H\alpha)_{min}$	$W(H\alpha)_{max}$
101	-2,7	-2,6	-2,9	-2,6	-2,9	-2,6
102	-28,8	-28,7	-29,6	-29,2	-29,6	-28,7
103	-0,7	-0,6	-0,7	-0,6	-0,7	-0,6
104	-16,7	-16,6	-19,4	-18,6	-19,4	-16,6
106	-12,0	-10,8	-9,0	-9,3	-12,0	-9,0
107	-12,3	-12,0	-12,6	-12,5	-12,6	-12,0
108	-108,2	-91,8	-243,1	-191,5	-243,1	-91,8
109	-39,2	-38,5	-37,5	-37,2	-39,2	-37,2
110	-20,7	-20,7	-22,5	-22,2	-22,5	-20,7
112	-2,8	-2,6	-2,5	-2,4	-2,8	-2,4
114	-19,8	-18,7	-19,1	-20,0	-20,0	-18,7
115	-2,7	-2,5	-2,3	-2,5	-2,7	-2,3
118	-197,2	-205,8	-205,5	-203,6	-205,8	-197,2
121	-4,7	-4,7	-4,4	-4,3	-4,7	-4,3
123	-2,8	-2,8	-2,6	-2,5	-2,8	-2,5
124	-5,8	-6,1	-6,2	-7,0	-7,0	-5,8
125	-15,7	-17,4	-27,1	-18,0	-27,1	-15,7
127	-18,6	-18,2	-16,7	-18,7	-18,7	-16,7

Tabela A.2 - Medidas de $W(H\alpha)$ para as 4 exposições do *Cluster 2*. Todos os valores estão em Å.

Cl	102	106	105	109	$W(H\alpha)_{min}$	$W(H\alpha)_{max}$
202	-1,2	-0,8	-1,0	-1,0	-1,2	-0,8
203	-6,0	-2,5	-2,6	-2,8	-6,0	-2,5
204		-5,1	-4,2	-4,3	-5,1	-4,2
205	-3,7	-2,1	-2,2	-2,3	-3,7	-2,1
208	-4,4	-4,4	-4,0	-3,8	-4,4	-3,8
209	-3,5	-2,6	-2,0	-2,2	-3,5	-2,0
210		-23,3	-22,5	-22,1	-23,3	-22,1
211	-6,8	-3,2	-3,3	-3,4	-6,8	-3,2

Tabela A.3 - Medidas de $W(H\alpha)$ para as 5 exposições do *Cluster 3*. Todos os valores estão em Å.

Cl	91	94	95	96	99	$W(H\alpha)_{min}$	$W(H\alpha)_{max}$
302	-1,5	-1,0	-1,7	-1,7	2,0	-1,7	2,0
304	-4,1	-3,2			-3,0	-4,1	-3,0
305	-23,9	-11,4	-25,2	-26,0	-11,9	-26,0	-11,4
306	-28,1	-2,0	-8,0	-7,1	-4,4	-28,1	-2,0
310	-8,0	-2,7	-7,8	-8,5	-2,6	-8,5	-2,6
311	-3,4	-1,1	-3,9	-4,0		-4,0	-1,1
312	-3,5		-3,1	-3,0		-3,5	-3,0
313	-3,6	-0,3	-3,4	-4,1	-0,6	-4,1	-0,3
316	-9,7		-10,8	-8,6		-10,8	-8,6
317	-11,3		-10,8	-8,7	0,8	-11,3	0,8