

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA

**População Estelar,
Gradientes de Metalicidade e
Gás Ionizado nas galáxias esferoidais
NGC 5903, NGC 6868, NGC 3607 e
NGC 5044**

*

Mauro Cristian Garcia Rickes

Tese de Doutorado realizada sob orientação da Professora Dra. Miriani G. Pastoriza e co-orientação do professor Dr. Charles Bonatto e apresentado ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Física.

Porto Alegre
junho de 2007.

* Trabalho financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Este trabalho é dedicado

a todo apoio, companheirismo e principalmente amor, de minha noiva
Raquel Schmalfuss dos Santos,
e de minha família.

agradeço antes de tudo e de todos a Deus.

Agradecimentos

★ A minha coorientadora Profa. Miriani Patoriza, pela dedicação e pelo estímulo constante e, acima de tudo, pelo companheirismo, alegria e compreensão durante todo o período de trabalho.

★ Ao meu coorientador Prof. Charles Bonatto pelas valiosas discussões e por todo apoio durante todo o doutorado.

★ A minha família, por todo apoio, amor e principalmente compreensão pela minha ausência.

★ Aos meus amigos do Grupo de Astronomia: Rogério, Rogemar, Aninha, Jules, Leandro, Patrícia, Luziane e Nóbrega por todos os momentos de discussão e pelas dicas valiosas durante todo o período de trabalho.

★ A todos os meus amigos que participaram e participam de uma forma ou outra de minha vida.

★ Aos meus grandes amigos não físicos que foram fundamentais para a realização deste trabalho. Principalmente aos meus amigos Paulinho, Carlão, Jorge, Telmo e Roni.

★ Aos meus amigos da sala M204: Evgeni, João, Márcia, Ana, Marcos, Marcelo, Luiz e Fabiano, que contribuíram para a agradável convivência no IF.

★ Aos professores e funcionários do IF-UFRGS, que de alguma forma contribuíram para a minha formação e para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado

Abstract

In this work we investigate the metallicity gradients, stellar population history and ionized gas in the elliptical galaxies NGC 5903, NGC 6868 and NGC 5044, and the lenticular galaxy NGC 3607. Objects belong to different galaxy groups.

$Mg_{2\lambda 5176}$, $FeI_{\lambda 5270}$, $FeI_{\lambda 5335}$, $FeI_{\lambda 5406}$, $FeI_{\lambda 5709}$, $FeI_{\lambda 5782}$, $NaI_{\lambda 5895}$ and $TiO_{\lambda 6237}$ indices measured in these objects present a negative gradient. The Mg_2 and $FeI_{5270,5335}$ indices, measured in NGC 6868 are well correlated. This result suggests that these elements underwent the same enrichment process.

$dMg_2/d\log r$ gradients computed for NGC 6868, NGC 5903, NGC 3607 and NGC 5044 are $(dMg_2/d\log r)_{6868} = -0.08$, $(dMg_2/d\log r)_{5903} = -0.04$, $(dMg_2/d\log r)_{NGC\ 3607} = -0.02$ and $(dMg_2/d\log r)_{NGC\ 5044} = -0.07$, respectively.

The estimated mass for each object is $M_{NGC\ 6868} = (3.2 \pm 0.1) \times 10^{11} M_{\odot}$, $M_{NGC\ 5903} = (1.8 \pm 0.1) \times 10^{11} M_{\odot}$, $M_{NGC\ 3607} = (0.9 \pm 0.1) \times 10^{11} M_{\odot}$ and $M_{NGC\ 5044} = (2.0 \pm 0.1) \times 10^{11} M_{\odot}$. The non correlation between mass and $dMg_2/d\log r$ indicates that NGC 6868, NGC 5903, NGC 3607 e NGC 5044 had at least one merger event. The stellar velocity dispersion and luminosity of NGC 6868, NGC 5903 and NGC 5044 are consistent with the fundamental plane of the elliptical galaxies. The stellar population synthesis shows two different populations for NGC 6868 and NGC 5903, one with 13 Gyr and the other with 5 Gyr. In NGC 5044 the gas was converted into stars in a single star formation event approximately 10 Gyr ago. The synthesis shows three different stellar populations in NGC 3607. In the central parts the 13 Gyr population dominates, while in the external parts, the 5Gyr and 1 Gyr populations dominate.

SSP (single-aged stellar population) models indicate that NGC 6868, NGC 5903 and NGC 5044 have metallicity $[Z/Z_0] \geq +0.33$ in the nuclear regions. The ratio $[\alpha/Fe]$ suggests that there was a large number of type II supernovae in the external parts of NGC 6868 and NGC 5903. However, in NGC 5044, the explosions took place in the nuclear region. NGC 3607 has metallicity $-0.67 < [Z/Z_{\odot}] < -0.35$.

The emission lines [NII], [SII], [OI] and H_{α} are strong in NGC 6868, NGC 3607 and NGC 5044. The [NII]/ H_{α} and [SII]/ H_{α} ratios measured in the nuclear region in these galaxies show that they are LINERs.

Resumo

Neste trabalho investigamos o comportamento dos gradientes de metalicidade, o histórico da formação estelar e do gás ionizado nas galáxias elípticas NGC 5903, NGC 6868, NGC 5044 e da galáxia lenticular NGC 3607. Cada objeto é membro mais brilhante do seu grupo.

Os índices $Mg_2\lambda_{5176}$, $FeI\lambda_{5270}$, $FeI\lambda_{5335}$, $FeI\lambda_{5406}$, $FeI\lambda_{5709}$, $FeI\lambda_{5782}$, $NaI\lambda_{5895}$ e $TiO\lambda_{6237}$ medidos nesses objetos apresentam um considerável gradiente negativo. Os índices Mg_2 e $FeI_{5270,5335}$ medidos em NGC 6868 apresentam uma boa correlação entre si indicando que o mecanismo reponsável pelo enriquecimento químico possivelmente é o mesmo. Esse mesmo comportamento do gradiente não foi observado nos demais objetos.

Os gradientes $dMg_2/d\log r$ calculados para NGC 6868, NGC 5903, NGC 3607 e NGC 5044 são $(dMg_2/d\log r)_{6868} = -0.08$, $(dMg_2/d\log r)_{5903} = -0.04$, $(dMg_2/d\log r)_{NGC\ 3607} = -0.02$ e $(dMg_2/d\log r)_{NGC\ 5044} = -0.07$, respectivamente.

A massa estimada para cada objeto foi $M_{NGC\ 6868} = (3.2 \pm 0.1) \times 10^{11} M_\odot$, $M_{NGC\ 5903} = (1.8 \pm 0.1) \times 10^{11} M_\odot$, $M_{NGC\ 3607} = (0.9 \pm 0.1) \times 10^{11} M_\odot$ e $M_{NGC\ 5044} = (2.0 \pm 0.1) \times 10^{11} M_\odot$. A não correlação entre a massa e o gradiente ($dMg_2/d\log r$) indica que NGC 6868, NGC 5903, NGC 3607 e NGC 5044 tiveram, pelo menos, um evento de fusão com outra galáxia. A dispersão de velocidades das estrelas e a luminosidade das galáxias estudadas satisfazem o plano fundamental.

A síntese de população estelar revela que NGC 6868 e NGC 5903 possuem dois tipos de populações: uma com idade de aproximadamente 13 bilhões de anos e outra com 5 bilhões de anos. NGC 5044 converteu todo seu gás em estrelas em um único evento ocorrido há cerca de 10 bilhões de anos. NGC 3607 teve 3 eventos de formação estelar: um há aproximadamente 13 bilhões de anos e se concentra na região central da galáxia, e os outros dois mais recentes, onde converteram o gás restante em estrelas há cerca de 1 a 5 bilhões de anos ocorrendo nas regiões mais externas.

Os modelos SSP (single-aged stellar population) indicam que NGC 6868, NGC 5903 e NGC 5044 apresentam núcleos metálicos ($[Z/Z_\odot] \geq +0.33$). O excesso de elementos α em relação a ferro nas regiões externas de NGC 6868 and NGC 5903 sugere eventos de supernovas do tipo II nessa região. Por outro lado, NGC 5044 apresenta excesso de elementos α em relação a ferro no seu núcleo.

NGC 3607 possui metalicidade menor que solar ($-0.67 < [Z/Z_\odot] < -0.35$) e os resultados indicam ainda que não há excesso de elementos α em relação a ferro nesse objeto.

NGC 5044 é uma galáxia metálica ($[Z/Z_{\odot}] \sim +0.33$). O excesso de elementos α em relação a ferro sugere supernovas de tipo II no núcleo desse objeto.

NGC 6868, NGC 3607 e NGC 5044 apresentam fortes linhas de emissão ([NII], [SII], [OI] e H_{α}). As razões $[NII]/H_{\alpha}$, $[SII]/H_{\alpha}$ e $[OI]_{6300}/H_{\alpha}$ vs. $[SII]_{6731}/H_{\alpha}$ medidos no núcleo desses objetos mostram que elas possuem um núcleo ativo do tipo LINERs.

Índice

1. Introdução	1
1.1 Formação de Galáxias Elípticas	2
1.2 População Estelar em Galáxias Elípticas	2
1.3 Meio Interestelar	4
1.4 Objeto de Estudo: NGC 6868	5
1.5 Objeto de Estudo: NGC 5903	6
1.6 Objeto de Estudo: NGC 3607	8
1.7 Objeto de Estudo: NGC 5044	9
2. Observações e Extração de Espectros	13
2.1 Observações	13
2.2 Extração	14
2.2.1 NGC 6868	14
2.2.2 NGC 5903	15
2.2.3 NGC 3607	17
2.2.4 NGC 5044	17
2.3 Correção por <i>redshift</i> e avermelhamento galáctico	18
3. Medida das Larguras Equivalentes	29
3.1 Índices de Lick	30
3.1.1 Correção dos índices de Lick pela dispersão de velocidades das estrelas da galáxia	30
3.1.2 Medida dos índices de Lick em NGC 6868	31
3.1.3 Gradientes dos índices de Lick em NGC 6868	33
3.1.4 Medida dos índices de Lick em NGC 5903	35
3.1.5 Gradientes dos índices de Lick em NGC 5903	37
3.1.6 Medida dos índices de Lick em NGC 3607	39
3.1.7 Gradientes dos índices de Lick em NGC 3607	39
3.1.8 Medida dos índices de Lick em NGC 5044	40

3.1.9	Gradientes dos índices de Lick em NGC 5044	41
3.1.10	Assinatura dos gradientes de metalicidade	42
3.2	Equivalência entre os índices de Lick e os definidos por Bica & Alloin	46
4.	Síntese da População Estelar	48
4.1	Método de Síntese Utilizado	49
4.2	Construção da Base	51
5.	Resultados da Síntese de População Estelar	55
5.1	NGC 6868	55
5.1.1	Frações de Fluxo	55
5.1.2	Fração de Massa	60
5.2	NGC 5903	61
5.2.1	Fração de Fluxo	62
5.2.2	Fração de Massa	63
5.3	NGC 3607	63
5.3.1	Fração de Fluxo	64
5.3.2	Fração de Massa	65
5.4	NGC 5044	65
5.5	Índice de cor integrada	67
5.6	Metalicidade	67
6.	Propriedades Globais da Amostra e o Plano Fundamental	76
7.	Gás Ionizado	79
7.1	Obtenção dos Fluxos	79
7.2	Luminosidade e Número de Fótons Ionizantes	80
7.2.1	NGC 6868	82
7.2.2	NGC 3607	86
7.2.3	NGC 5044	87
8.	Discussão	94
9.	Conclusões	102
10.	Perspectivas	104
	Referências	105

11.Apêndice 01	114
12.Apêndice 02	121
13.Apêndice 03	128
14.Artigos Publicados	136
15.Artigos em Fase de Análise	137

Capítulo 1

Introdução

As galáxias mais brilhantes encontradas no centro de grandes aglomerados são elípticas gigantes, classificadas como cDs, as quais podem ter luminosidade de $10^{12} L_{\odot}$ e massa de $10^{13} M_{\odot}$. Elípticas anãs têm luminosidade entre 10^5 e $10^6 L_{\odot}$ e massa de aproximadamente $10^6 M_{\odot}$. As galáxias elípticas, quando projetadas contra o céu, são vistas como elipses, com elipticidade entre $0 \leq \frac{b-a}{a} \leq 0.7$.

Aproximadamente 8% de todas as galáxias do catálogo ESO/LV são elípticas e elas aparecem mais em grupos de galáxias do que isoladas. Uma forte característica das galáxias elípticas é sua cor vermelha, evidenciando a predominância da população estelar velha na sua luz integrada. Os valores de (B-V) usualmente encontrados estão entre 0.7 e 1.1.

O perfil radial de brilho superficial das elípticas é ajustado por uma função que decai com $r^{1/4}$ (de Vaucouleurs, 1983) ou com a lei de Sérsic (1968), que é mais geral e tem uma dependência radial com $r^{1/n}$. As isofotas, linhas de mesmo brilho superficial, são quase elípticas. Para muitas galáxias, o ângulo de posição do eixo maior das isofotas varia com a distância ao centro, por serem triaxiais ou pelo efeito da interação com outras galáxias. Normalmente, a elipticidade também varia com a distância ao centro.

As galáxias com simetria esferoidal (elípticas) rotam mais lentamente do que as com disco. Para as elípticas a relação entre a velocidade rotacional (V_{rot}) e a dispersão de velocidade (σ) é menor que 1 ($\frac{V_{rot}}{\sigma} < 1$), enquanto que para as espirais a relação é $\frac{V_{rot}}{\sigma} > 1$. A dispersão de velocidade das estrelas contribui significativamente para manter gravitacionalmente as galáxias elípticas, ou seja, a velocidade média das estrelas em torno do centro galáctico impede que ela comece a colapsar. Faber et al. (1976) encontraram que a dispersão de velocidades se correlaciona com a luminosidade da galáxia da seguinte forma:

$$L \propto \sigma^n \tag{1.1}$$

onde L é a luminosidade da galáxia e σ é a dispersão de velocidades das estrelas.

Como as elípticas não são perfeitamente esferoidais, a dispersão de velocidades é, em geral, anisotrópica, decai normalmente com uma função do raio (Davies et al. 1993; Caon et al. 2000). A dispersão de velocidades das estrelas e a luminosidade da galáxia se correlacionam e constituem um plano denominado, dentro da astronomia, como Plano Fundamental. Propriedades globais, tais como luminosidade, raio, dispersão de velocidades e massa caracterizam uma determinada classe de galáxias elípticas. A correlação entre essas propriedades dão origem ao Plano Fundamental.

1.1 Formação de Galáxias Elípticas

Uma questão em aberto na astronomia moderna é como são formadas as galáxias elípticas.

Em busca de respostas para essa pergunta, dois cenários têm sido propostos: 1) galáxias elípticas formadas monoliticamente por colapso de nuvens de gás com grande dissipação de energia (e.g. Larson & Tinsley 1974; Arimoto & Yoshii 1987); 2) Formação via fusão (*mergers*) de galáxias relativamente pequenas (e.g. Toomre & Toomre, 1972).

Algumas elípticas mostram fortes sinais de recente perturbação dinâmica (Schweizer et al. 1990; Schweizer & Seitzer 1992). Este fato pode ser uma importante pista na investigação da origem dessas galáxias. Elípticas, em sua maioria, são cercadas por um grande número de aglomerado globulares. O número de aglomerados globulares relativo à luminosidade da galáxia é quase o dobro do que em espirais (Harris, 1991). Se as elípticas são formadas via fusão de espirais, ao menos uma parte de seus aglomerados globulares deve ter nascido durante a fusão (Van den Bergh 1982, 1990). Aglomerados globulares em galáxias elípticas têm distribuição de $[Fe/H]$ bimodal em geral, o que tem sido considerado como indicativo da hipótese de fusão.

O colapso dissipativo assume a hipótese de que o bojo de estrelas em uma elíptica foi formado durante um surto inicial de formação estelar, o qual foi induzida por colisões de nuvens fragmentadas em protogaláxias e, por fim, por um vento galáctico causado por supernovas que expelle o resto do gás interestelar das galáxias (e.g. Larson & Tinsley, 1974; Arimoto & Yoshii 1987). O vento galáctico exerce um papel essencial no enriquecimento por elementos pesados do gás quente no interior do aglomerado de galáxia (Ciotti et al. 1991).

1.2 População Estelar em Galáxias Elípticas

A distribuição espacial da população estelar em galáxias elípticas não é uniforme. As estrelas no centro da galáxia são mais vermelhas do que nas regiões externas. As cores são progressivamente mais azuis à medida que nos afastamos do centro da galáxia (Vader et al. 1988; Peletier et al. 1990).

Peletier et al. (1990) realizaram fotometria superficial nas bandas U, B e R para uma amostra de 39 galáxias elípticas próximas e determinaram gradientes de cor em $(U - R)$ e $(B - R)$. Eles encontraram que os gradientes típicos $(U - R)/\log(r)$ e $(B - R)/\log(r)$ são -0.2 e $-0.09 \text{ mag (arcsec)}^{-2} \text{ dex}^{-1}$ respectivamente, e verificaram que a dispersão dos gradientes é pequena em ambas as cores.

Muitas galáxias elípticas apresentam gradientes radiais nas linhas de absorção de $\text{Mg}_{2\lambda 5176}$, $\text{FeI}_{\lambda 5270}$ e $\text{FeII}_{\lambda 5335}$ (Kobayashi & Arimoto 1999). Isso reforça a idéia de que o gradiente de cor origina-se do gradiente de metalicidade dentro da galáxia. Contudo, tal interpretação para a origem do gradiente de cor é prematura porque uma população estelar de metalicidade mais alta ou idade mais velha pode ter a sua cor avermelhada. Esse problema, chamado na literatura de degenerescência Idade-Metalicidade, também apontado por Worthey, Trager & Faber (1995) e então discutido por Arimoto (1996). Por exemplo, com a degenerescência idade-metalicidade torna-se fácil interpretar a origem da estreita correlação entre cor e magnitude das galáxias elípticas: galáxias elípticas brilhantes tendem a ter uma cor mais avermelhada porque são mais metálicas. essencialmente reproduzida por um gradiente de metalicidade crescente com um modelo baseado em ventos galácticos sobre um colapso monolítico (Arimoto & Yoshii 1987), onde as galáxias mais massivas mostram ser mais enriquecidas em metais e portanto, mais avermelhadas. Entretanto, Worthey et al. (1995) sustentam que uma seqüência de idade de galáxias elípticas pode, equivalentemente, reproduzir a relação CM se as galáxias elípticas brilhantes forem mais velhas e assim, avermelhadas.

Para quebrar essa degenerescência, Kodama & Arimoto (1997) construíram dois modelos (seqüências de metalicidade e idade) que são normalizados para reproduzir a relação CM de galáxias elípticas no aglomerado de Coma, usando esse modelo de síntese evolutiva. Eles compararam a evolução de modelos às relações observadas de galáxias elípticas em aglomerados distantes. A relação CM produzida por uma seqüência de metalicidade concorda com a relação observada para $z \sim 1$; a relação produzida por uma seqüência de idade se desvia significativamente da observada, sempre que $z \sim 0.2 - 0.3$, mostrando que a origem da relação CM é primeiramente uma variação da metalicidade com a massa da galáxia (Tamura et al. 2000). A relação CM pode, também, ser reproduzida em uma formação hierárquica da galáxia (Kauffmann & Charlot 1998), embora esse modelo permita um período mais estendido de formação estelar em galáxias elípticas. Este fato mostra que a relação CM é produzida por uma variação da metalicidade. Dessa forma, conclui-se que a interpretação

da relação CM como uma seqüência de metalicidade é forte e independente da suposição sobre os processos de formação da galáxia.

Recentemente, a origem dos gradientes de cor e das intensidades das linhas $Mg_{2\lambda 5176}$, $FeI_{\lambda 5270}$, $FeI_{\lambda 5335}$ (e outras) em galáxias elípticas foi discutida com modelos detalhados, baseados em ventos galácticos (Martinelli, Matteucci, & Colafrancesco 1998). Entretanto, uma abordagem mais simples para estudar a origem da relação CM é através da síntese de população estelar com componentes de diferentes idades e metalicidades.

Por vários anos um programa tem sido seguido na UCO/Lick para se determinar a metalicidade em galáxias elípticas a partir de características apresentadas nas linhas de absorção dessas galáxias. Esse programa combina intensidades espectrais empíricas derivadas a partir de estrelas na vizinhança solar com um diagrama HR teórico, o qual é modelado usando caminhos evolutivos estelares. Para elípticas gigantes médias, a razão $[Mg/Fe]$ excede àquela da maioria das estrelas ricas em metal na vizinhança solar por uma proporção de $\sim 0.1 - 0.3$ dex.

Uma metalicidade mais precisa é necessária para obter-se uma idade confiável ou cor estimada por uma população estelar em galáxias elípticas. Elípticas gigantes têm forte Mg relativo à Fe, comparado aos modelos (Worthey, Faber & Gonzalez 1992). Mg e Fe são sintetizados por dois diferentes tipos de supernovas: Tipo II e Tipo I, com diferentes escalas de tempo evolutivo. Assim, temos variação de $[Mg/Fe]$ quando: 1) há uma variação na função de massa inicial; 2) há uma diferença na escala de tempo na formação estelar; 3) há retenção diferencial de Mg versus Fe junto com eventos de fusão. Conhecendo-se uma ou mais dessas propriedades, juntamente com o tamanho da galáxia, podemos obter uma importante evidência para formação de estrelas em galáxias elípticas.

1.3 Meio Interestelar

A origem do gás ionizado é outro tema com muitas controvérsias, pois até há poucos anos, acreditava-se que as galáxias elípticas não possuíam meio interestelar significativo. Entretanto, estudos realizados por Philips et al. (1986), mostram que mais de 50% das galáxias elípticas e lenticulares contêm uma significativa quantidade de gás ionizado. Macchetto et al. (1996) mapearam o gás ionizado em uma amostra de 73 elípticas e SOs através de bandas estreitas centradas em $H\alpha$ e $[NII]$, sendo que foi detectado gás em emissão em cerca de 3/4 das galáxias da amostra. O gás apresenta valores, em massa, entre 10^3 a $10^5 M_{\odot}$.

As linhas de emissão do gás são fontes importantes de informação a respeito do estado físico das regiões emissoras, e podem nos dar informações sobre a morfologia e cinemática

da galáxia. Podemos encontrar uma clara correlação entre $H\alpha + [NII]$ e a luminosidade de raios $-X$ no modelo proposto por Sparks & Collier (1988) e Sparks, Macchetto & Golombek (1989). Enquanto a correlação entre $H\alpha + [NII]$ e a magnitude total é muito incerta, a correlação com a banda-B integrada dentro da região ocupada pelo gás ionizado é mais compacta e clara (Macchetto et al., 1996). Este fato sugere estrelas pós-AGB quentes como uma alternativa adicional ao mecanismo de ionização do gás.

A razão entre o fluxo de fótons produzidos por estrelas velhas e quentes (pós-AGB), como previsto no modelo de Binette et al. (1994), e os fótons necessários para ionizar o gás é da ordem de 1. Outras possíveis fontes de excitação e ionização são estrelas jovens e quentes (Kimm 1989; Shields et al. 1991) e radiação originada em um núcleo ativo (Ho et al. 1997).

Como dito anteriormente, a origem do gás ionizado ainda é uma questão em aberto, mas há dois cenários propostos para esclarecer melhor esse assunto: a) o gás ionizado é produto de correntes refrigerantes nos quais o material perdido por estrelas, aquecido a altas temperaturas ($\sim 1eV$) por explosões de supernovas, resfria e condensa dentro de filamentos (Fabian, 1994). Contudo, esse cenário não pode explicar a notável coexistência de gás e poeira na mesma região espacial (Ferrari et al. 1999); b) o gás é acretao de outras galáxias durante a fusão ou encontros próximos. Esse cenário pode explicar a coexistência do gás e poeira e isso é sustentado pela freqüente detecção do desacoplamento cinemático entre gás e estrelas em galáxias *early-type* ricas em gás. Em várias galáxias elípticas e lenticulares o momento angular das estrelas está desalinhado, ou mesmo anti-paralelo, com o do gás (Bertola et al., 1995).

Pastoriza et al. (2000) analisaram a cinemática do gás, bem como o perfil de luminosidade em galáxias elípticas. Nesse trabalho os autores sugerem que esse tipo de objeto apresenta um Buraco Negro (BN) em seu núcleo, porém esses só podem ser identificados analisando o perfil de luminosidade e/ou a cinemática do gás. O perfil de luminosidade, nesses objetos, apresenta uma descontinuidade no centro e o gás forma um disco em torno do núcleo formando estrelas e "alimentando" o BN. Isso explica a identificação de discos de formação estelar e distribuições simétricas do gás em galáxias elípticas.

1.4 Objeto de Estudo: NGC 6868

Um objeto de grande importância para nosso estudo entre as galáxias elípticas é a galáxia NGC 6868. Esta galáxia possui um meio interestelar rico em gás e poeira (Caon et al., 2000). NGC 6868 é classificada como E3 no catálogo RC3¹ (Phillips et al., 1986).

¹ Third Reference Catalogue of bright galaxies.

Pertence ao grupo GR28 com outras quatro galáxias: NGC 6861, NGC 6870, NGC 6851 e NGC 6861D (Maia et al. 1989). NGC 6868 é também uma fonte de rádio (Savage et al. 1977). Observações com o satélite IRAS em $60 \mu\text{m}$ e $100 \mu\text{m}$ indicam que esse objeto emite também no infra-vermelho. Phillips et al. (1986) evidenciam a presença de gás ionizado nessa galáxia. Mesmo os campos de velocidade e os perfis de dispersão de velocidade desta galáxia sendo simétricos sobre o centro, o gás não se move em órbitas regulares. A curva de rotação mostra uma contra-rotação da região externa em relação ao centro (ver Figura 6 de Zeilinger et al. 1996).

As coordenadas equatoriais (J 2000) da galáxia são $\alpha = 20^{\text{h}}09^{\text{m}}54.07^{\text{s}}$ e $\delta = -48^{\circ}22'46.4''$; suas dimensões aparentes são $3.5' \times 2.8'$. Sua magnitude aparente é $m_B = 11.66$ (NED). A magnitude integrada na banda B é 11.49; a distância do objeto calculado assumindo o valor da constante de Hubble de $H_0 = 65 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ é 41.1 Mpc (Ferrari et al. 2002).

Plana et al. (1998) apresentaram observações de Fabry-Perot do gás ionizado para várias galáxias; entre elas NGC 6868. Nesse trabalho, os autores apresentaram mapas monocromáticos e mapas de velocidades do objeto. Usando modelos de de Zeeuw e Frank (1989) obtiveram informações sobre aspectos geométricos do elipsóide triaxial, tais como ângulo de visada e razão dos eixos. Segundo esses autores NGC 6868 não apresenta um sistema complexo de componentes gasosas duplas, ou seja, apresenta apenas uma componente primordial.

Ferrari et al. (2002), usando fotometria, estimaram a luminosidade total no Infravermelho médio para 28 galáxias early-type, entre elas NGC 6868. Para $6.75 \mu\text{m}$ encontraram $5.1 \times 10^8 L_{\odot}$; para $9.63 \mu\text{m}$ - $5.2 \times 10^8 L_{\odot}$; para $15 \mu\text{m}$ - $4.9 \times 10^8 L_{\odot}$. Com isso, a luminosidade total encontrada foi de $15.2 \times 10^8 L_{\odot}$. Os autores derivaram a massa de poeira a partir da emissão dos grãos e encontraram aproximadamente $70 M_{\odot}$.

Na Figura 1.1 podemos ver uma imagem em R de NGC 6868 (NED).

1.5 Objeto de Estudo: NGC 5903

A galáxia elíptica (tipo morfológico E2) NGC 5903 forma par com a elíptica NGC 5898; essas duas galáxias são as mais brilhantes de um pequeno grupo: NGC 5903, NGC 5898 e ESO 514 - G 003 (Maia 1989). Esse objeto possui uma velocidade radial $V_r = 2378 \text{ km s}^{-1}$ e uma distância de 34.2 Mpc (com $H_0 = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$). As coordenadas equatoriais (J 2000) são $\alpha = 15^{\text{h}}18^{\text{m}}36.53^{\text{s}}$ e $\delta = -24^{\circ}04'06.9''$; suas dimensões angulares são $2.7' \times 2.1'$.

NGC 5903 tem um núcleo vermelho estendido (Gopal-Krishna 1978). Apresenta uma pequena rotação em torno do eixo maior ($PA = 168^{\circ}$) (Sparks et al. 1985).

Ferrari et al. (1999) apresentaram resultados sobre a presença de poeira em 22 galáxias

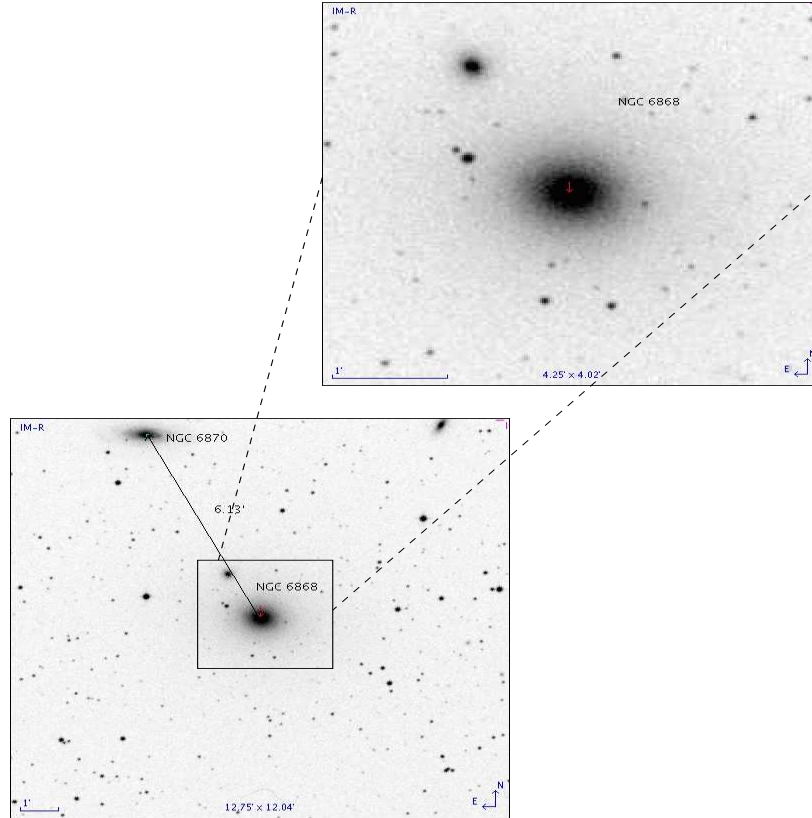


Fig. 1.1: *NGC6868 - Imagem em R.*

luminosas early-type, selecionadas do catálogo RC3. 75% das galáxias observadas mostraram quantidades significativas de poeira, entre elas NGC 5903. Nessa galáxia a poeira encontra-se em uma região pequena (100 pc). Os autores usaram imagens V e R para detectar a poeira; construíram mapas de cor e determinaram A_V e A_R . Encontraram valores típicos de $A_V = 0.040$ e de $A_R = 0.039$. Os valores de A_V permitiram estimar a massa da poeira para NGC 5903. A massa de poeira para esse objeto $M \sim 15 M_\odot$ é um valor similar àqueles apresentados para outros objetos no mesmo artigo.

Segundo O'Sullivan et al. (2001), NGC 5903 apresenta emissão em Raio-X. Nesse trabalho os autores apresentam um catálogo de luminosidades em Raio-X para 401 galáxias early-type entre elas NGC 5903. Os valores encontrados para a luminosidade em Raio-X e na banda B são respectivamente $\log L_X \sim 40.33 \text{ erg s}^{-1}$ e $\log L_B = 10.28 L_\odot$.

NGC 5903 apresenta fortes linhas de absorção do magnésio e ferro neutro na região do visível. Uma análise detalhada de algumas propriedades dessas linhas permite obter informações valiosas sobre a idade e a metalicidade desse objeto. Com tais informações é possível obter conclusões preliminares a respeito da origem e/ou formação da galáxia.

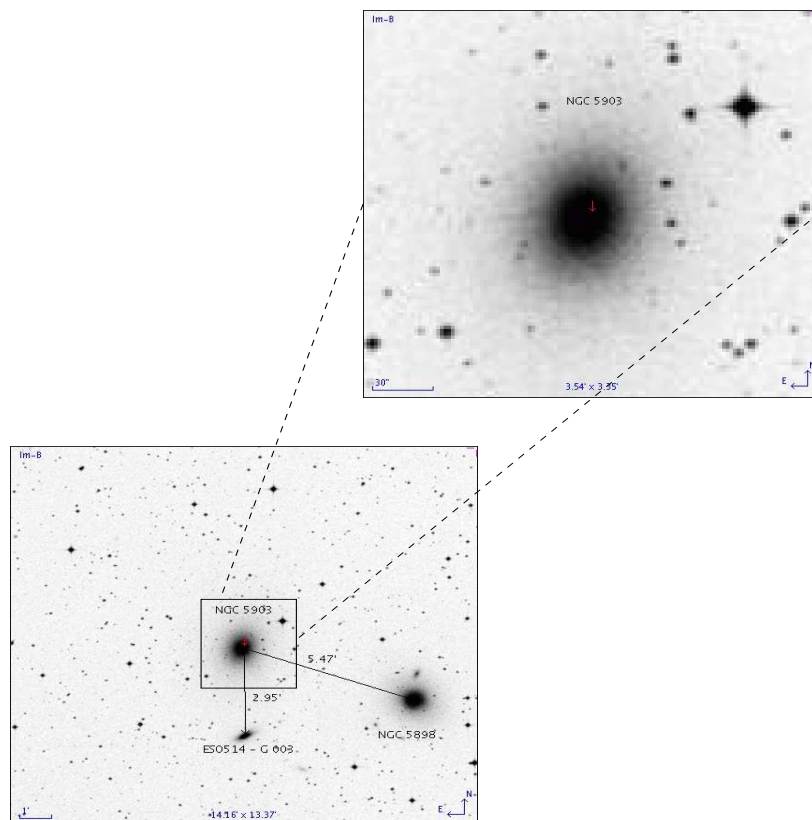


Fig. 1.2: *NGC5903 - Imagem em B.*

A Figura 1.2 ilustra a imagem no visível de NGC 5903 (NED).

1.6 Objeto de Estudo: NGC 3607

Classificada como uma galáxia early-type, NGC 3607 é o membro mais brilhante de um grupo de galáxias que inclui NGC 3605 e NGC 3608. Esse objeto apresenta uma velocidade radial de 960 km/s. As coordenadas equatoriais (J2000) da galáxia são $\alpha = 11^h 16^m 54.66^s$ e $\delta = +18^{\circ} 3' 06.5''$; suas dimensões aparentes são $4.9' \times 2.5'$. Sua magnitude aparente é $m_B = 10.82$ (NED). NGC 3607 tem emissão em Raios-X (Terashima et al., 2002). Os autores não encontram uma clara evidência de que essa galáxia possui um núcleo ativo e sugerem que a origem da emissão dos Raios-X seja uma fonte discreta. O gás ionizado e a poeira formam um pequeno disco assimétrico. A absorção devida à poeira é mais forte na direção noroeste enquanto a emissão do gás é mais forte na direção sudeste (Ferrari et al., 1999).

A Fig. 1.3, mostra uma imagem na banda B de NGC3607. As dimensões estão dadas na Figura.

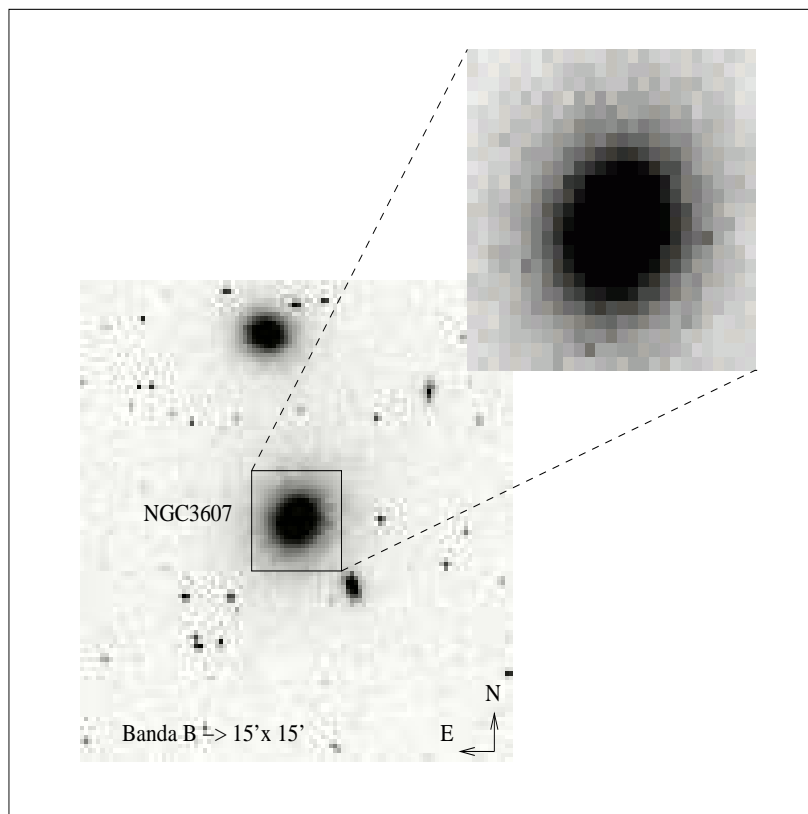


Fig. 1.3: *NGC6868 - Banda B.*

1.7 Objeto de Estudo: NGC 5044

Outro objeto de grande importância para ser estudado entre as elípticas é NGC 5044, membro mais brilhante do grupo de galáxias NGC 5044. A distribuição da população estelar e o gás ionizado deste objeto foi analisado durante o trabalho de dissertação, porém voltamos com uma abordagem mais detalhada, discutindo os resultados dentro de um contexto mais geral.

NGC 5044, também classificada na literatura com UGCA341 e MCG-03-34-034 é uma galáxia elíptica (*early-type*) de tipo morfológico E0, cujas coordenadas equatoriais (J 2000) são $\alpha = 13^h 15' 23''$ e $\delta = 16^{\circ} 23' 09''$; suas dimensões aparentes são $3' \times 3'$. Como todas as galáxias lenticulares, NGC 5044 é um sistema esferoidal cujas isofotas são elípticas (Macchetto et al., 1996). Sua magnitude aparente é $m_B = 11.83$, sendo bastante luminosa no

azul, com uma magnitude absoluta $M_B = -21.92$. Ela apresenta linhas de emissão em seu espectro, e sua luminosidade em $H\alpha + [NII]$ é $1.28 \times 10^{41} \text{ erg s}^{-1}$. Sua distância, baseada em uma velocidade radial $V_R = 2704 \text{ km s}^{-1}$ e $H_0 = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ corresponde a aproximadamente 36 Mpc.

Até há algumas décadas, NGC 5044 era descrita como um sistema elipsoidal intrinsecamente simples formado por um único sistema de estrelas. Porém, já no início dos anos 70, observações de alta resolução espacial e alta dispersão indicavam a existência de outras componentes como discos, lentes, anéis e capas, além das componentes esferoidais.

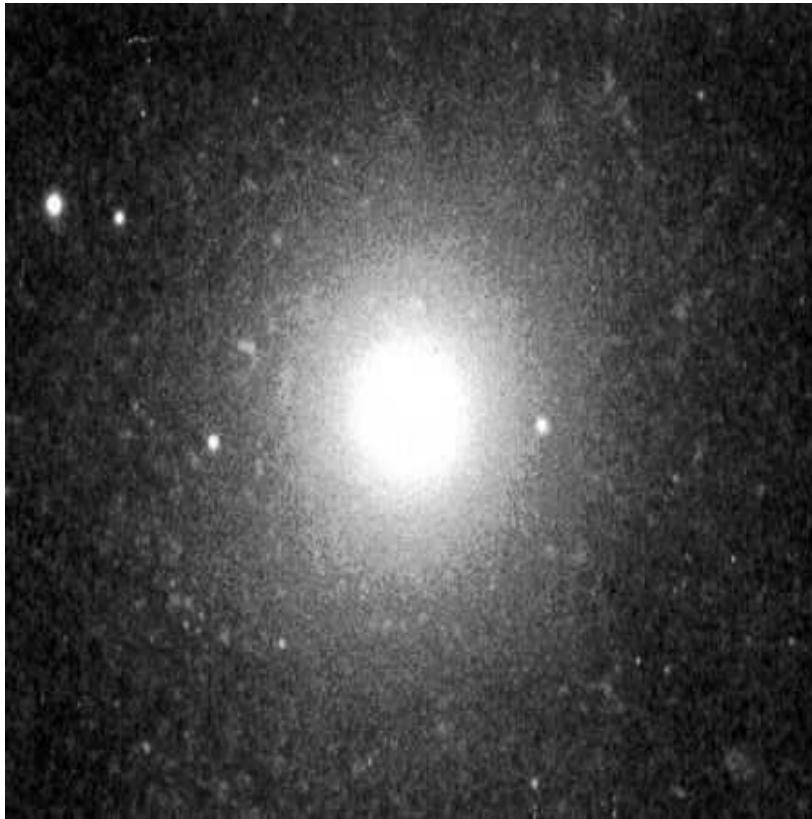


Fig. 1.4: *NGC5044 - Imagem em IIIaJ com uma banda passante máxima de 4680 Å; escala: 9' × 9'. O norte está localizado na parte superior da figura e o leste à direita.*

NGC 5044 apresenta uma distribuição irregular de poeira, concentrada nos 10'' mais internos, onde duas nuvens centrais podem ser vistas. Esta galáxia parece ter o gás e a poeira misturados apesar da morfologia do gás ionizado não ser produzida pela extinção da poeira, pois a nuvem de poeira é menos intensa que a do gás ionizado (Ferrari et al. 1999). Na Figura 1.4 podemos ver uma imagem no visível da galáxia NGC 5044 (NED). Ela tem uma emissão de gás muito intensa, sob a forma de filamentos que quase se estendem até 40''

a partir do centro, mais alongadas na direção sul da galáxia; isso pode ser visto na Figura 1.5 (Ferrari, 1999).

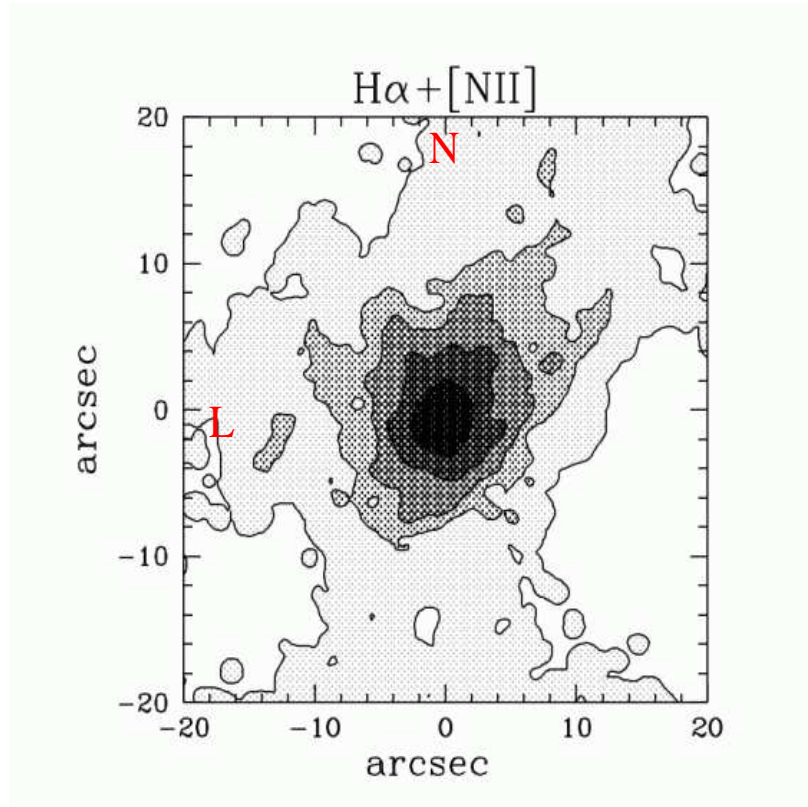


Fig. 1.5: *Morfologia do gás ionizado. Tons de cinza mais escuros representam um maior fluxo de $H\alpha$.*

NGC 5044 é identificada como uma fonte de raios-X (Fabbiano et al., 1992). As luminosidades em raios X e em emissão de $H\alpha + [NII]$ são $L_X = 1.0 \times 10^{43} \text{ erg s}^{-1}$ e $L \simeq 1.3 \times 10^{41} \text{ erg s}^{-1}$, respectivamente (ver citação no artigo). Caon et al. (2000) observaram que este é um objeto muito peculiar, com um perfil de velocidade do gás muito irregular, com muitos altos e baixos; essa velocidade radial é sistematicamente deslocada para o azul, comparada com a velocidade sistemática estelar, por aproximadamente $60 - 100 \text{ km s}^{-1}$. De acordo com os autores, a dispersão de velocidades no centro da galáxia (σ_c) é de aproximadamente 256 km s^{-1} e a velocidade máxima de rotação (V_{max}) é de aproximadamente 14 km s^{-1} .

O principal critério na escolha da amostra foi o fato dessas galáxias possuírem meio interestelar rico (gás ionizado e poeira), pois assim podemos traçar comparações entre propriedades como população estelar, fonte de ionização do gás, metalicidade e formação desses

Tab. 1.1: *Parâmetros da amostra*

	NGC 6868	NGC 5903	NGC 3706	NGC 5044
Grupo	Centro de aglomerado. o objeto mais brilhante do grupo composto por: a) NGC 6868 b) NGC 6861 ^(a) c) NGC 6870 d) NGC 6851 e) NGC 6861D	Forma par com NGC 5898 Faz parte de um grupo de 3 galáxias: a) NGC 5903 b) NGC 5898 c) ESO 514 - G 003 ^(a)	Forma grupo com: a) NGC 3605 b) NGC 3608	Membro mais brilhante do grupo NGC 5044
V_r	2854 km s ⁻¹ (NED)	2565 km s ⁻¹ (NED)	960 km s ⁻¹ (NED)	2704 km s ⁻¹ (NED)
Escala geo. D	1" > 184 pc 38 Mpc ($H_0 = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$)	1" > 164 pc 34 Mpc ($H_0 = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$)	1" > 63 pc 12.8 Mpc ($H_0 = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$)	1" > 174.6 pc 36 Mpc ($H_0 = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$)
σ	265 km s ⁻¹ ^(b)	$\sigma = 220 \text{ km s}^{-1}$ ^(b)	$\sigma = 225 \text{ km s}^{-1}$ ^(b)	$\sigma = 256 \text{ km s}^{-1}$
R_{eff}	40.0 arcsec ^(c)	37.0 arcsec ^(c)	43.4 arcsec ^(g)	28.5 arcsec
d maior	3.5 arcmin (NED)	2.7 arcmin (NED)	4.9 arcmin	3.0 arcmin
d menor	2.8 arcmin (NED)	2.1 arcmin (NED)	2.5 arcmin	3.0 arcmin
Luminosidades	$\log L_X \sim 41.23 \text{ erg s}^{-1}$ ^(d) $\log L_{radio} \sim 31.71 \text{ erg s}^{-1}$ (NED) $\log L_{IR} \sim 36 \text{ erg s}^{-1}$ $\log L_B = 10.09 L_\odot$	$\log L_X \sim 40.33 \text{ erg s}^{-1}$ ^(d) — — $\log L_B = 10.73 L_\odot$	$\log L_X \sim 40.01 \text{ erg s}^{-1}$ ^(f) — — $\log L_B = 10.82 L_\odot$	$\log L_X \sim 43 \text{ erg s}^{-1}$ ^(f) — — $\log L_B = 11.72 L_\odot$

Table Notes. Maia et al. (1989)^(a); Caon et al. (2000)^(b); Carollo et al. (1993)^(c); Beuing et al. (1999)^(d); Singh et al. (1995)^(f); Annibali et al. (2006)^(g).

objetos. A Tabela 1.1 apresenta dados gerais referentes a esses objetos facilitando assim a comparação entre si e com outros objetos estudados por outros autores.

O objetivo deste trabalho é investigar, a partir de observações espectroscópicas de fenda longa no intervalo de comprimento de onda 5100 Å a 6800 Å, a história de formação estelar das galáxias esferoidais da amostra. Este objetivo foi alcançado através da utilização de um método de síntese de população estelar (baseado em *templates* de população estelar construídos a partir de aglomerados estelares e região HII), bem como da análise dos gradientes de metalicidade e cor nestas galáxias. Com esses dados foi possível obter algumas conclusões sobre a origem desses objetos, além de um conhecimento mais detalhado sobre seu meio interestelar e fonte ionizante do gás no caso de NGC 6868, NGC 3607 e NGC 5044.

Capítulo 2

Observações e Extração de Espectros

NGC 6868, NGC 5903, NGC 3607 e NGC 5044 são galáxias elípticas ou de transição que apresentam intensas linhas de absorção típicas da população estelar. Além das linhas de absorção, NGC 6868, NGC 3607 e NGC 5044 apresentam intensas linhas de emissão em seu espectro visível. A história da formação estelar, gradientes de metalicidade e propriedades do gás em emissão são estudadas mediante espectros integrados extraídos ao longo de uma fenda, orientada na direção do eixo maior da galáxia. Neste capítulo apresentamos as observações realizadas e descreveremos com detalhe a extração dos espectros para as galáxias citadas acima.

2.1 Observações

NGC 6868, NGC 5903, NGC 3607 e NGC 5044 foram observadas com o telescópio ESO 3.6 m localizado no Chile equipado com EFOSC1 por Nicola Caon e Miriani Pastoriza, em maio de 1995. Com o objetivo de maximizar a cobertura espectral e obter o maior número de características de absorção estelares e linhas de emissão do gás, sem comprometer a resolução espectral, Caon et al. (2000) usaram o grisma 0150 no intervalo de 5140 Å a 6900 Å com uma dispersão de 3.4 Å pixel⁻¹ com o CCD 2 (Tektronix 512 × 512).

A escala espacial da configuração observada é de 0.6'' pixel⁻¹ e o comprimento da fenda utilizada é de 3.1' com uma largura fixada em 1.5'' que é aproximadamente igual ao seeing. Para NGC 6868 e NGC 5044 três espectros de fenda longa foram obtidos com mesmo tempo de exposição; o ângulo de posição da fenda foi PA = 120° e PA = 190° para as duas galáxias respectivamente. O tempo de exposição para cada espectro foi de aproximadamente 40 minutos.

Para NGC 5903 e NGC 5044 foram obtidos dois espectros com o mesmo tempo de exposição (40 minutos) e mesmo ângulo de posição PA = 340°. Outro espectro foi observado

para NGC 5903 com exposição de 45 minutos e ângulo de posição $PA = 190^{\circ}$.

2.2 Extração

2.2.1 NGC 6868

As imagens foram corrigidas por DARK, BIAS e FLAT e tiveram os raios cósmicos extraídos nos três objetos.

Utilizando a tarefa **implot** do IRAF verificamos que as imagens não estavam adequadamente alinhadas, então realizamos a extração individualmente em cada uma para depois combiná-las.

Antes de calibrar em fluxo e em comprimento de onda, extraímos os espectros usando o seguinte procedimento:

1) Com o comando **implot** identificamos onde estava o centro da galáxia; 2) Depois de definir a região de extração, utilizamos a tarefa **apall** do IRAF para extrair os espectros; 3) Depois das extrações realizadas o próximo passo foi calibrá-las em comprimento de onda, e para isso tivemos que repetir o mesmo procedimento acima para as lâmpadas de comparação.

Na Figura 2.1 mostramos um esquema onde podemos visualizar como foram realizadas essas extrações. As linhas cheias correspondem ao centro de cada extração e as tracejadas o número de pixels adjacentes para cada extração. A letra **a** na figura representa a extração central.

Na Tabela 2.2.1 estão dadas as distâncias de cada extração ao centro da galáxia (ponto a). Na coluna 3 estão listadas as distâncias em kpc.

Os índices S e N na tabela 2.2.1 correspondem, respectivamente, às direções mais ao sul e mais ao norte do centro da galáxia.

Nas calibrações em comprimento de onda e fluxo foram utilizadas técnicas padrões do IRAF.

Cada espectro foi corrigido por *redshift* e avermelhamento galáctico utilizando valores que estão dados na Seção 2.3 desse trabalho.

Como os espectros foram extraídos na mesma posição espacial com larguras idênticas nas diferentes imagens, optamos por realizar uma média ponderada dos espectros correspondentes à mesma região da extração, com o objetivo de aumentar a razão sinal/ruído e melhorar assim a qualidade do espectro. Se compararmos os espectros extraídos em cada uma das duas imagens, percebemos que estes possuem características muito semelhantes. Os espectros médios com as devidas correções de avermelhamento galáctico e *redshift*, estão mostrados na Figura 2.2, separadamente para as extrações ao norte e ao sul da galáxia.

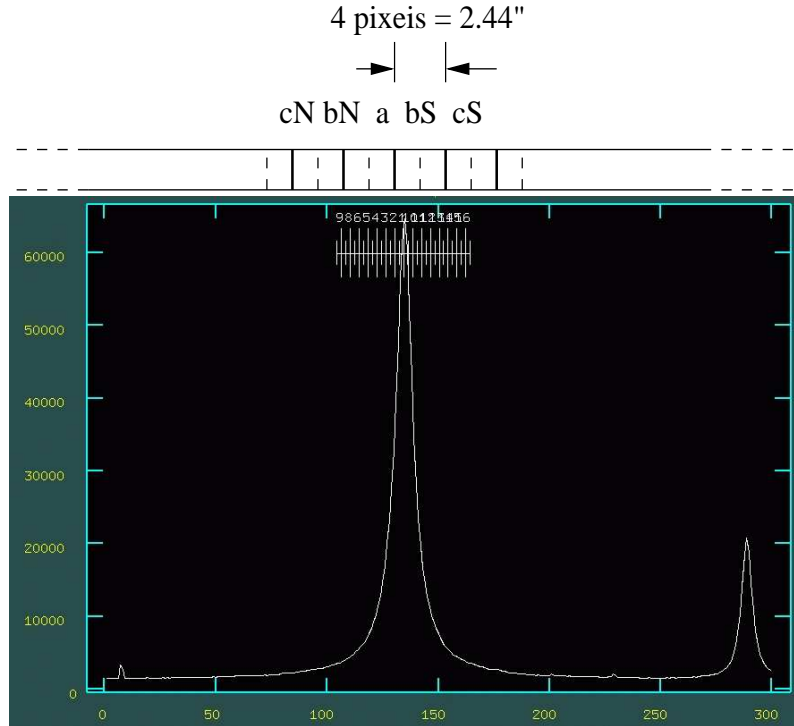


Fig. 2.1: *Perfil de emissão e esquema de extração dos espectro de NGC 6868*

Para calcularmos a área espacial (A_{ex}) correspondente à cada extração, necessitamos conhecer o comprimento relativo (L) a essas extrações já que a largura da fenda (w) é constante e conhecida. Das Tabelas 2.2.1 e 2.2.2, podemos obter os dados necessários para encontrar os comprimentos relativos e com isso, facilmente calculamos A_{ex} utilizando a seguinte expressão:

$$A_{ex} = L \cdot w, \quad (2.1)$$

onde L é o comprimento de cada extração e w é a largura da fenda.

Os valores de A_{ex} serão utilizados em capítulos posteriores para calcular o número de fótons emitidos por cada região espacial correspondente á cada extração .

2.2.2 NGC 5903

As extrações e calibrações para esse objeto foram realizadas por Miriani Pastoriza. Assim como para NGC 6868, os espectros correspondentes à mesma região espacial foram combinados para aumentar a razão sinal/ruído. Estes espectros estão apresentados na Figura 2.3.

Tab. 2.1: *Dados referentes às extrações dos espectros de NGC 6868. A coluna 5 apresenta a área de cada extração onde a largura da fenda foi fixada em 1.5".*

Espectro	Distância ao centro (arcsec)	Distância ao centro (kpc)	Largura (L) (arcsec)	A_{ex} (arcsec ²)
centro	0.0	0.0	2.44	3.66
<i>bS, bN</i>	2.44	0.46	2.44	3.66
<i>cS, cN</i>	4.88	0.92	2.44	3.66
<i>dS, dN</i>	7.32	1.38	2.44	3.66
<i>eS, eN</i>	9.76	1.84	2.44	3.66
<i>fS, fN</i>	12.2	2.30	2.44	3.66
<i>gS, gN</i>	14.64	2.76	2.44	3.66
<i>hS, hN</i>	17.08	3.22	2.44	3.66

O esquema de extração de NGC 5903 está apresentado na Figura 2.4. Da mesma forma que NGC 6868, as linhas cheias representam a distância ao centro de cada extração e as tracejadas, o número de pixels adjacentes para cada extração.

Na Tabela 2.2 estão dadas as distância de cada extração ao centro da galáxia (ponto a). Na coluna 3 estão listadas as distâncias em kpc.

Tab. 2.2: *Dados referentes às extrações dos espectros de NGC 5903*

Espectro	Distância ao centro (arcsec)	Distância ao centro (kpc)	Largura (L) (arcsec)	A_{ex} (arcsec ²)
centro	0.0	0.0	3.05	4.57
<i>bS, bN</i>	3.05	0.48	3.05	4.57
<i>cS, cN</i>	6.10	0.96	3.05	4.57
<i>dS, dN</i>	9.15	1.44	3.05	4.57
<i>eS, eN</i>	12.20	1.92	3.05	4.57
<i>fS, fN</i>	15.25	2.40	3.05	4.57
<i>gS, gN</i>	18.30	2.88	3.05	4.57
<i>hS, hN</i>	24.40	3.90	6.10	9.15

Os índices S e N na tabela 2.2 correspondem, respectivamente, às direções mais ao sul

e mais ao norte do centro da galáxia.

2.2.3 NGC 3607

A técnica de extração de espectros utilizada em NGC 3607 é a mesma utilizada em NGC 6868 e NGC 5903. Assim como para NGC 5903, a distância entre o centro de cada extração é de 5 pixels, ou seja, 3.05 arcsec. Alguns dados importantes para a evolução das nossas investigações referentes às extrações dos espectros de NGC 3607 estão dados na Tabela 2.2.3.

Tab. 2.3: *Extrações dos espectros de NGC 3607*

Espectro	Distância ao centro (arcsec)	Distância ao centro (kpc)	Largura (L) (arcsec)	A_{ex} (arcsec ²)
centro	0.0	0.0	3.05	4.57
<i>bS, bN</i>	3.05	0.19	3.05	4.57
<i>cS, cN</i>	6.10	0.38	3.05	4.57
<i>dS, dN</i>	9.15	0.58	3.05	4.57
<i>eS, eN</i>	12.20	0.77	3.05	4.57
<i>fS, fN</i>	15.25	0.96	3.05	4.57
<i>gS, gN</i>	18.30	1.15	3.05	4.57
<i>hS, hN</i>	24.40	1.54	6.10	9.15

Os espectros, já corrigidos por redshift, avermelhamento galáctico e dispersão de velocidades das estrelas estão apresentados na Figura 2.5.

2.2.4 NGC 5044

A Figura 2.6 mostra o esquema de extrações dos espectros de NGC 5044. Assim como para as demais galáxias apresentadas neste trabalho, as linhas cheias, correspondem ao centro de cada extração e as tracejadas, o número de pixels adjacentes para cada extração. Na Tabela 2.2.4 temos o tamanho de cada extração, sendo que na coluna (2) está a distância do centro de cada extração ao centro da fenda, e na coluna (3), a largura de cada extração. Assim como para os demais objetos analisados neste trabalho, cada espectro foi corrigido por *redshift* e avermelhamento galáctico.

Os dados na Tabela 2.2.4 são relativos às extrações realizadas sobre as duas imagens. Os índices S e N correspondem, respectivamente, às direções sul e norte do centro da galáxia.

Tab. 2.4: Dados referentes às extrações dos espectros de NGC 5044

Espectro	Distância ao centro (arcsec)	Distância ao centro (kpc)	Largura (L) (arcsec)	A_{ex} (arcsec ²)
centro	0.0	0.0	3.05	4.57
<i>bS, bN</i>	3.05	0.53	3.05	4.57
<i>cS, cN</i>	6.10	1.06	3.05	4.57
<i>dS, dN</i>	9.15	1.60	3.05	4.57
<i>eS, eN</i>	12.20	2.13	3.05	4.57
<i>fS, fN</i>	15.25	2.66	3.05	4.57
<i>gS, gN</i>	18.30	3.20	3.05	4.57
<i>hS, hN</i>	24.40	4.26	3.05	9.15

Os espectros corrigidos por avermelhamento galáctico e *redshift*, estão mostrados na Figura 2.7.

2.3 Correção por *redshift* e avermelhamento galáctico

Devido à expansão do universo, as galáxias estão se afastando do ponto de observação e o espectro se desloca para o vermelho (efeito Doppler).

Para corrigirmos os espectros por esse efeito medimos uma determinada linha espectral e depois comparamos esse valor medido do comprimento de onda λ com o comprimento de onda de repouso λ_{lab} . Com o uso da equação 2.2 obtemos o valor de velocidade (V_r) que devemos utilizar para corrigir os espectros.

$$V_r = \frac{\lambda_{lab} - \lambda}{\lambda} c, \quad (2.2)$$

onde λ é medido em \AA e c é a velocidade da luz no vácuo medido em $(km\ s^{-1})$.

A correção foi aplicada nos espectros utilizando a tarefa **dopcor** do IRAF.

Para corrigir os espectros por *redshift*, medimos com o IRAF o comprimento de onda λ no centro da linha de absorção de $[\text{NaI}]_{\lambda 5895}$. As velocidades radiais medidas para cada espectro de NGC 6868, NGC 5903, NGC 3607 e NGC 5044 estão dadas nas Tabelas 2.5, 2.6, 2.7 e 2.8 respectivamente.

A luz integrada de uma galáxia sofre uma atenuação ao atravessar o meio interestelar da Via-Láctea. O fluxo observado por um observador na Terra é dado por:

$$I_\lambda = I_{\lambda_0} e^{-\tau_\lambda} \quad (2.3)$$

onde I_{λ_0} é a intensidade emitida pela fonte e τ_λ é a espessura ótica calculada da seguinte forma:

$$\tau_\lambda = \frac{\tau_{\lambda_0}}{\sin b}, \quad (2.4)$$

onde τ_{λ_0} é a espessura ótica da camada perpendicular ao plano galáctico e b é a latitude galáctica.

A magnitude aparente relaciona-se com a atenuação o fluxo da seguinte forma:

$$m = -2.5 \log I_\lambda + cte, \quad (2.5)$$

onde m é a magnitude aparente.

Como podemos ver, a magnitude aparente é uma função do fluxo observado que, por sua vez, depende da atenuação. Assim, a magnitude aparente é uma função de τ_λ .

A relação entre a magnitude aparente e a absoluta de uma galáxia é dada como

$$B - M_B = -5 + 5 \log d + A_B \quad (2.6)$$

e

$$V - M_V = -5 + 5 \log d + A_V \quad (2.7)$$

onde A_V e A_B são os avermelhamentos galácticos nas bandas V e B respectivamente; d é a distância do objeto até o observador M_B e M_V são as magnitudes absolutas nas bandas B e V respectivamente.

Subtraindo 2.7 de 2.6 ficamos com

$$(B - V) - (M_B - M_V) = A_B - A_V \quad (2.8)$$

Sabendo que $(B - V) - (M_B - M_V)$ é definido com $E(B - V)$ chegamos a

$$E(B - V) = A_B - A_V \quad (2.9)$$

Da curva de extinção galáctica sabemos que $A_B = 4/3 A_V$ logo,

$$E(B - V) = 1/3 A_V \quad (2.10)$$

ou ainda,

$$\frac{A_V}{E(B - V)} = 3 \quad (2.11)$$

Os avermelhamentos galáticos nas direções de NGC 5903, NGC 6868, NGC 3607 e NGC 5044 são $A_V = 0.332$ mag, $A_V = 0.085$ mag, $A_V = 0.035$ mag e $A_V = 0.070$ mag respectivamente (NED) e foram aplicados a todos os espectros referentes a cada objeto.

Tab. 2.5: *Correção por redshift para NGC 6868*

R (")	λ (Å)	V_R (km/s)
0 S	5949.90	2793.89
2.44 S	5949.75	2786.26
4.88 S	5949.74	2785.75
7.32 S	5949.86	2791.85
9.76 S	5949.66	2781.68
12.20 S	5949.70	2783.71
14.64 S	5949.87	2792.36
17.08 S	5949.65	2781.17
2.44 N	5949.80	2788.80
4.88 N	5949.51	2774.04
7.32 N	5949.77	2787.28
9.76 N	5949.59	2778.12
12.20 N	5949.88	2792.87
14.64 N	5949.21	2759.78
17.08 N	5949.11	2753.69

Table Notes. Na coluna 2 estão dados os λ centrais medidos para NaI . O valor de λ de repouso para NaI é 5895 Å. Na coluna 3 estão os valores da velocidade radial. S e N representam um lado e o outro da extração.

Tab. 2.6: *Correção por redshift para NGC 5903*

R (")	λ (Å)	V_R (km/s)
0 S	5943.47	2466.67
3.05 S	5943.47	2466.67
6.10 S	5943.03	2444.27
9.15 S	5943.43	2464.63
12.20 S	5943.44	2465.14
15.25 S	5943.37	2461.58
18.30 S	5943.33	2459.54
24.40 S	5944.24	2505.85
3.05 N	5943.26	2455.98
6.10 N	5943.01	2443.26
9.15 N	5943.05	2445.29
12.20 N	5943.33	2459.54
15.25 N	5943.73	2479.90
18.30 N	5943.38	2462.09
24.40 N	5944.20	2503.82

Table Notes. Na coluna 2 estão dados os λ centrais medidos para NaI . O valor de λ de repouso para NaI é 5895 Å. Na coluna 3 estão dados os valores de velocidades para correção.

NGC 6868

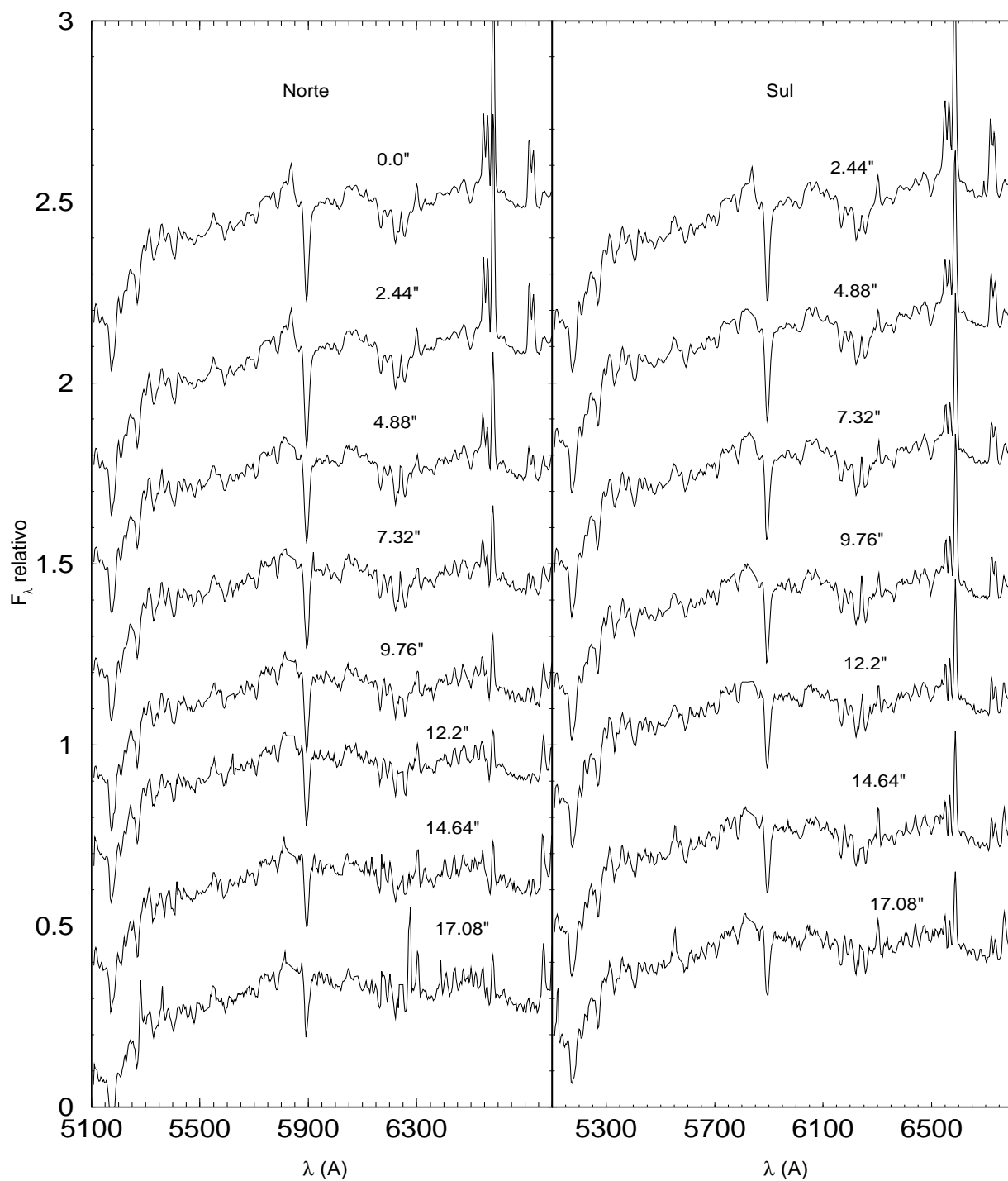


Fig. 2.2: Espectros médios de NGC6868 corrigidos por avermelhamento galáctico e redshift. A distância ao centro, em segundos de arco, está indicada na parte superior de cada espectro.

NGC 5903

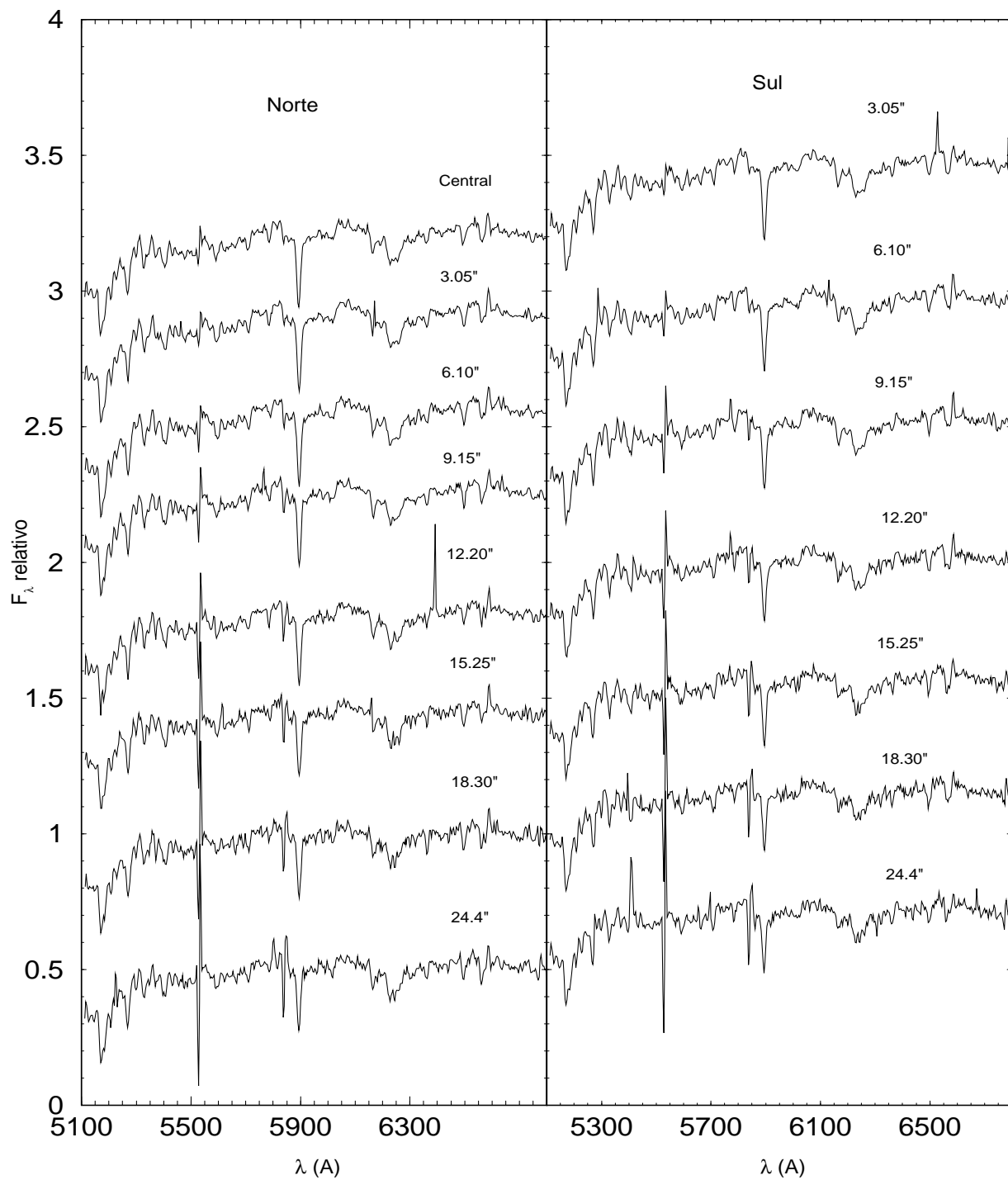


Fig. 2.3: Espectros corrigidos de NGC 5903. Idem à Fig 2.2

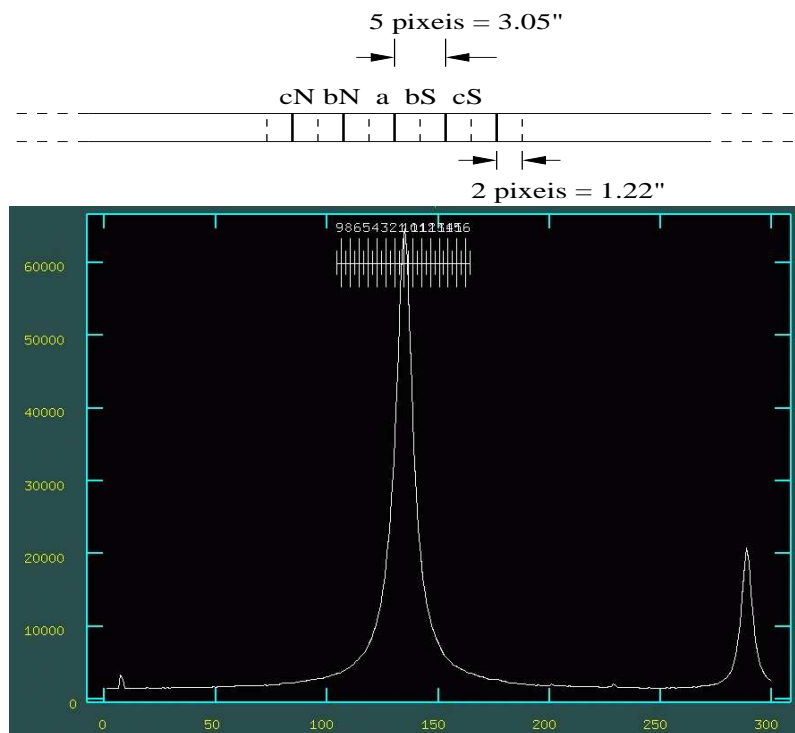


Fig. 2.4: Perfil de emissão e esquema de extração dos espectros de NGC 5903

NGC 3607

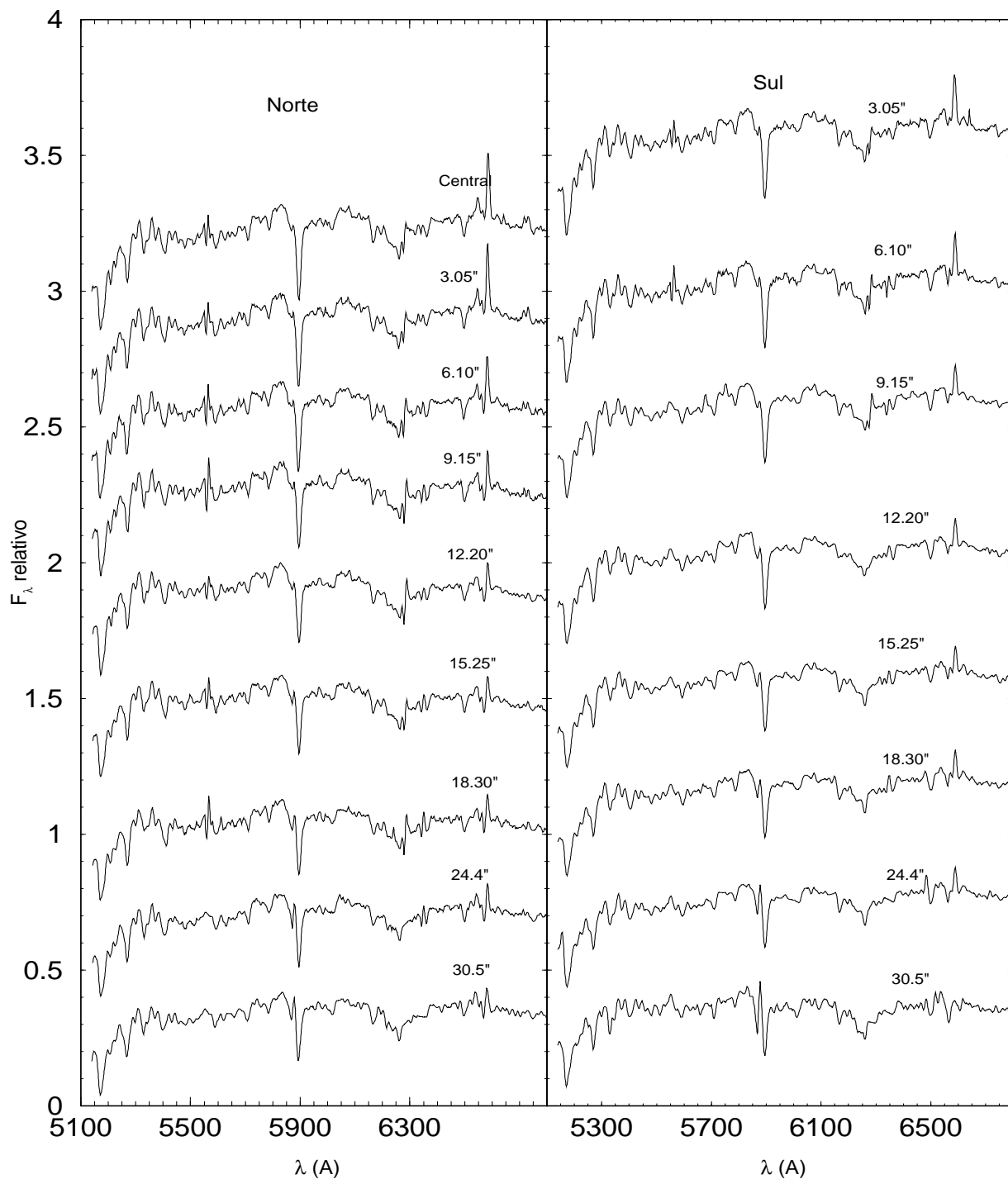


Fig. 2.5: Espectros corrigidos de NGC 3607. Idem à Fig 2.2

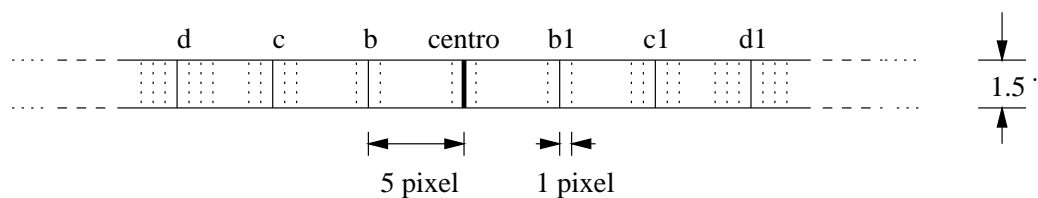


Fig. 2.6: Esquema da extração dos espectros observados de NGC 5044

Tab. 2.7: Correção por redshift para NGC 3607

R (")	λ (Å)	V_R (km/s)
0 S	5912.06	865.69
3.05 S	5911.20	822.17
6.10 S	5910.42	782.68
9.15 S	5910.02	762.43
12.20 S	5910.31	777.12
15.25 S	5910.00	761.42
18.30 S	5909.56	739.14
24.40 S	5909.57	739.64
30.50 S	5909.88	755.34
3.05 N	5911.23	823.68
6.10 N	5911.36	830.25
9.15 N	5911.23	823.68
12.20 N	5911.13	818.62
15.25 N	5911.56	840.39
18.30 N	5911.58	841.40
24.40 N	5912.27	876.31
30.50 N	5912.45	885.43

Table Notes. Velocidades observadas e utilizadas para correção do redshift.

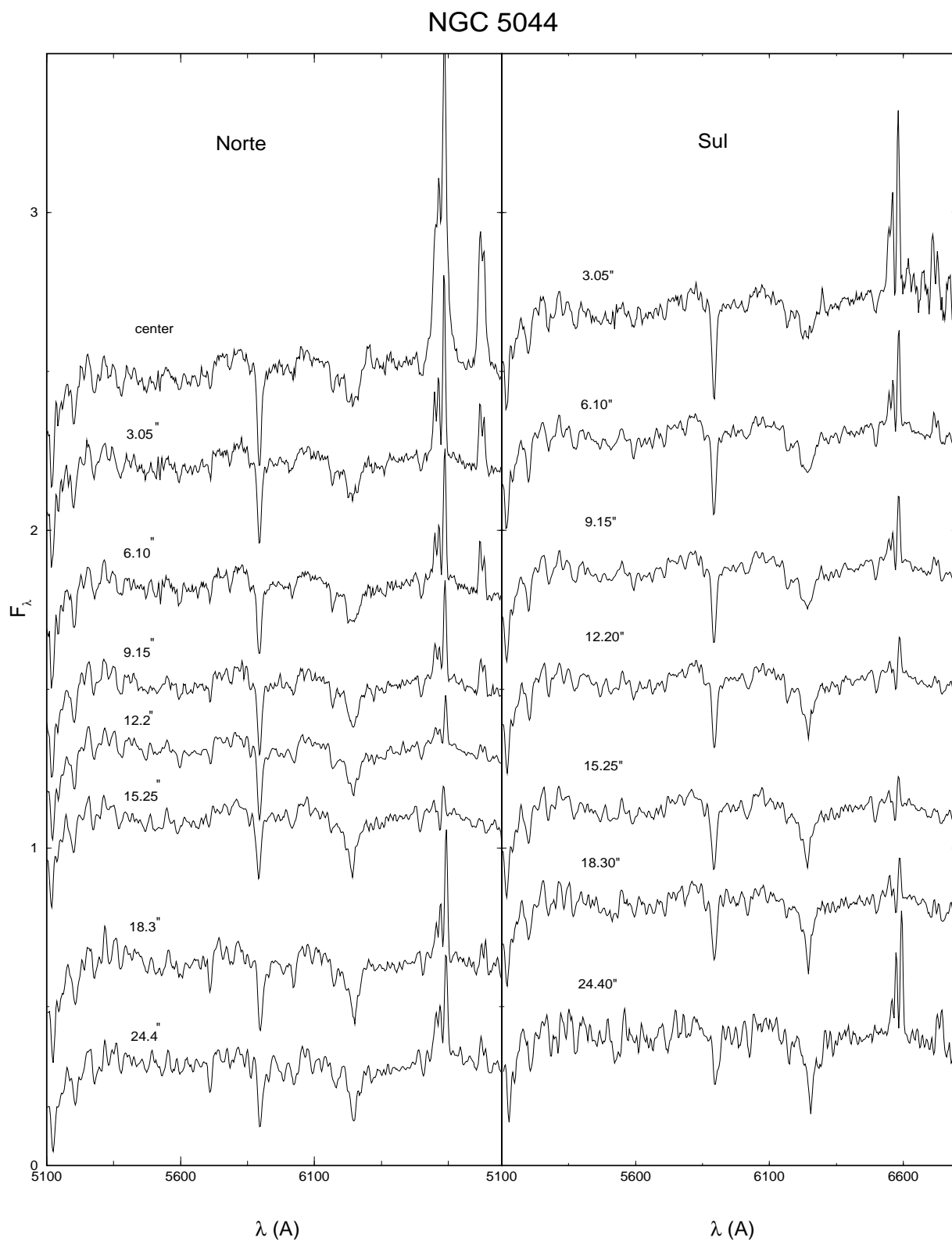


Fig. 2.7: Espectros médios e corrigidos por avermelhamento galáctico e redshift. A distância ao centro, em segundos de arco, é dada na parte superior de cada espectro.

Tab. 2.8: *Correção por redshift para NGC 5044*

R (")	V_R (km/s)
0 S	2638.7
3.05 S	2638.6
6.10 S	2590.8
9.15 S	2564.8
12.20 S	2526.8
15.25 S	2483.4
18.30 S	2462.9
24.40 S	2363.9
3.05 N	2649.3
6.10 N	2611.3
9.15 N	2630.0
12.20 N	2610.2
15.25 N	2528.7
18.30 N	2684.9
24.40 N	2597.4

Table Notes. Velocidades observadas e utilizadas para correção devida ao redshift.

Capítulo 3

Medida das Larguras Equivalentes

Uma linha de absorção em um espectro é completamente caracterizada pelo seu perfil, o qual corresponde à distribuição de energia em função do comprimento de onda, e seu estudo fornece informações tanto sobre as condições físicas quanto sobre a composição química do meio em que se origina. Normalmente, o que se estuda é a largura equivalente da linha (W_λ), medida em unidades de comprimento de onda, que representa a largura que a linha teria se, com a mesma energia subtraída do contínuo, sua intensidade fosse unitária. Se observarmos a Figura 3.1, vemos que, se F_c representa o fluxo no contínuo adjacente e F_λ o fluxo no interior da linha, a largura equivalente (W_λ) pode ser definida como:

$$W_\lambda = \int_0^\infty \frac{F_c - F_\lambda}{F_c} d\lambda \quad (3.1)$$

Na prática, a integração se restringe ao domínio da linha.

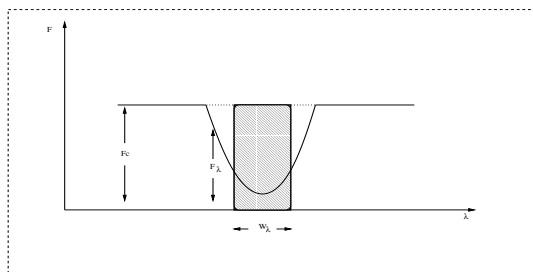


Fig. 3.1: *Representação esquemática de uma linha de absorção e seu contínuo adjacente. A largura equivalente (W_λ) é definida como sendo a largura do retângulo que possui a mesma área da linha em estudo.*

As larguras equivalentes de algumas linhas de absorção, assim como o fluxo no contínuo dessas linhas, carregam importantes informações sobre a abundância química e população estelar de uma galáxia.

Com o objetivo de padronizar tais medidas alguns astrônomos como Faber et al. (1985) e Bica & Aloin (1986a) definiram pontos de contínuos e banda passante para várias linhas de absorção. Para as linhas atômicas, os índices espectrofotométricos são normalmente definidos em unidades de comprimento de onda (\AA), enquanto que para as linhas moleculares são definidos em magnitudes.

3.1 Índices de Lick

Utilizamos para este trabalho os índices definidos por Faber et al. (1985) e Worthey et al. (1994). Os autores definiram 21 índices espectroscópicos para diferentes bandas. Esse sistema, conhecido como índices de Lick, foi definido a partir de um conjunto de espectros de aglomerados observados entre 1972 e 1984, com o dispositivo IDS (red-sensitive image dissector) no espectrógrafo Cassegrain, no observatório de Lick.

A descrição completa do método observacional utilizado está em Burstein et al.(1984), Faber et al.(1985) e Trager et al.(1997). Todos os espectros observados encontram-se entre 4000\AA e 6400\AA , com uma resolução que varia entre 8\AA e 10\AA .

Neste trabalho, devido à cobertura espectral observada ($\lambda 5100 \text{\AA} - \lambda 6800 \text{\AA}$), utilizamos para a análise, alguns índices de Lick, que são a banda de $\text{Mg}_{2\lambda 5176}$ e as linhas do ferro neutro $\text{FeI}_{\lambda 5270}$, $\text{FeI}_{\lambda 5335}$, $\text{FeI}_{\lambda 5406}$, $\text{FeI}_{\lambda 5709}$, $\text{FeI}_{\lambda 5782}$ e $\text{NaI}_{\lambda 5895}$ e $\text{Tio}_{\lambda 6237}$. Esses índices são sensíveis à idade e metalicidade da população estelar e, portanto, convenientes para a análise da história de formação estelar de uma galáxia (Faber et al.,1985; Bica 1988). Os índices utilizados nesse trabalho estão na Tabela 3.1.

As medidas das larguras equivalentes (W_λ) foram realizadas da seguinte forma: 1) primeiramente, com o auxílio do IRAF, marcamos os pontos adjacentes, indicados por Faber et al.(1985) à direita e à esquerda da linha de absorção a ser medida (pontos a, b, c, d na Figura 3.2); esses pontos são definidos levando em conta a flutuação do espectro dentro do intervalo definido acima; 2) marcamos um ponto do contínuo entre os pontos **a** e **b** e outro entre os pontos **c** e **d** (pontos K e L). Com os pontos K e L definidos, traçamos o contínuo adjacente; 3) finalmente, definimos a janela marcando os dois pontos da banda passante sobre nosso contínuo adjacente (pontos m e n) e fazemos a leitura do valor de W_λ .

3.1.1 Correção dos índices de Lick pela dispersão de velocidades das estrelas da galáxia

A dispersão de velocidades (σ) das estrelas de uma galáxia pode causar um alargamento nas linhas de emissão ou absorção dos espectros dessa galáxia, com isso as larguras equivalentes (EW) medidas nesse objeto não corresponderiam aos valores reais.

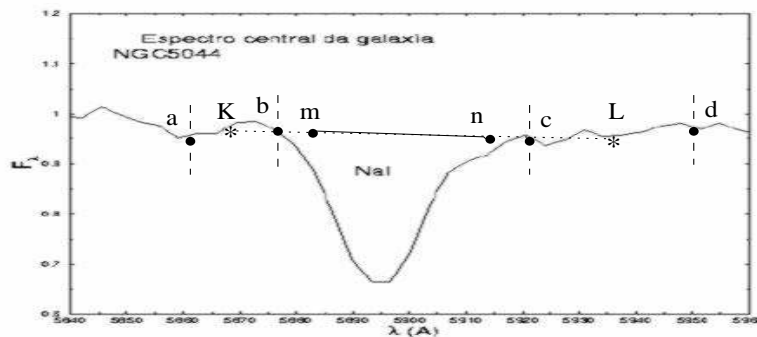


Fig. 3.2: *Esquema de medição de largura equivalente utilizando o método de Lick.*

Para corrigir esse efeito utilizamos a estrela HR7333 observada nas mesmas condições que os espectros das galáxias e que não têm rotação significativa, logo o perfil de suas linhas espectrais corresponde ao perfil instrumental e procedemos da seguinte forma:

Primeiramente medimos, no espectro da estrela, as larguras equivalentes das mesmas linhas medidas no espectro da galáxia (ewo) e logo a seguir convoluímos o espectro com uma gaussiana utilizando valores de σ variando desde 0 km s^{-1} até σ_{max} com intervalos adequados referentes à cada região da galáxia estudada. Medimos novamente as larguras equivalentes nos espectros convoluídos (ewc). A razão entre ewo e ewc indica o fator de correção que deve ser aplicado na largura equivalente da linha da galáxia.

3.1.2 Medida dos índices de Lick em NGC 6868

Cada largura equivalente foi medida três vezes levando-se em conta as incertezas na definição dos pontos do contínuo. Com esses resultados, calculamos o desvio padrão correspondente; assim estimamos o erro para cada largura equivalente medida.

Como mencionado anteriormente, a dispersão de velocidades das estrelas que compõem a galáxia afeta a largura das linhas de absorção e emissão dos espectros. O método utilizado para corrigir as larguras equivalentes das linhas está dado a seguir.

Tab. 3.1: Definição dos índices de Lick

Índices	Linha/Banda	Banda Passante (Å)	Contínuo Adjacente (Å)
$Mg_{2\lambda 5176}$	Mg_2	5161.37—5193.87	5143.87—5162.62 5192.62—5207.62
$Fe_{\lambda 5270}$	FeI	5247.37—5287.37	5234.87—5249.87 5287.37—5319.87
$Fe_{\lambda 5335}$	FeI	5314.12—5354.12	5306.62—5317.87 5355.37—5365.37
$Fe_{\lambda 5406}$	FeI	5390.25—5417.75	5379.00—5390.25 5417.75—5427.75
$Fe_{\lambda 5709}$	FeI	5698.37—5722.12	5674.62—5698.37 5724.62—5738.37
$Fe_{\lambda 5782}$	FeI	5778.37—5798.37	5767.12—5777.12 5799.62—5813.37
$NaI_{\lambda 5895}$	NaI	5878.62—5911.12	5862.37—5877.37 5923.87—5949.87
$TiOII_{\lambda 5895}$	$TiOII$	6191.37—6273.87	6068.37—6143.37 6374.75—6416.87

Correção das Larguras Equivalentes pela dispersão de velocidades das estrelas em NGC 6868

Os valores da dispersão de velocidades para este objeto estão dados em Caon et al. (2000). É importante lembrar que os valores de σ apresentados pelos autores estão na unidade de $km\ s^{-1}$ e a rotina **gauss** do IRAF, que convolui um espectro unidimensional com uma gaussiana só aceita valores de σ em pixel, então tivemos que utilizar a equação 3.2 para obter os valores de correção que devem ser aplicados à cada largura equivalente medida em uma determinada região ($\Delta\lambda$):

$$\Delta\lambda = \frac{\sigma \lambda_{line}}{c} \quad (3.2)$$

onde, λ_{line} representa o comprimento de onda da linha correspondente e c representa a velocidade da luz no vácuo medida em $km\ s^{-1}$.

Para NGC 6868 1 pixel equivale a 3.432 Å. Como para esse objeto os valores de σ não são simétricos, os valores de correção calculados para cada região de extração também não são simétricos para o sul e norte. Os valores de correção estão dados na Tab 3.1.2.

Tab. 3.2: Valores das correções aplicados às larguras equivalentes para corrigí-las por alargamento devido à dispersão de velocidades das estrelas de NGC 6868

λ (Å)	centro	2.44"	4.88"	7.32"	9.76"	12.2"	14.64"	17.08"
5176	1.21	1.22	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.24
5270	1.10	1.12	1.11	1.11	1.11	1.11	1.10	1.13
5335	1.22	1.26	1.23	1.23	1.23	1.23	1.26	1.27
5406	1.20	1.23	1.24	1.24	1.24	1.24	1.23	1.24
5709	1.13	1.16	1.15	1.15	1.15	1.15	1.16	1.18
5782	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.25
5895	1.09	1.10	1.09	1.10	1.10	1.10	1.10	1.09
6237	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.09

Os valores apresentados nessa tabela devem ser aplicados aos espectros observados na mesma.

Os valores de larguras equivalentes já corrigidos pela dispersão de velocidades e os pontos de contínuos estão dados nas Tab 3.3 e Tab 3.14 respectivamente.

Tab. 3.3: Larguras equivalentes para os espectros de NGC 6868

r (")	r/re	$Mg_2 \lambda_{5176}$	Mg_2 index	$FeI_{\lambda 5270}$	$FeI_{\lambda 5335}$	$FeI_{\lambda 5406}$	$FeI_{\lambda 5709}$	$FeI_{\lambda 5782}$	$NaI_{\lambda 5895}$	$TiO_{II \lambda 6237}$
0.00	0.00	9.25 ± 0.04	0.27 ± 0.001	3.71 ± 0.09	3.34 ± 0.05	2.54 ± 0.01	1.23 ± 0.02	1.26 ± 0.02	5.51 ± 0.02	5.78 ± 0.13
2.44S	0.06	8.64 ± 0.19	0.25 ± 0.005	3.53 ± 0.38	3.12 ± 0.16	2.36 ± 0.12	1.20 ± 0.05	1.29 ± 0.03	5.43 ± 0.02	5.78 ± 0.12
4.88S	0.12	8.02 ± 0.23	0.23 ± 0.006	3.29 ± 0.23	3.21 ± 0.41	2.52 ± 0.04	1.19 ± 0.06	1.07 ± 0.02	4.68 ± 0.04	4.52 ± 0.15
7.32S	0.18	8.03 ± 0.12	0.23 ± 0.003	3.57 ± 0.17	3.08 ± 0.07	2.35 ± 0.10	1.15 ± 0.04	0.98 ± 0.02	4.54 ± 0.03	4.68 ± 0.17
9.76S	0.24	7.70 ± 0.23	0.22 ± 0.006	3.16 ± 0.13	2.49 ± 0.18	2.14 ± 0.11	1.01 ± 0.07	0.84 ± 0.05	4.04 ± 0.03	4.00 ± 0.20
12.2S	0.31	7.38 ± 0.15	0.21 ± 0.004	3.31 ± 0.28	2.42 ± 0.07	1.57 ± 0.05	1.00 ± 0.09	0.93 ± 0.02	4.01 ± 0.09	3.85 ± 0.18
14.64S	0.37	6.42 ± 0.23	0.18 ± 0.006	1.99 ± 0.06	2.36 ± 0.19	1.57 ± 0.05	0.90 ± 0.12	0.86 ± 0.05	3.92 ± 0.10	4.43 ± 0.23
17.08S	0.43	7.06 ± 0.22	0.20 ± 0.006	2.17 ± 0.19	2.10 ± 0.17	1.56 ± 0.04	0.95 ± 0.01	0.89 ± 0.01	3.52 ± 0.10	3.51 ± 0.25
2.44N	0.06	8.94 ± 0.13	0.26 ± 0.003	3.61 ± 0.13	3.01 ± 0.07	2.41 ± 0.16	1.15 ± 0.03	1.10 ± 0.01	5.48 ± 0.01	5.77 ± 0.15
4.88N	0.12	7.77 ± 0.30	0.22 ± 0.008	3.51 ± 0.16	3.06 ± 0.06	2.36 ± 0.17	1.15 ± 0.03	0.92 ± 0.03	4.88 ± 0.03	5.58 ± 0.16
7.32N	0.18	7.70 ± 0.15	0.22 ± 0.004	3.23 ± 0.20	2.73 ± 0.11	2.48 ± 0.05	0.81 ± 0.01	1.02 ± 0.08	4.59 ± 0.05	5.28 ± 0.19
9.76N	0.24	7.45 ± 1.19	0.21 ± 0.005	3.13 ± 0.09	2.68 ± 0.11	2.43 ± 0.13	1.04 ± 0.04	0.97 ± 0.02	4.27 ± 0.03	4.39 ± 0.14
12.2N	0.31	7.72 ± 0.15	0.21 ± 0.004	3.01 ± 0.26	2.85 ± 0.04	2.21 ± 0.09	1.02 ± 0.04	0.90 ± 0.07	4.17 ± 0.09	4.77 ± 0.23
14.64N	0.37	6.78 ± 0.14	0.18 ± 0.004	2.94 ± 0.21	2.81 ± 0.03	2.41 ± 0.16	0.92 ± 0.04	1.10 ± 0.13	4.10 ± 0.12	4.45 ± 0.23
17.08N	0.43	6.06 ± 0.15	0.17 ± 0.004	2.60 ± 0.15	2.36 ± 0.16	1.77 ± 0.13	0.77 ± 0.02	0.99 ± 0.02	3.72 ± 0.11	4.37 ± 0.22

Table Notes. : Na tabela estão dados os valores das larguras equivalentes para cada linha de absorção, corrigidas por dispersão de velocidades das estrelas de NGC 6868. As larguras equivalentes estão dadas em Angstroms, exceto para $Mg_2 \lambda_{5176}$ que é medida em magnitude.

3.1.3 Gradientes dos índices de Lick em NGC 6868

Como podemos ver no trabalho de Bica (1988), a largura equivalente de uma linha de absorção contém informações importantes relacionadas à metalicidade e idade da população estelar de uma galáxia. Esta seção tem como objetivo investigar estas propriedades através do comportamento dos índices de Lick com a distância ao centro da galáxia.

A Figura 3.3 mostra o comportamento dos índices FeI , Mg_2 , TiO e NaI em função da distância ao centro em unidades de raios efetivos da galáxia (r/r_e).

A distância de cada extração ao centro da galáxia ao longo do eixo maior está normalizada pelo raio efetivo r_e que está corrigido considerando a elipticidade aparente da seguinte forma: $r_{ec} = r_e(1 - \epsilon)^{-1/2}$ ao longo do eixo maior (Davies et al. 1993 e Kobayashi & Arimoto 1999), onde r_{ec} é o raio efetivo corrigido e ϵ é a elipticidade da galáxia.

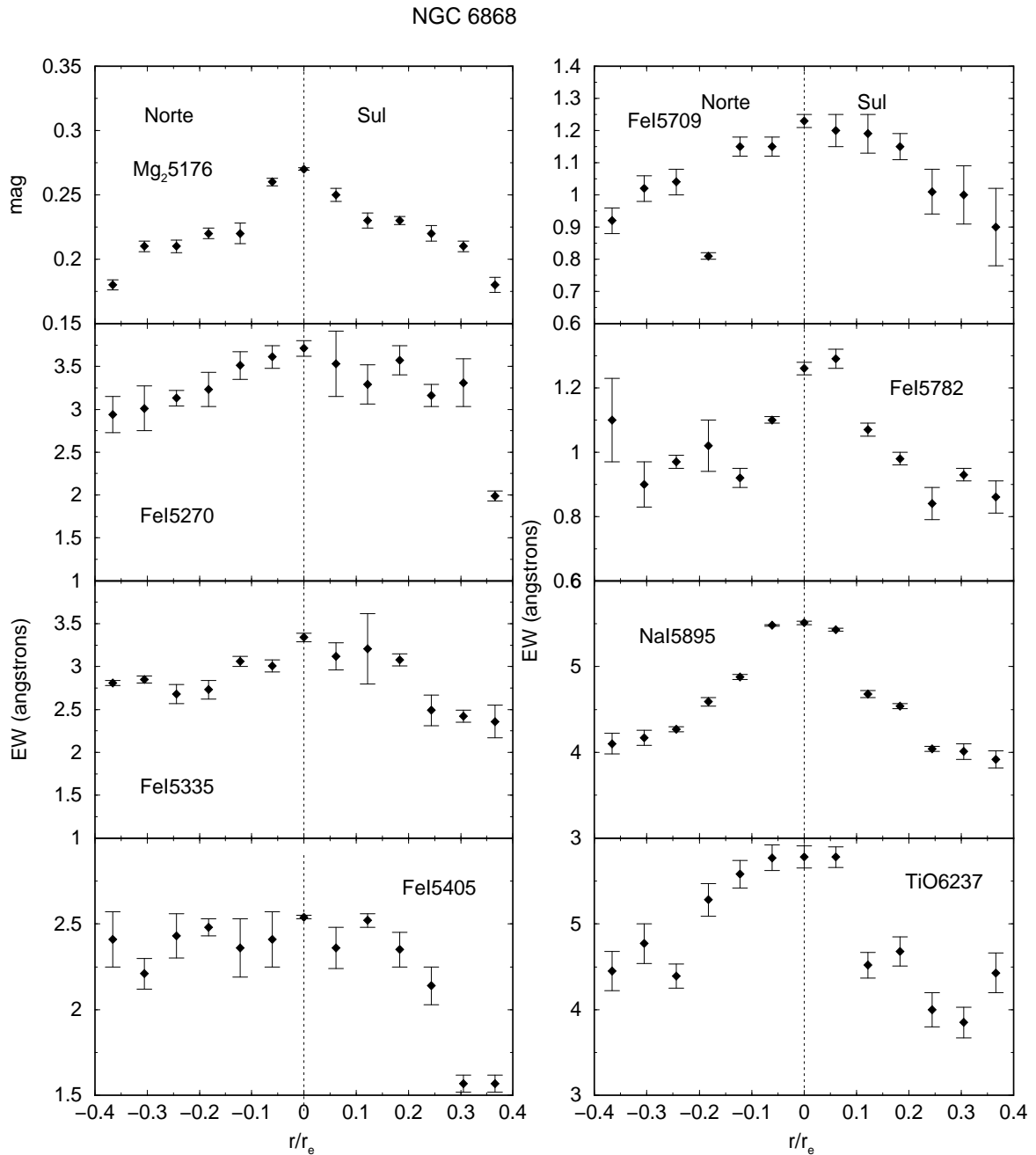


Fig. 3.3: Variação espacial de EW em NGC 6868

Podemos ver nos painéis da Figura 3.3 que todos os índices de Lick apresentam um pronunciado gradiente. Podemos observar ainda, que as larguras equivalentes de todas as linhas de FeI , Mg_2 , TiO e NaI dos espectros de NGC 6868 apresentam um gradiente no mesmo sentido, decrescente do centro da galáxia para regiões mais externas.

Calculamos o gradiente radial dos índices de Lick como uma função do logaritmo do raio normalizado usando uma regressão linear

$$Index(\log(r/r_e)) = Index_e + \frac{\Delta Index}{\Delta \log(r)} \log(r/r_{ec}), \quad (3.3)$$

onde $Index_e = Index(\log(r_{ec}/r_{ec})) = 0$ é a constante de regressão linear.

Na Tabela 3.4 estão dados os respectivos resultados do cálculo dos gradientes para cada índice medido neste trabalho.

Tab. 3.4: *NGC 6868*

Index	Gradiente Sul	Gradiente norte
$Mg_2\lambda_{5156}$	-1.04 ± 0.14	-1.06 ± 0.12
$FeI\lambda_{5270}$	-1.41 ± 0.13	-0.92 ± 0.14
$FeI\lambda_{5335}$	-1.14 ± 0.12	-0.59 ± 0.11
$FeI\lambda_{5406}$	-0.89 ± 0.12	-0.58 ± 0.12
$FeI\lambda_{5709}$	-0.25 ± 0.13	-0.34 ± 0.11
$FeI\lambda_{5782}$	-0.33 ± 0.11	-0.10 ± 0.13
$NaI\lambda_{5895}$	-1.82 ± 0.14	-1.61 ± 0.14
$TiOII\lambda_{6237}$	-2.08 ± 0.15	-1.28 ± 0.13

Table Notes. Gradiente dos índices de Lick para NGC 6868.

Em capítulos posteriores discutiremos mais detalhadamente esses gradientes utilizando um método comparativo baseado nos resultados obtidos com a síntese de população estelar.

3.1.4 Medida dos índices de Lick em NGC 5903

As larguras equivalentes e os pontos de contínuos, assim como os seus erros foram calculados da mesma forma que para NGC 6868. A dispersão de velocidade das estrelas desse objeto é 256 km s^{-1} e portanto, devemos corrigir os índices de Lick por σ .

Correção dos índices de Lick pela dispersão de velocidades das estrelas em NGC 5903

Assim como NGC 6868, os espectros de NGC 5903 têm uma escala de 3.42 Å/pixel. Os valores de correção por σ calculados para cada região não são simétricos para o sul e norte. Os valores das correções estão dados nas Tabelas 3.1.4 e 3.1.4.

Os valores dos índices de Lick já corrigidos pela dispersão de velocidade estão listados na Tab 3.7.

Tab. 3.5: *Valores das correções aplicadas aos índices de Lick ao lado sul de NGC 5903 para corrigi-las por alargamento devido à dispersão de velocidades das estrelas.*

λ (Å)	centro	3.05"	6.10"	9.15"	12.20"	15.25"	18.30"	24.40"
5176	1.07	1.08	1.06	1.05	1.05	1.05	1.05	1.08
5270	1.10	1.09	1.07	1.08	1.08	1.08	1.08	1.09
5335	1.26	1.25	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.25
5406	1.36	1.29	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.29
5709	1.40	1.35	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.35
5782	1.45	1.45	1.32	1.28	1.28	1.28	1.28	1.45
5895	1.06	1.04	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
6237	1.14	1.13	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.13

Tab. 3.6: *Valores aplicados aos índices de Lick medidos ao norte de NGC 5903 para corrigi-los por dispersão de velocidades das estrelas.*

λ (Å)	3.05"	6.10"	9.15"	12.20"	15.25"	18.30"	24.40"
5176	1.09	1.09	1.09	1.09	1.08	1.09	1.09
5270	1.12	1.12	1.13	1.13	1.09	1.13	1.12
5335	1.26	1.26	1.25	1.25	1.23	1.25	1.26
5406	1.39	1.39	1.34	1.34	1.29	1.34	1.39
5709	1.35	1.35	1.37	1.37	1.40	1.37	1.35
5782	1.40	1.40	1.45	1.45	1.45	1.45	1.40
5895	1.05	1.05	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05
6237	1.14	1.14	1.13	1.13	1.13	1.13	1.14

Na Tabela 3.7 estão dados os valores dos índices de Lick medidos em NGC 5903 corrigidos pelo efeito de alargamento devido à dispersão de velocidade das estrelas.

Tab. 3.7: *Larguras equivalentes medidas nos espectros de NGC 5903*

r (")	r/re	$Mg_2\lambda_{5176}$	Mg_2 index	$FeI_{\lambda 5270}$	$FeI_{\lambda 5335}$	$FeI_{\lambda 5406}$	$FeI_{\lambda 5709}$	$FeI_{\lambda 5782}$	$NaI_{\lambda 5895}$	$TiOII_{\lambda 6237}$
center	0.00	10.64 ± 0.22	0.32 ± 0.01	3.59 ± 0.41	3.71 ± 0.01	2.17 ± 0.02	1.37 ± 0.01	1.22 ± 0.02	5.08 ± 0.28	7.70 ± 0.10
3.05 S	0.08	10.51 ± 0.02	0.31 ± 0.01	3.85 ± 0.15	3.66 ± 0.03	2.37 ± 0.01	1.08 ± 0.03	1.17 ± 0.04	4.84 ± 0.06	5.57 ± 0.10
6.10 S	0.16	10.79 ± 0.02	0.32 ± 0.01	4.30 ± 0.59	3.02 ± 0.02	2.33 ± 0.02	1.35 ± 0.02	1.19 ± 0.02	4.21 ± 0.05	5.24 ± 0.05
9.15 S	0.25	10.70 ± 0.02	0.31 ± 0.01	3.68 ± 0.01	3.40 ± 0.03	2.69 ± 0.05	1.23 ± 0.02	1.23 ± 0.05	3.88 ± 0.11	4.73 ± 0.07
12.20S	0.33	19.34 ± 0.02	0.27 ± 0.01	3.44 ± 0.11	3.47 ± 0.10	2.10 ± 0.03	1.41 ± 0.03	1.13 ± 0.04	3.97 ± 0.14	5.61 ± 0.04
15.25S	0.41	9.04 ± 0.16	0.26 ± 0.02	2.94 ± 0.12	3.13 ± 0.05	2.09 ± 0.03	1.33 ± 0.01	1.13 ± 0.02	3.70 ± 0.10	5.34 ± 0.08
18.30S	0.49	9.59 ± 0.22	0.29 ± 0.01	3.26 ± 0.14	3.02 ± 0.07	1.74 ± 0.12	1.30 ± 0.04	0.97 ± 0.03	3.31 ± 0.13	4.70 ± 0.08
24.40S	0.66	9.55 ± 0.08	0.28 ± 0.02	2.63 ± 0.50	3.09 ± 0.04	2.08 ± 0.13	1.35 ± 0.07	0.95 ± 0.02	3.41 ± 0.15	5.50 ± 0.14
3.05 N	0.08	10.48 ± 0.06	0.31 ± 0.01	3.45 ± 0.23	2.40 ± 0.06	1.78 ± 0.02	1.09 ± 0.03	1.09 ± 0.03	4.96 ± 0.10	7.14 ± 0.09
6.10 N	0.16	10.26 ± 0.06	0.30 ± 0.01	3.39 ± 0.10	3.35 ± 0.04	2.16 ± 0.03	1.23 ± 0.02	0.91 ± 0.03	4.60 ± 0.07	6.54 ± 0.10
9.15 N	0.25	9.83 ± 0.08	0.29 ± 0.02	3.62 ± 0.09	2.99 ± 0.05	2.60 ± 0.01	1.11 ± 0.02	0.86 ± 0.04	4.24 ± 0.08	6.08 ± 0.07
12.20N	0.33	8.49 ± 0.08	0.25 ± 0.02	3.59 ± 0.10	3.03 ± 0.06	2.03 ± 0.03	0.95 ± 0.05	0.89 ± 0.02	4.09 ± 0.12	4.97 ± 0.09
15.25N	0.41	9.56 ± 0.06	0.28 ± 0.02	3.45 ± 0.07	2.74 ± 0.03	2.49 ± 0.02	1.27 ± 0.03	0.91 ± 0.05	4.12 ± 0.15	5.99 ± 0.05
18.30N	0.49	9.41 ± 0.04	0.27 ± 0.01	3.39 ± 0.09	3.37 ± 0.15	2.23 ± 0.03	1.34 ± 0.02	1.01 ± 0.02	3.76 ± 0.07	4.90 ± 0.08
24.40N	0.66	10.14 ± 0.17	0.30 ± 0.02	3.28 ± 0.06	3.33 ± 0.06	1.98 ± 0.03	1.09 ± 0.02	0.72 ± 0.10	3.35 ± 0.08	5.48 ± 0.15

Table Notes. Na tabela estão dados os valores dos índices de Lick para cada linha de absorção, corrigidas por dispersão de velocidades das estrelas da galáxia NGC 5903. $mg_2\lambda_{5176}$ está medida em magnitude.

3.1.5 Gradientes dos índices de Lick em NGC 5903

A Figura 3.4 apresenta a dependência das larguras equivalentes das linhas de absorção $FeI_{\lambda 5270}$, $FeI_{\lambda 5335}$, $FeI_{\lambda 5406}$, $FeI_{\lambda 5709}$, $FeI_{\lambda 5782}$, $Mg_{2\lambda 5176}$, $NaI_{\lambda 5895}$ e $TiO_{\lambda 6237}$ nos espectros de NGC 5903.

Os valores calculados dos gradientes dos índices de Lick para NGC 5903 estão dados na Tabela 3.8.

Tab. 3.8: *NGC 5903*

Index	Gradiente Sul	Gradiente norte
$Mg_{2\lambda 5156}$	-1.02 ± 0.14	-1.00 ± 0.13
$FeI_{\lambda 5270}$	-0.90 ± 0.13	-0.16 ± 0.11
$FeI_{\lambda 5335}$	-0.58 ± 0.11	0.87 ± 0.12
$FeI_{\lambda 5406}$	-0.08 ± 0.12	0.18 ± 0.11
$FeI_{\lambda 5709}$	-0.02 ± 0.11	0.00
$FeI_{\lambda 5782}$	-0.25 ± 0.12	-0.34 ± 0.11
$NaI_{\lambda 5895}$	-1.56 ± 0.14	-0.51 ± 0.12
$TiOII_{\lambda 6237}$	-2.06 ± 0.15	-1.55 ± 0.13

Table Notes. Gradiente dos índices de Lick para NGC 5903.

Os painéis (a), (b), (f), (g) e (h) mostram que os índices $Mg_{2\lambda 5176}$, $FeI_{\lambda 5270}$, $FeI_{\lambda 5335}$, $NaI_{\lambda 5895}$ e $TiO_{\lambda 6237}$ apresentam gradiente negativo, sendo mais expressivo o gradiente de $NaI_{\lambda 5895}$. Podemos ver também que para esse objeto, assim como para NGC 6868, os gra-

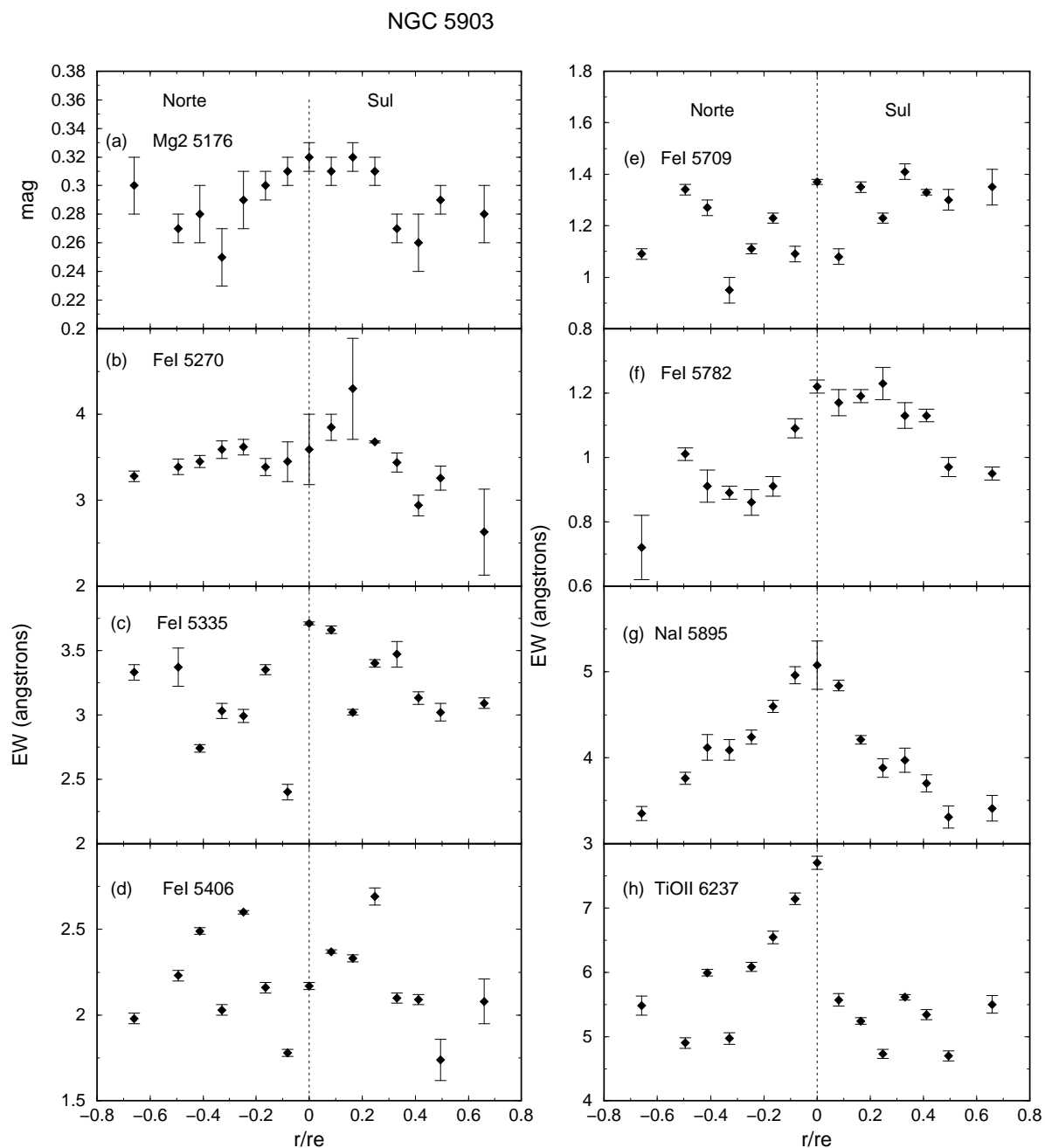


Fig. 3.4: *Varição espacial de W_λ em NGC 5903.*

dientes apresentam o mesmo sentido de inclinação. O comportamento de $\text{FeI}_{\lambda 5782}$ é muito assimétrico, não caracterizando um gradiente dessa linha.

3.1.6 Medida dos índices de Lick em NGC 3607

Assim como para NGC 6868 e NGC 5903, as larguras equivalentes medidas em NGC 3607 foram corrigidas pela dispersão de velocidade das estrelas.

Correção dos índices de Lick pela dispersão de velocidades das estrelas em NGC 3607

Calculamos os valores de correção por σ para cada região seguindo o mesmo método apresentado nas outras galáxias. As correções são simétricas para o sul e norte da galáxia e estão apresentadas na Tabela 3.1.6.

Os valores dos índices de Lick já corrigidos pela dispersão de velocidade estão na Tab 3.7.

Tab. 3.9: *Os valores da tabela foram aplicados às larguras equivalentes observadas em NGC 3607 para corrigi-las por alargamento devido à dispersão de velocidades das estrelas.*

λ (Å)	0.0	3.05"	6.10"	9.15"	12.20"	15.25"	18.30"	24.40"	30.50"
5176	1.22	1.21	1.18	1.18	1.18	1.18	1.17	1.17	1.17
5270	1.12	1.12	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.07	1.07
5335	1.22	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.17	1.22
5406	1.23	1.20	1.25	1.25	1.25	1.30	1.25	1.24	1.23
5709	1.16	1.13	1.21	1.21	1.21	1.21	1.22	1.17	1.21
5782	1.17	1.18	1.15	1.14	1.15	1.14	1.15	1.16	1.14
5895	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.09	1.09
6237	1.09	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.07

As larguras equivalentes medidas na galáxia foram corrigidas pelo efeito de alargamento e estão listadas na Tabela 3.10

3.1.7 Gradientes dos índices de Lick em NGC 3607

A Figura 3.5 apresenta a dependência das larguras equivalentes dos índice de Lick com a distância ao centro de NGC 3607, medido em unidades de raio efetivo. O valor usado de r_e está dado na Cap. 1.

Vimos que, com exceção de $\text{FeI}_{\lambda 5782}$, os índices apresentam um expressivo gradiente indicando que houve um enriquecimento desses elementos na direção da região central da galáxia.

Tab. 3.10: *Larguras equivalentes medidas nos espectros de NGC 3607*

r (")	r/re	$Mg_2 \lambda 5176$	Mg_2 index	$FeI_{\lambda 5270}$	$FeI_{\lambda 5335}$	$FeI_{\lambda 5406}$	$FeI_{\lambda 5709}$	$FeI_{\lambda 5782}$	$NaI_{\lambda 5895}$	$TiOII_{\lambda 6237}$
0.00	0.00	6.10 ± 0.22	0.17 ± 0.01	3.60 ± 0.17	3.75 ± 0.15	2.27 ± 0.04	1.33 ± 0.02	1.01 ± 0.05	5.03 ± 0.21	6.61 ± 0.33
3.05S	0.07	6.03 ± 0.25	0.16 ± 0.01	3.58 ± 0.35	3.29 ± 0.26	2.35 ± 0.09	1.34 ± 0.04	1.06 ± 0.01	5.36 ± 0.22	6.42 ± 0.32
6.10S	0.14	5.78 ± 0.35	0.16 ± 0.01	3.46 ± 0.34	3.13 ± 0.52	2.38 ± 0.03	1.43 ± 0.06	1.15 ± 0.01	4.76 ± 0.25	6.41 ± 0.35
9.15S	0.21	5.49 ± 0.38	0.15 ± 0.01	3.45 ± 0.28	3.38 ± 0.20	2.08 ± 0.11	1.30 ± 0.03	1.29 ± 0.03	4.72 ± 0.30	6.54 ± 0.33
12.20S	0.28	5.56 ± 0.38	0.15 ± 0.01	3.08 ± 0.24	3.07 ± 0.29	2.02 ± 0.15	1.02 ± 0.10	1.26 ± 0.08	4.04 ± 0.27	5.64 ± 0.35
15.25S	0.35	4.97 ± 0.26	0.14 ± 0.01	2.80 ± 0.48	2.76 ± 0.16	2.35 ± 0.06	1.08 ± 0.08	1.12 ± 0.02	4.00 ± 0.24	5.65 ± 0.38
18.30S	0.42	4.95 ± 0.40	0.14 ± 0.01	2.80 ± 0.56	2.73 ± 0.30	2.27 ± 0.07	1.06 ± 0.11	1.01 ± 0.07	3.99 ± 0.31	4.85 ± 0.34
24.40S	0.56	4.89 ± 0.53	0.13 ± 0.01	3.14 ± 0.49	2.76 ± 0.27	1.86 ± 0.14	1.05 ± 0.11	1.33 ± 0.13	3.93 ± 0.32	5.63 ± 0.37
30.50S	0.70	4.92 ± 0.62	0.14 ± 0.01	3.21 ± 0.63	2.65 ± 0.57	1.79 ± 0.18	1.23 ± 0.12	0.92 ± 0.02	3.43 ± 0.32	5.35 ± 0.38
3.05N	0.07	6.03 ± 0.20	0.16 ± 0.01	3.64 ± 0.33	3.43 ± 0.17	2.28 ± 0.04	1.31 ± 0.04	1.00 ± 0.02	5.05 ± 0.23	6.38 ± 0.33
6.10N	0.14	5.89 ± 0.28	0.16 ± 0.01	3.54 ± 0.37	3.34 ± 0.26	2.26 ± 0.15	1.22 ± 0.05	1.03 ± 0.03	4.67 ± 0.30	6.36 ± 0.35
9.15N	0.21	5.52 ± 0.08	0.15 ± 0.01	3.45 ± 0.24	3.15 ± 0.32	2.21 ± 0.16	1.30 ± 0.04	1.19 ± 0.02	4.96 ± 0.27	6.40 ± 0.31
12.20N	0.28	5.39 ± 0.28	0.14 ± 0.01	3.18 ± 0.27	3.00 ± 0.24	2.06 ± 0.09	1.07 ± 0.07	1.18 ± 0.02	4.56 ± 0.31	5.55 ± 0.33
15.25N	0.35	5.09 ± 0.16	0.14 ± 0.01	2.84 ± 0.51	2.55 ± 0.24	2.22 ± 0.10	1.11 ± 0.12	1.03 ± 0.05	4.08 ± 0.25	5.46 ± 0.38
18.30N	0.42	5.00 ± 0.30	0.15 ± 0.01	2.81 ± 0.45	2.74 ± 0.13	2.21 ± 0.10	1.03 ± 0.14	0.95 ± 0.02	4.02 ± 0.27	4.78 ± 0.35
24.40N	0.56	4.93 ± 0.23	0.14 ± 0.01	2.93 ± 0.50	2.74 ± 0.26	1.93 ± 0.13	1.02 ± 0.05	1.29 ± 0.05	3.89 ± 0.30	5.65 ± 0.37
30.50N	0.70	4.89 ± 0.12	0.13 ± 0.01	3.10 ± 0.60	2.59 ± 0.46	1.82 ± 0.23	1.19 ± 0.10	0.98 ± 0.01	3.55 ± 0.31	5.47 ± 0.35

Table Notes. Na tabela estão dados os valores dos índices de Lick para cada linha de absorção, corrigidas por dispersão de velocidades das estrelas da galáxia NGC 5903. $mg_2 5176$ está medida em magnitude.

Os valores calculados dos gradientes dos índices de Lick para NGC 3607 estão dados na Tabela 3.11.

Tab. 3.11: *NGC 3607*

Index	Gradiente Sul	Gradiente norte
$Mg_2 \lambda 5156$	-1.66 ± 0.14	-1.50 ± 0.14
$FeI_{\lambda 5270}$	-0.04 ± 0.12	-0.04 ± 0.12
$FeI_{\lambda 5335}$	-0.62 ± 0.12	-0.61 ± 0.12
$FeI_{\lambda 5406}$	-1.44 ± 0.12	-0.11 ± 0.11
$FeI_{\lambda 5709}$	-0.63 ± 0.12	-0.61 ± 0.12
$FeI_{\lambda 5782}$	-0.12 ± 0.11	-0.07 ± 0.11
$NaI_{\lambda 5895}$	-2.10 ± 0.14	-0.87 ± 0.12
$TiOII_{\lambda 6237}$	-1.66 ± 0.14	-1.20 ± 0.13

Table Notes. Gradiente dos índices de Lick para NGC 3607.

3.1.8 Medida dos índices de Lick em NGC 5044

As medidas dos índices de Lick nos espectros de NGC 5044 foram realizadas durante o mes-trado. A Tabela 3.12 é uma reprodução dos valores para esse objeto.

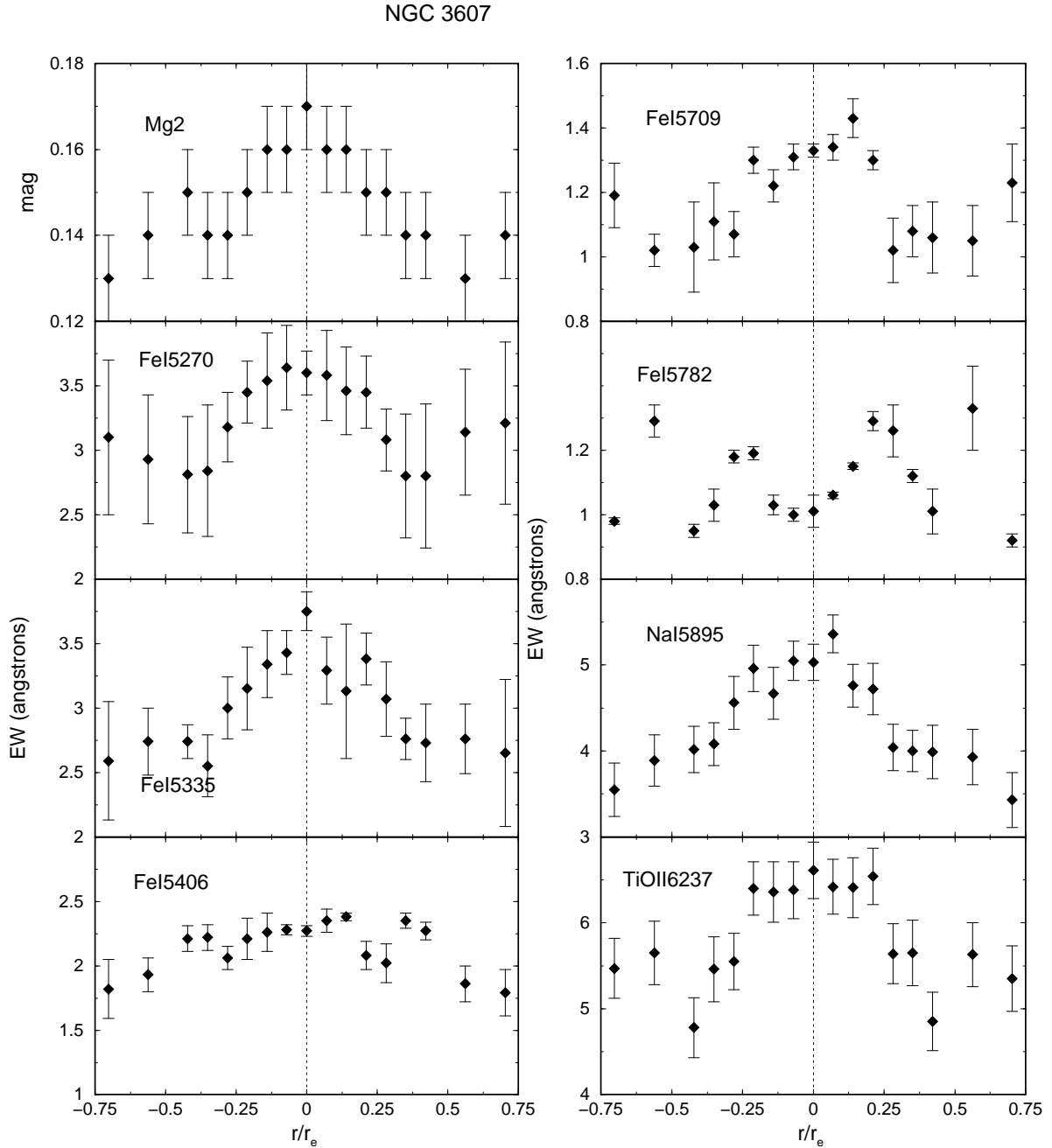


Fig. 3.5: *Variação espacial de W_λ em NGC 3607.*

3.1.9 Gradientes dos índices de Lick em NGC 5044

A distribuição radial dos índices $Mg_{2\lambda 5176}$, $FeI_{\lambda 5270}$ e $FeI_{\lambda 5335}$, corrigidos pela dispersão de velocidades estão dados na Figura 3.6. O índice $Mg_{2\lambda 5176}$ apresenta um gradiente decrescente, caindo de $0.42\ mag$ na parte central para aproximadamente $0.32\ mag$ nas regiões mais externas da galáxia. Por outro lado, os índice $FeI_{\lambda 5270}$ (painel (b)) varia de $2.30\ \text{\AA}$ no centro

Tab. 3.12: *Larguras equivalentes medidas nos espectros de NGC 5044*

r (")	r/re	Mg ₂ index	Mg ₂ λ ₅₁₇₆	FeI λ ₅₂₇₀	FeI λ ₅₃₃₅	FeI λ ₅₄₀₆	FeI λ ₅₇₀₉	FeI λ ₅₇₈₂
0.00	0.00	0.416 ± 0.013	13.92 ± 0.51	2.31 ± 0.16	1.14 ± 0.23	0.56 ± 0.01	1.11 ± 0.12	0.89 ± 0.02
3.05S	0.11	0.370 ± 0.008	13.33 ± 0.38	2.67 ± 0.11	1.17 ± 0.25	0.96 ± 0.32	1.35 ± 0.03	0.97 ± 0.06
6.10S	0.21	0.378 ± 0.001	11.85 ± 0.62	3.11 ± 0.26	1.60 ± 0.50	0.92 ± 0.16	1.46 ± 0.04	1.15 ± 0.20
9.15S	0.32	0.339 ± 0.014	11.72 ± 0.70	2.29 ± 0.64	1.21 ± 0.30	0.77 ± 0.24	1.35 ± 0.01	0.93 ± 0.07
12.20S	0.43	0.325 ± 0.010	11.20 ± 0.42	3.37 ± 0.01	1.51 ± 0.58	0.96 ± 0.07	1.67 ± 0.24	0.93 ± 0.18
15.25S	0.53	0.317 ± 0.014	11.69 ± 0.70	2.87 ± 0.13	1.31 ± 0.30	0.45 ± 0.24	1.45 ± 0.15	0.74 ± 0.23
18.30S	0.64	0.364 ± 0.006	11.65 ± 0.51	3.52 ± 0.27	2.57 ± 0.69	0.74 ± 0.22	2.68 ± 0.38	1.41 ± 0.46
24.40S	0.85	0.320 ± 0.006	11.23 ± 0.36	3.58 ± 0.62	3.12 ± 0.50	1.22 ± 0.01	2.24 ± 0.26	1.15 ± 0.49
3.05N	0.11	0.365 ± 0.017	13.29 ± 0.38	1.99 ± 0.11	2.00 ± 0.25	0.82 ± 0.16	1.08 ± 0.13	0.93 ± 0.13
6.10N	0.21	0.364 ± 0.006	12.62 ± 0.62	2.13 ± 0.26	1.67 ± 0.50	0.81 ± 0.07	1.16 ± 0.12	0.85 ± 0.12
9.15N	0.32	0.335 ± 0.002	11.47 ± 0.70	1.92 ± 0.12	1.55 ± 0.30	0.63 ± 0.02	0.89 ± 0.12	0.99 ± 0.12
12.20N	0.43	0.330 ± 0.007	11.71 ± 0.22	1.93 ± 0.20	1.25 ± 0.58	0.76 ± 0.17	0.78 ± 0.15	0.75 ± 0.15
15.25N	0.53	0.330 ± 0.005	11.54 ± 0.17	2.21 ± 0.13	1.16 ± 0.30	0.66 ± 0.20	0.98 ± 0.15	0.64 ± 0.15
18.30N	0.64	0.324 ± 0.002	12.33 ± 0.51	2.69 ± 0.27	1.63 ± 0.69	1.37 ± 0.01	1.25 ± 0.01	1.41 ± 0.01
24.40N	0.85	0.320 ± 0.010	11.29 ± 0.36	2.92 ± 0.62	1.59 ± 0.50	1.15 ± 0.17	2.05 ± 0.27	0.52 ± 0.27

Table Notes. : Índices de Lick medidos em NGC 5044.

para 3.57 Å nas regiões externas. Esses resultados concordam com Carollo et al. (1993) que também não encontram uma correlação entre o índice Mg₂λ₅₁₇₆ e os índices FeI λ₅₂₇₀ e FeI λ₅₃₃₅. A diferença na inclinação do gradiente de Mg₂λ₅₁₇₆ em relação a FeI λ₅₂₇₀ e FeI λ₅₃₃₅ pode ter sido provocada por um enriquecimento de elementos-α em geral (Worthey et al. 1994) no centro da galáxia.

3.1.10 Assinatura dos gradientes de metalicidade

Com o objetivo de investigar mais detalhadamente o processo de formação das galáxias elípticas NGC 6868, NGC 5903, NGC 3607 e NGC 5044 ilustramos na Figura 3.7 e 3.8 o índice Mg_2 vs. as larguras equivalentes das linhas FeI λ₅₂₇₀ e FeI λ₅₃₃₅.

Como podemos ver na Figura 3.7 para NGC 6868, os índices apresentam uma boa correlação. Para NGC 5903 o índice FeI λ₅₂₇₀ apresenta melhor correlação com Mg_2 que FeI λ₅₃₃₅. Contudo, a Figura 3.8 mostra que não existe correlação entre Mg_2 e as linhas do ferro neutro, com exceção de FeI λ₅₃₃₅ para NGC 3607. A figura mostra que não há correlação entre Mg₂ e FeI em NGC 5044.

Carollo et al. (1993), utilizando fenda longa, obtiveram espectros de uma amostra de 42 galáxias com uma cobertura de 4500-6500 Å. Nesse trabalho investigaram o gradiente de algumas linhas de absorção tais como Mg₂λ₅₁₇₆, FeI λ₅₂₇₀, FeI λ₅₃₃₅, NaI λ₅₈₉₅ e TiO λ₆₂₃₇. Nesse trabalho os autores investigaram a correlação entre o gradiente de alguns índices, em particular a correlação entre o gradiente $dMg_2/d\log r$ com a massa da galáxia. Eles encontraram que para objetos com massa menor que $10^{11} M_{\odot}$, a inclinação do gradiente do índice Mg_2 correlaciona-se com a massa da galáxia. Entretanto, para massas maiores que $10^{11} M_{\odot}$, essa correlação deixa de aparecer.

Com o objetivo de comparar nossos dados com aqueles obtidos por Carollo et al. (1993),

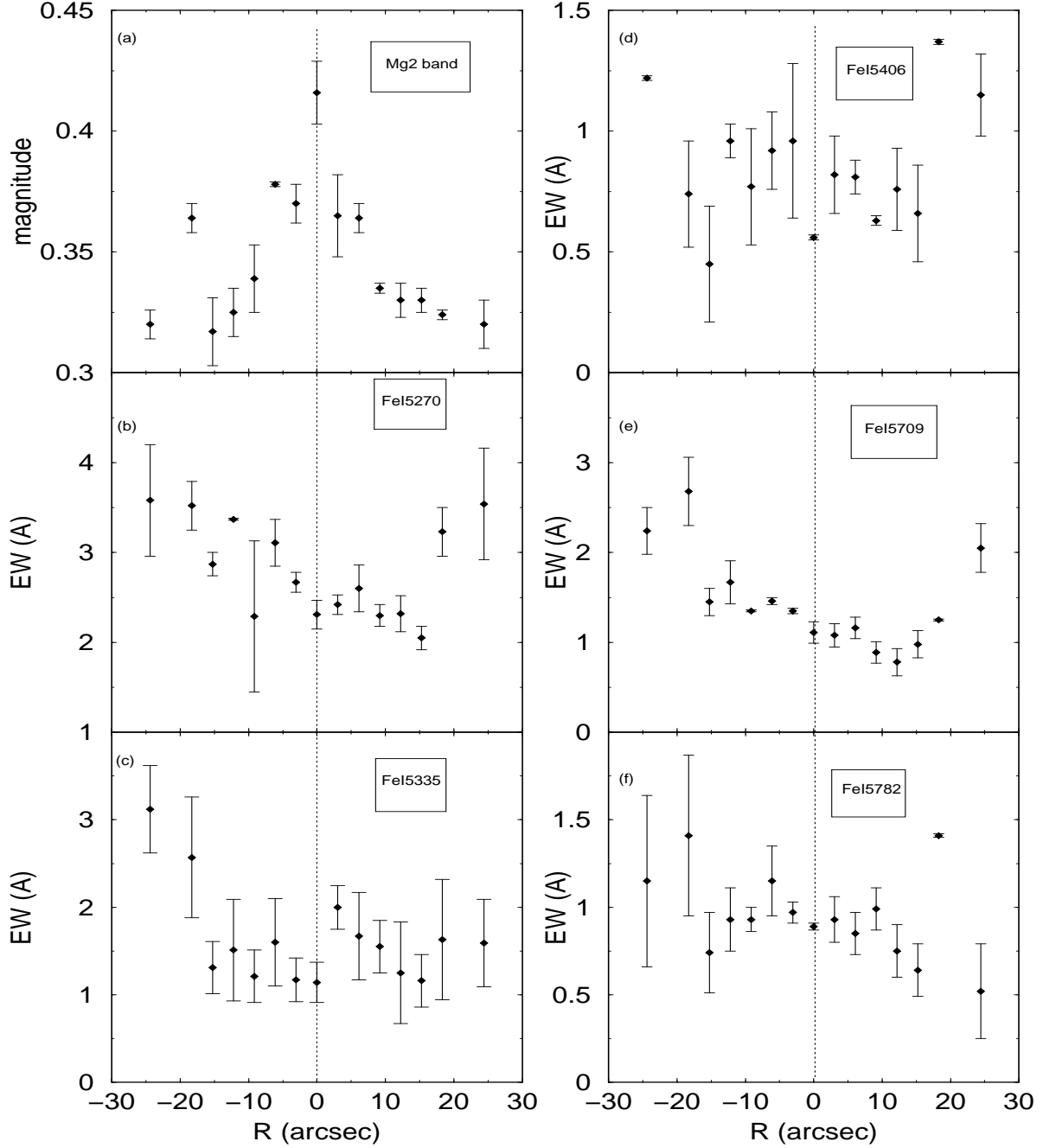


Fig. 3.6: *Variação espacial de W_λ em NGC 5044.*

primeiramente calculamos o gradiente $(dM_{g_2}/d\log r)_{NGC\ 6868} = -0.08$, $(dM_{g_2}/d\log r)_{NGC\ 5903} = -0.04$, $(dM_{g_2}/d\log r)_{NGC\ 3607} = -0.02$ e $(dM_{g_2}/d\log r)_{NGC\ 5044} = -0.07$. Posteriormente estimamos a massa de nossas galáxias usando o mesmo método de aproximação utilizado por Carollo et al. (1993):

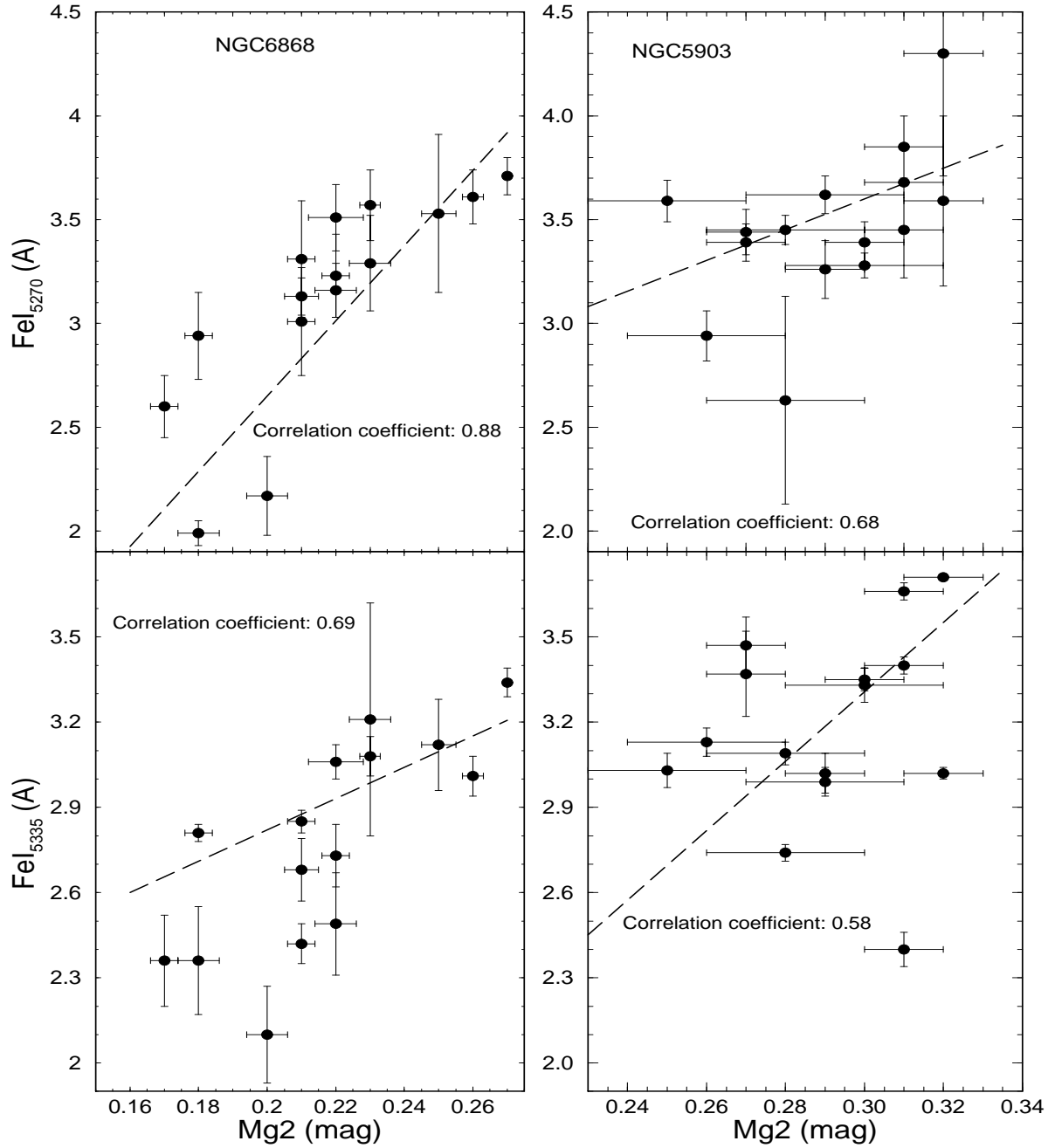


Fig. 3.7: Análise de correlação entre as larguras equivalentes das linhas de $FeI_{\lambda 5270}$ e $FeI_{\lambda 5335}$ com o índice Mg_2 medidos em NGC 6868 e NGC 5903.

$$M_{tot} = 3 \times 10^3 \left(\frac{\sigma}{km\ s^{-1}} \right)^2 \left(\frac{D}{Mpc} \right) \left(\frac{r_e}{arcsec} \right) M_{\odot} \quad (3.4)$$

Os valores de massa encontrados foram: $M_{NGC\ 6868} = (3.2 \pm 0.1) \times 10^{11} M_{\odot}$, $M_{NGC\ 5903} = (1.8 \pm 0.1) \times 10^{11} M_{\odot}$, $M_{NGC\ 3607} = (0.9 \pm 0.1) \times 10^{11} M_{\odot}$ e $M_{NGC\ 5044} = (2 \pm 0.1) \times 10^{11} M_{\odot}$.

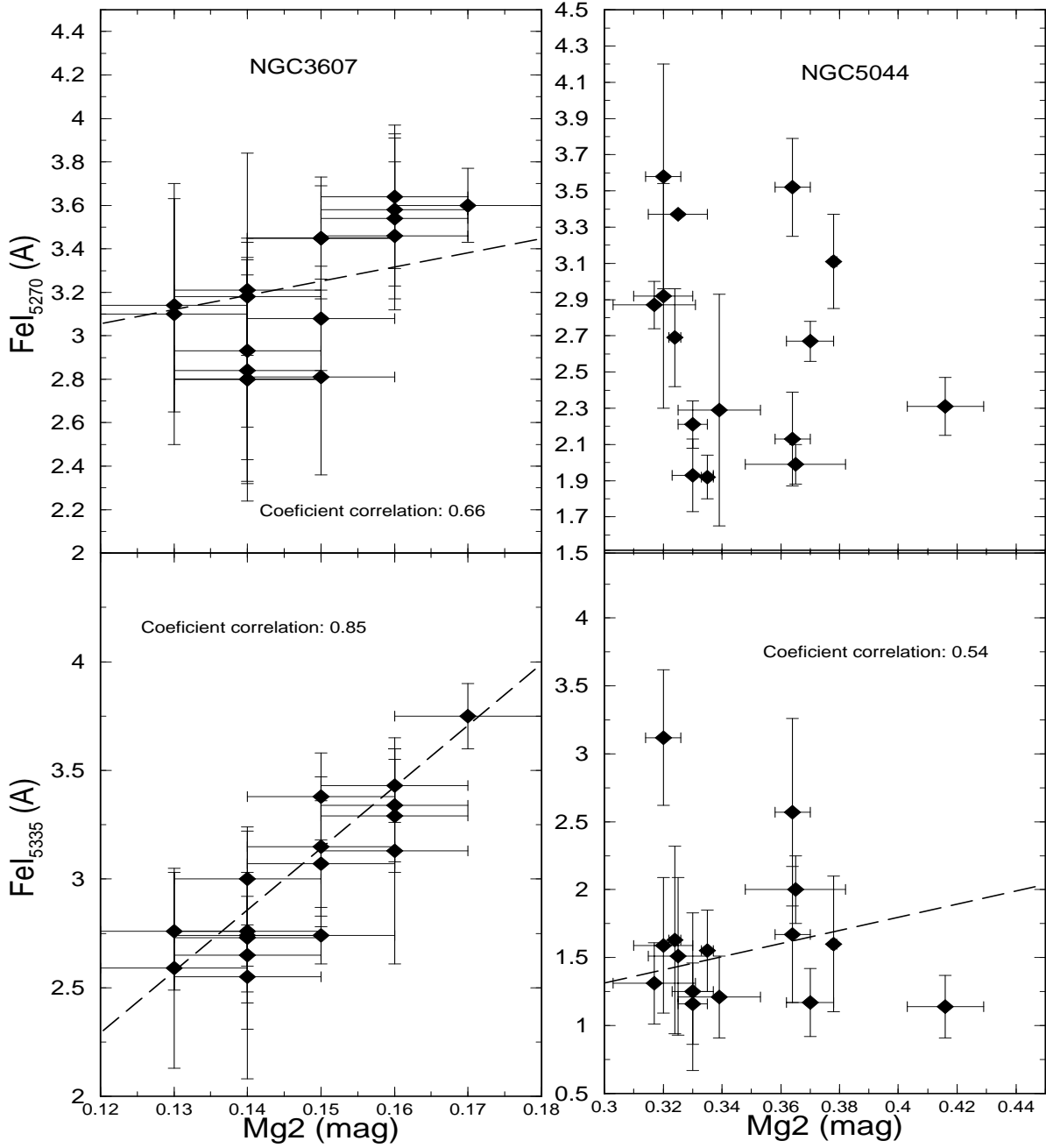


Fig. 3.8: Análise de correlação entre as larguras equivalentes das linhas de $FeI_{\lambda 5270}$ e $FeI_{\lambda 5335}$ com o índice Mg_2 medidos em NGC 3607 e NGC 5044.

Para aumentarmos a confiabilidade dos valores de massa encontrados, calculamos esses valores como está demonstrado em van Dokkum & Stanford (2003):

$$\log M \equiv 2 \log \sigma + \log r_e + 6.07, \tag{3.5}$$

onde r_e é dado em Kpc e σ em $km s^{-1}$.

Os valores encontrados foram $M_{NGC\ 6868} = (6.0 \pm 0.2) \times 10^{11} M_{\odot}$, $M_{NGC\ 5903} = (3.5 \pm 0.3) \times 10^{11} M_{\odot}$, $M_{NGC\ 3607} = (1.6 \pm 0.3) \times 10^{11} M_{\odot}$ e $M_{NGC\ 5044} = (3.7 \pm 0.3) \times 10^{11} M_{\odot}$, ou seja, estão de acordo com aqueles calculados com o método de Carollo et al. (1993).

Na seção 8 compararemos os resultados das massas e gradientes de Mg2 encontrados para as galáxias estudadas com aqueles encontrados por Carollo et al. (1993).

3.2 Equivalência entre os índices de Lick e os definidos por Bica & Alloin

O método utilizado por Bica & Alloin (1986b) para medição de larguras equivalentes consiste basicamente em traçar um contínuo mais geral, normalmente mais elevado do que o de Lick, utilizando pontos bem selecionados que necessariamente não estão localizados dentro de uma linha de absorção. Nesse contínuo, assim como no método de Lick, são marcados os pontos que limitam a banda passante em cada linha.

Com o objetivo de testar a equivalência entre os valores medidos com o método de Lick e o de Bica, medimos as larguras equivalentes das linhas de $FeI_{\lambda 5270}$, $FeI_{\lambda 5335}$, $FeI_{\lambda 5406}$, $FeI_{\lambda 5709}$, $FeI_{\lambda 5782}$, $Mg_{2\lambda 5176}$, $NaI_{\lambda 5895}$ e $TiO_{\lambda 6237}$, no espectro central da galáxia NGC 5903. Analisando os valores apresentados na Tab. 3.13 podemos verificar que houve um aumento sistemático nos valores das larguras equivalentes medidas utilizando o método de Bica em relação ao método de Lick, ou seja, a razão entre duas linhas quaisquer de absorção se mantém constante independentemente do sistema adotado. Desta forma, os resultados obtidos com a síntese de população estelar não são afetados pela escolha do sistema de medida. Neste trabalho optamos por utilizar o sistema Lick, pois nos abre um campo maior de comparação com resultados obtidos por outros autores para objetos com características semelhantes.

Os pontos de contínuo utilizados para determinar o avermelhamento dos espectros sintéticos foram escolhidos baseados naqueles sugeridos por Bica e Alloin (1986a). Os pontos de contínuo utilizados para as galáxias foram: 5300\AA , 5446\AA , 5650\AA , 5800\AA , 5870\AA , 6173\AA , 6620\AA e 6640\AA . Nas Tabelas 3.14 e 3.15 estão apresentados os valores encontrados para os pontos de contínuo nos espectros das galáxias NGC 6868 e NGC 5903, respectivamente. Todos os pontos estão normalizados a 1 no comprimento de onda 5870\AA .

Tab. 3.13: *Teste de equivalência no espectro central de NGC 5903.*

Elementos	EW-Bica	EW-Lick
Mg_2	-	-
FeI_5270	4.65	3.71
FeI_5335	4.16	3.34
FeI_5406	3.17	2.54
FeI_5709	1.55	1.23
FeI_5782	1.57	1.26
NaI	6.91	5.51
$TiOII$	7.31	5.78

$r(^{\circ})$	C_{λ}/C_{5870}							
	λ_{5300}	λ_{5546}	λ_{5650}	λ_{5800}	λ_{5870}	λ_{6173}	λ_{6620}	λ_{6640}
0.00	0.90 ± 0.03	0.97 ± 0.07	0.95 ± 0.02	1.04 ± 0.05	1.00	0.98 ± 0.12	0.98 ± 0.01	1.02 ± 0.01
2.44S	0.90 ± 0.04	0.97 ± 0.01	0.95 ± 0.05	1.04 ± 0.01	1.00	0.98 ± 0.05	0.98 ± 0.02	1.02 ± 0.01
4.88S	0.92 ± 0.05	0.97 ± 0.02	0.95 ± 0.05	1.04 ± 0.02	1.00	0.97 ± 0.06	0.97 ± 0.02	1.00 ± 0.01
7.32S	0.91 ± 0.05	0.96 ± 0.01	0.95 ± 0.06	1.03 ± 0.02	1.00	0.97 ± 0.05	0.97 ± 0.03	0.99 ± 0.02
9.76S	0.91 ± 0.05	0.96 ± 0.01	0.96 ± 0.05	1.02 ± 0.02	1.00	0.97 ± 0.06	0.96 ± 0.01	0.99 ± 0.01
12.2S	0.89 ± 0.05	0.94 ± 0.01	0.94 ± 0.05	1.02 ± 0.01	1.00	0.96 ± 0.06	0.95 ± 0.02	0.97 ± 0.01
14.64S	0.89 ± 0.04	0.93 ± 0.02	0.93 ± 0.04	1.01 ± 0.03	1.00	0.96 ± 0.07	0.97 ± 0.01	0.98 ± 0.01
17.08S	0.85 ± 0.05	0.93 ± 0.02	0.91 ± 0.02	0.99 ± 0.02	1.00	0.94 ± 0.07	0.96 ± 0.01	0.97 ± 0.02
2.44N	0.89 ± 0.06	0.95 ± 0.01	0.93 ± 0.05	1.04 ± 0.01	1.00	1.00 ± 0.05	0.98 ± 0.05	1.04 ± 0.01
4.88N	0.91 ± 0.04	0.97 ± 0.02	0.95 ± 0.06	1.04 ± 0.01	1.00	1.00 ± 0.05	0.99 ± 0.05	1.04 ± 0.01
7.32N	0.92 ± 0.05	0.97 ± 0.02	0.95 ± 0.04	1.04 ± 0.01	1.00	0.99 ± 0.05	0.97 ± 0.06	1.02 ± 0.02
9.76N	0.92 ± 0.04	0.97 ± 0.03	0.95 ± 0.01	1.03 ± 0.03	1.00	0.98 ± 0.06	0.97 ± 0.05	1.00 ± 0.03
12.2N	0.91 ± 0.05	0.96 ± 0.01	0.95 ± 0.05	1.03 ± 0.01	1.00	0.97 ± 0.06	0.96 ± 0.05	0.99 ± 0.01
14.64N	0.89 ± 0.06	0.94 ± 0.02	0.93 ± 0.02	1.01 ± 0.01	1.00	0.97 ± 0.05	0.95 ± 0.04	0.98 ± 0.02
17.08N	0.87 ± 0.05	0.94 ± 0.01	0.94 ± 0.04	1.00 ± 0.01	1.00	0.96 ± 0.04	0.96 ± 0.02	0.98 ± 0.01

Tab. 3.14: *Valores dos contínuos para os espectros de NGC 6868, normalizados em λ_{5870} Å. Os índices N e S correspondem às direções mais ou norte e mais ao sul do centro da galáxia, respectivamente.*

$r(^{\circ})$	C_{λ}/C_{5870}							
	λ_{5300}	λ_{5546}	λ_{5650}	λ_{5800}	λ_{5870}	λ_{6173}	λ_{6620}	λ_{6640}
0.00 S	0.95 ± 0.05	1.01 ± 0.03	0.99 ± 0.05	1.05 ± 0.01	1.00	1.00 ± 0.07	1.06 ± 0.01	1.03 ± 0.05
3.05 S	0.95 ± 0.06	0.99 ± 0.03	0.97 ± 0.01	1.04 ± 0.01	1.00	0.99 ± 0.01	1.05 ± 0.02	1.01 ± 0.01
6.10 S	0.95 ± 0.04	1.00 ± 0.02	0.97 ± 0.02	1.03 ± 0.01	1.00	0.97 ± 0.02	1.05 ± 0.05	1.05 ± 0.02
9.15 S	0.93 ± 0.01	0.99 ± 0.02	0.97 ± 0.02	1.03 ± 0.03	1.00	0.98 ± 0.01	1.04 ± 0.06	1.05 ± 0.02
12.20 S	0.95 ± 0.05	1.00 ± 0.01	0.98 ± 0.02	1.04 ± 0.01	1.00	0.98 ± 0.01	1.02 ± 0.05	1.02 ± 0.02
15.25 S	0.94 ± 0.02	0.98 ± 0.02	0.97 ± 0.01	1.03 ± 0.01	1.00	0.97 ± 0.01	1.02 ± 0.06	0.99 ± 0.01
18.30 S	0.91 ± 0.04	0.99 ± 0.01	0.98 ± 0.03	1.02 ± 0.01	1.00	0.97 ± 0.02	1.05 ± 0.06	1.00 ± 0.03
24.40 S	0.92 ± 0.03	1.00 ± 0.02	0.98 ± 0.02	1.06 ± 0.01	1.00	0.97 ± 0.02	1.05 ± 0.07	1.01 ± 0.02
3.05 N	0.92 ± 0.03	1.00 ± 0.05	0.98 ± 0.01	1.05 ± 0.05	1.00	1.00 ± 0.03	1.05 ± 0.01	1.02 ± 0.01
6.10 N	0.93 ± 0.03	0.99 ± 0.06	0.98 ± 0.02	1.04 ± 0.06	1.00	0.99 ± 0.03	1.05 ± 0.01	1.02 ± 0.01
9.15 N	0.93 ± 0.02	1.00 ± 0.05	0.99 ± 0.01	1.06 ± 0.05	1.00	0.98 ± 0.02	1.05 ± 0.01	1.03 ± 0.01
12.20 N	0.94 ± 0.02	1.01 ± 0.06	0.98 ± 0.01	1.03 ± 0.05	1.00	0.98 ± 0.02	1.03 ± 0.03	1.02 ± 0.05
15.25 N	0.93 ± 0.01	1.01 ± 0.06	0.99 ± 0.01	1.05 ± 0.04	1.00	0.98 ± 0.01	1.05 ± 0.01	1.02 ± 0.05
18.30 N	0.91 ± 0.02	0.99 ± 0.07	0.98 ± 0.02	1.03 ± 0.02	1.00	0.97 ± 0.02	1.03 ± 0.01	0.98 ± 0.04
24.40 N	0.95 ± 0.01	1.01 ± 0.07	1.00 ± 0.02	1.05 ± 0.06	1.00	0.97 ± 0.01	1.04 ± 0.01	1.02 ± 0.02

Tab. 3.15: *Valores dos contínuos normalizados para os espectros de NGC 5903.*

Capítulo 4

Síntese da População Estelar

Para uma melhor compreensão de vários aspectos relativos à formação e evolução de uma galáxia é necessário fazer um estudo detalhado sobre a sua história de formação estelar, pois a idade e a metalicidade das estrelas constituintes de uma galáxia são fatores muito importantes para nos ajudar a entender como ocorreu sua formação. Apesar do grande avanço na área da tecnologia de fabricação de telescópios, não é possível a observação direta de estrelas individuais na maioria das galáxias. Mesmo hoje, esse tipo de observação resume-se ao pequeno número de galáxias mais próximas como M31 e M32 por exemplo. Por esse motivo, na maioria das vezes trabalha-se com o espectro integrado da galáxia. O espectro integrado de uma galáxia contém informações suficientes para permitir a determinação de sua história de formação estelar e enriquecimento químico, pois estudos da população estelar de galáxias próximas, nas quais podem-se distinguir componentes como população disco, bojo ou até mesmo aglomerados individuais, permitiram encontrar correlações entre propriedades espectrais integradas e os diversos tipos de populações estelares encontradas em galáxias de diferentes tipos morfológicos. Porém, quando procuramos sintetizar a população estelar com espectros integrados de aglomerados estelares, encontramos uma degenerescência entre a idade e a metalicidade das diferentes populações estelares, pois podemos combinar componentes de diferentes idades e metalicidades de tal forma que produzam espectros integrados similares (ver seção 4.1).

As tentativas de decompor espectros integrados de galáxias em suas componentes fundamentais têm recebido uma grande atenção e um grande esforço na história recente da astrofísica. Procurando na literatura, podemos concluir que existem basicamente duas abordagens diferentes para tentar resolver esse problema: 1) o método de síntese de populações que consiste em tentar reproduzir, a partir de uma base de espectros estelares (O'Connell et al. 1992) ou de aglomerados estelares (Bica, 1988), o espectro integrado de galáxias; 2) o método de síntese evolutiva que consiste em criar, a partir de uma base de modelos evolutivos estelares e atmosferas estelares, famílias de modelos de galáxias correspondendo a diferentes fases da sua evolução química (Arimoto, 1986; Charlot & Bruzual, 1991).

Os dois métodos buscam os mesmos objetivos, porém de formas diferentes. Não podemos dizer que um método é melhor que o outro, pois cada um apresenta suas vantagens e desvantagens. A escolha do método a ser utilizado vai depender dos dados que temos sobre a galáxia em questão. O primeiro método citado anteriormente fornece, na maioria das vezes, uma família de soluções possíveis para um espectro integrado mas, no entanto, nem todas representam soluções fisicamente corretas, como por exemplo aquelas que contrariam as teorias de evolução química das galáxias (por exemplo, populações velhas mais ricas em metais do que populações jovens, em uma galáxia evolutivamente fechada). Já no segundo método citado, teremos somente soluções fisicamente corretas, mas é baseado em um modelo de evolução galáctica concebido a priori, cujas falhas reproduzir-se-ão nos resultados finais (Raimman et al., 2001). Atualmente, o emprego de componentes estelares simples, equivalentes a aglomerados, está presente nos dois métodos.

4.1 Método de Síntese Utilizado

No presente trabalho, utilizamos o método de síntese de população estelar baseado no programa desenvolvido por Bica (1998), porém a base não é mais constituída de espectros integrados de aglomerados estelares observados, mas sim de espectros sintéticos criados a partir de uma base de modelos de evolução estelar e atmosferas estelares montados por Bruzual e Charlot (2003).

Este método de síntese de população estelar consiste em combinar elementos da base previamente definidos em termos de idade e metalicidade. Além disso, ele permite uma cobertura dos valores de metalicidade até um décimo da solar enquanto que é observacionalmente difícil construir uma base completa de espectros estelares que cubram um grande intervalo de metalicidade.

Basicamente, o método de síntese que utilizamos busca minimizar a função $F(X)$, que nada mais é do que a soma das diferenças quadráticas entre as larguras equivalentes observada e sintética de N_l linhas de absorção observadas no espectro de uma dada galáxia e a diferença quadrática entre os pontos de contínuos observados e sintéticos dos N espectros dessa mesma galáxia:

$$F(X) = \sum_{i=1}^{N_l} [W_{obs}(i) - W_{sint}(i, X)]^2 + \sum_{j=1}^N [C_{obs}(j) - C_{sint}(j, X)]^2, \quad (4.1)$$

onde $W_{obs}(i)$ é a largura equivalente observada e $W_{sint}(i, X)$ é a largura equivalente sintética da linha de absorção i ; $C_{obs}(j)$ é o ponto de contínuo observado e $C_{sint}(j, X)$ é o ponto de contínuo sintético do espectro j .

Podemos obter a largura equivalente sintética $W_{sint}(i, X)$ com a seguinte expressão:

$$W_{sint}(i, X) = \frac{\sum_{j=1}^{Nc} [X(j)W(i, j)f(i, j)]}{\sum_{l=1}^{Nc} [X(l)f(i, l)]}, \quad (4.2)$$

onde $W(i, j)$ é a largura equivalente da linha de absorção i na componente j da base, $f(i, j)$ é o seu correspondente contínuo normalizado em um determinado comprimento de onda λ , $X(j)$ é a contribuição da componente j da base ao espectro sintético da galáxia neste comprimento de onda de normalização e Nc é o número de componentes da base. Como não é fisicamente válida a contribuição negativa de componentes da base, $X(j)$ deve ser sempre positivo na Equação 4.2. Outra observação que cabe ser feita é que a soma de todas as contribuições deve ser igual a 100%, ou seja,

$$\sum_{j=1}^{Nc} X(j) = 1. \quad (4.3)$$

Mesmo com todos os vínculos que foram estipulados acima, ainda temos um problema de degenerescência nas soluções da síntese, pois podemos reproduzir as larguras equivalentes observadas com diferentes contínuos. Schmitt et al.(1996), para resolver esse problema, introduziram um novo elemento na síntese de população, o qual consiste em fazer ao mesmo tempo que se buscam soluções para as larguras equivalentes, a síntese do contínuo, seguindo o mesmo princípio da síntese das larguras equivalentes. A síntese do contínuo é realizada para vários valores de $E(B-V)$, pois é esse fator que determinará sua forma. Além disso, com a síntese sendo realizada dessa forma, pode-se chegar à determinação do avermelhamento interno que afeta a população estelar. Neste trabalho, utilizamos um programa escrito na linguagem FORTRAN para auxiliar na realização da síntese de população estelar. Este programa é uma versão mais nova, adaptada aos nossos dados observacionais (intervalo espectral, linhas de absorção e pontos de contínuos), daquele desenvolvido por Bica (1988). O programa funciona da seguinte forma: 1) primeiramente fornecemos dados a partir de um arquivo contendo valores de larguras equivalentes das linhas de absorção e pontos de contínuos de cada espectro observado, assim como uma tolerância estabelecida pelo usuário para cada uma dessas medidas; 2) a seguir, o programa realiza combinações com os *templates* que compõem a base espectral com a finalidade de conseguir a melhor reprodução das medidas do arquivo de entrada (espectro observado). Para conseguir essa melhor reprodução do espectro observado, o programa segue algumas regras pré-estabelecidas como: i) utilizar uma fração de fluxo mínima (ou passo estabelecido pelo usuário) para combinações das componentes da base. Nesse trabalho, o passo utilizado foi de 1%, ou seja, o programa deve utilizar pelo menos 1% do fluxo de cada *template* para a reprodução das medidas observadas; ii) cada solução apresentada pelo programa deve estar dentro das tolerância

indicadas no arquivo de entrada; *iii*) por último, o programa gera um arquivo de saída contendo as frações de fluxo relativas a λ_{5870} , isto é, a contribuição em fluxo relativa à λ_{5870} de cada componente da base, contínuos do espectro sintético (espectro reproduzido a partir do arquivo de entrada) e valores de $E(B-V)$ que devem ser aplicados a esse espectro. A solução final apresentada pelo programa, na verdade, é a média das várias soluções que se encontram dentro dessa tolerância. Esse procedimento deve ser repetido a cada execução do programa, fechando-se as janelas das larguras equivalentes e contínuos do arquivo de entrada baseando-se na última solução fornecida pelo programa até que ele convirja para uma única solução .

De forma mais resumida, podemos dizer que basicamente as soluções fornecidas pelo programa, são construídas a partir de um conjunto de *loops* que geram a fração de fluxo (em relação ao fluxo em λ_{5870}) que deve ser atribuída a cada elemento da base, assim como o excesso de cor $E(B-V)$ que afeta a população estelar em cada espectro analisado.

Para testar a convergência do programa, construímos um espectro artificial utilizando frações de fluxo conhecidas das componentes e, a partir desse espectro, criamos um arquivo de entrada. Realizamos a síntese de população estelar utilizando os valores das larguras equivalentes e pontos de contínuos medidos nesse espectro e observamos que o programa convergia rapidamente para os valores esperados.

4.2 Construção da Base

Como mencionado anteriormente, o programa necessita de uma base espectral que funciona como um banco de dados para a realização de combinações na tentativa de reproduzir as medidas do espectro observado. Originalmente Bica & Alloin (1986) construíram uma base constituída de 9 *templates* de população estelar com idades entre $10^6 - 10^{10}$ anos e metalicidade de -2 dex à solar. Cada *template* foi criado a partir de uma média de espectros de aglomerados, buscando um espectro mais representativo em propriedades tais como idade, metalicidade e forma do contínuo. Apesar de ser uma base que trabalha com espectros reais, temos uma limitação em metalicidade para idades menores que 5 Gyr, chegando à metalicidade solar. Devido a essa limitação, optamos por utilizar, para a síntese nas galáxias NGC 6868, NGC 5903 e NGC 3607 a base de Charlot & Bruzual; modelos de aglomerados. Na síntese de população de NGC 5044 foram utilizados espectros reais da base de Bica, por motivos que estão explicados detalhadamente em Rickes et al. (2004).

Como os espectros das galáxias citadas acima têm uma cobertura espectral que vai de 5100 – 6800 Å, as linhas de absorção utilizadas na síntese são:

$Mgb_{\lambda 5177}$, $FeI_{\lambda 5270}$, $FeI_{\lambda 5335}$, $FeI_{\lambda 5406}$, $FeI_{\lambda 5709}$, $FeI_{\lambda 5782}$, $NaI_{\lambda 5895}$ e $TiOII_{\lambda 6732}$ (ver Secção 3.1).

Embora essas linhas apresentem boa dependência com idade e metalicidade em um espectro integrado, não podemos utilizar uma base muito extensa, pois teremos uma degenerescência nas soluções em termos de idade, pois teremos mais de uma combinação reproduzindo o mesmo conjunto de larguras equivalentes. Para fugir do problema, construímos uma base espectral reduzida levando em conta apenas sete *templates* com diferentes idades e metalicidades. Dessa forma minimizamos esse efeito.

Os espectros da base de Bruzual utilizados neste trabalho têm metalicidade $[Z/Z_{\odot}] = 0.008$, $[Z/Z_{\odot}] = 0.02$ e $[Z/Z_{\odot}] = 0.05$. Veja a Tabela 4.1. As siglas 13Gys, 5Gys e 1Gys, correspondem à idade representativa de cada população. A base de Bica utilizada contém três componentes velhas com idade de 10 bilhões de anos (G1, G2 e G3) e metalicidades G1 - $Z/Z_{\odot} \sim 0.0$, G2 - $Z/Z_{\odot} \sim -0.4$ e G3 - $Z/Z_{\odot} \sim -1.1$.

Tab. 4.1: *Base espectral*

	m72	m62	m52
	0.05	0.02	0.008
13Gys	A1	A2	A3
5Gys	B1	B2	B3
1Gys		C2	

Os espectros que compõem a base estão mostrados na Figura 4.1.

Todas as medições foram realizadas com o IRAF. As linhas de absorção nos *templates* da base foram medidas seguindo o mesmo procedimento aplicado aos espectros de NGC 5903 e NGC 6868 ($\text{Mgb}_{\lambda 5176}$, $\text{FeI}_{\lambda 5270}$, $\text{FeI}_{\lambda 5335}$, $\text{FeI}_{\lambda 5406}$, $\text{FeI}_{\lambda 5709}$, $\text{FeI}_{\lambda 5782}$, $\text{NaI}_{\lambda 5895}$ e $\text{TioII}_{\lambda 6732}$). A escolha dessas linhas se deve ao fato delas serem boas indicadoras de idade e metalicidade para espectros integrados, como mencionado anteriormente.

Primeiramente, medimos as larguras equivalentes dessas linhas exatamente da mesma forma que medimos as larguras equivalentes dos espectros observados; os valores obtidos são na Tabela 4.2.

Logo em seguida, para minimizarmos o problema de degenerescência mencionado anteriormente, medimos também os pontos de contínuo sugeridos por Bica e Alloin (1986) (contínuo medido em regiões características, onde não há linhas de absorção ou emissão). Os valores desses pontos de contínuo podem ser vistos na Tabela 4.3.

Com os dados de larguras equivalentes e pontos de contínuo medidos nos espectros da base apresentados nas Tabelas 4.2 e 4.3, construímos a base e partimos para a etapa da realização da síntese de população estelar nos espectros observados das galáxias NGC 6868

Templates	<i>EW</i> (Å)							
	$Mg_{2\lambda 5176}$	$FeI_{\lambda 5270}$	$FeI_{\lambda 5335}$	$FeI_{\lambda 5406}$	$FeI_{\lambda 5709}$	$FeI_{\lambda 5782}$	$NaI_{\lambda 5895}$	$FeI_{\lambda 5782}$
A1	11.29 ± 0.09	3.50 ± 0.06	3.27 ± 0.05	2.15 ± 0.03	0.96 ± 0.02	0.96 ± 0.03	5.02 ± 0.01	11.05 ± 0.13
A2	8.64 ± 0.07	3.08 ± 0.04	2.92 ± 0.05	1.75 ± 0.05	0.98 ± 0.03	0.88 ± 0.02	3.66 ± 0.01	5.72 ± 0.02
A3	6.74 ± 0.08	2.46 ± 0.05	2.19 ± 0.06	1.33 ± 0.04	0.82 ± 0.04	0.65 ± 0.02	2.80 ± 0.03	4.32 ± 0.03
B1	9.84 ± 0.05	3.18 ± 0.07	2.95 ± 0.06	1.90 ± 0.04	0.91 ± 0.03	0.89 ± 0.05	4.09 ± 0.02	9.55 ± 0.08
B2	7.07 ± 0.07	2.66 ± 0.03	2.51 ± 0.07	1.49 ± 0.02	0.91 ± 0.05	0.79 ± 0.03	3.05 ± 0.01	4.47 ± 0.07
B3	5.42 ± 0.06	2.15 ± 0.05	1.91 ± 0.05	1.11 ± 0.03	0.75 ± 0.02	0.59 ± 0.04	2.33 ± 0.03	3.11 ± 0.02
C2	3.70 ± 0.06	1.91 ± 0.04	1.73 ± 0.04	0.90 ± 0.02	0.68 ± 0.01	0.51 ± 0.01	1.94 ± 0.02	2.15 ± 0.03

Tab. 4.2: *Larguras equivalentes medidas nos templates da base.*

Templates	<i>Pontos de contínuos para a síntese de população estelar</i>						
	$\frac{C_{\lambda 5300}}{C_{\lambda 5870}}$	$\frac{C_{\lambda 5546}}{C_{\lambda 5870}}$	$\frac{C_{\lambda 5650}}{C_{\lambda 5870}}$	$\frac{C_{\lambda 5800}}{C_{\lambda 5870}}$	$\frac{C_{\lambda 6173}}{C_{\lambda 5870}}$	$\frac{C_{\lambda 6200}}{C_{\lambda 5870}}$	$\frac{C_{\lambda 6400}}{C_{\lambda 5870}}$
A1	0.91 ± 0.05	0.95 ± 0.06	0.94 ± 0.01	1.04 ± 0.01	1.07 ± 0.04	0.94 ± 0.01	1.10 ± 0.03
A2	0.94 ± 0.05	0.96 ± 0.04	0.93 ± 0.02	1.01 ± 0.02	1.02 ± 0.05	0.95 ± 0.01	0.94 ± 0.01
A3	0.95 ± 0.05	0.96 ± 0.05	0.95 ± 0.01	1.00 ± 0.02	1.00 ± 0.06	0.95 ± 0.01	0.94 ± 0.02
B1	0.94 ± 0.05	0.96 ± 0.04	0.94 ± 0.03	1.04 ± 0.02	1.05 ± 0.04	0.94 ± 0.02	0.98 ± 0.02
B2	0.96 ± 0.04	0.97 ± 0.05	0.94 ± 0.03	1.01 ± 0.01	1.01 ± 0.05	0.95 ± 0.01	0.93 ± 0.03
B3	0.98 ± 0.05	0.98 ± 0.06	0.96 ± 0.05	1.00 ± 0.03	0.99 ± 0.04	0.95 ± 0.01	0.92 ± 0.01
C2	1.04 ± 0.06	1.01 ± 0.05	0.98 ± 0.04	1.00 ± 0.02	0.96 ± 0.05	0.93 ± 0.02	0.88 ± 0.02

Tab. 4.3: *Valores de contínuos medidos nos espectros da base de Bruzual.*

e NGC 5903 e NGC 3607. Os resultados das sínteses juntamente com os resultados obtidos para NGC 5044 em Rickes et al. (2004) estão apresentados no Capítulo 5.

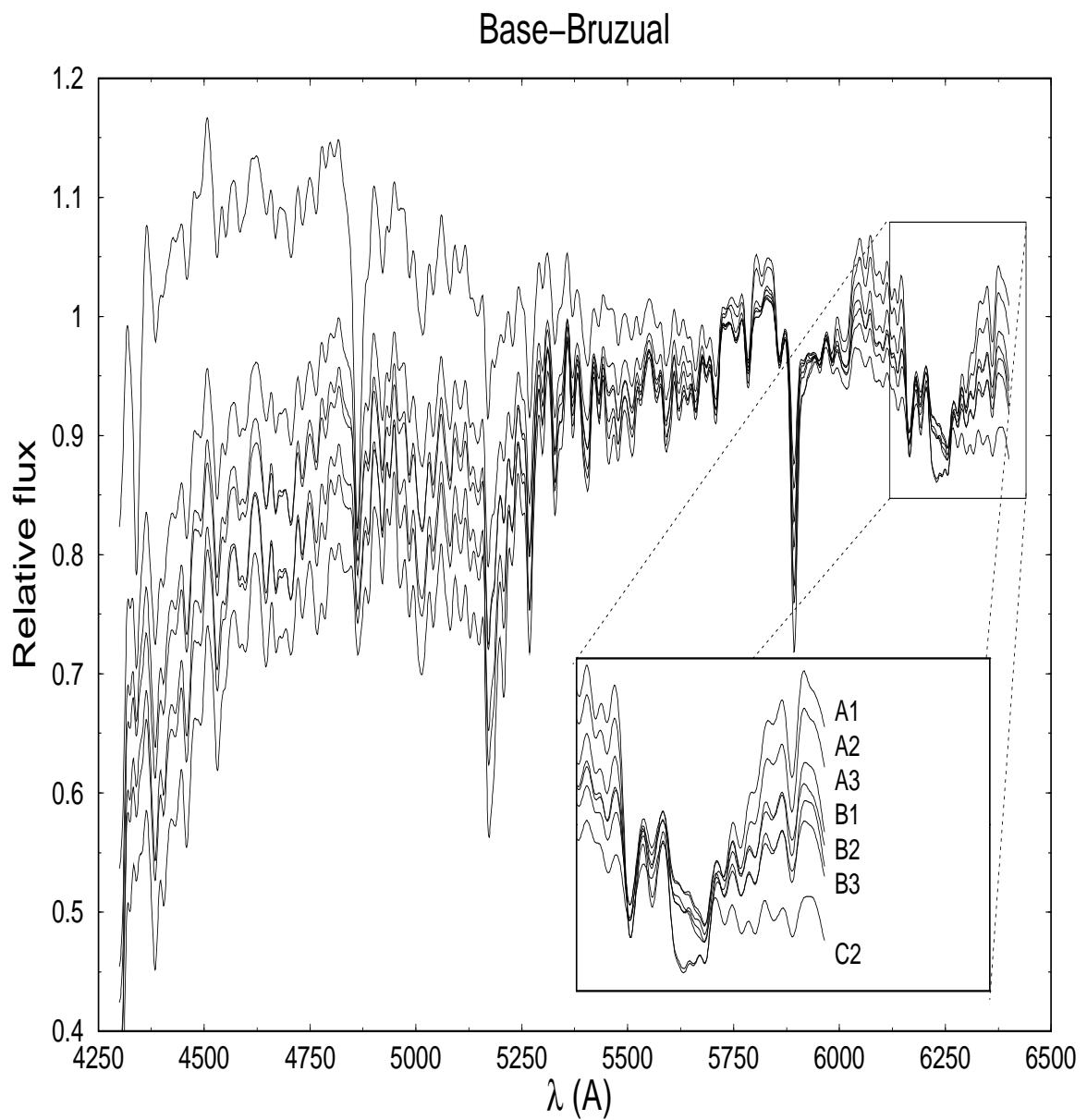


Fig. 4.1: *Templates da base reduzida*

Capítulo 5

Resultados da Síntese de População Estelar

5.1 NGC 6868

A presente análise de NGC 6868 baseia-se principalmente em resultados obtidos a partir da realização da síntese da população estelar. Neste capítulo discutiremos e interpretaremos alguns resultados, inicialmente em termos de frações de fluxo e, posteriormente, em frações de massa.

5.1.1 Frações de Fluxo

Tab. 5.1: *Fração de Fluxo - NGC 6868*

R(°)	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C2	E(B-V)
0 S	5.6 ± 3.8	53.4 ± 12.0	10.9 ± 10.1	7.3 ± 4.9	15.0 ± 13.0	6.2 ± 6.5	1.6 ± 2.7	0.0
2.44 S	18.4 ± 2.9	18.4 ± 11.7	24.2 ± 16.0	2.2 ± 2.4	17.8 ± 14.8	16.2 ± 12.4	2.8 ± 4.2	0.0
4.88 S	11.2 ± 3.0	35.5 ± 10.2	23.1 ± 11.7	3.2 ± 4.1	15.8 ± 13.3	9.7 ± 8.4	1.4 ± 2.4	0.0
7.32 S	11.6 ± 2.6	32.5 ± 10.0	27.1 ± 13.5	2.1 ± 2.9	16.5 ± 14.5	9.2 ± 8.4	1.0 ± 2.0	0.0
9.76 S	18.6 ± 4.1	13.6 ± 8.1	30.0 ± 15.3	4.7 ± 4.9	13.3 ± 11.2	16.7 ± 12.2	3.2 ± 3.8	0.0
12.20 S	19.8 ± 3.9	12.2 ± 8.2	22.1 ± 13.9	4.6 ± 5.1	15.4 ± 11.8	19.8 ± 12.8	6.1 ± 4.7	0.0
14.64 S	19.7 ± 3.7	13.9 ± 9.9	8.9 ± 8.6	3.5 ± 4.1	24.8 ± 15.5	12.4 ± 10.9	16.6 ± 6.7	0.0
17.08 S	23.6 ± 2.2	9.9 ± 6.7	11.6 ± 11.8	0.6 ± 1.7	17.1 ± 10.6	25.8 ± 14.0	11.3 ± 6.9	0.0
2.44 N	11.8 ± 2.9	40.1 ± 11.3	15.7 ± 13.2	3.0 ± 3.9	19.0 ± 14.8	8.1 ± 7.6	2.3 ± 3.2	0.0
4.88 N	11.5 ± 2.4	34.7 ± 11.6	15.9 ± 11.1	2.2 ± 2.6	22.3 ± 17.9	11.2 ± 9.1	2.1 ± 2.8	0.0
7.32 N	12.2 ± 2.7	25.9 ± 11.9	19.1 ± 13.3	3.2 ± 4.0	24.3 ± 19.5	12.4 ± 10.3	2.9 ± 4.0	0.0
9.76 N	14.9 ± 3.1	20.2 ± 11.9	13.9 ± 11.0	3.3 ± 3.9	25.8 ± 18.0	15.7 ± 11.5	6.1 ± 4.9	0.0
12.20 N	15.5 ± 3.1	18.4 ± 11.3	15.8 ± 12.8	3.4 ± 4.3	24.6 ± 17.1	15.4 ± 11.9	6.8 ± 5.2	0.0
14.64 N	19.9 ± 3.4	14.3 ± 9.7	10.4 ± 9.5	3.0 ± 3.5	22.7 ± 15.5	12.5 ± 10.6	17.2 ± 6.4	0.0
17.08 N	20.3 ± 3.6	14.3 ± 9.4	12.7 ± 11.0	2.7 ± 3.5	18.7 ± 14.3	13.9 ± 11.6	17.4 ± 7.6	0.0

Table Notes. Na tabela estão apresentados os resultados da síntese em termos de fração de fluxo

A síntese de população estelar nos fornece diretamente as frações de fluxo (relativas ao fluxo em $\lambda 5870$) com que cada *template* (componente de idade e metalicidade) contribui

ao espectro observado. A combinação (soma) dessas componentes com suas respectivas frações de fluxo deve representar a contribuição da população estelar ao espectro observado.

A fração de fluxo de cada componente de idade, de acordo com a síntese, está listada na Tabela 5.1. O excesso de cor $E(B-V)$ que afeta a população estelar, conforme a síntese, está na coluna 9 dessa tabela. Como nossos espectros cobrem um pequeno intervalo em comprimento de onda, temos um número pequeno de índices sensíveis à idade e metalicidade, ou seja, poucos vínculos entre os espectros observados e os da base resultando numa incerteza expressiva nos resultados como mostra a Tabela 5.1.

Os resultados da síntese em relação à fração de fluxo estão na Figura 5.1.

NGC 6868

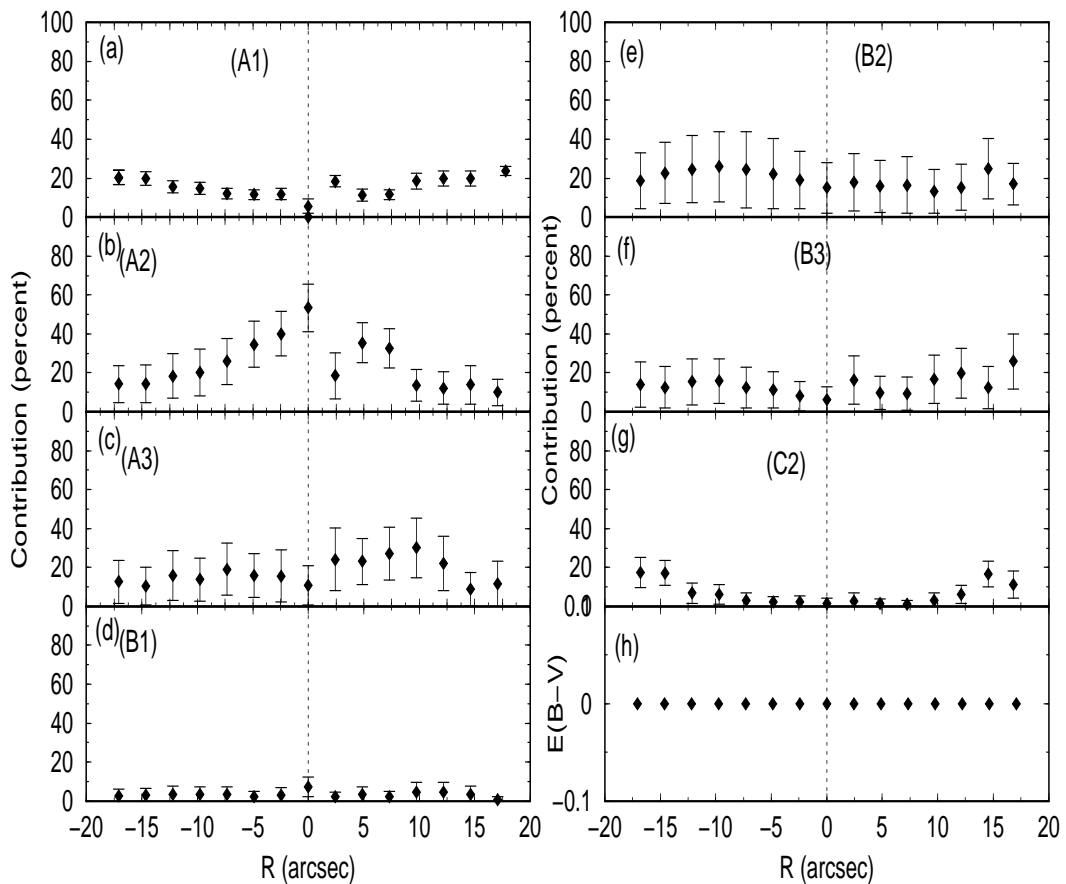


Fig. 5.1: Resultado da síntese para os espectros de NGC 6868

Analisando a Figura 5.1 podemos verificar que o painel (a) mostra que a componente

A1 da base com idade representativa de 13 Gyr e metalicidade $[Z/Z_{\odot}] = 0.05$ apresenta um significativo gradiente em sua contribuição na reprodução do espectro central da galáxia. Sua contribuição em fluxo é menos de 10% na região central, chegando a mais de 20% nas regiões mais externas. Essa característica é apresentada também pela componente C2 com idade representativa de 1Gyr e metalicidade $[Z/Z_{\odot}] = 0.02$. Essa componente contribui com menos de 5% em fluxo ao espectro central da galáxia aumentando para mais de 15% nas regiões mais externas. No painel (b) observamos algo diferente. Nesse caso o gradiente apresentado pela componente A2 com idade representativa de 13 Gyr e metalicidade de $[Z/Z_{\odot}] = 0.02$ é invertido em relação às componentes A1 e C2. Essa componente contribui com mais de 50% em fluxo ao espectro central da galáxia, caindo para menos de 5% para regiões mais externas. As componentes B1 e B3 com 5Gyr contribuem com aproximadamente 15% em todas as regiões, indicando que a galáxia teve outro evento de formação .

Para ilustrarmos os resultados fornecidos pela síntese da população estelar, na Figura 5.2, apresentamos os espectros sintéticos, construídos a partir dos resultados apresentados na Tabela 5.1, para o centro e para as regiões mais externas da galáxia, respectivamente. Os valores de $E(B-V)$ fornecidos pela síntese, como podemos perceber são irrelevantes para obter um melhor ajuste dos espectros sintéticos.

Na parte superior de cada painel da Figura 5.2 está plotado o ajuste entre o espectro sintético, obtido com a síntese, e o espectro observado da galáxia. Na parte inferior está o espectro da galáxia subtraído da população estelar.

Analisando essas figuras notamos que, de um modo geral, as linhas espectrais utilizadas na síntese de população estelar foram bem reproduzidas. As linhas espectrais localizadas nas extremidades de cada espectro parecem não estar tão bem ajustadas (encurvamento do espectro), devido à resposta do detector CCD. Podemos notar ainda uma clara variação no fluxo da linha do sódio neutro $\text{NaI}_{\lambda 5895}$ diminuindo das partes mais externas do objeto para o centro. Esse gradiente pode ser explicado considerando que há uma maior concentração de poeira na região central. (Ferrari et al., 1999).

Para cada região na qual foi extraído um espectro temos um espectro sintético construído a partir dos resultados da síntese e as figuras correspondentes. Os ajustes desses espectros estão apresentados no **Apêndice 11** deste trabalho.

Uma forma de julgar a qualidade da síntese é através dos resíduos para as larguras equivalentes fornecidos pelo programa de síntese de população estelar. Os valores desses resíduos estão na Tabela 5.2. Esse resíduo é a diferença entre as larguras equivalentes de uma linha de absorção medida no espectro observado e no espectro sintético resultante. Esses valores nos possibilitam uma melhor discriminação sobre a qualidade da reprodução de cada linha espectral. Assim como para as larguras equivalentes, temos também, na Tabela 5.3, os resíduos

fornecidos pelo programa para os pontos de contínuo utilizados na realização da síntese. Com base nessa tabela, podemos avaliar a qualidade do ajuste dos contínuos sintéticos e observados.

Tab. 5.2: *Resíduos das larguras equivalentes (\AA)*

R(")	$W_{\lambda}(obs) - W_{\lambda}(sint)$							
	Mg2	FeI5270	FeI5335	FeI5406	FeI5709	FeI5782	NaI5895	TioI6237
0	1.03	0.81	0.62	0.90	0.30	0.44	2.04	0.00
2.44	0.88	0.79	0.59	0.81	0.32	0.52	2.09	0.00
4.88	0.19	0.48	0.60	0.93	0.29	0.28	1.30	-1.16
7.32	0.15	0.78	0.49	0.78	0.25	0.20	1.19	-0.93
9.76	0.28	0.44	-0.01	0.61	0.14	0.08	0.72	-1.84
12.20	-0.01	0.62	-0.07	0.05	0.14	0.18	0.71	-1.97
14.64	-0.80	-0.69	-0.13	0.07	0.04	0.10	0.66	-1.24
17.08	-0.12	-0.47	-0.34	0.08	0.10	0.15	0.28	-2.16
2.44	0.89	0.77	0.35	0.80	0.24	0.29	2.05	0.00
4.88	0.09	0.71	0.45	0.78	0.25	0.13	1.51	-0.03
7.32	0.01	0.48	0.17	0.93	-0.08	0.24	1.28	-0.28
9.76	0.00	0.41	0.15	0.90	0.16	0.20	0.99	-1.18
12.20	0.00	0.30	0.33	0.68	0.14	0.13	0.89	-0.82
14.64	-0.86	0.27	0.33	0.91	0.06	0.35	0.85	-1.19
17.08	-1.12	-0.05	-0.10	0.28	-0.09	0.24	0.48	-1.25

Table Notes. A tabela apresenta os valores residuais para larguras equivalentes das linhas espectrais utilizadas na síntese de população estelar

Tab. 5.3: *Resíduos dos contínuos:*

R(")	λ_{5300}	λ_{5546}	λ_{5650}	λ_{5800}	λ_{5870}	λ_{6173}	λ_{6620}	λ_{6640}
0	-0.04	0.01	0.02	0.03	0.00	-0.04	0.03	0.07
2.44	-0.05	0.01	0.01	0.03	0.00	-0.04	0.03	0.06
4.88	-0.03	0.01	0.01	0.03	0.00	-0.05	0.02	0.05
7.32	-0.04	0.00	0.01	0.02	0.00	-0.05	0.02	0.03
9.76	-0.03	0.00	0.02	0.01	0.00	-0.05	0.01	0.02
12.20	-0.05	-0.02	0.00	0.02	0.00	-0.05	0.00	0.01
14.64	-0.05	-0.03	-0.01	0.01	0.01	-0.05	0.03	0.02
17.08	-0.09	-0.03	-0.03	0.01	0.01	-0.07	0.02	0.01
2.44	-0.05	-0.01	-0.01	0.03	0.00	-0.02	0.03	0.08
4.88	-0.04	0.01	0.01	0.03	0.00	-0.02	0.04	0.09
7.32	-0.03	0.01	0.01	0.03	0.00	-0.03	0.02	0.07
9.76	-0.03	0.00	0.01	0.02	0.00	-0.03	0.02	0.04
12.20	-0.04	0.00	0.01	0.02	0.00	-0.04	0.01	0.03
14.64	-0.05	-0.02	-0.01	0.01	0.01	-0.04	0.01	0.02
17.08	-0.05	0.00	0.01	0.01	0.01	-0.05	0.02	0.02

Table Notes. Valores residuais para pontos de contínuo de cada espectro utilizado na síntese de população estelar

Analisando a Tabela 5.2 juntamente com a Figura 5.2 , observa-se que as linhas de

absorção utilizadas na síntese estão bem ajustadas o que confirma uma boa escolha da base espectral.

Analisando a Tabela 5.2 podemos verificar que a linha de absorção melhor ajustada foi Mg_{25176} . É importante enfatizar isso nesse momento pois veremos mais adiante que esse dado é de suma importância na investigação do mecanismo de formação desse objeto.

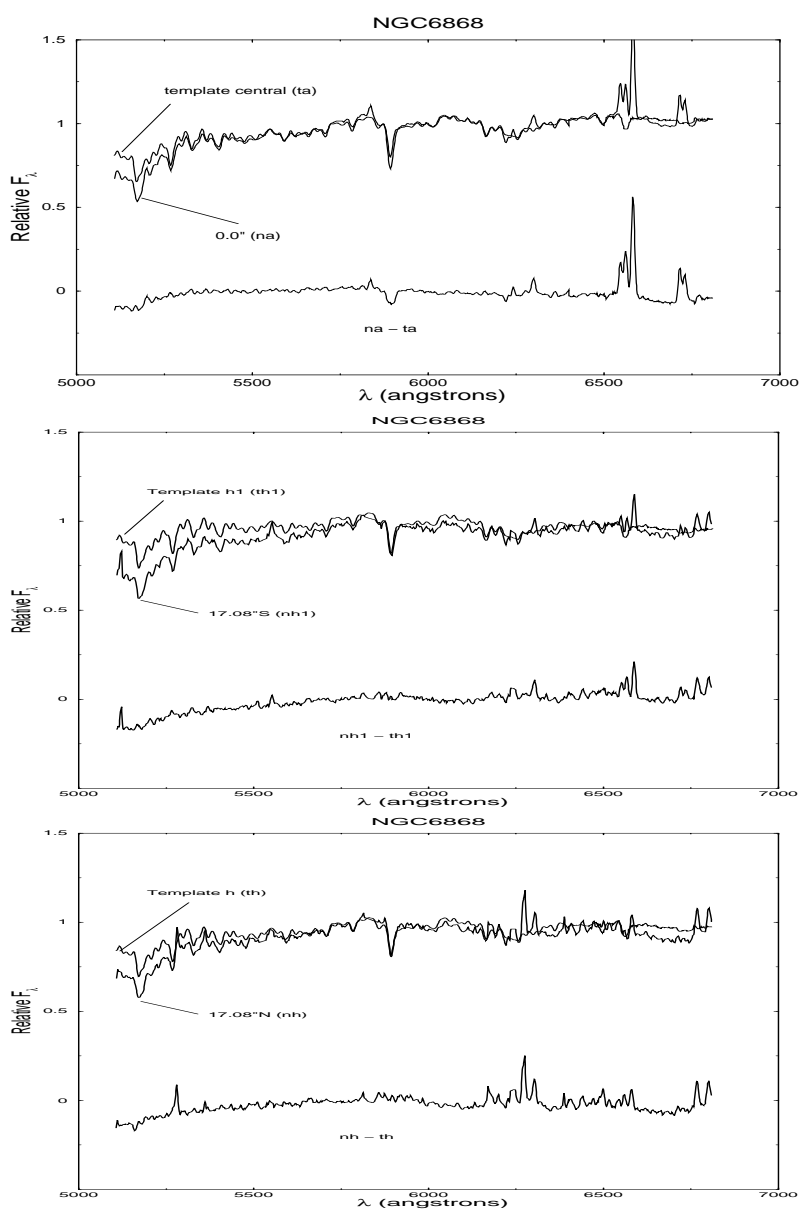


Fig. 5.2: Resultado da síntese para o espectro central de NGC 6868

5.1.2 Fração de Massa

Os resultados da síntese apresentados na Tabela 5.1 referem-se a frações de fluxo em $\lambda = 5870 \text{ \AA}$; com a finalidade de discutir a história de formação estelar, é essencial converter esses valores em fração de massa. Resultados de sínteses anteriores no visível (Bica, 1998) foram convertidos em frações de massa por meio de razões massa-luminosidade (M/L_V) calculados a partir de um modelo de evolução estelar de aglomerados de estrelas (Bica, Arimoto & Alloin 1988). Detalhes completos sobre o modelo, tais como a inclinação da função de massa inicial (IMF) e os cortes superior e inferior de massa são fornecidos naquele artigo. Bonatto et al. (1998) apresentam (Tabela 11 daquele artigo), para cada componente de idade usada, o correspondente intervalo de idade e razão massa-luminosidade expressa em luminosidade em $\lambda 5870 \text{ \AA}$. De posse desses dados podemos converter, facilmente, os resultados da síntese, expressos em fração de fluxo, em fração de massa. Uma reprodução dessa tabela está apresentada na Fig 5.3.

Component	Age interval (10^9 yr)	$\frac{M}{L_{5870}}$	$\frac{L_{5870}}{L_{2646}}$	$\frac{M}{L_{2646}}$
RHII	0.0–0.007	0.035	0.14	0.005
LMC I	0.007–0.02	0.007	0.28	0.002
LMC II	0.02–0.07	0.063	0.41	0.026
LMC III	0.07–0.2	0.305	0.65	0.198
LMC IVA	0.2–0.7	0.343	1.60	0.548
LMC V	0.7–7.0	2.270	3.00	6.820
E2E5	7.0–17.0	8.260	19.10	157.7

Fig. 5.3: Razão massa luminosidade para alguns componentes de idade de aglomerados estelares.

Para exemplificarmos tomaremos a contribuição em fluxo para a região central da galáxia: 1) primeiramente identificamos na Tabela a qual intervalo de idade pertence nossa componente. Vimos que as componentes A1, A2 e A3 encontram-se no intervalo 7.0-17.0 Gyr, e as componentes B1, B2, B3 e C2 encontram-se no intervalo 0.7-7.0 Gyr; 2) O fator de multiplicação para A1, A2 e A3 é 8.26 e para B1, B2, B3 é 2.27, logo temos,

$$A1 - 8.26 \times 0.0566 = 0.48$$

$$A2 - 8.26 \times 0.5336 = 4.41$$

$$A3 - 8.26 \times 0.1088 = 0.90$$

$$B1 - 2.27 \times 0.0728 = 0.17$$

$$B2 - 2.27 \times 0.1502 = 0.34$$

$$B3 - 2.27 \times 0.0616 = 0.14$$

$$C2 - 2.27 \times 0.0164 = 0.04$$

soma = 6.48

Corresponde a 100% , logo para sabermos a fração em massa de cada componente basta dividirmos a contribuição de cada uma pelo valor 6.48, ou seja, para A1 na região central temos $\frac{0.48}{6.48} \sim 7.24\%$.

Os resultados da síntese já convertidos em fração de massa estão na Tabela 5.4.

Tab. 5.4: *Fração de massa - NGC 6868*

R(")	A1 (%)	A2 (%)	A3 (%)	B1 (%)	B2 (%)	B3 (%)	C2 (%)
0.00S	7.2 ± 11.4	68.2 ± 35.9	13.9 ± 30.3	2.5 ± 4.0	5.3 ± 10.6	2.2 ± 5.2	0.6 ± 2.2
2.44S	25.6 ± 7.2	25.7 ± 29.3	33.7 ± 40.1	0.8 ± 1.7	6.8 ± 10.1	6.2 ± 8.5	1.1 ± 2.8
4.88S	14.4 ± 9.3	45.4 ± 31.1	29.5 ± 35.7	1.1 ± 3.5	5.6 ± 11.2	3.4 ± 7.0	0.5 ± 2.0
7.32S	14.6 ± 7.6	41.1 ± 29.6	34.2 ± 39.9	0.7 ± 2.3	5.7 ± 11.8	3.2 ± 6.8	0.3 ± 1.6
9.76S	25.6 ± 11.3	18.7 ± 22.2	41.4 ± 42.1	1.8 ± 3.6	5.0 ± 8.4	6.3 ± 9.2	1.2 ± 2.8
12.2S	29.7 ± 11.0	18.2 ± 23.0	33.1 ± 39.2	1.9 ± 3.9	6.3 ± 9.1	8.1 ± 9.9	2.5 ± 3.6
14.64S	33.8 ± 11.6	23.8 ± 30.5	15.3 ± 26.4	1.7 ± 3.4	11.7 ± 13.0	5.9 ± 9.2	7.8 ± 5.6
17.08S	39.2 ± 7.4	16.4 ± 22.5	19.3 ± 39.4	0.2 ± 1.5	7.8 ± 9.7	11.8 ± 2.9	5.2 ± 6.3
2.44N	15.4 ± 8.2	52.4 ± 31.8	20.5 ± 37.1	1.1 ± 3.0	6.8 ± 11.3	2.9 ± 5.8	0.8 ± 2.4
4.88N	15.9 ± 7.2	47.8 ± 34.1	22.0 ± 32.5	0.8 ± 2.1	8.4 ± 14.3	4.2 ± 7.3	0.8 ± 2.2
7.32N	17.7 ± 7.0	37.5 ± 31.0	27.7 ± 34.7	1.3 ± 2.8	9.7 ± 14.0	4.9 ± 7.4	1.1 ± 2.8
9.76N	23.7 ± 8.5	32.0 ± 32.5	22.0 ± 30.1	1.4 ± 2.9	11.2 ± 13.5	6.9 ± 8.6	2.7 ± 3.6
12.20N	24.5 ± 8.3	28.9 ± 29.7	24.8 ± 33.8	1.5 ± 3.1	10.6 ± 12.4	6.7 ± 8.6	2.9 ± 3.8
14.64N	33.2 ± 10.5	23.9 ± 29.8	17.4 ± 29.2	1.4 ± 2.9	10.4 ± 13.0	5.7 ± 8.9	7.9 ± 5.4
17.08N	32.9 ± 10.5	23.1 ± 27.5	20.5 ± 32.2	1.2 ± 2.7	8.3 ± 11.4	6.2 ± 9.2	7.8 ± 6.1

Table Notes. A tabela apresenta os resultados da síntese de população estelar em termos de fração de massa

Em termos da fração de massa, vemos que NGC 6868 possivelmente teve dois eventos de formação estelar. Um evento ocorreu há pelo menos 13 bilhões de anos e o outro há cerca de 5 bilhões de anos. Como já esperado, há uma maior contribuição das componentes mais velhas. Particularmente vemos que a componente de metalicidade intermediária é a que mais contribui no sentido das regiões espaciais mais externas. Com base nos dados da Tabela 5.4 podemos sugerir que, possivelmente, a maior parte do gás foi convertido em estrelas logo num primeiro evento.

5.2 NGC 5903

Da mesma forma que para NGC 6868 a análise de NGC 5903 também baseia-se em resultados obtidos a partir da realização da síntese da população estelar. As linhas de absorção medidas nos espectros observados de NGC 5903 assim como a base espectral usada

no programa de síntese continuam as mesmas que aquelas usadas na análise de NGC 6868. Os resultados da síntese estão apresentados nas seções seguintes.

5.2.1 Fração de Fluxo

Os resultados obtidos com a síntese de população estelar em termos de fração de fluxo estão na Tabela 5.5 e na Figura 5.4.

Tab. 5.5: *Fração de Fluxo - NGC 5903*

R(″)	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C2	E(B-V)
central	18.0 ± 7.2	30.2 ± 6.9	8.1 ± 7.2	16.2 ± 9.6	5.2 ± 5.9	4.0 ± 5.0	18.4 ± 4.1	0.0
3.05S	12.1 ± 2.5	33.6 ± 12.8	13.8 ± 11.4	2.1 ± 2.9	25.6 ± 19.6	10.1 ± 9.0	2.8 ± 3.8	0.0
6.10S	12.8 ± 2.8	31.2 ± 12.1	15.8 ± 12.3	2.4 ± 3.2	22.2 ± 18.3	12.1 ± 9.9	3.5 ± 4.2	0.0
9.15S	12.8 ± 2.8	31.2 ± 12.1	15.8 ± 12.3	2.4 ± 3.2	22.2 ± 18.3	12.1 ± 9.9	3.5 ± 4.2	0.0
12.20S	13.1 ± 2.8	30.6 ± 12.2	15.2 ± 12.1	2.6 ± 3.2	22.7 ± 18.5	12.2 ± 10.0	3.6 ± 4.3	0.0
15.25S	13.0 ± 2.7	30.7 ± 12.0	16.0 ± 12.4	2.3 ± 3.1	22.4 ± 18.2	12.1 ± 10.0	3.4 ± 4.2	0.0
18.30S	12.0 ± 2.6	24.7 ± 11.3	18.6 ± 13.2	3.9 ± 3.8	25.0 ± 19.3	13.5 ± 10.8	2.2 ± 2.9	0.0
20.40S	16.2 ± 3.1	16.9 ± 10.0	19.8 ± 13.0	3.2 ± 3.9	21.5 ± 16.2	19.1 ± 11.8	3.3 ± 3.5	0.0
3.05N	11.8 ± 2.6	17.6 ± 9.9	25.4 ± 14.6	4.4 ± 4.1	22.3 ± 15.8	17.4 ± 12.5	1.1 ± 2.2	0.0
6.10N	18.9 ± 6.9	30.6 ± 7.6	10.9 ± 9.0	13.9 ± 9.3	4.7 ± 5.6	3.9 ± 4.9	17.0 ± 3.8	0.0
9.15N	16.9 ± 5.6	27.5 ± 11.5	14.9 ± 11.9	8.1 ± 6.7	14.3 ± 12.1	10.7 ± 9.5	7.6 ± 5.1	0.0
12.20N	12.8 ± 2.8	31.2 ± 12.1	15.8 ± 12.3	2.4 ± 3.2	22.2 ± 18.3	12.1 ± 9.9	3.5 ± 4.2	0.0
15.25N	15.6 ± 5.1	27.4 ± 12.0	14.1 ± 10.8	7.7 ± 5.8	16.9 ± 13.3	11.9 ± 10.0	6.2 ± 5.2	0.0
18.30N	13.0 ± 2.7	30.7 ± 12.0	16.0 ± 12.4	2.3 ± 3.1	22.4 ± 18.2	12.1 ± 10.0	3.4 ± 4.2	0.0
20.40N	13.3 ± 3.3	26.9 ± 10.2	22.9 ± 12.9	3.6 ± 3.9	14.5 ± 12.3	15.5 ± 11.5	3.3 ± 3.8	0.0

Table Notes. Na tabela estão apresentados os resultados da síntese em termos de fração de fluxo

Note que para esse objeto as contribuições são mais uniformes do ponto de vista de gradientes. Apenas as componentes A2 e A3 indicam uma pequena variação nesse sentido. A componente A2 da base, com idade representativa de 13 Gyr e metalicidade $[Z/Z_{\odot}] = 0.02$ apresenta um pequeno gradiente em sua contribuição ao espectro central da galáxia. Essa componente contribui com aproximadamente 30% em fluxo em $\lambda = 5870\text{\AA}$ na região central da galáxia caindo até valores menores que 20% na região mais externa. A componente A3 contribui com menos de 10% na parte central, aumentando sua contribuição para valores superiores a 20% na região mais externa. A componente intermediária (B), também contribui consideravelmente chegando a 25% em algumas regiões.

Para ilustrarmos os resultados fornecidos pela síntese da população estelar, nos painéis (a), (b) e (c) da Figura 5.5 apresentamos os espectros sintéticos, construídos a partir dos resultados apresentados na Tabela 5.5, para o centro e para as regiões mais externas da galáxia, respectivamente. Os templates foram bem ajustados indicando que foi utilizado uma boa base espectral.

5.2.2 Fração de Massa

Com a mesma finalidade de obtermos informações mais precisas sobre a história de formação estelar, convertemos os valores de contribuição em fluxo obtidos com a síntese de população estelar em frações de massa. O método utilizado foi o mesmo apresentado na Sec. 5.1.2 para NGC 6868 e os resultados estão na Tabela 5.6.

Tab. 5.6: *Fração de massa - NGC 5903*

R(″)	A1 (%)	A2 (%)	A3 (%)	B1 (%)	B2 (%)	B3 (%)	C2 (%)
central	26.4 ± 25.7	44.2 ± 24.7	11.8 ± 25.4	6.5 ± 5.4	2.1 ± 5.7	1.6 ± 4.9	7.4 ± 4.0
3.05S	17.1 ± 6.9	47.5 ± 35.1	19.7 ± 31.3	0.8 ± 2.2	10.0 ± 14.7	3.9 ± 6.7	1.1 ± 2.8
6.10S	18.1 ± 7.6	44.0 ± 32.8	22.3 ± 33.0	0.9 ± 2.3	8.6 ± 13.5	4.7 ± 7.3	1.3 ± 3.1
9.15S	18.1 ± 7.6	43.0 ± 32.8	22.3 ± 33.0	0.9 ± 2.3	8.6 ± 13.5	4.7 ± 7.3	1.3 ± 3.1
12.20S	18.6 ± 7.5	43.7 ± 32.9	21.6 ± 32.6	1.0 ± 2.4	8.9 ± 13.6	4.8 ± 7.4	1.4 ± 3.2
15.25S	18.4 ± 7.5	43.4 ± 32.4	22.5 ± 33.4	0.9 ± 2.3	8.7 ± 13.5	4.7 ± 7.4	1.3 ± 3.1
18.30S	17.8 ± 7.1	36.5 ± 30.2	27.5 ± 35.4	1.6 ± 2.7	10.8 ± 14.2	5.5 ± 7.9	0.9 ± 2.1
20.40S	24.6 ± 8.8	25.7 ± 27.7	30.0 ± 36.2	1.3 ± 1.0	8.9 ± 12.3	8.0 ± 9.0	1.4 ± 2.7
3.05N	22.7 ± 13.6	39.8 ± 32.14	20.4 ± 28.82	1.1 ± 4.2	6.7 ± 9.7	4.8 ± 7.4	2.5 ± 3.8
6.10N	17.5 ± 7.1	26.2 ± 27.1	37.8 ± 39.8	1.8 ± 3.0	9.1 ± 11.7	7.1 ± 9.3	0.4 ± 1.6
9.15N	26.5 ± 23.0	42.9 ± 25.3	15.2 ± 29.8	5.4 ± 8.5	1.8 ± 5.1	1.5 ± 4.5	6.6 ± 3.5
12.20N	24.0 ± 14.8	39.0 ± 30.0	21.1 ± 31.0	3.1 ± 4.8	5.6 ± 8.6	4.2 ± 6.8	3.0 ± 3.6
15.25N	18.1 ± 7.6	44.0 ± 32.8	22.3 ± 33.0	0.9 ± 2.3	8.6 ± 13.5	4.7 ± 7.3	1.3 ± 3.1
18.30N	18.4 ± 7.5	43.4 ± 32.4	22.5 ± 33.4	0.9 ± 2.3	8.7 ± 13.5	4.7 ± 7.4	1.3 ± 3.1
20.40N	18.1 ± 9.5	36.7 ± 29.0	31.3 ± 36.6	1.4 ± 3.0	5.4 ± 9.5	5.8 ± 9.0	1.2 ± 2.9

Table Notes. :Resultados da síntese de população estelar em termos de fração de massa para NGC 5903.

Em termos de fração de massa, os resultados continuam mostrando que as componentes mais velhas dominam em NGC 5903, ou seja, o maior evento de formação de estrelas ocorreu há, pelo menos, 13 Gyr. Dentre as componentes mais velhas, notamos que a A2, com metalicidade $[Z/Z_{\odot}] = 0.02$ é a que mais contribui. Contudo, as componentes B1 e B2 continuam mostrando uma contribuição média de 10%. Esses resultados sugerem que, possivelmente, houve dois evento de formação estelar em NGC 5903. Um evento ocorreu há 13 bilhões de anos e o outro há 5 bilhões de anos.

5.3 NGC 3607

A síntese de população estelar para NGC 3607 foi realizada utilizando os mesmos complementos de onda central das linhas de absorção medidas nos espectros observados de

NGC 5903 e NGC 6868. A base espectral usada no programa de síntese continua a mesma que aquela usada na síntese das galáxias anteriores.

5.3.1 Fração de Fluxo

Os resultados obtidos com a síntese de população estelar em termos de fração de fluxo estão na Tabela 5.7.

Tab. 5.7: *Fração de Fluxo - NGC 3706*

R(")	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C2	E(B-V)
0.00	33.77 ± 2.15	10.25 ± 7.69	11.26 ± 11.27	3.01 ± 4.21	14.48 ± 10.36	14.81 ± 12.83	12.43 ± 6.09	0.01
3.05S	23.38 ± 5.32	18.64 ± 10.65	8.37 ± 8.34	9.42 ± 7.32	18.94 ± 14.77	8.98 ± 8.73	12.27 ± 5.95	0.01
6.10S	26.29 ± 3.97	20.38 ± 10.87	6.88 ± 6.81	5.41 ± 5.17	18.81 ± 14.51	8.10 ± 8.12	14.13 ± 5.81	0.01
9.15S	28.89 ± 7.53	5.53 ± 5.41	3.62 ± 4.76	10.76 ± 9.06	6.34 ± 6.56	4.42 ± 5.63	40.45 ± 4.73	0.01
12.20S	26.64 ± 2.99	10.17 ± 7.13	4.75 ± 5.77	2.89 ± 4.02	10.39 ± 8.92	5.42 ± 6.16	39.73 ± 4.81	0.02
15.25S	21.35 ± 2.86	19.10 ± 10.50	5.65 ± 6.61	2.90 ± 3.03	17.61 ± 14.33	7.08 ± 7.27	26.31 ± 5.90	0.02
18.30S	20.08 ± 3.53	19.10 ± 10.79	7.93 ± 8.19	3.79 ± 4.47	20.15 ± 15.36	9.12 ± 8.94	19.83 ± 6.56	0.01
24.40S	18.98 ± 3.58	18.60 ± 10.60	14.53 ± 10.75	3.11 ± 3.85	19.93 ± 15.33	14.02 ± 11.09	10.83 ± 6.50	0.02
30.50S	20.04 ± 3.19	19.75 ± 10.87	7.42 ± 7.49	2.74 ± 3.44	20.79 ± 15.55	9.35 ± 8.87	19.91 ± 6.25	0.02
3.05N	30.27 ± 4.37	11.21 ± 7.30	4.73 ± 5.04	5.94 ± 5.69	15.27 ± 11.39	6.07 ± 5.88	26.52 ± 4.37	0.02
6.10N	20.93 ± 7.23	17.18 ± 10.00	11.99 ± 10.55	9.41 ± 8.72	16.61 ± 13.31	10.45 ± 9.77	13.42 ± 7.80	0.02
9.15N	26.03 ± 7.95	8.72 ± 7.67	7.61 ± 7.97	10.83 ± 9.59	11.45 ± 10.12	9.18 ± 9.12	26.18 ± 7.01	0.02
12.20N	18.55 ± 2.27	27.34 ± 10.94	6.96 ± 6.53	0.85 ± 1.88	21.21 ± 16.73	6.98 ± 6.86	18.12 ± 5.46	0.01
15.25N	18.50 ± 2.29	23.67 ± 11.14	11.25 ± 8.59	1.58 ± 2.96	22.17 ± 17.47	9.75 ± 8.49	13.08 ± 5.56	0.01
18.30N	20.41 ± 3.52	17.55 ± 10.90	12.40 ± 10.03	2.57 ± 3.50	21.25 ± 15.51	13.52 ± 10.91	12.30 ± 6.82	0.02
24.40N	18.77 ± 3.98	19.83 ± 12.17	12.12 ± 10.51	3.34 ± 4.39	24.79 ± 17.76	11.61 ± 10.03	9.54 ± 5.30	0.01
30.50N	14.53 ± 5.84	17.78 ± 10.25	11.75 ± 10.37	6.48 ± 7.48	19.75 ± 15.03	10.19 ± 8.80	19.51 ± 6.13	0.01

Table Notes. Na tabela estão apresentados os resultados da síntese em termos de fração de fluxo

A Figura 5.6 nos possibilita uma visão espacial mais detalhada desses resultados.

Analisando a Fig. 5.6 vimos que apenas a componente A1 apresenta um gradiente considerável, passando de uma contribuição de aproximadamente 40% no centro para aproximadamente 20% na parte externa. Os resultados mostram que existe população jovem distribuída ao longo do eixo maior de NGC 3607, sendo que, a maior contribuição se dá na região que dista, aproximadamente, 15 segundos de arco do centro deste objeto como mostra o painel (g).

O ajuste entre os espectros observados e sintéticos construídos com os resultados da síntese estão apresentados na Figura 5.7.

O painel (a) mostra o ajuste entre o espectro observado central e o resultado da síntese para essa região. Os painéis (b) e (c) mostram o ajuste entre os espectros observados nas regiões externas ao norte e ao sul de NGC 3607 respectivamente. Analisando esses painéis vemos que existe um bom ajuste entre os resultados da síntese e os espectros observados.

O ajuste para as demais regiões para toda a amostra estão apresentados nos apêndices 1, 2 e 3 deste trabalho.

5.3.2 Fração de Massa

O método utilizado para converter os resultados obtidos com a síntese de população estelar em fração de fluxo para fração de massa foi o mesmo utilizado anteriormente para NGC 6868 e NGC 5903. Os resultados convertidos em fração de massa estão dados na Tabela 5.8.

Tab. 5.8: *Fração de Massa - NGC 3706*

R(")	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C2
0.00	49.97 ± 7.09	15.16 ± 25.36	16.66 ± 37.17	1.22 ± 3.81	5.88 ± 9.39	6.02 ± 11.63	5.05 ± 5.52
3.05S	36.51 ± 15.45	29.11 ± 30.94	13.07 ± 24.23	4.04 ± 5.84	8.12 ± 11.79	3.85 ± 6.97	5.26 ± 4.75
6.10S	39.64 ± 12.85	30.73 ± 35.19	10.37 ± 22.04	2.24 ± 4.60	7.79 ± 12.91	3.35 ± 7.22	5.85 ± 5.16
9.15S	52.46 ± 30.31	10.04 ± 21.77	6.57 ± 19.16	5.36 ± 10.02	3.16 ± 7.25	2.20 ± 6.22	20.18 ± 5.23
12.20S	46.23 ± 13.31	17.65 ± 31.74	8.24 ± 25.68	1.37 ± 4.91	4.95 ± 10.91	2.58 ± 7.53	18.94 ± 5.88
15.25S	35.05 ± 10.08	31.35 ± 37.02	9.27 ± 23.30	1.30 ± 2.93	7.94 ± 13.88	3.19 ± 7.04	11.87 ± 5.71
18.30S	32.57 ± 10.95	30.98 ± 33.48	12.86 ± 25.41	1.68 ± 3.81	8.98 ± 13.10	4.06 ± 7.62	8.84 ± 5.59
24.40S	29.07 ± 10.21	28.49 ± 30.25	22.26 ± 30.68	1.30 ± 3.01	8.39 ± 12.02	5.90 ± 8.69	4.55 ± 5.09
30.50S	32.47 ± 10.31	32.00 ± 35.15	12.02 ± 24.22	1.22 ± 3.05	9.25 ± 13.81	4.16 ± 7.88	8.86 ± 5.55
3.05N	49.62 ± 18.04	18.37 ± 30.13	7.75 ± 20.80	2.67 ± 6.45	6.88 ± 12.92	2.73 ± 6.67	11.94 ± 4.95
6.10N	32.80 ± 18.70	26.92 ± 25.86	18.78 ± 27.28	4.05 ± 6.19	7.15 ± 9.46	4.50 ± 6.94	5.77 ± 5.54
9.15N	44.72 ± 23.77	14.98 ± 22.93	13.07 ± 23.83	5.11 ± 7.88	5.40 ± 8.31	4.33 ± 7.49	12.36 ± 5.76
12.20N	28.18 ± 8.03	41.54 ± 38.73	10.57 ± 23.12	0.35 ± 1.82	8.85 ± 16.28	2.91 ± 6.67	7.56 ± 5.31
15.25N	27.93 ± 7.27	35.74 ± 35.36	16.98 ± 27.27	0.65 ± 2.58	9.20 ± 15.24	4.04 ± 7.40	5.42 ± 4.85
18.30N	31.88 ± 10.18	27.42 ± 31.55	19.37 ± 29.03	1.10 ± 2.78	9.12 ± 12.33	5.80 ± 8.67	5.28 ± 5.42
24.40N	29.20 ± 10.76	30.85 ± 32.92	18.85 ± 28.43	1.42 ± 3.26	10.60 ± 13.20	4.96 ± 7.45	4.07 ± 3.94
30.50N	24.44 ± 15.89	29.91 ± 27.89	19.77 ± 28.21	2.99 ± 5.59	9.13 ± 11.23	4.71 ± 6.58	9.02 ± 4.58

Table Notes. Resultados da síntese em termos de fração de fluxo para NGC 3607

Esses resultados continuam mostrando que não temos um gradiente considerável das componentes da base e que temos uma contribuição considerável da componente jovem, principalmente na região que dista, aproximadamente, 15 segundos de arco do centro de NGC 3607.

5.4 NGC 5044

Os resultados da síntese para NGC 5044 em termos de fração de fluxo estão apresentados na Tabela 5.9.

A componente G1 ($Z/Z_{\odot} \sim 0.0$) domina no centro com uma contribuição de $\sim 42\%$ do fluxo total, caindo para $\sim 8\%$ na parte externa (24.4"). A componente G2 ($Z/Z_{\odot} \sim -0.4$) contribui com $\sim 32\%$ no centro e $\sim 55\%$ nas regiões mais externas, enquanto a componente G3 ($Z/Z_{\odot} \sim -1.1$) contribui com $\sim 26\%$ na parte central e $\sim 37\%$ nas regiões mais externas.

A Figura 5.8 mostra a variação da contribuição de cada componente como uma função da distância ao centro de NGC 5044.

Na Tabela 5.10 estão dados os resultados obtidos na síntese em termos de fração de massa. Como podemos observar os resultados continuam mostrando que a componente G2 é a que mais contribui.

Tab. 5.9: Resultados da síntese em fração de fluxo para NGC 5044.
Fração de fluxo em $\lambda 5870 \text{ \AA}$

R(")	G1 (%)	G2 (%)	G3 (%)	$E(B - V)_i$
0.00	41.31 ± 1.56	32.53 ± 2.30	26.16 ± 1.27	0.01
3.05S	23.43 ± 2.04	42.29 ± 2.40	34.29 ± 0.88	0.00
6.10 S	20.27 ± 2.85	43.09 ± 2.96	36.64 ± 0.73	0.01
9.15 S	23.79 ± 1.76	32.46 ± 2.27	43.75 ± 1.2	0.01
12.20 S	27.04 ± 3.09	70.48 ± 3.01	2.48 ± 0.98	0.00
15.25 S	11.13 ± 2.79	44.95 ± 3.40	43.92 ± 1.45	0.02
18.30 S	16.19 ± 2.42	42.53 ± 3.03	41.28 ± 1.10	0.01
24.40 S	9.57 ± 2.75	58.16 ± 3.14	32.27 ± 1.01	0.01
3.05 N	19.09 ± 3.17	45.17 ± 3.25	35.74 ± 0.74	0.01
6.10 N	24.92 ± 0.95	32.75 ± 1.53	42.33 ± 1.03	0.01
9.15 N	22.69 ± 2.53	37.93 ± 3.89	39.38 ± 2.13	0.01
12.20 N	22.43 ± 2.69	34.97 ± 4.29	42.60 ± 2.40	0.01
15.25 N	14.33 ± 1.49	84.00 ± 2.58	1.67 ± 1.49	0.00
18.30 N	11.52 ± 2.72	70.10 ± 2.84	18.38 ± 1.15	0.00
24.40 N	7.83 ± 1.88	49.64 ± 2.69	42.53 ± 1.20	0.00

Tab. 5.10: Resultados da síntese em fração de massa para NGC 5044.
Fração de fluxo em $\lambda 5870 \text{ \AA}$

R(")	G1 (%)	G2 (%)	G3 (%)
0.00	39.29 ± 1.48	30.94 ± 2.18	24.88 ± 1.20
3.05	22.24 ± 1.93	40.15 ± 2.27	32.55 ± 0.83
6.10	19.02 ± 2.67	40.44 ± 2.77	34.39 ± 0.68
9.15	22.60 ± 1.67	30.84 ± 2.15	41.57 ± 1.14
12.20	25.25 ± 2.88	65.81 ± 2.81	2.316 ± 0.91
15.25	10.34 ± 2.59	41.75 ± 3.15	40.80 ± 1.34
18.30	15.19 ± 2.27	39.91 ± 2.84	38.74 ± 1.03
24.40	8.952 ± 2.57	54.40 ± 2.93	30.18 ± 0.94
3.05	17.81 ± 2.95	42.15 ± 3.03	33.35 ± 0.69
6.10	24.07 ± 0.91	31.63 ± 1.47	40.89 ± 0.99
9.15	20.90 ± 2.33	34.94 ± 3.58	36.27 ± 1.96
12.20	20.50 ± 2.45	31.97 ± 3.92	38.94 ± 2.19
15.25	13.57 ± 1.41	79.57 ± 2.44	1.582 ± 1.41
18.30	10.79 ± 2.54	65.69 ± 2.66	17.22 ± 1.07
24.40	7.402 ± 1.77	46.93 ± 2.54	40.20 ± 1.13

O ajuste entre os espectros observados e sintéticos construídos com os resultados da síntese mostra que os templates escolhidos para a base espectral reproduzem bem os espectros observados (ver Rickes et al. 2004).

5.5 Índice de cor integrada

Com o objetivo de colocar nossa amostra no contexto de outras galáxias, especialmente as elípticas, construímos um diagrama cor-cor (J-K) vs. (V-K), usando dados fotométricos J, K e V para uma amostra de galáxias apresentadas em Rembold et al.(2002) e no site do NED. Os resultados estão apresentados na Figura 5.9, mostrando claramente que as galáxias NGC 5903 e NGC 6868 tem a cor (V-K) menos vermelha que NGC 5044 (Rickes et al. 2004) e mais vermelha que NGC 3607. Esse resultado reflete os resultados obtidos com a síntese de população estelar, pois sabemos que a população estelar velha contribui mais com o índice de cor (V-K).

5.6 Metalicidade

Com o objetivo de reforçarmos os resultados obtidos sobre a metalicidade das galáxias através da síntese de população estelar, comparamos alguns índices de Lick medidos em NGC 6868, NGC 5903, NGC 3607 e NGC 5044 com os modelos (single-aged stellar population - SSPs) de Thomas et al. (2003). Utilizamos apenas aqueles índices que apresentam maiores larguras equivalentes, pois são mais bem definidos ($Mg2\ 5176$, $FeI\ 5270$ e $FeI\ 5335$).

Os modelos SSPs de Thomas et al. (2003) utilizam a síntese de população estelar evolutiva de Maraston (1998) que têm como principal característica poder considerar maior intervalo em metalicidade. Adotamos aqui, SSPs que assumem uma função de massa inicial de Salpeter (1955).

Devido aos resultados obtidos pela síntese, utilizamos modelos que assumem idade de 10 Gyrs e metalicidade $[Z/Z_{\odot}] = -2.25, -1.35, 0.00, +0.35, +0.67$ e razões entre elementos alfa e abundância de ferro de $[\alpha/Fe] = -0.3, 0.0, +0.3, +0.5$.

Plotamos na Figura 5.10 os índices de Lick medidos nas diferentes regiões de NGC 6868, NGC 5903, NGC 3607 e NGC 5044 em comparação com os modelos SSPs.

O painel (a) da Figura 5.10 mostra que o núcleo de NGC 6868 ($< 0.1 r_e \sim 7.36\ kpc$) não apresenta excesso de elementos α em relação a ferro e possui metalicidade maior que solar variando de $[Z/Z_{\odot}] = 0.00$ a $[Z/Z_{\odot}] = +0.35$. As regiões externas ao núcleo ($> 0.1 r_e < 0.4 r_e$) apresentam metalicidades variando entre $[Z/Z_{\odot}] = -0.35$ e solar e um ligeiro excesso de elementos α em relação a ferro. Com base nesses dados, podemos sugerir que não houve explosões em números expressivos de supernovas de tipo II no núcleo desse

objeto, porém possivelmente tenha havido nas regiões externas já que essas são responsáveis pelo enriquecimento de elementos α em galáxias elípticas.

O painel (b) da mesma figura mostra que o núcleo de NGC 5903 ($\sim 6.07 \text{ kpc}$) possui uma metalicidade superior à $[Z/Z_{\odot}] = +0.35$ e não apresenta insuficiência de ferro em relação a elementos α . As regiões entre 0.1 e $0.4 r_e$ apresentam metalicidades entre a solar e $[Z/Z_{\odot}] = +0.35$ e não indica um claro excesso de elementos α em relação a ferro sugerindo assim, que não houve explosões de estrelas supernovas de tipo II em números expressivos nesse objeto.

Vimos também que NGC 3607 possui uma metalicidade menor que solar ($-0.67 < [Z/Z_{\odot}] < -0.35$) e que não há excesso de elementos α em relação a ferro no núcleo desse objeto.

O painel (d) mostra que NGC 5044 é uma galáxia metálica ($[Z/Z_{\odot}] \sim +0.33$), vemos também que há um excesso de elementos α em relação a ferro.

Esses resultados serão discutidos detalhadamente na Sec. 8.

NGC 5903

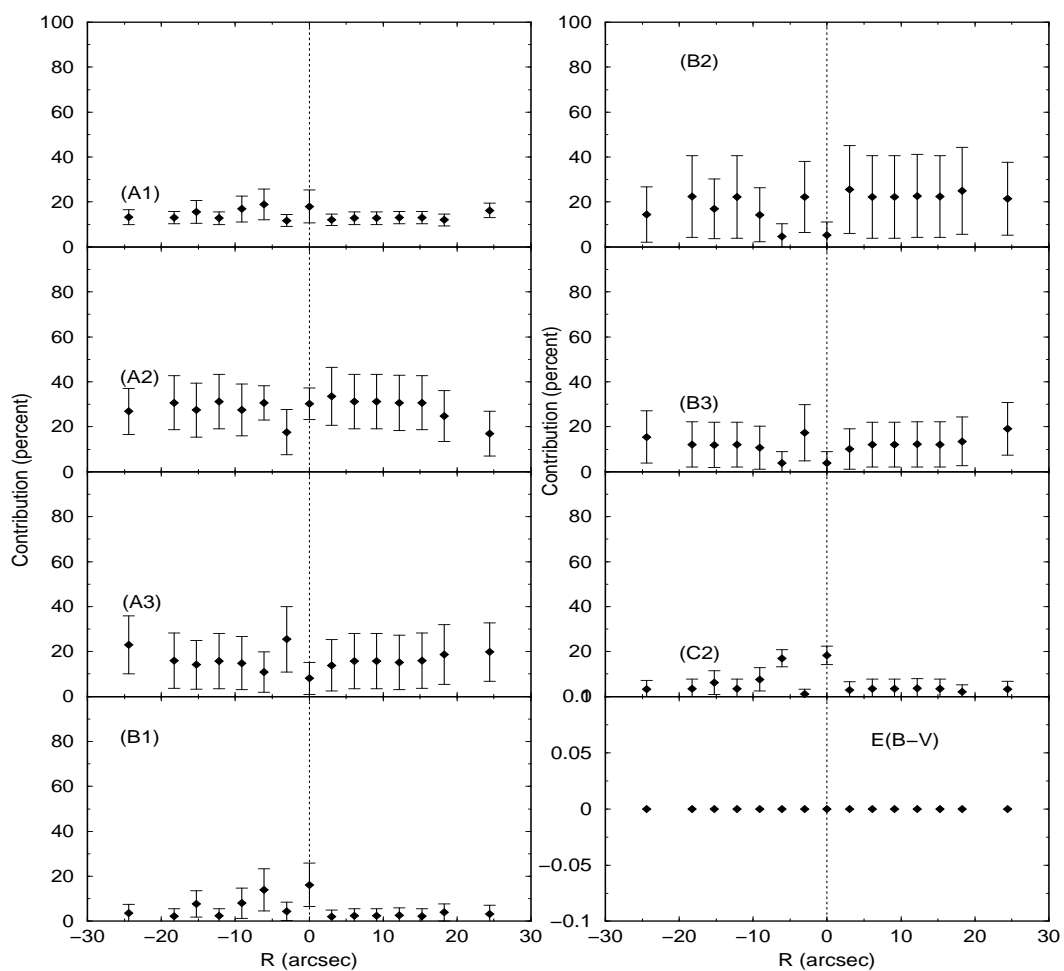


Fig. 5.4: Resultado da síntese para os espectros de NGC 5903

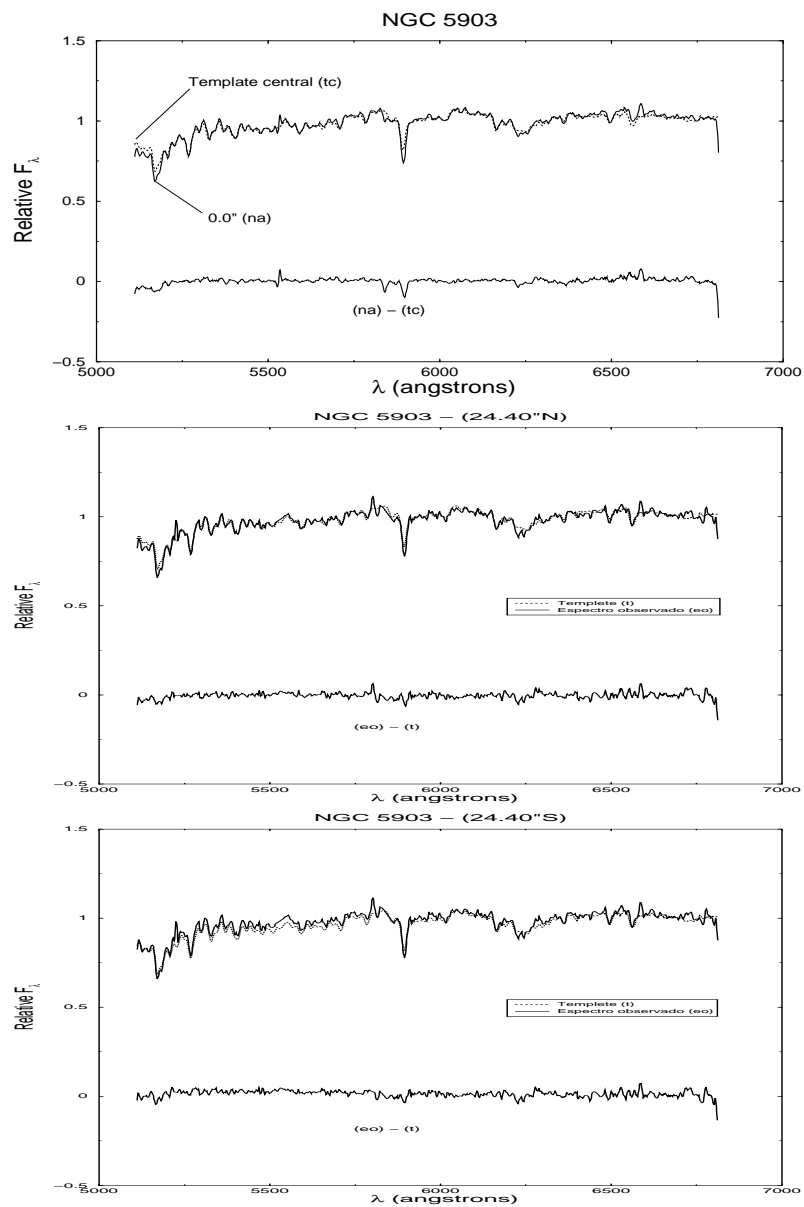


Fig. 5.5: Resultado da síntese para os espectros de NGC 5903

NGC 3607

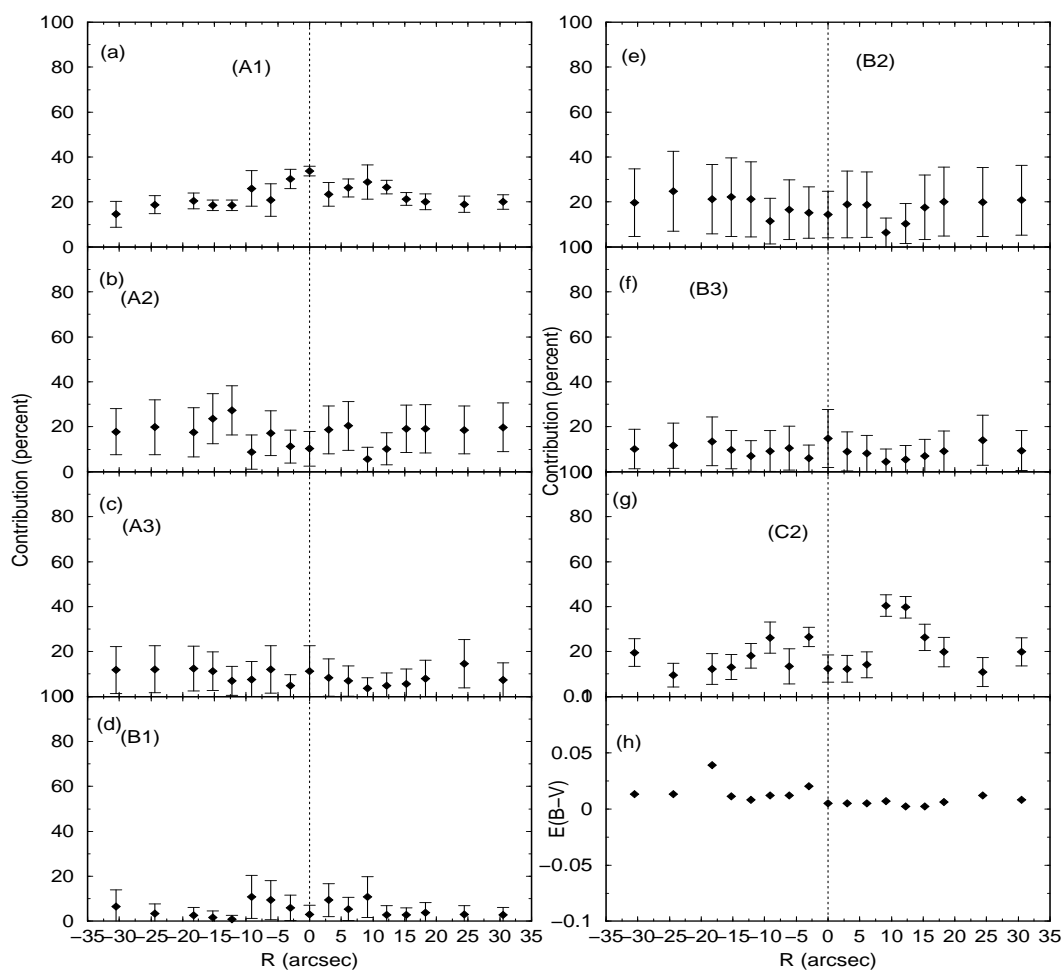


Fig. 5.6: Resultado da síntese para os espectros de NGC 3607

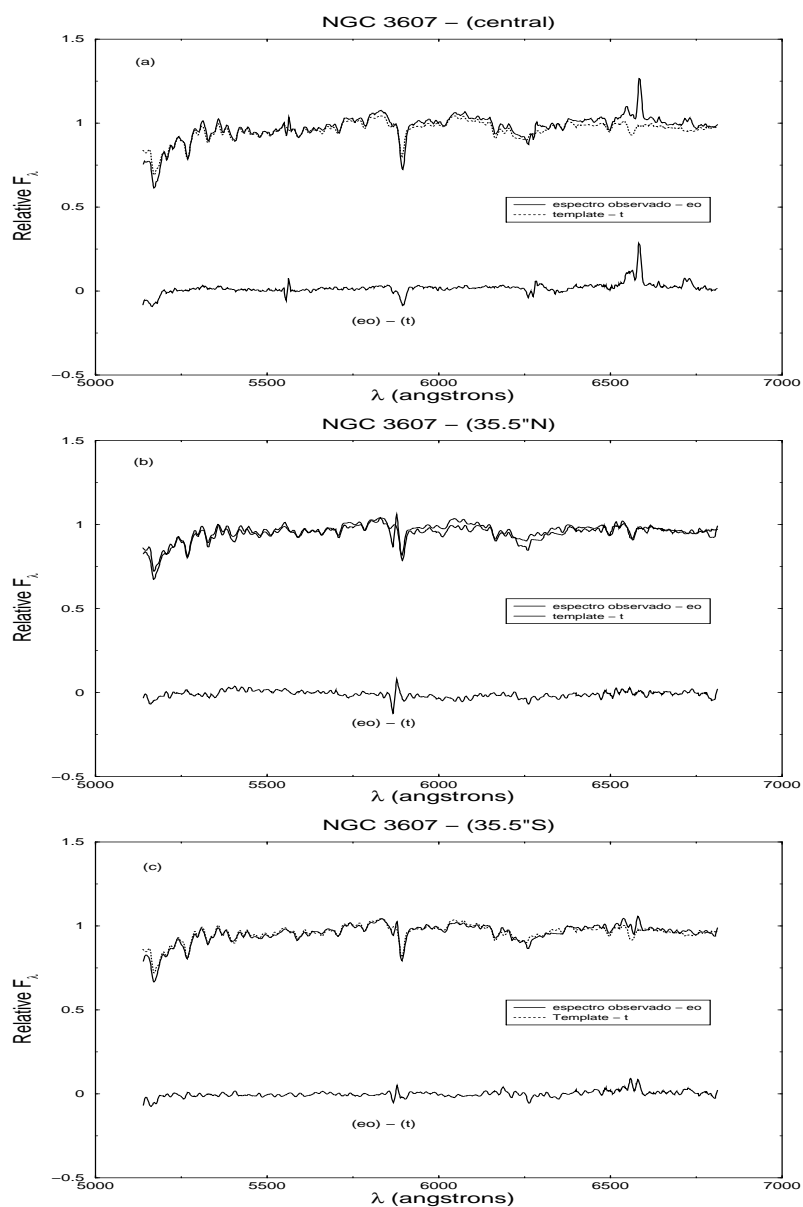


Fig. 5.7: Resultado da síntese para os espectros de NGC 3607

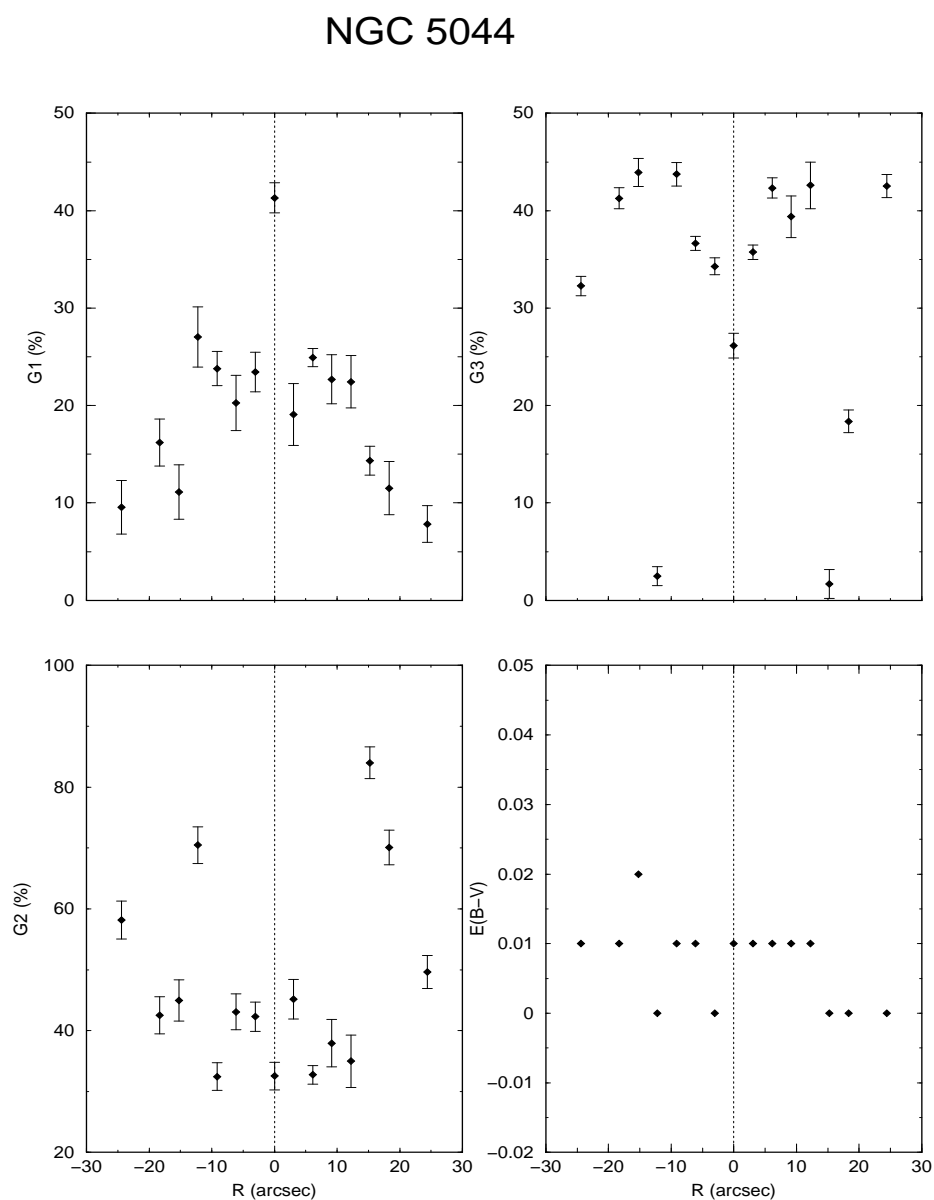


Fig. 5.8: Resultados em fração de fluxo como uma função da distância ao centro - Painéis (a), (b) e (c); painel (d) - distribuição espacial do avermelhamento interno.

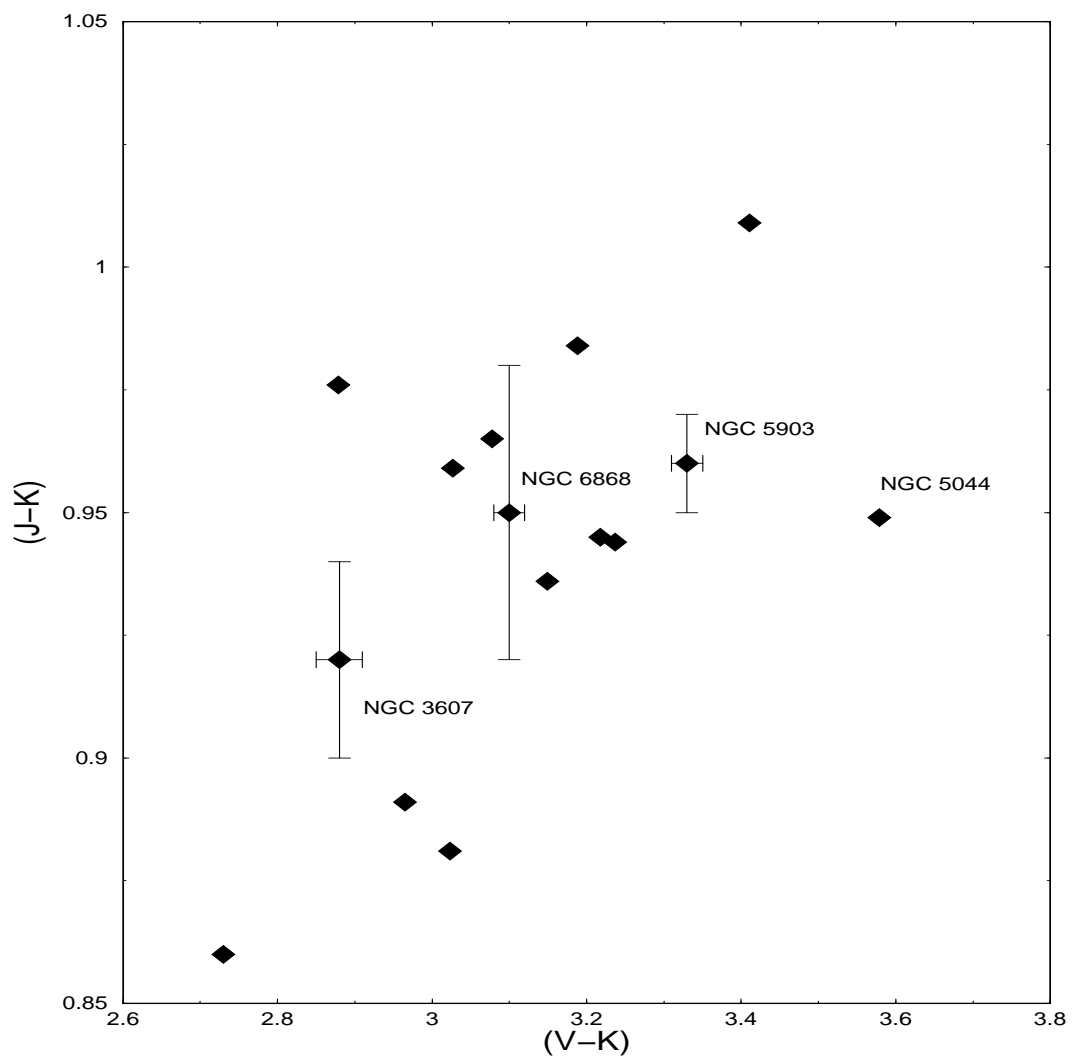


Fig. 5.9: Posição de NGC 6868, NGC 5903, NGC 3607 e NGC 5044 no diagrama cor-cor.

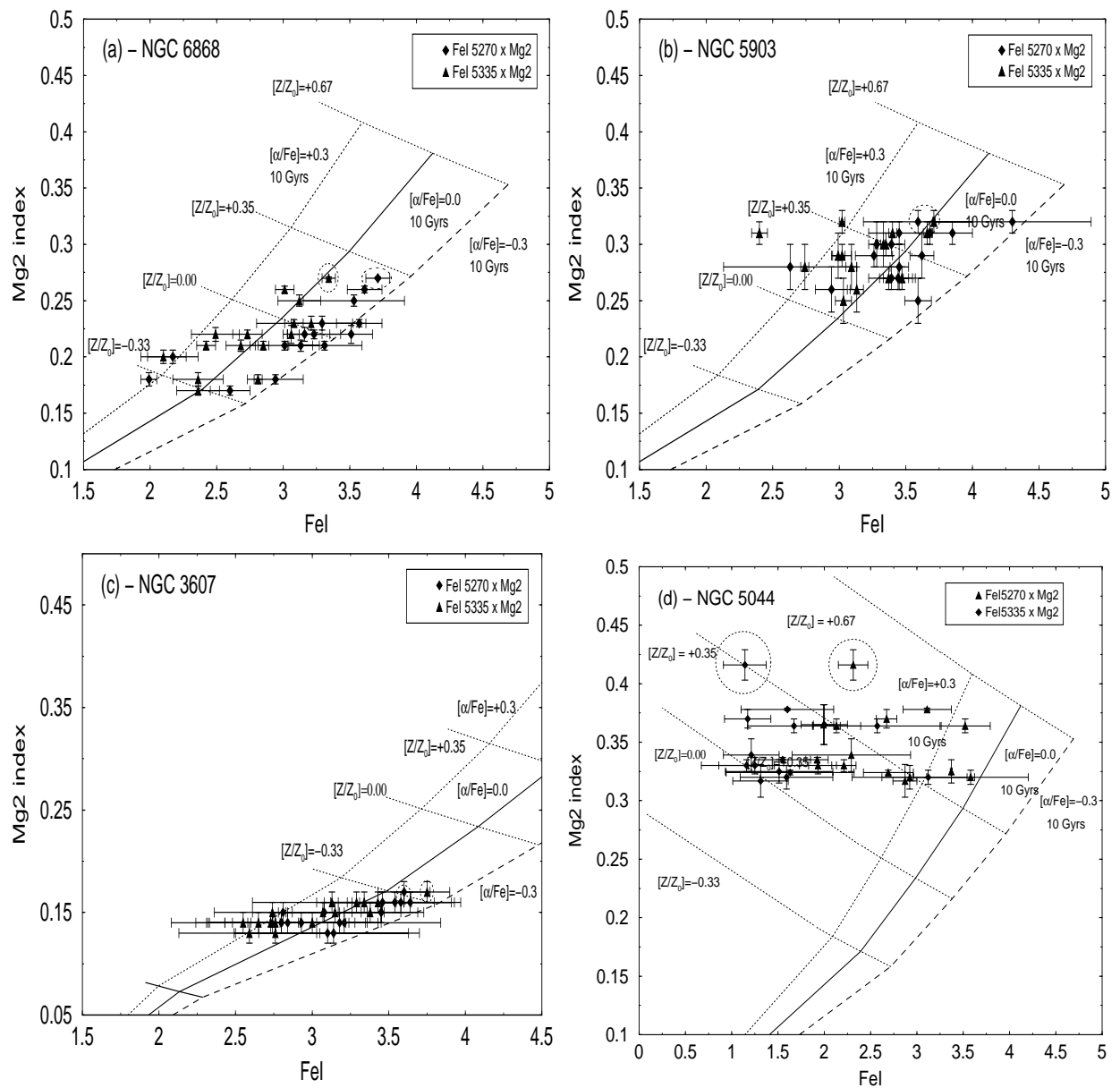


Fig. 5.10: Análise de metalicidade em NGC 6868, NGC 5903 e NGC 3607.

Capítulo 6

Propriedades Globais da Amostra e o Plano Fundamental

Algumas propriedades globais, tais como luminosidade, raio, dispersão de velocidades e massa caracterizam uma determinada classe de galáxias elípticas. A correlação entre três dessas propriedades, como por exemplo a luminosidade, massa e dispersão de velocidades dão origem ao Plano Fundamental das galáxias.

Djorgovski & Davis (1987) construíram um plano fundamental plotando a magnitude absoluta da galáxia na banda B vs. σ (dispersão de velocidades) para uma amostra de 260 galáxias early-type do nosso universo local. Com os dados apresentados em seu trabalho, construíamos a Figura 6.1.

A reta tracejada que aparece na Figura 6.1 obedece à seguinte função :

$$M_e = -8.62(\log \sigma + 0.10 < \mu > + 16.14), \quad (6.1)$$

onde $< \mu >$ é o brilho médio da galáxia.

Podemos ver claramente nessa Figura que a magnitude absoluta depende fortemente da dispersão de velocidades (σ). Isso já era de se esperar já que (σ) depende da massa.

Com o objetivo de compararmos NGC 5903, NGC 6868, NGC 3607 e NGC 5044 com a amostra analisada por Djorgovski & Davis (1987) calculamos a magnitude total na banda B para esses objetos.

As magnitudes aparentes desses objetos estão dadas em Carollo et al. (1993) e são $B_{NGC6868} = 11.42$ e $B_{3607} = 11.66$ e $B_{5044} = 11.83$. A magnitude aparente de NGC 3607 foi obtida no NED e vale $B = 10.79$.

As distâncias dos objetos, assim como a dispersão de velocidades, estão calculadas e apresentadas na Tab. 1.1 do Cap.1. Usando a Eq. 2.6 da Sec. 2 encontramos $M_{B6868} = -21.48$, $M_{B5903} = -21.01$, $M_{B3607} = -19.79$ e $M_{B5044} = -21.92$.

Os pontos cheios na Figura 6.1 representam a posição dos objetos estudados no plano. Vemos claramente, nessa Figura, que as galáxias elípticas NGC 6868, NGC 5903 e NGC 5044 são consistentes com o plano fundamental de Djorgovski & Davis (1987). Apesar de NGC 3607 ser uma galáxia de transição, também satisfaz o plano.

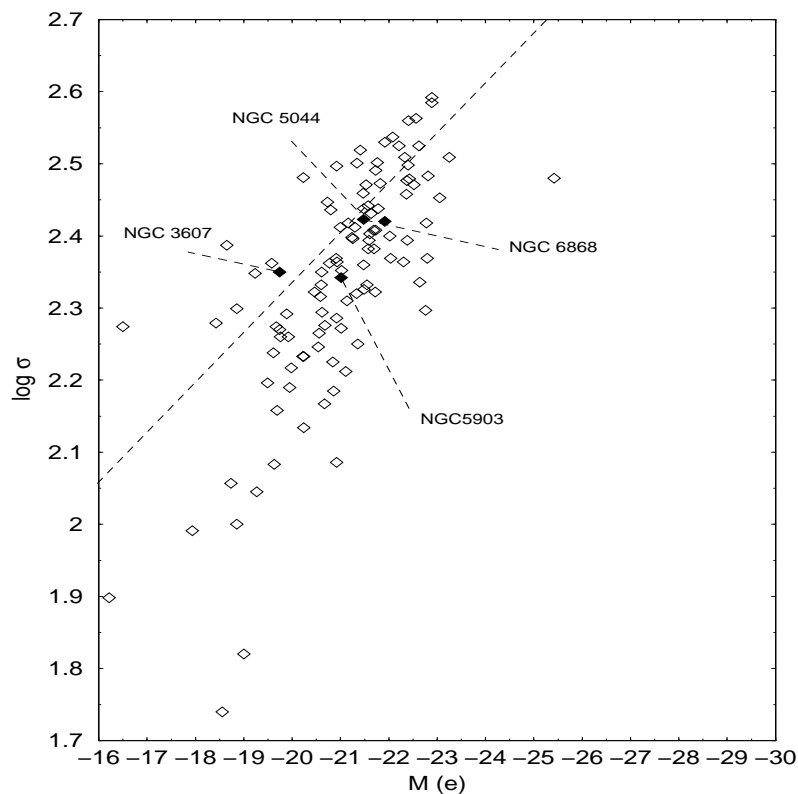


Fig. 6.1: Plano Fundamental: $M(e)$ representa a magnitude absoluta da galáxia na banda B.

Djorgovski & Davis (1987) indicam que todos os parâmetros morfológicos que descrevem a forma da distribuição de luz (elipticidade, inclinação do perfil do brilho superficial, etc.) refletindo anisotropia dinâmica das estrelas são independentes do plano fundamental.

Estudos sobre fusão de galáxias indicam que a escala de tempo para o processo completo é de aproximadamente 10^8 anos (Chatterjee, 1993). Esse tempo é muito pequeno, mesmo comparado com a idade da população mais jovem encontrada para NGC 6868 e NGC 5903 com síntese de população estelar.

Simulações numéricas realizadas por Boylan-Kolchin et al. (2005) também consideram que 5 bilhões de anos é um tempo de relaxamento suficientemente grande para que o meio interestelar de galáxias que tiveram um evento de merger se uniformize novamente e assim volte a satisfazer o plano fundamental.

No caso de NGC 5044, os resultados são completamente previstos, já que esse é um objeto de população velha. Como houve recentes eventos de formação estelar em NGC 3607 isso se reflete na análise do plano fundamental como mostra a Figura 6.1.

Capítulo 7

Gás Ionizado

Gás em emissão tem sido detectado em um grande número de galáxias elípticas. Entretanto, a origem desse gás e a fonte de ionização, ainda não estão estabelecidas conclusivamente. NGC 6868 apresenta fortes linhas de emissão, não apenas no seu centro, mas em espectros extraídos até 17.08". NGC 3607 também apresenta fortes linhas de emissão nos espectros extraídos ao longo do seu eixo maior.

Neste capítulo, investigaremos as condições físicas e fonte de ionização do gás em NGC 6868, NGC 3607 e NGC 5044 utilizando os resultados da síntese de população estelar descrita no capítulo anterior. Como pode ser visto em capítulos anteriores, NGC 5903 não apresenta linhas de emissão que indiquem uma considerável concentração de gás.

7.1 Obtenção dos Fluxos

As propriedades do gás em emissão são estudadas a partir dos fluxos de linhas de emissão, medidas nos espectros subtraídos da contribuição da população estelar.

Para realizarmos a medida de fluxo nas linhas de emissão dos espectros resultantes da síntese de população estelar, utilizamos o programa de análise de dados *LINER*. A principal vantagem em utilizar o *LINER* neste trabalho ao invés do *IRAF*, é a possibilidade de estabelecer alguns vínculos previstos pela teoria. Por exemplo, quando vamos medir as linhas de emissão do [NII], sabemos da teoria que o fluxo medido da linha de $[\text{NII}]_{\lambda 6548}$ deve ser $\frac{1}{3}$ do fluxo de $[\text{NII}]_{\lambda 6584}$; e esse vínculo não pode ser imposto utilizando o *IRAF*.

As linhas em emissão que medimos nesse trabalho são $H\alpha$, $[\text{NII}]_{\lambda 6548}$, $[\text{NII}]_{\lambda 6584}$, $[\text{SII}]_{\lambda 6717}$ e $[\text{SII}]_{\lambda 6731}$.

Nas Tabelas 7.1, 7.2 e 7.3 estão listados os valores das medidas de fluxo das linhas de emissão $H\alpha$, $[\text{NII}]_{\lambda 6548}$, $[\text{NII}]_{\lambda 6584}$, $[\text{SII}]_{\lambda 6717}$ e $[\text{SII}]_{\lambda 6731}$. Esses fluxos foram medidos nos espectros subtraídos ao sul e ao norte de NGC 6868, NGC 3607 e NGC 5044, respectiva-

Tab. 7.1: Fluxos absolutos e razões de linhas em NGC 6868.

R (")	$H\alpha$	$[NII]_{6584}$	$[NII]_{6548}$	$[SII]_{6717}$	$[SII]_{6731}$	$\frac{[NII]}{H\alpha}$	$\frac{[SII]}{H\alpha}$	$[OI]$
0.00	3.36 ± 0.08	7.19 ± 0.10	2.39 ± 0.11	2.12 ± 0.09	2.02 ± 0.13	2.81 ± 0.2	1.23 ± 0.1	1.71 ± 0.13
2.44S	3.39 ± 0.10	7.39 ± 0.07	2.46 ± 0.09	2.08 ± 0.11	1.92 ± 0.08	2.90 ± 0.9	1.18 ± 0.1	1.13 ± 0.15
4.88S	1.81 ± 0.11	3.34 ± 0.13	1.11 ± 0.14	0.94 ± 0.11	0.74 ± 0.12	2.46 ± 0.2	0.92 ± 0.1	0.92 ± 0.12
7.32S	1.20 ± 0.18	2.12 ± 0.15	0.71 ± 0.11	0.45 ± 0.12	0.61 ± 0.11	2.36 ± 0.36	0.88 ± 0.4	1.11 ± 0.13
9.76S	0.82 ± 0.21	1.45 ± 0.23	0.49 ± 0.19	0.39 ± 0.21	0.60 ± 0.13	2.36 ± 0.6	1.20 ± 0.3	1.01 ± 0.12
2.44N	3.83 ± 0.13	8.40 ± 0.13	2.80 ± 0.12	2.55 ± 0.08	2.52 ± 0.08	2.92 ± 0.3	1.32 ± 0.1	1.12 ± 0.10
4.88N	2.86 ± 0.10	5.68 ± 0.09	1.89 ± 0.12	1.84 ± 0.08	1.88 ± 0.10	2.65 ± 0.2	1.30 ± 0.1	0.75 ± 0.11
7.32N	2.34 ± 0.13	5.05 ± 0.12	1.68 ± 0.14	1.60 ± 0.12	1.33 ± 0.13	2.87 ± 0.64	1.25 ± 0.1	0.45 ± 0.11
9.76N	2.08 ± 0.16	4.86 ± 0.15	1.62 ± 0.17	1.47 ± 0.14	1.43 ± 0.12	3.11 ± 0.42	1.39 ± 0.1	0.72 ± 0.12
12.20N	1.49 ± 0.13	3.22 ± 0.18	1.07 ± 0.17	1.13 ± 0.16	1.07 ± 0.15	2.88 ± 0.33	1.47 ± 0.4	0.83 ± 0.15
14.64N	1.39 ± 0.18	2.67 ± 0.18	0.89 ± 0.15	0.77 ± 0.18	0.94 ± 0.17	2.56 ± 0.57	1.23 ± 0.17	–
17.08N	1.06 ± 0.20	1.94 ± 0.21	0.64 ± 0.19	0.65 ± 0.21	0.62 ± 0.22	2.43 ± 0.48	1.20 ± 0.23	–

Table Notes. Todos os fluxos estão normalizados a $10^{-15} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$.

mente. Estão dados também os valores das razões de linhas $[NII]/H\alpha$ e $[SII]/H\alpha$. O erro atribuído a cada medida de fluxo é dado pelo programa (*LINER*) e representa a falta de ajuste entre a curva real representativa do perfil da linha de emissão e a curva calculada pelo programa para tentar reproduzi-la.

7.2 Luminosidade e Número de Fótons Ionizantes

A luminosidade da galáxia em uma dada linha de emissão pode ser obtida conhecendo-se a distância dessa galáxia até nós e o fluxo da linha, por exemplo, em $H\alpha$ ($F_{H\alpha}$). A distância obtemos facilmente utilizando a lei de Hubble, já que conhecemos a velocidade radial de NGC 6868 ($V_r \sim 2790 \text{ km s}^{-1}$):

$$D = \frac{V_r}{H_0} \quad (7.1)$$

As distâncias encontradas para NGC 6868 e NGC 3607 foram 37 Mpc e 13 Mpc respectivamente. A constante de Hubble (H_0) utilizada nesse cálculo foi de $75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

Calculamos a luminosidade da galáxia em $H\alpha$ ($L_{H\alpha}$) utilizando a seguinte equação :

$$L_{H\alpha} = 4\pi D^2 F_{H\alpha} \quad (7.2)$$

Tab. 7.2: Fluxos absolutos e razões de linhas em NGC 3607.

R (")	$H\alpha$	$[NII]_{6584}$	$[NII]_{6548}$	$[SII]_{6717}$	$[SII]_{6731}$	$\frac{[NII]}{H\alpha}$	$\frac{[SII]}{H\alpha}$
0.00	1.34 ± 0.1	3.46 ± 0.1	1.15 ± 0.1	0.66 ± 0.1	0.69 ± 0.1	3.44 ± 0.1	1.01 ± 0.1
3.05S	1.29 ± 0.1	3.20 ± 0.1	1.06 ± 0.1	0.58 ± 0.2	0.72 ± 0.2	3.30 ± 0.1	1.01 ± 0.1
6.10S	0.93 ± 0.1	2.20 ± 0.1	0.73 ± 0.1	0.47 ± 0.2	0.50 ± 0.2	3.15 ± 0.1	1.04 ± 0.1
9.15S	0.60 ± 0.2	1.43 ± 0.2	0.47 ± 0.2	0.32 ± 0.2	0.28 ± 0.2	3.17 ± 0.1	1.00 ± 0.1
12.20S	0.56 ± 0.2	1.10 ± 0.2	0.36 ± 0.2	0.14 ± 0.1	0.32 ± 0.1	2.61 ± 0.1	0.82 ± 0.1
15.25S	0.60 ± 0.2	1.02 ± 0.2	0.34 ± 0.2	0.22 ± 0.2	0.35 ± 0.2	2.27 ± 0.1	0.95 ± 0.1
18.30S	0.84 ± 0.2	1.25 ± 0.2	0.41 ± 0.2	0.19 ± 0.2	0.36 ± 0.2	1.98 ± 0.1	0.65 ± 0.1
24.40S	0.80 ± 0.2	1.07 ± 0.3	0.35 ± 0.2	0.28 ± 0.2	0.30 ± 0.2	1.78 ± 0.1	0.73 ± 0.1
30.50S	0.85 ± 0.3	0.89 ± 0.3	0.29 ± 0.3	0.26 ± 0.2	0.31 ± 0.2	1.39 ± 0.1	0.67 ± 0.1
3.05N	0.97 ± 0.1	2.43 ± 0.1	0.81 ± 0.1	0.42 ± 0.2	0.44 ± 0.2	3.34 ± 0.1	0.89 ± 0.1
6.10N	0.71 ± 0.1	1.87 ± 0.1	0.62 ± 0.1	0.41 ± 0.2	0.47 ± 0.2	3.51 ± 0.1	1.24 ± 0.1
9.15N	0.66 ± 0.2	1.43 ± 0.2	0.47 ± 0.2	0.31 ± 0.2	0.31 ± 0.2	2.88 ± 0.1	0.94 ± 0.1
12.20N	0.65 ± 0.2	1.16 ± 0.2	0.38 ± 0.2	0.26 ± 0.2	0.26 ± 0.2	2.37 ± 0.1	0.80 ± 0.1
15.25N	0.80 ± 0.2	1.07 ± 0.3	0.35 ± 0.2	0.30 ± 0.2	0.30 ± 0.2	1.78 ± 0.1	0.75 ± 0.1
18.30N	0.90 ± 0.3	1.27 ± 0.3	0.42 ± 0.3	0.22 ± 0.3	0.22 ± 0.3	1.88 ± 0.1	0.49 ± 0.1
24.40N	0.51 ± 0.4	1.03 ± 0.4	0.34 ± 0.4	0.42 ± 0.3	0.42 ± 0.3	2.69 ± 0.4	1.65 ± 0.2

Table Notes. Fluxos normalizados a $10^{-15} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$.

Tab. 7.3: Fluxos absolutos e razões de linhas em NGC 5044.

R (")	$H\alpha$	$[NII]_{6584}$	$[NII]_{6548}$	$[SII]_{6717}$	$[SII]_{6731}$	$\frac{[NII]}{H\alpha}$	$\frac{[SII]}{H\alpha}$	$[OI]$
0.00	6.80 ± 0.23	22.0 ± 0.25	7.33 ± 0.25	8.73 ± 0.16	5.83 ± 0.11	4.31 ± 0.15	2.14 ± 0.08	0.25 ± 0.06
3.05S	4.29 ± 0.11	7.34 ± 0.19	2.44 ± 0.06	2.58 ± 0.08	1.96 ± 0.06	2.28 ± 0.07	1.06 ± 0.04	0.32 ± 0.07
6.10S	3.27 ± 0.14	5.91 ± 0.25	1.97 ± 0.08	2.04 ± 0.10	1.42 ± 0.07	2.41 ± 0.13	1.06 ± 0.06	0.12 ± 0.08
9.15S	2.91 ± 0.11	4.36 ± 0.17	1.45 ± 0.05	1.50 ± 0.08	1.24 ± 0.07	1.99 ± 0.09	0.94 ± 0.05	0.94 ± 0.13
12.20S	2.49 ± 0.09	2.36 ± 0.08	0.78 ± 0.03	0.60 ± 0.05	0.57 ± 0.04	1.26 ± 0.06	0.47 ± 0.03	0.94 ± 0.11
15.25S	3.39 ± 0.20	2.41 ± 0.14	0.80 ± 0.05	0.63 ± 0.03	1.15 ± 0.05	0.95 ± 0.07	0.52 ± 0.03	0.76 ± 0.11
18.30S	3.43 ± 0.13	5.47 ± 0.21	1.82 ± 0.07	1.00 ± 0.15	1.15 ± 0.17	2.13 ± 0.10	0.63 ± 0.07	0.51 ± 0.08
24.40S	4.06 ± 0.23	4.88 ± 0.27	1.62 ± 0.09	1.58 ± 0.21	1.09 ± 0.14	1.60 ± 0.11	0.66 ± 0.07	0.46 ± 0.05
2.44N	4.73 ± 0.38	7.84 ± 0.62	2.61 ± 0.21	2.32 ± 0.45	1.63 ± 0.32	2.21 ± 0.23	0.83 ± 0.13	0.55 ± 0.08
4.88N	4.74 ± 0.14	4.56 ± 0.23	1.52 ± 0.08	0.96 ± 0.07	0.70 ± 0.05	1.28 ± 0.06	0.35 ± 0.02	0.20 ± 0.07
7.32N	2.08 ± 0.11	3.51 ± 0.19	1.17 ± 0.06	0.72 ± 0.06	0.63 ± 0.05	2.25 ± 0.15	0.65 ± 0.05	0.20 ± 0.14
9.76N	1.25 ± 0.10	2.65 ± 0.21	0.88 ± 0.77	0.50 ± 0.02	0.40 ± 0.01	2.82 ± 0.68	0.72 ± 0.06	2.38 ± 0.34
12.20N	3.51 ± 0.17	2.41 ± 0.12	0.80 ± 0.04	0.40 ± 0.09	0.37 ± 0.08	0.91 ± 0.06	0.22 ± 0.04	0.71 ± 0.11
14.64N	1.32 ± 0.09	1.93 ± 0.13	0.64 ± 0.22	0.54 ± 0.14	0.48 ± 0.13	1.94 ± 0.23	0.77 ± 0.15	1.88 ± 0.25
17.08N	3.98 ± 0.22	4.82 ± 0.27	1.60 ± 0.90	1.60 ± 0.13	1.95 ± 0.15	1.61 ± 0.25	0.89 ± 0.07	0.48 ± 0.09

Table Notes. Todos os fluxos estão normalizados a $10^{-16} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$.

A partir dos valores encontrados usando a equação acima, e assumindo que as linhas do hidrogênio são formadas por recombinação (Osterbrock, 1989), obtemos o número de fótons ionizantes $Q(H)$ utilizando a seguinte equação :

$$Q(H) = \frac{L_{H\alpha}}{h\nu_{\alpha}} \frac{\alpha_B(H^0, T)}{\alpha_{H\alpha}(H^0, T)}, \quad (7.3)$$

onde $\alpha_B(H^0, T)$ é o coeficiente de recombinação somado sobre todos os níveis de energia e $\alpha_{H\alpha}(H^0, T)$ é o coeficiente de recombinação em $H\alpha$.

7.2.1 NGC 6868

Na Tabela 7.4 apresentamos os valores encontrados para a $L_{H\alpha}$ e $Q(H)$ para NGC 6868.

R (")	$F_{H\alpha}$ ($\times 10^{-15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	$L_{H\alpha}$ ($\times 10^{38} \text{ erg s}^{-1}$)	$Q(H)$ ($\times 10^{51} \text{ fotons s}^{-1}$)
0.00	3.36 ± 0.02	5.77 ± 0.03	3.03 ± 0.03
2.44S	3.39 ± 0.02	5.82 ± 0.03	3.06 ± 0.03
4.88S	1.81 ± 0.01	3.11 ± 0.03	1.63 ± 0.03
7.32S	1.20 ± 0.01	2.06 ± 0.03	1.08 ± 0.03
9.76S	0.82 ± 0.01	1.40 ± 0.03	0.74 ± 0.03
2.44N	3.83 ± 0.03	6.58 ± 0.03	3.46 ± 0.03
4.88N	2.86 ± 0.02	4.91 ± 0.03	2.58 ± 0.03
7.32N	2.34 ± 0.02	4.02 ± 0.03	2.11 ± 0.03
9.76N	2.08 ± 0.01	3.57 ± 0.03	1.88 ± 0.03
12.20N	1.49 ± 0.01	2.56 ± 0.03	1.34 ± 0.03
14.64N	1.39 ± 0.01	2.39 ± 0.03	1.25 ± 0.03
17.08N	1.06 ± 0.01	1.82 ± 0.03	0.96 ± 0.03

Tab. 7.4: Fluxo, luminosidade e número de fótons ionizantes calculados para cada região espacial em NGC 6868.

Na Figura 7.1 apresentamos a variação $\frac{[NII]}{H\alpha}$ e $\frac{[SII]}{H\alpha}$. A Figura 7.2 indica como varia o número de fótons necessários para ionizar gás em cada uma das regiões espaciais.

Analisando os resultados da Tabela 7.4, juntamente com a Figura 7.1, podemos perceber que em todas as regiões espaciais da galáxia temos $\frac{[NII]}{H\alpha} > 1$ e $\frac{[SII]}{H\alpha} > 1$. Essas razões se mantêm sempre maior que 1 até 17.08" do centro de NGC 6868. Nosso próximo passo é

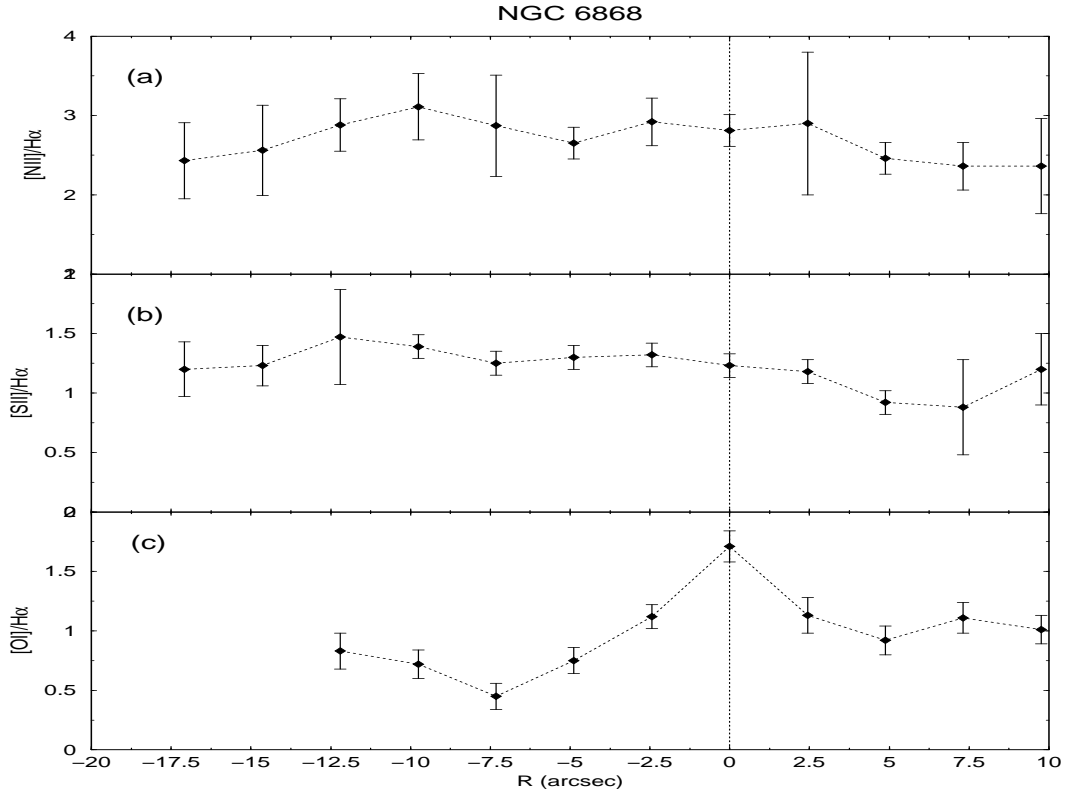


Fig. 7.1: Ionização do gás

realizar uma análise mais detalhada da fonte ionizante do gás em emissão. A Figura 7.3 apresenta os perfis das linhas de emissão [NII] e $H\alpha$.

Na tentativa de explicar como se dá a ionização do gás em NGC 6868 trataremos de dois cenários:

1) *O gás localizado nas regiões mais externas da galáxia está sendo ionizado por um aglomerado estelar* - Para testar essa hipótese nós construímos um aglomerado estelar sintético capaz de fornecer um número de fótons UV na ordem de 10^{50} *photons s*⁻¹ seguindo a função de massa de Salpeter (1955), $\phi(m) \propto m^{-(1+\chi)}$, com $\chi = 1.35$. Para obter relação do número de fótons ionizantes ($Q(H)$) e a massa estelar nós usamos a biblioteca de atmosferas estelar de Kurucz (1979).

Na Col. 2 e 3 da Tabela 7.2.1 é fornecido $Q(H)$ por estrelas no intervalo de massa entre 10 e $30 M_{\odot}$. Nesse intervalo de massa $Q(H)$ pode ser relacionado com a massa estelar da seguinte forma:

$$Q(H)(m) \approx 3.9 \times 10^{39} \left(\frac{m}{M_{\odot}} \right)^{5.9} \text{ s}^{-1} \quad (7.4)$$

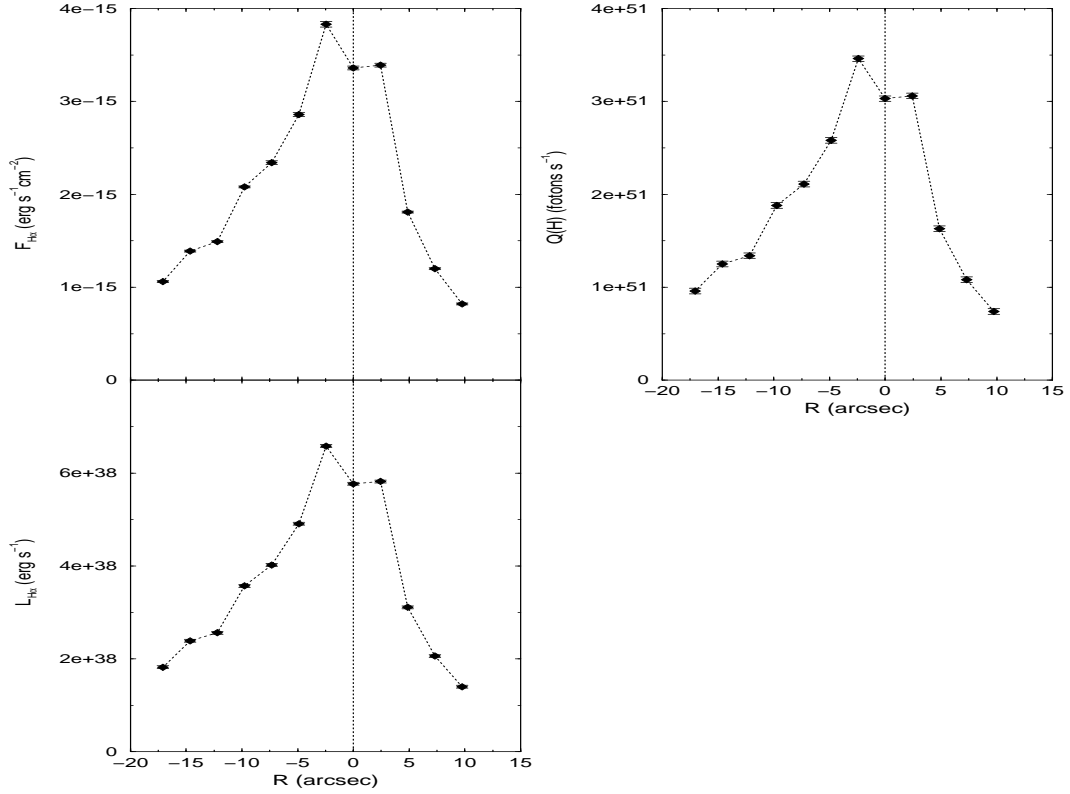


Fig. 7.2: Luminosidade e número de fótons ionizantes calculados para cada região espacial.

Assim, o número total de fótons ionizantes pode ser calculado a partir de:

$$\int_{10}^{30} Q(H)(m) \phi(m) dm. \quad (7.5)$$

O número de estrelas com suas respectivas massas indicadas pelos cálculos acima que melhor reproduz o número de fótons calculado a partir do fluxo estão na Tabela 7.2.1.

Somando numericamente o número de fótons ionizantes dessas estrelas, temos uma boa aproximação do número total de fótons emitidos por segundo. O valor encontrado é de $2.6 \times 10^{50} \text{ fotons s}^{-1}$. Esse aglomerado, mesmo sendo de grande magnitude, não forneceria o número de fótons necessários para ionizar o gás. Além disso, esse aglomerado de estrelas jovens seria suficientemente brilhante para ser identificado em análises fotométricas e certamente apareceria na síntese de população estelar;

2) O gás localizado nas regiões mais externas da galáxia está sendo ionizado por estrelas muito quentes (pós-AGB) - Partindo dessa hipótese e utilizando o cálculo de radiação de um corpo negro, encontramos que a energia produzida por uma estrela pós-AGB com temperatura de 150000 K é suficiente para fornecer $6.1 \times 10^{50} \text{ fotons s}^{-1}$. Contudo Binette et

Tab. 7.5: *Aglomerado estelar ionizante hipotético*

Tipo espectral	m (M_{\odot})	$Q(H)$ (10^{48} s^{-1})	Numero de estrelas
(1)	(2)	(3)	(4)
O5	30	2.00	226
	22	0.25	470
B0	17	0.082	860
	15	0.043	1154
	13	0.015	1616
	10	0.0021	2993

al. (1994) mostram que quando o gás está sendo ionizado por estrelas do tipo Pós-AGB, a razão de intensidades $[SII]_{6731}/H\alpha$, $[OI]_{6300}/H\alpha$ se mantém maior que 1. Calculamos essas razões com os dados apresentados na Tabela 7.1 e encontramos $[SII]_{6731}/H\alpha = 0.61 \pm 0.06$ e $[OI]_{6300}/H\alpha = 0.51 \pm 0.04$. Esses resultados eliminam a hipótese de que o gás, em NGC 6868 esteja sendo ionizado puramente por estrelas do tipo Pós-AGB.

Analizamos também a relação $[NII]/H\alpha$ ao longo do perfil espacial e encontramos que $[NII]/H\alpha \geq 2$. Esta razão de intensidades de linhas caracteriza um espectro de emissão com fonte de ionização do tipo não estelar, como o aquele encontrado no núcleo de galáxias ativas (AGN) ou choque de gás.

Ho et al. (1997) analisaram uma amostra de 486 galáxias com núcleo ativo. Nesse trabalho os autores mediram alguns parâmetros espectroscópicos tais como o fluxo e a largura equivalente de algumas linhas de emissão; entre elas $[NII]_{6584}$, $[SII]_{6731}$ e $[OI]_{6300}$. Na amostra de galáxias os objetos estão identificados como Seyfert, Liner ou Região *HII*.

Com o objetivo de colocarmos NGC 6868 no contexto dessas galáxias contruímos um gráfico de $[NII]_{6584}/H\alpha$ vs. $[SII]_{6731}/H\alpha$ e $[OI]_{6300}/H\alpha$ vs. $[SII]_{6731}/H\alpha$ utilizando os dados apresentados em Ho et al. (1997) e comparamos com os valores medidos no núcleo dos objetos estudados. Os resultados obtidos estão plotados na Figura 7.4.

Se analisarmos os resultados apresentados na Figura 7.4 vemos claramente que NGC 6868 encontra-se na região de Liners. Esses resultados associados com a investigação sobre a fonte de ionização do gás apresentados anteriormente e os resultados obtidos com a síntese de população estelar, sugere que o gás em NGC 6868 está sendo ionizado predominantemente por um núcleo ativo ou choque, ou seja, por uma fonte de origem não térmica até as distâncias observadas.

Bonatto et al. (1996) investigaram o fluxo ultravioleta (UV) em uma amostra de 60 ob-

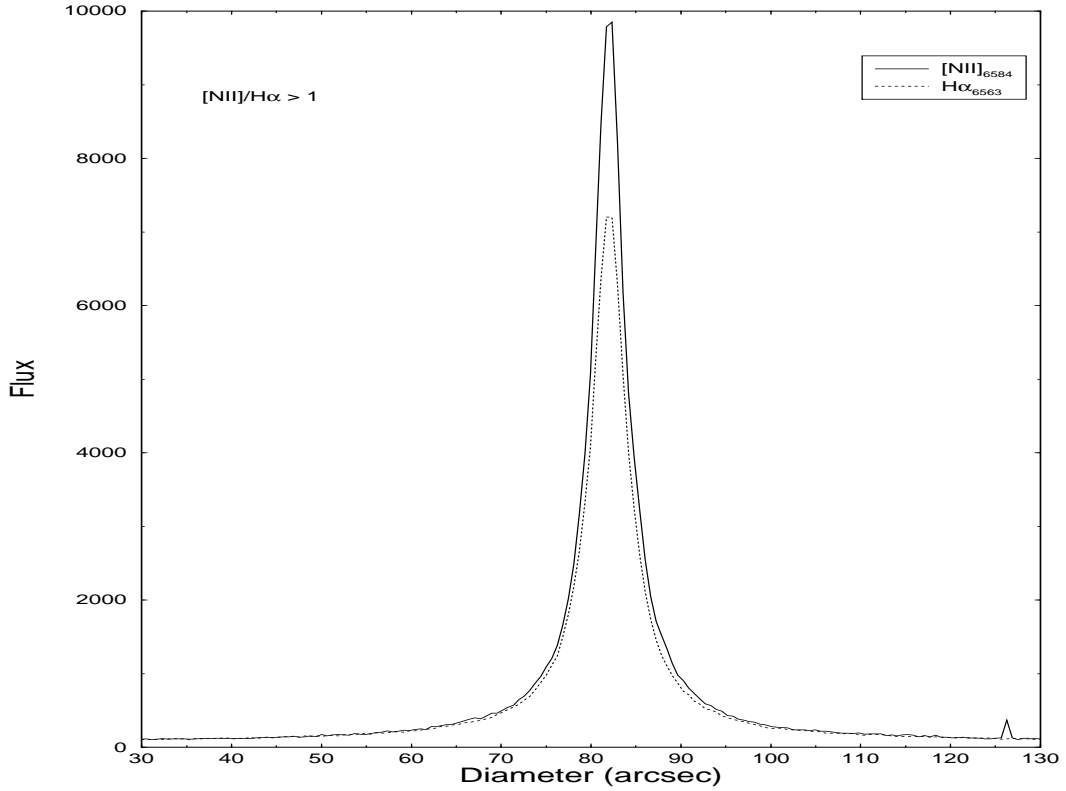


Fig. 7.3: Perfis das linhas de emissão $[NII]$ e $H\alpha$.

jetos, entre eles as galáxias NGC 6868 e NGC 5044. Os autores encontraram que NGC 6868 e NGC 5044 possuem um fluxo fraco em UV.

Bica et al. (1996) sugerem que a presença de um número significativo de estrelas Ps-AGB causa um aumento no fluxo UV. Essas conclusões reforçam os resultados obtidos no diagrama da Figura 7.4.

7.2.2 NGC 3607

Os valores calculados de $F_{H\alpha}$, $L_{H\alpha}$ e $Q(H)$ para cada região espacial de NGC 3607 estão dados na Tabela 7.6.

A Figura 7.5 mostra a variação de $\frac{[NII]}{H\alpha}$ e $\frac{[SII]}{H\alpha}$ com a distância ao centro de NGC 3607. Analisando essa Figura vemos que $\frac{[NII]}{H\alpha}$ se mantém maior que 1 em todas as regiões observadas, assim como NGC 6868, porém nota-se que há um gradiente expressivo do fluxo, caindo do centro para as regiões externas. O mesmo não acontece com $\frac{[SII]}{H\alpha}$.

Analisando a Figura 7.6 podemos ter uma melhor visão espacial do número de fótons

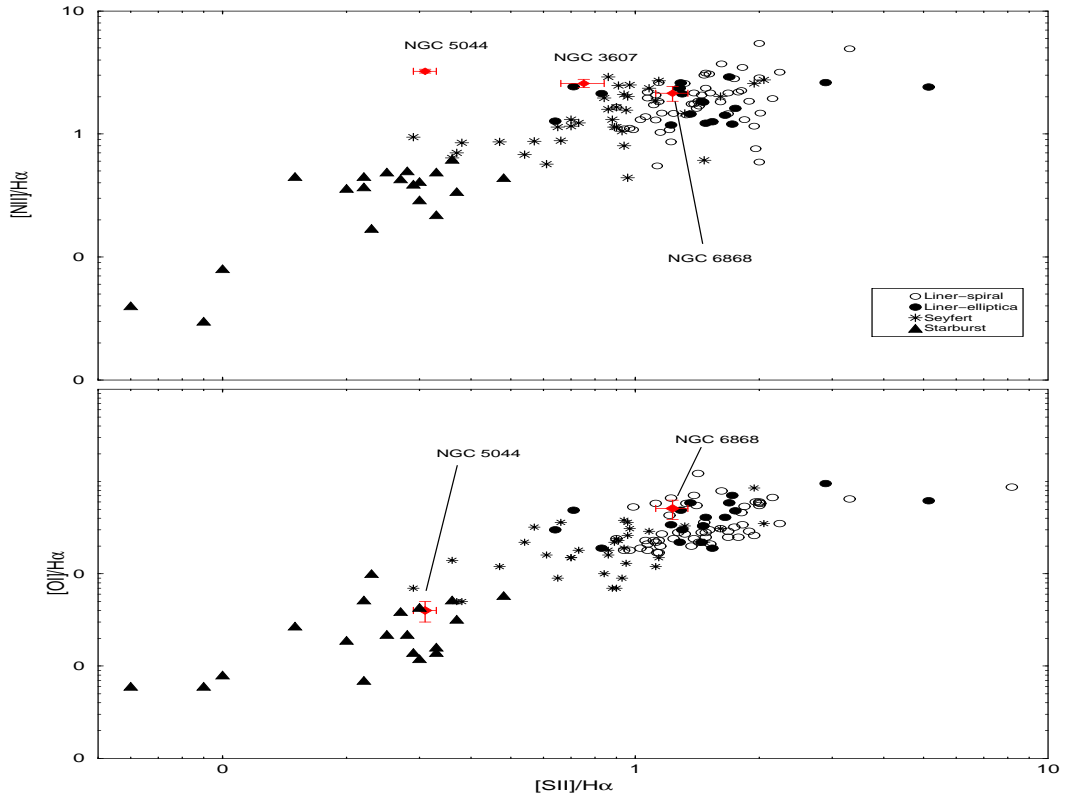


Fig. 7.4: Posição de NGC 6868 no diagrama diagnóstico.

que estão sendo necessários para ionizar o gás em cada região da extração.

Como NGC 3607 é uma galáxia de transição, já era de se esperar que parte do gás seja ionizado por estrelas jovens. Esta hipótese se confirma com os resultados obtidos com a síntese de população estelar que mostra a presença de tais estrelas nas regiões externas. Contudo, o comportamento da razão $\frac{[NII]}{H\alpha}$ dada na Figura 7.5, sugere que esse objeto tenha um núcleo ativo responsável pela ionização do gás central. Essa hipótese será discutida mais detalhadamente em capítulos posteriores. Como esse objeto tem contribuição importante de estrelas relativamente jovens torna-se irrelevante a hipótese do gás estar sendo ionizado por estrelas Pós-AGB.

7.2.3 NGC 5044

Como já vimos anteriormente, NGC 5044 possui fortes linhas de emissão. Com o objetivo de investigar sobre as propriedades espaciais da emissão do gás, plotamos na Figura 7.7 as razões de linha $\frac{[NII]}{H\alpha}$ (painel (a)) e $\frac{[SII]}{H\alpha}$ (painel (b)). No seu núcleo, NGC 5044 apresenta

R (")	$F_{H\alpha}$ ($\times 10^{-15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	$LH\alpha$ ($\times 10^{36} \text{ erg s}^{-1}$)	$Q(H)$ ($\times 10^{48} \text{ fotons s}^{-1}$)
0.00S	1.34 ± 0.10	2.75 ± 0.03	14.5 ± 0.02
3.05S	1.29 ± 0.10	2.65 ± 0.02	13.9 ± 0.02
6.10S	0.93 ± 0.01	1.91 ± 0.03	10.0 ± 0.01
9.15S	0.60 ± 0.02	1.23 ± 0.02	6.49 ± 0.02
12.20S	0.56 ± 0.02	1.15 ± 0.02	6.05 ± 0.03
15.25S	0.60 ± 0.02	1.23 ± 0.03	6.49 ± 0.03
18.30S	0.84 ± 0.02	1.72 ± 0.02	9.08 ± 0.03
24.40S	0.80 ± 0.02	1.64 ± 0.02	8.65 ± 0.01
30.50S	0.85 ± 0.03	1.74 ± 0.02	9.19 ± 0.02
3.05N	0.97 ± 0.01	1.99 ± 0.03	10.4 ± 0.02
6.10N	0.71 ± 0.01	1.46 ± 0.03	7.68 ± 0.01
9.15N	0.66 ± 0.02	1.35 ± 0.03	7.14 ± 0.01
12.20N	0.65 ± 0.02	1.33 ± 0.03	7.03 ± 0.02
15.25N	0.80 ± 0.02	1.64 ± 0.03	8.65 ± 0.02
18.30N	0.90 ± 0.03	1.85 ± 0.03	9.73 ± 0.02
24.40N	0.51 ± 0.04	1.04 ± 0.03	5.51 ± 0.01

Tab. 7.6: Fluxo, luminosidade e números de fótons ionizantes calculados para cada região espacial em NGC 3607.

$\frac{[NII]}{H\alpha} = 4.2$ e $\frac{[SII]}{H\alpha} > 1$. É importante salientar ainda que $\frac{[NII]}{H\alpha}$ se mantém maior que 1.0 em todas as regiões analisadas. O painel (c) nos mostra claramente que, exceto em duas regiões (12,2" e 18,3" do núcleo), $[OI]/H\alpha$ se mantém, menor que 1.0.

Esses resultados sugerem fortemente que NGC 5044 tenha um núcleo ativo, porém não podemos descartar a hipótese de estrelas Pós-AGB contribuindo para a ionização do gás.

A Tabela 7.7 e a Figura 7.8 apresentam o número de fótons necessários para ionizar o gás em cada região da extração .

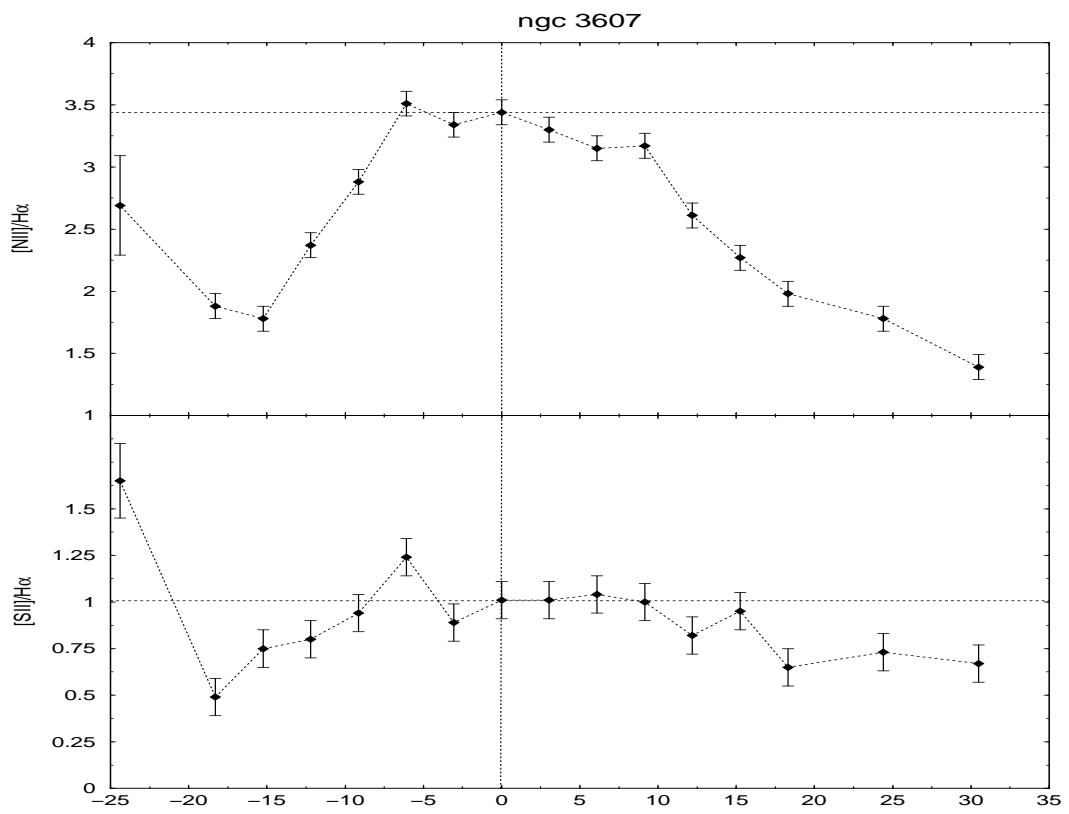


Fig. 7.5: Ionização do gás

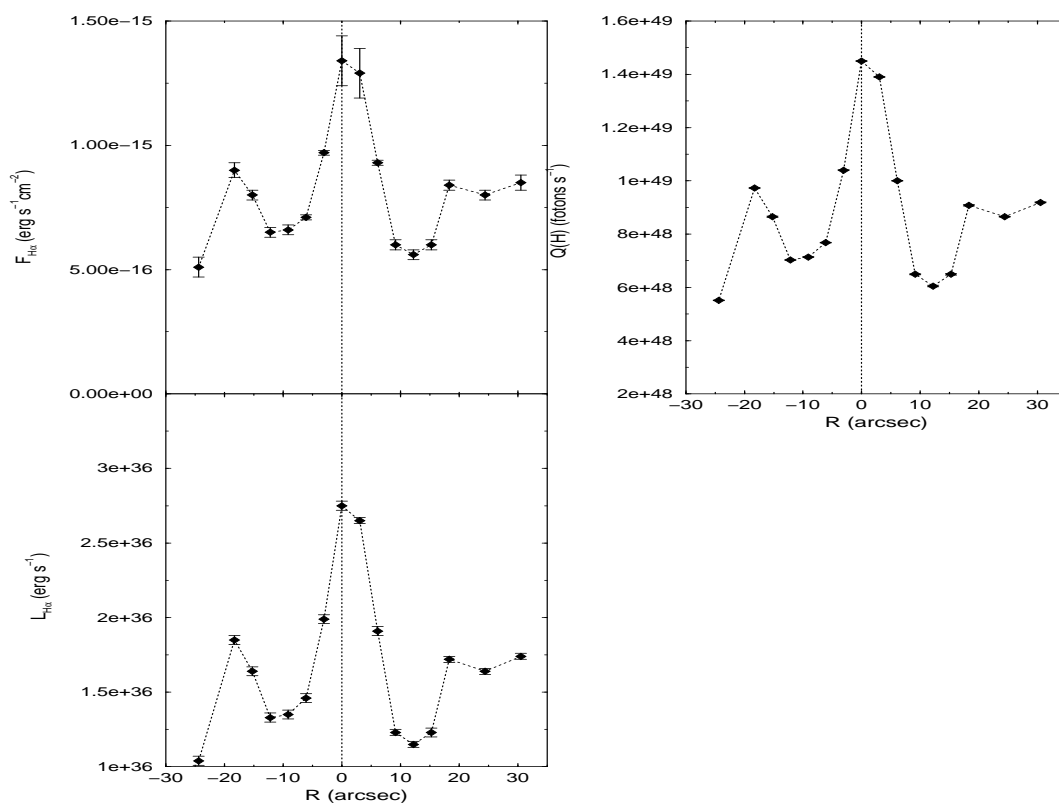


Fig. 7.6: Fluxo, luminosidade e número de fótons ionizantes calculados para cada região espacial de NGC 3607.

R (")	$F_{H\alpha}$ ($\times 10^{-16} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	$L_{H\alpha}$ ($\times 10^{37} \text{ erg s}^{-1}$)	$Q(H)$ ($\times 10^{50} \text{ fotons s}^{-1}$)
0.00S	6.80 ± 0.23	10.5 ± 0.07	2.62 ± 0.02
3.05S	4.29 ± 0.11	7.33 ± 0.09	1.81 ± 0.03
6.10S	3.27 ± 0.14	5.79 ± 0.04	1.42 ± 0.01
9.15S	2.91 ± 0.11	3.22 ± 0.03	0.78 ± 0.01
12.20S	2.49 ± 0.09	1.93 ± 0.01	0.46 ± 0.01
15.35S	3.39 ± 0.20	5.54 ± 0.04	1.33 ± 0.01
18.30S	3.43 ± 0.13	2.04 ± 0.01	0.51 ± 0.01
24.20S	4.06 ± 0.23	6.16 ± 0.04	1.52 ± 0.01
-3.05N	4.73 ± 0.38	6.65 ± 0.04	1.66 ± 0.01
-6.10N	4.74 ± 0.14	5.06 ± 0.04	1.20 ± 0.01
-9.15N	2.08 ± 0.11	4.51 ± 0.03	1.08 ± 0.01
-12.20N	1.25 ± 0.10	3.85 ± 0.03	0.93 ± 0.01
-15.35N	3.51 ± 0.17	5.25 ± 0.04	1.29 ± 0.01
-18.30N	1.32 ± 0.09	5.31 ± 0.03	1.32 ± 0.01
-24.20N	3.98 ± 0.22	6.29 ± 0.06	1.55 ± 0.02

Tab. 7.7: Fluxo, luminosidade e número de fótons ionizantes calculados para cada região espacial em NGC 5044.

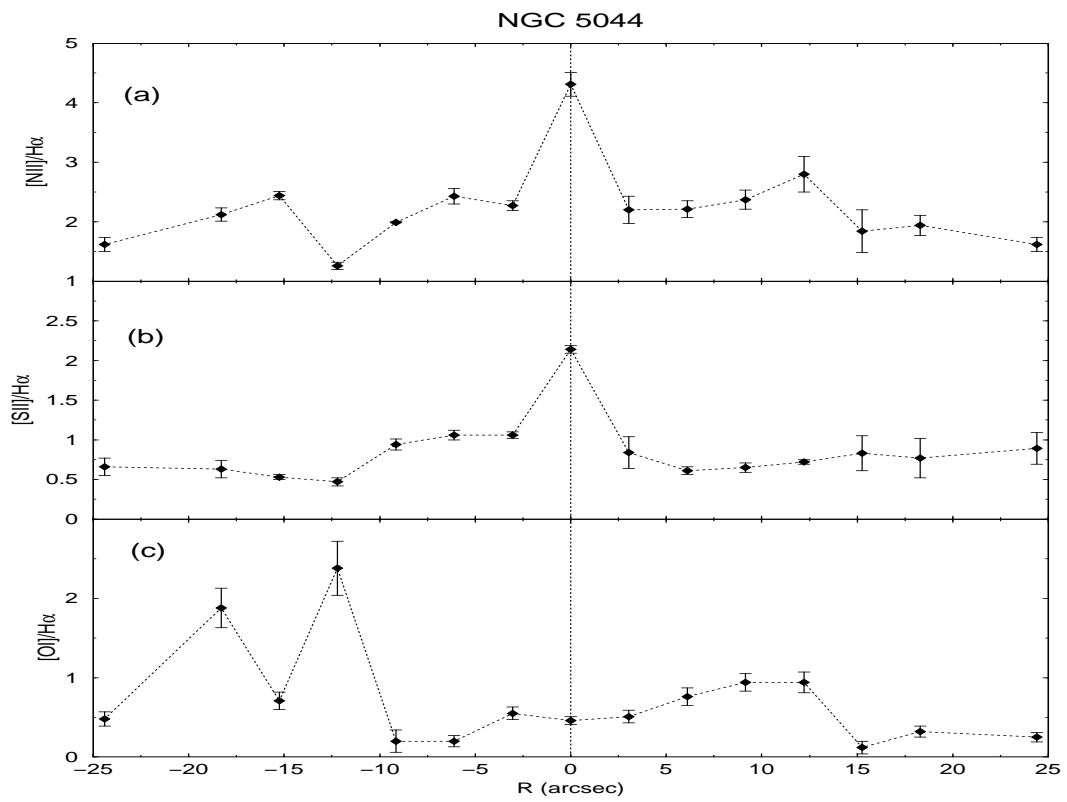


Fig. 7.7: Ionização do gás

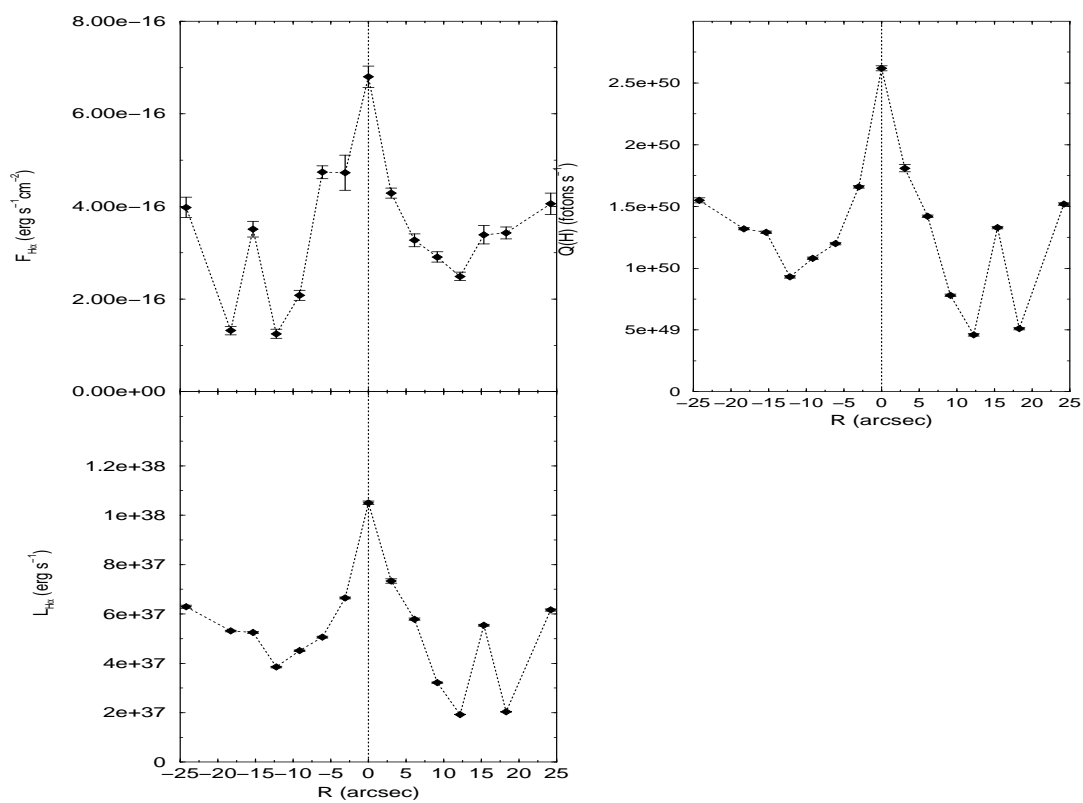


Fig. 7.8: *Luminosidade e números de fótons ionizantes calculados para cada região espacial em NGC 5044.*

Capítulo 8

Discussão

Uma análise detalhada do comportamento dos índices de Lick com a distância ao centro da galáxia mostrou que os objetos estudados nesse trabalho apresentam um considerável gradiente negativo de $Mg_{2\lambda 5176}$, $FeI_{\lambda 5270}$, $FeI_{\lambda 5335}$, $FeI_{\lambda 5406}$, $FeI_{\lambda 5709}$, $FeI_{\lambda 5782}$ e $NaI_{\lambda 5895}$ e $TiO_{\lambda 6237}$. Como mostrado na Sec. 3 esses gradientes possuem mesma inclinação em NGC 6868, NGC 5903 e NGC 3607. Esse resultado, juntamente com o fato de que nesses objetos existe uma boa correlação entre os índices Mg_2 e $FeI_{5270,5335}$ sugere que o mecanismo de enriquecimento químico desses elementos tenha sido o mesmo.

Entretanto, em NGC 5044 $Mg_{2\lambda 5176}$ apresenta inclinação diferente das linhas do ferro neutro indicando que não há correlação entre essas duas propriedades. Essa análise sugere fortemente que o mecanismo de enriquecimento de Mg_2 não é o mesmo para as linhas do ferro neutro.

Atualmente são propostos 3 cenários para explicar a formação de uma galáxia elíptica: colapso monolítico, fusão de galáxias e um modelo híbrido que considera que uma galáxia elíptica tenha sido formada primordialmente por um colapso monolítico e em algum momento de sua evolução tenha ocorrido um evento de fusão.

Quando uma nuvem de gás colapsa gravitacionalmente dando origem a uma galáxia, ocorre uma considerável dissipação de energia num intervalo de tempo muito pequeno. A formação de estrelas nesse objeto, durante esse processo, ocorre num curto intervalo de tempo. Se o potencial gravitacional da galáxia for suficientemente grande para reter o gás ejetado por estrelas massivas e supernovas, ele migra para a região central da galáxia. Com isso novas gerações de estrelas mais metálicas são formadas e logo se estabelece um gradiente de metalicidade que obviamente se correlaciona com a massa da galáxia (e.g. Eggen, Lynden-Bell & Sandage 1962 e Ogando et al. 2005). Quanto maior a massa da galáxia maior a inclinação do gradiente de Mg_2 (Kobayashi & Arimoto, 1999).

Quando ocorre um evento de fusão dessa galáxia com outro objeto essa correlação desaparece (Carollo et al. 1993).

Carollo et al. (1993), utilizando fenda longa, obtiveram espectros de uma amostra de

42 galáxias com uma cobertura de 4500-6500 Å. Nesse trabalho investigaram o gradiente de algumas linhas de absorção tais como $Mg_{2\lambda 5176}$, $FeI_{\lambda 5270}$, $FeI_{\lambda 5335}$, $NaI_{\lambda 5895}$ e $TiO_{\lambda 6237}$ e em particular a correlação entre o gradiente $dMg_2/d\log r$ com a massa da galáxia. Eles encontraram que para objetos com massa menor que $10^{11} M_{\odot}$, a inclinação do gradiente do índice Mg_2 correlaciona-se com a massa da galáxia, ao passo que para massas maiores que $10^{11} M_{\odot}$, essa correlação desaparece. Esses resultados concordam com aqueles obtidos por Ogando et al. (2005) quando mediram o gradiente radial do índice Mg_2 em 15 galáxias E e 14 Espirais (S0).

Com o objetivo de verificar se as galáxias estudadas seguem a correlação encontrada por Carollo et al. (1993) estimamos a massa de nossas galáxias usando o mesmo método de aproximação dos autores.

Os valores de massa encontrados foram: $M_{NGC\ 6868} = (3.2 \pm 0.1) \times 10^{11} M_{\odot}$, $M_{NGC\ 5903} = (1.8 \pm 0.1) \times 10^{11} M_{\odot}$, $M_{NGC\ 3607} = (0.9 \pm 0.1) \times 10^{11} M_{\odot}$ e $M_{NGC\ 5044} = (2 \pm 0.1) \times 10^{11} M_{\odot}$.

Como teste de consistência, calculamos as massas utilizando o método demonstrado em van Dokkum & Stanford (2003):

Os valores encontrados foram $M_{NGC\ 6868} = (6.0 \pm 0.2) \times 10^{11} M_{\odot}$, $M_{NGC\ 5903} = (3.5 \pm 0.3) \times 10^{11} M_{\odot}$, $M_{NGC\ 3607} = (1.6 \pm 0.3) \times 10^{11} M_{\odot}$ e $M_{NGC\ 5044} = (3.7 \pm 0.3) \times 10^{11} M_{\odot}$, ou seja, estes valores estão de acordo com aqueles calculados com o método de Carollo et al. (1993a).

Como vimos anteriormente, as galáxias NGC 5903, NGC 6868, NGC 3607 e NGC 5044 apresentam um gradiente do índice $Mg_{2\lambda 5176}$ decrescendo do centro para fora. Os valores calculados de $dMg_2/d\log r$ para esses objetos são $d(Mg_2/d\log r)_{6868} = -0.08$ e $d(Mg_2/d\log r)_{5903} = -0.04$, $(dMg_2/d\log r)_{NGC\ 3607} = -0.02$ e $(dMg_2/d\log r)_{NGC\ 5044} = -0.07$ respectivamente.

Comparamos os valores das massas e dos gradientes calculados para nossos objetos com os resultados obtidos por Carollo et al. (1993) para uma amostra de 42 galáxias do tipo E e S0 (Fig.8.1).

Os resultados mostram que as galáxias estudadas estão localizadas na região do diagrama que corresponde àquelas que se formaram via fusão de galáxias. Esse cenário de formação também se sustenta com o fato de que NGC 5903 e NGC 6868 apresentam uma pequena contra-rotação no seu centro como mostra Caon et al. (2000).

Bekki & Shioya (1997) desenvolveram modelos teóricos para reproduzir propriedades dinâmicas e cinemáticas de elípticas formadas via fusão de galáxias tipo disco. Os modelos consideram basicamente parâmetros relacionados à população estelar, metalicidade e enriquecimento químico. Os autores utilizam, como condições iniciais para a construção dos modelos, a massa do disco de $M_d = 6.0 \times 10^{10} M_{\odot}$, o raio do disco de $R_d = 17.5 Kpc$ e o tempo dinâmico de $T_{dyn} = 1.41 \times 10^8$ anos. De acordo com os modelos o gradiente de metalicidade em uma galáxia que teve, pelo menos, um evento de fusão é decrescente do

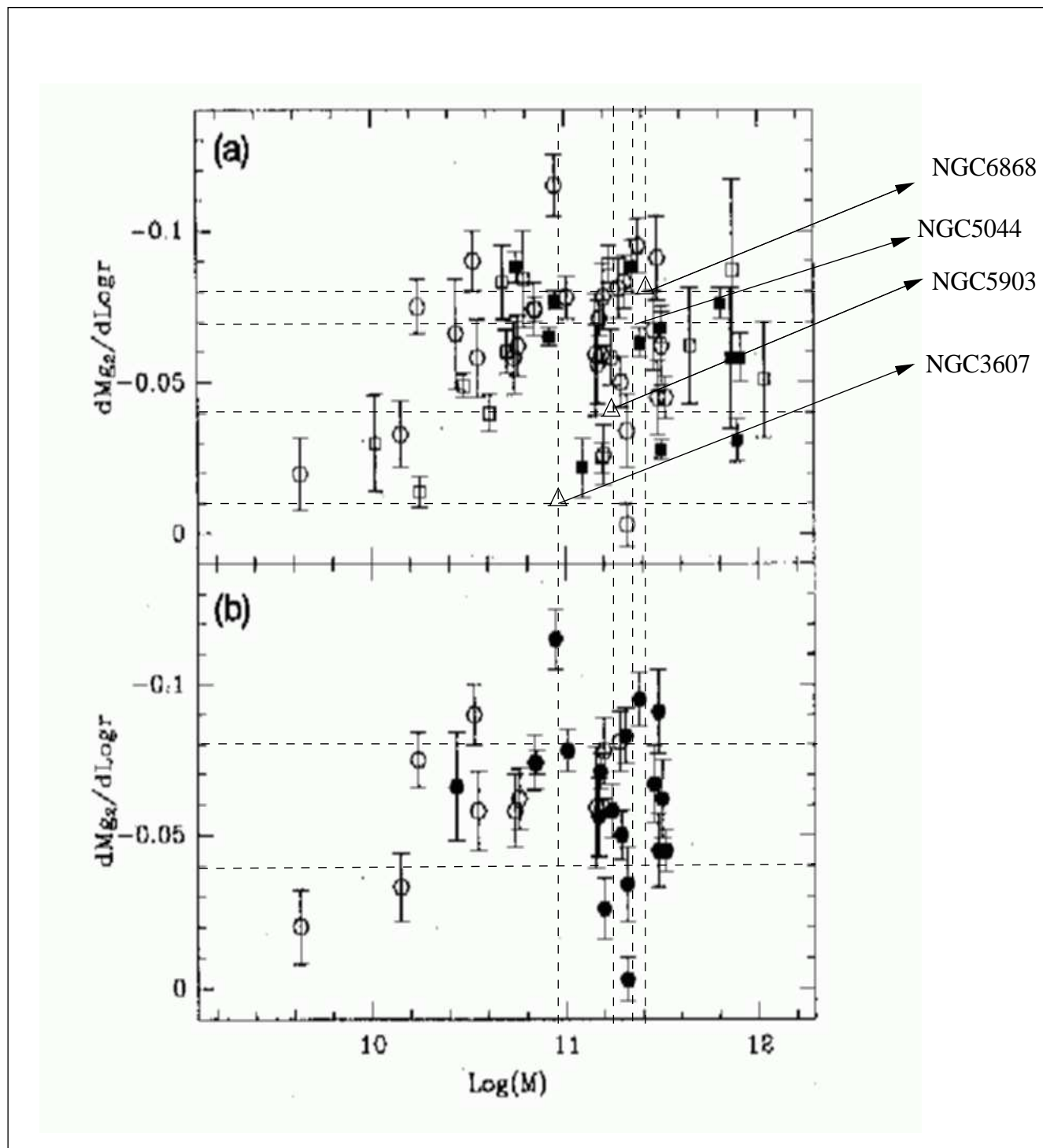


Fig. 8.1: Dependência do gradiente de Mg_2 com a massa da galáxia. As galáxias estudadas estão indicadas na figura por triângulos.

núcleo para as regiões externas e pode ser bem ajustada com uma lei de potência.

Quando a formação estelar ocorre rapidamente, após o evento de fusão, verifica-se uma

correlação entre a magnitude do gradiente de metalicidade e o gradiente de idade.

Cada modelo se destingue basicamente pelo número de eventos de fusão considerados e a magnitude do gradiente de metalicidade definido como $\frac{\Delta \log \langle Z_* \rangle}{\Delta \log R}$, onde $\langle Z_* \rangle$ é a metalicidade média das estrelas e R é a distância ao centro.

As Figuras 3.3, 3.4 e 3.6 mostram que NGC 6868, NGC 5903 e NGC 5044 apresentam um gradiente negativo dos índices de ferro e magnésio. A magnitude do gradiente, calculada segundo a definição de Bekki & Shioya (1997), para esses objetos são respectivamente $\frac{\Delta \log \langle Z_* \rangle}{\Delta \log R}|_{6868} = -0.147$, $\frac{\Delta \log \langle Z_* \rangle}{\Delta \log R}|_{5903} = -0.071$, e $\frac{\Delta \log \langle Z_* \rangle}{\Delta \log R}|_{5044} = -0.033$. A metalicidade média das estrelas foi estimada a partir da média entre as abundâncias de Mg e FeI em cada região considerada.

De acordo com os modelos teóricos de Bekki & Shioya (1997) as propriedades dinâmicas e cinemáticas de NGC 6868, NGC 5903 e NGC 5044 podem ser reproduzidas pelos modelos B3, B13 e G1 respectivamente. Os modelos B3 e B13 não consideram múltiplas fusões, ou seja, indicam que NGC 6868 e NGC 5903 tiveram apenas um evento de fusão, porém o modelo G1 sugere que NGC 5044 teve mais de um evento de fusão durante sua evolução.

A pergunta então é: se essas galáxias tiveram eventos de fusão, quando isso ocorreu?

Como é a história de formação estelar dessas galáxias? Para responder a essas perguntas analisamos a população estelar utilizando um método de síntese.

A síntese de população estelar nos fornece diretamente as frações de fluxo (relativas ao fluxo em $\lambda 5870$) com que cada *template* (componente de idade e metalicidade) contribui ao espectro observado. A combinação (soma) dessas componentes com suas respectivas frações de fluxo deve representar a contribuição da população estelar ao espectro observado. Por meio de razões massa-luminosidade (M/L_V) calculadas a partir de um modelo de evolução estelar de aglomerados de estrelas (Bica, Arimoto & Alloin 1988) é possível converter as frações de fluxo em fração de massa. Em termos da fração de massa, vemos que NGC 6868 teve dois eventos de formação estelar. Esse resultado, juntamente com a análise de massa, pode ser interpretado de duas formas:

- 1) NGC 6868 converteu todo seu gás em estrelas em um único evento de formação estelar há 13 bilhões de anos e posteriormente teve um evento de fusão com outro objeto com população estelar dominante com idade de aproximadamente 5 bilhões de anos;
- 2) NGC 6868 teve um evento de formação estelar há 13 bilhões de anos e outro há cerca de 5 bilhões de anos. Além desses dois eventos de formação estelar, NGC 6868 teve um evento de fusão com um objeto de população semelhante.

Possivelmente o objeto que se fundiu com NGC 6868 era rico em gás, já que esse objeto possui população estelar dominante velha e uma quantidade considerável de gás ionizado.

Os resultados obtidos para NGC 5903 indicam que as componententes mais velhas dominam, ou seja, a população estelar possui pelo menos 13 bilhões de anos. Dentre as

componentes mais velhas, notamos que a A2, com metalicidade $[Z/Z_{\odot}] = 0.02$ é a que mais contribui. Contudo, existe também uma contribuição de aproximadamente 10 % da componente representativa de 5 bilhões de anos.

Os resultados obtidos para NGC 5903 quanto à sua população estelar e massa se assemelham com aqueles obtidos para NGC 6868, logo a interpretação dada para NGC 6868 pode ser aplicada também à NGC 5903. Contudo, NGC 5903 possivelmente teve um evento de fusão com uma galáxia pobre em gás, ao contrário de NGC 6868 e NGC 5044.

NGC 5044 converteu todo seu gás em estrelas em um único evento de formação que ocorreu há cerca de 10 bilhões de anos e, possivelmente, teve eventos de fusão com objetos ricos em gás.

Os resultados da síntese indicam ainda que NGC 3607 pode ter tido 3 eventos de formação estelar: um se deu há aproximadamente 10 bilhões de anos e se concentra na região central da galáxia e os outros dois mais recente, onde o restante do gás foi convertido em estrelas há cerca de 1 a 5 bilhão de anos nas regiões mais externas da galáxia.

Como vimos na Fig 6.1, os objetos satisfazem o plano fundamental, embora eles tenham sofrido eventos de fusão. O tempo mínimo de relaxação para que uma galáxia satisfaça o plano é 5 bilhões de anos (Boylan-Kolchin et al. 2005). Outros autores como Chatterjee (1993) indicam que a escala de tempo para que haja relaxação após uma fusão de galáxias é ainda menor, entre 10^8 e 10^9 anos. Esse resultado está de acordo com a síntese, na qual a população mais recente nas galáxias elípticas é de 5 Gyr.

A síntese indica que os objetos estudados possuem uma metalicidade próxima à solar, mas para investigarmos mais detalhadamente esse assunto comparamos alguns índices de Lick medidos nessas galáxias com os modelos (SSP) de Thomas, Maraston & Bender (2003), mostrados na Figura 5.10 da Sec 5.6.

Analisando a Figura 5.10, vemos que NGC 6868 apresenta um núcleo ($< 0.1 r_e \sim 7.36 kpc$) com metalicidade maior que a solar decaindo até $[Z/Z_0] = -0.33$ nas partes mais externas. A razão $[\alpha/Fe]$ se mantém entre 0.0 e -0.3 na região do núcleo e ligeiramente maior que 0.0 nas regiões externas. Esses resultados indicam que não há um excesso de elementos α em relação a ferro no núcleo, mas há excesso nas regiões externas. Essa análise indica que nas regiões externas pode ter havido explosões de supernovas de tipo II, em números consideráveis, enriquecendo-as com elementos α (Faber et al. 1992).

NGC 5903 apresenta metalicidade $[Z/Z_{\odot}] \geq +0.35$ em seu núcleo e metalicidade $0 \leq [Z/Z_{\odot}] \leq +0.35$ nas regiões externas ao núcleo. A razão $[\alpha/Fe]$, nesse objeto não indica um claro excesso de elementos α em relação a ferro na região central, porém, nas regiões externas a razão $[\alpha/Fe]$ sugere explosões de supernovas de tipo II.

NGC 3607 possui metalicidade menor que solar ($-0.67 < [Z/Z_{\odot}] < -0.35$) e os resultados indicam ainda que não há excesso de elementos α em relação a ferro no seu núcleo.

NGC 5044 é uma galáxia metálica ($[Z/Z_{\odot}] \sim +0.33$). Analisando o painel (d) da Figura 5.10 vemos que há um excesso de elementos α em relação a ferro indicando também a possibilidade de explosões de supernovas de tipo II. O excesso é mais acentuado na região nuclear.

Como já foi mencionado anteriormente, no processo de enriquecimento químico de uma determinada região por explosões de supernovas o magnésio é, em particular, um elemento muito abundante. Com o objetivo de complementarmos a análise realizada usando os modelos SSP calculamos as razões FeI/Mg2 ao longo das regiões observadas em NGC 6868, NGC 5903, NGC 5044 e NGC 3607.

A Figura 8.2 apresenta as variações da razão Mg2/FeI ao longo do eixo maior das galáxias observadas.

Analisando a Figura 8.2 vemos que a razão Mg2/FeI apresenta variação considerável em NGC 6868, NGC 5903 e NGC 5044. No painel (a) vemos que essa razão é maior na região externa ao sul de NGC 6868 em relação à parte central. Em NGC 5044 a razão Mg2/FeI é maior na região central (painel c). Esses resultados apontam para as mesmas conclusões obtidas com os modelos SSP.

Os espectros de NGC 5903 não indicam a presença de gás ionizado. Porém, intensas linhas de H_{α} , [NII] e [SII] indicam uma considerável presença de gás em NGC 6868, NGC 3607 e NGC 5044.

Como apresentado na Cap. 7, a análise do fluxo das linhas de emissão [NII], [SII] e H_{α} mostra que a razão [NII]/ H_{α} se mantém maior que 1 e a razão [SII]/ H_{α} se mantém aproximadamente em 1 em todas as regiões estudadas na nossa amostra de galáxias.

Na Figura 7.4 plotamos os valores de $[NII]_{6584}/H\alpha$ vs. $[SII]_{6731}/H\alpha$ e $[OI]_{6300}/H\alpha$ vs. $[SII]_{6731}/H\alpha$ medidos no núcleo de NGC 6868, NGC 3607 e NGC 5044 sobre os valores das mesmas medidas de outras galáxias estudadas por Ho et al. (1997), onde esses objetos estão identificados como Seyfert, LINER e Região HII.

Os resultados apresentados na Figura 7.4 mostram claramente que os objetos estudados nesse trabalho encontram-se na região de LINERs. Esses resultados associados com a investigação sobre a fonte de ionização do gás apresentados anteriormente e os resultados obtidos com a síntese de população estelar, sugerem que o gás em NGC 6868 e NGC 5044 esteja sendo ionizado unicamente por um núcleo ativo ou choque, ou seja, por uma fonte de origem não térmica até as distâncias observadas. Em NGC 3607 o gás nas regiões centrais também está sendo ionizado pelo núcleo ativo e nas partes externas a maior contribuição de fótons para ionização do gás vem de estrelas jovens.

Essa conclusão é reforçada com a síntese de população estelar que não indica a presença de populações jovens e/ou regiões HII em NGC 6868 e NGC 5044, mas indica contribuições de estrelas jovens nas regiões externas de NGC 3607.

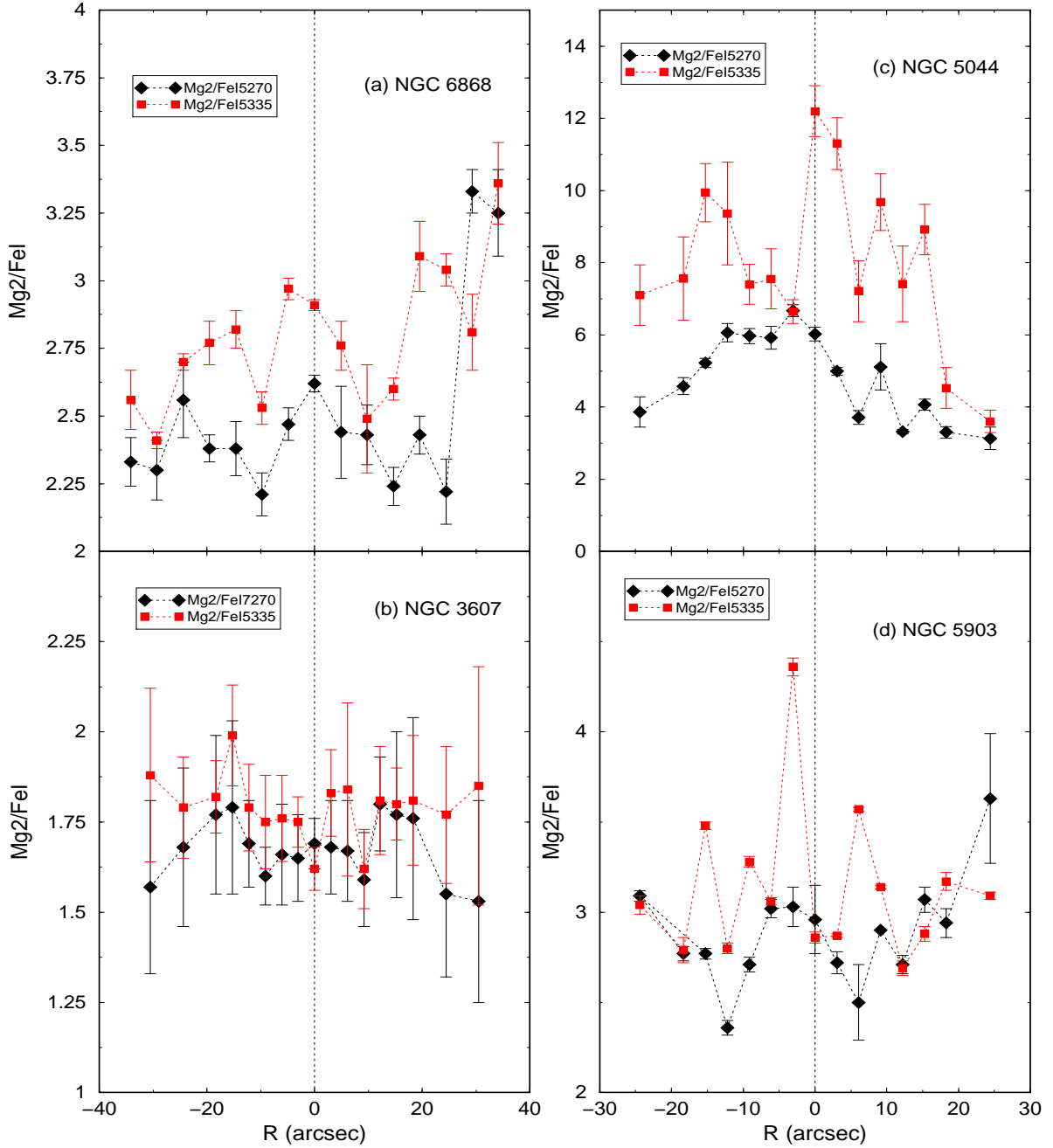


Fig. 8.2: Razão entre os índices Mg2, FeI5270 e FeI5335 ao longo das regiões observadas em NGC 6868, NGC 5903, NGC 5044 e NGC 3607.

O gás em NGC 6868 e NGC 5044 poderia também estar sendo ionizado por estrelas do tipo Pós-AGBs, contudo Binette et al. (1994) mostram que quando o gás está sendo ionizado por esse tipo de estrela, as razões de intensidades $[SII]_{6731}/H\alpha$, $[OI]_{6300}/H\alpha$ se mantêm maiores que 1. Calculamos essas razões e encontramos $[SII]_{6731}/H\alpha = 0.61$ e $[OI]_{6300}/H\alpha = 0.51$ para NGC 6868 e $[SII]_{6731}/H\alpha = 2.14$ e $[OI]_{6300}/H\alpha = 0.25$ para

NGC 5044. Bonatto et al. (1996) investigaram o fluxo ultra violeta (UV) em uma amostra de 60 objetos, entre eles as galáxias NGC 6868 e NGC 5044 e encontraram que NGC 6868 e NGC 5044 possuem um fluxo fraco em UV. O alto fluxo em UV em uma galáxia indica a presença de uma população numerosa de estrelas Pós-AGBs (Bica et al., 1996).

Os resultados obtidos com a razão de fluxo $[SII]_{6731}/H\alpha$ e $[OI]_{6300}/H\alpha$ juntamente com os resultados de Bonatto et al. (1996) e Bica et al. (1996) reforçam a hipótese de que o gás, nesses dois objetos não esteja sendo ionizado predominantemente por estrelas do tipo Pós-AGBs.

A Tabela 8 apresenta resumidamente um paralelo entre as propriedades obtidas neste trabalho para NGC 6868 e NGC 5903.

Tab. 8.1: *Paralelo entre as propriedades apresentadas por NGC 6868, NGC 5903, NGC 3607 e NGC 5044.*

Propriedades	NGC 6868	NGC 5903	NGC 3607	NGC 5044
Grupo	forma grupo	forma grupo	forma grupo	forma grupo
$M(M_{\odot})$	3.2×10^{11}	1.8×10^{11}	1.6×10^{11}	3.7×10^{11}
$dMg_2/dlogr$	-0.08	-0.04	-0.02	-0.07
Pop. 13 Gyr em massa	$89.4 \pm 48.3 \%$	$82.4 \pm 43.8 \%$	$81.79 \pm 45 \%$	100 %
Pop. 5 Gyr em massa	$10.0 \pm 12.5 \%$	$11 \pm 9.3 \%$	13.12 ± 15	-
$[Z/Z_{\odot}]$ núcleo	$0 \leq [Z/Z_{\odot}] \leq +0.35$	$[Z/Z_{\odot}] \geq +0.35$	$[Z/Z_{\odot}] < 0.35$	$+0.35 \leq [Z/Z_{\odot}] \leq +0.67$
$[Z/Z_{\odot}]$ externo	$-0.35 \leq [Z/Z_{\odot}] \leq 0$	$0 \leq [Z/Z_{\odot}] \leq +0.35$	$[Z/Z_{\odot}] < 0.35$	$0 \leq [Z/Z_{\odot}] \leq +0.35$
$[\alpha/Fe]$ núcleo	$-0.35 \leq [\alpha/Fe] \leq 0$	$-0.35 \leq [\alpha/Fe] \leq 0$	$[\alpha/Fe] \sim 0$	$[\alpha/Fe] > +0.3$
$[\alpha/Fe]$ externo	$0 \leq [\alpha/Fe] \leq +0.35$	$0 \leq [\alpha/Fe] \leq +0.3$	$[\alpha/Fe] \sim 0$	$[\alpha/Fe] > +0.0$
Gás Ionizado	LINER	SEM NÚCLEO ATIVO	LINER	LINER
Plano Fundamental	satisfaz	satisfaz	satisfaz	satisfaz

Vemos que, embora algumas galáxias sejam comparáveis em algumas características com massa e luminosidade e possuam uma história de formação estelar semelhante, NGC 6868 e NGC 5044 diferem-se de NGC 5903, principalmente, pelo fato de possuírem núcleo ativo do tipo LINER. Os objetos apresentam discrepância, também no que diz respeito às suas metalicidades.

Capítulo 9

Conclusões

1) A boa correlação entre os índices $Mg2$ e $FeI_{5270,5335}$ medidos em NGC 6868 indica que o mecanismo responsável pelo enriquecimento químico nessa galáxia possivelmente é o mesmo. Essa correlação não foi percebida com significativamente nos demais objetos.

2) NGC 6868, NGC 5903 e NGC 5044 são massivas comparadas a outras galáxias elípticas. Suas massas são respectivamente $M_{NGC\ 6868} = 3.2 \times 10^{11} M_{\odot}$ e $M_{NGC\ 5903} = 1.8 \times 10^{11} M_{\odot}$ e $M_{NGC\ 5044} = 3.7 \times 10^{11} M_{\odot}$. A correlação entre os gradientes $dMg2/dlog r$ decrescente do centro para as partes externas e as massas dessas galáxias sugerem que esses objetos sofreram eventos de fusão e que a formação estelar ocorreu rapidamente após o evento de fusão.

3) NGC 6868 teve dois eventos de formação estelar. Um ocorreu há pelo menos 13 bilhões de anos e o outro há cerca de 5 bilhões de anos. NGC 5044, por sua vez, converteu a maior parte do seu gás em estrelas em um único evento de formação ocorrido há cerca de 10 bilhões de anos, tendo sofrido mais de um evento de fusão com outros objetos de idade na ordem de 10 bilhões de anos ricos em gás.

4) Os resultados da síntese obtidos para NGC 5903 indicam que as componentes mais velhas dominam a população estelar, com idade de pelo menos 13 bilhões de anos. Dentre as componentes mais velhas, notamos que aquela com metalicidade $[Z/Z_0] = 0.02$ é a que mais contribui. NGC 3607, como era de se esperar por ser uma galáxia de transição, possui estrelas menos velhas nas partes externas formadas há 1 bilhão de anos.

5) Os modelos SSP indicam que, com exceção de NGC 3607, as demais galáxias apresentam um núcleo metálico. NGC 6868 e NGC 5903 apresentam excesso de ferro em relação a elementos α indicando que não houve ali eventos consideráveis de explosão de supernovas de tipo II. Já em NGC 5044 existe um excesso de elementos α em relação a ferro que indica eventos consideráveis de explosão de supernovas de tipo II.

6) NGC 3607 é uma galáxia menos metálica, e não indica explosão de supernovas de tipo II em números consideráveis para provocar um excesso de elementos α em relação a ferro.

7) NGC 6868, NGC 5903 e NGC 5044 satisfazem o plano fundamental, ainda que tenham tido eventos de fusão em sua evolução.

8) NGC 6868, NGC 3607 e NGC 5044 apresentam fortes linhas de emissão ([NII], [SII], [OI] e H_α). As razões $[NII]/H_\alpha$, $[SII]/H_\alpha$ e $[OI]_{6300}/H_\alpha$ vs. $[SII]_{6731}/H_\alpha$ medidas no núcleo desses objetos mostram que elas possuem um núcleo ativo do tipo LINER.

9) O modelo que melhor se ajusta na tentativa de explicar o mecanismo de formação desses objetos é o modelo híbrido de formação de galáxias.

Uma análise detalhada da amostra selecionada mostrou que os objetos, apesar de terem algumas características semelhantes diferem em algumas propriedades importantes tais como atividade nuclear, metalicidade e enriquecimento químico.

Capítulo 10

Perspectivas

O objetivo central desse trabalho foi demonstrar que apesar de algumas galáxias apresentarem características globais semelhantes, quando analisadas detalhadamente sua população estelar, metalicidade, gás ionizado e enriquecimento químico apresentam diferenças.

Para reforçarmos os resultados obtidos para NGC 6868 e NGC 5903, NGC 5044 e NGC 3607 aumentaremos nossa amostra com objetos que apresentam características gerais semelhantes, tais como pertencerem a grupo e apresentarem gás ionizado. Utilizando os mesmos métodos aplicados em NGC 6868 e NGC 5903, NGC 5044 e NGC 3607 analisaremos os objetos da nova amostra no contexto das propriedades gerais de galáxias elípticas, obtidas através do estudo de grandes amostras de galáxias como aquelas apresentadas em Carollo et al. (1993), Djorgovski & Davis (1987), Ho et al. (1997) e os modelos de Thomas et al. (2003) (SSP - Single-age Stellar Population).

Referências Bibliográficas

- [1] ANNIBALI, F.; BRESSAN, A.; RAMPAZZO, R.; ZEILINGER, W. W. Nearby early-type galaxies with ionized gas. II. Line-strength indices for 18 additional galaxies. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v. 445, n. 1, p. 79-91, Jan. 2006
- [2] ARIMOTO, N; YOSHII, Y. Chemical and photometric properties of a galactic wind model for elliptical galaxies. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v. 173, n. 1, p. 23-38, Feb. 1987.
- [3] ARIMOTO, N. Stellar population synthesis models for elliptical galaxies. *ASP Conference Series*, Berlin, v. 98, n. 1, p. 287, Dec. 1996.
- [4] BEKKI, K.; SHIOYA, Y. Dynamics of Galaxy Merging and the Origin of the Color-Magnitude Relation of Elliptical Galaxies *Astrophysical Journal*, v.486, p.197, Sep. 1997.
- [5] BERTOLA, F.; CINZANO, P.; CORSINI, E. M.; R.; ZEILINGER, W. W. Pressure-supported ionized gas in S0 galaxies. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 448 , n. 1, p. 13-16, Jan. 1995.
- [6] BEULING, J.; DOBERINER, S.; BOHRINGER, H.; BENDER, R. X-Ray Luminosities for a Magnitude-Limited Sample for Early-Type Galaxies from the ROSAT All-Sky Survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 302, n. 1, p. 209-221, Des. 1999.
- [7] BICA, E.; ALLOIN, D. A base of star clusters for stellar population synthesis. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v.162 , n. 1/2, p. 21-31, July 1986a.
- [8] BICA, E.; ALLOIN, D. A grid of star cluster properties for stellar population synthesis. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, Les Ulis, v. 66, n. 2, p. 171-179, Nov. 1986b.
- [9] BICA, E.; ARIMOTO, N.; ALLOIN, D. Star formation histories in galaxies - Confrontation of theory and observation *Astronomy and Astrophysics*, vol. 202, no. 1-2, p. 8-14, Aug. 1988.

-
- [10] BICA, E. Population synthesis in galactic nuclei using a library of star clusters *Astronomy and Astrophysics*, vol. 195, no. 1-2, p. 76-92, Apr. 1988.
- [11] BICA, E.; BONATTO, C.; PASTORIZA, M.G.; ALLOIN, D. On the nature of the UV turnup in early-type galaxies. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v.313, p. 405-416, Set. 1996.
- [12] BINETTE, L.; MAGRIS, C. G.; STASINSKA, G.; BRUZUAL, A. G. Photoionization in elliptical galaxies by old stars. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v. 292, n. 1, p. 13-19, Dec. 1994.
- [13] BONATTO, C.; BICA, E.; PASTORIZA, M.G.; ALLOIN, D. Ultraviolet properties of early-type galaxies. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v.118, p. 89-113, Jul. 1996.
- [14] BONATTO, C.; PASTORIZA, M. G.; ALLOIN, D.; BICA, E. Probing nuclear starburst activity in a sample of nearby spiral galaxies. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v. 334, n. 2, p. 439-452, June 1998.
- [15] BOYLAN-KOLCHIN, M.; MA, C.; QUATAERT, E. Dissipationless mergers of elliptical galaxies and the evolution of the fundamental plane. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 362, n. 1, p. 1-14, Apr. 2005.
- [16] BRUZUAL, G.; CHARLOT, S. Stellar population synthesis at the resolution of 2003 *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 344, Issue 4, p. 1000-1028 Oct. 2003.
- [17] BURSTEIN, D.; FABER, S. M.; GASKELL, C. M.; KRUMM, N. Old stellar populations. I - A spectroscopic comparison of galactic globular clusters, M31 globular clusters, and elliptical galaxies *Astrophysical Journal, Part 1*, v.287, p. 586-609, Dec. 1984.
- [18] CAROLLO, C. M.; DANZIGER, I. J.; BUSON, L. Metallicity gradients in early type galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 265, n. 3 p. 553-580, Dec. 1993.
- [19] CAON, N.; MACCHETTO, D.; PASTORIZA, M. A survey of the interstellar medium in early-type galaxies. III. Stellar and gas kinematics. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, Chicago, v. 127, n. 1, p.39-58, Mar. 2000.
- [20] CHARLOT, S.; BRUZUAL A. G. Stellar population synthesis revisited *Astrophysical Journal, Part 1*, vol. 367, p. 126-140, Jan. 1991.

- [21] CHATTERJEE, T. K. Interacting galaxies and mergers *Astrophysics and Space Science*, Dordrecht, v. 199, p. 189-197, Apr. 1993.
- [22] CIOTTI, L. ; PELLEGRINI, S. ; RENZINI, A. ; D'ERCOLE, A. Winds, outflows, and inflows in X-ray elliptical galaxies. *Astrophysical Journal, Part 1*, v. 376, p. 380-403, Aug. 1991.
- [23] da Rocha, C.; Mendes de Oliveira, C.; Bolte, M.; Ziegler, B. L.; Puzia, T. H. A catalog of southern groups of galaxies *The Astrophysical Journal Supplement Series*, Chicago, v. 69, n. 1, p. 809-829, Apr. 1989.
- [24] DAVIES, R. L.; SADLER, E. M.; PELETIER, R. F. Line-strength gradients in elliptical galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 262, n. 3, p. 650-680, June 1993.
- [25] de VAUCOULEURS, G. The Galaxy as Fundamental Calibrator of the Extragalactic Distance Scale - Part Two - Comparisons of Metric and Photometric Scale Lengths and Three Further Tests of the Long and Short Distance Scales. *Astrophysical journal*, Knudseb, v. 268, p. 468, Mai. 1983.
- [26] de ZEEUW, T.; FRANK, M. Kinematics of Gas in a Triaxial Galaxy *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 343, n. 1, p. 617-643, Aug. 1989.
- [27] EGGEN, O. J.; LYNDEN-BELL, D.; SANDAGE, A. R. Evidence from the motions of old stars that the Galaxy collapsed. *Astrophysical Journal*, vol. 136, p. 748, Nov. 1962.
- [28] DJORGOVSKI, S.; DAVIS, M. Fundamental properties of elliptical galaxies *Astrophysical Journal, Part 1*, vol. 313, p. 59-68, Feb. 1987.
- [29] DOTTORI, H. A. The equivalent width of the H beta emission line and the evolution of the H II regions. *Astrophysics and Space Science*, Dordrecht, v. 80, n. 2, p. 267-280, Mar. 1981.
- [30] FABBIANO, G.; KIM, D. W.; TRINCHIERI, G. An X-ray catalog and atlas of galaxies. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, Chicago, v. 80, n. 2, p. 531-664, June 1992.
- [31] FABER, S. M.; JACKSON, R. E. Velocity dispersions and mass-to-light ratios for elliptical galaxies. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 204, n. 3, p. 668-683, Mar. 1976.

- [32] FABER, S. M.; FRIEL, E. D.; BURSTEIN, D.; GASKELL, C. M. Old stellar populations. II - an analysis of K-giant spectra. *Astrophysical Journal Supplement Series*, v. 57, n. 3, p. 711-741, Apr. 1985.
- [33] FABIAN, A. C.; CANIZARES, C. R.; BOEHRINGER, H. Mergers, cooling flows, and evaporation revisited. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 425, n. 1, p. 40-42, Apr. 1994.
- [34] FABIAN, A. C.; CRAWFORD, C. S.; EDGE, A. C.; MUSHOTZKY, R. F. Cooling flows and the X-ray luminosity-temperature relation for clusters. *Monthly Notices of the Royal Society*, Oxford, v. 267, n. 3, p. 779-784, Apr. 1994.
- [35] FERRARI, F.; PASTORIZA, M. G.; MACCHETTO, F.; CAON, N. A survey of the ISM in early-type galaxies. II. The dust. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, Berlin, v. 136, n.1, p. 269-284, Apr. 1999.
- [36] FERRARI, F.; PASTORIZA, M. G.; MACCHETTO, F.; BONATTO, C. ; PANAGIA, N.; SPARKS, W.B. Survey of the ISM in early-type galaxies. IV. The hot dust component. *Astronomy and Astrophysics*, v. 389, 355-366, July 2002.
- [37] GIOMMI, P.; TAGLIAFERRI, G.; BEUERMANN, K.; BRANDUARDI, R. G.; BRISSENDEN, R.; GRASER, U.; MASON, K. O.; MITTAZ, J. D. P.; MURDIN, P.; POOLEY, G.; THOMAS, H. C.; TUOHY, I. Evidence for a stellar population dichotomy between spheroidal and elliptical galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 378, n. 1, p. 77-92, Sept. 1991.
- [38] GOPAL-KRICHNA Radio Astronomy Centre. Metre-wavelength Observation of ten Optically-Bright Galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v.185, n. 1, p. 579-583, Jan. 1978.
- [39] GORGAS, J.; PEDRAZ, S.; GUZMAN, R.; CARDIEL, N.; GONZALEZ, J. Line strength indices in bright spheroidal galaxies: evidence for a stellar population dichotomy between spheroidal and elliptical galaxies. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 481, n. 1, p. 19-22, May 1997.
- [40] HARRIS, W. E. Are nucleated dwarf galaxies genuine ellipticals? *Astronomical Society of the Pacific, Publications*, v. 103, p. 32-34, Jan. 1991.
- [41] HO, L. C.; FILIPPENKO, A. V.; SARGENT, W. L. W. A Search for "Dwarf" Seyfert Nuclei. III. Spectroscopic Parameters Properties of the Host Galaxies. *Astrophysical Journal Supplement Series*, Chicago, v. 112, n. 1, p. 315-390, Oct. 1997.

- [42] IDIART, T. P.; PACHECO, J. A. F.; COSTA, R. D. D. Metallicity indices for multi-population models. I. The galactic bulge. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 111 n. 3, p. 1169-1174, Mar. 1996.
- [43] IDIART, T. P.; PACHECO, J. A. F.; COSTA, R. D. D. Metallicity indices for multi-population models. II. The galactic bulge. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 112 n. 6, p. 2541-2548, Aug. 1996.
- [44] KAUFFMANN, G.; WHITE, S. D. M. The merging history of dark matter haloes in a hierarchical universe. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 261, n. 4, p. 921-928, Apr. 1993.
- [45] KAUFFMANN, G.; CHARLOT, S. Chemical enrichment and the origin of the colour-magnitude relation of elliptical galaxies in a hierarchical a merger model. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 294, n. 4, p. 705-717, Mar. 1998.
- [46] KIM, D. -K. Interstellar matter in early-type galaxies: optical observations. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 346, n. 2, p. 653-674, Nov. 1989.
- [47] KOBAYASHI, C.; ARIMOTO, N. Gradients of absorption-line strengths in elliptical galaxies. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 527, n. 2, p. 573-599, Dec. 1999.
- [48] KODAMA, T.; ARIMOTO, M. Origin of the colour-magnitude relation of elliptical galaxies. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v. 320, n. 1, p. 41-53, Apr. 1997.
- [49] KURUCZ, R. L. Model atmospheres for g, f, a, b, and o stars. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, Chicago, v. 40, n. 1, p. 1-340, May 1979.
- [50] LARSON, R. B.; TINSLEY, B. M. Photometric properties of model spherical galaxies. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 192, n. 2, p. 293-310, Oct. 1974.
- [51] MACCHETTO, F.; PASTORIZA, M.; CAON, N.; SPARKS, W. B.; GIAVALISCO, M.; BENDER, R.; CAPACCIOLI, M. A survey of the ISM in early-type galaxies. I. The ionized gas. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, Les Ulis, v. 120, n. 3, p. 463-488, May 1996.
- [52] MAIA, M. A. G.; DA COSTA, L. N.; LATHAM, DAVIS W. A catalog of southern groups of galaxies. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, Chicago, v. 69, n. 1, p. 809-829, Apr. 1989.
- [53] MARASTON, C. Evolutionary synthesis of stellar populations: a modular tool. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* Vol. 300, n. 3, p. 872-892, Nov. 1988

- [54] MARTINELLI, A.; MATTEUCCI, F.; COLAFRANCESCO, S. A possible theoretical explanation of metallicity gradients in elliptical galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 298, n. 1, p. 42-52, July 1998.
- [55] O'CONNELL, R. W.; GALLAGHER, J. S., III; HUNTER, D. A.; SWAIN, M. A. HST Imaging of Super Star Clusters in Nearby Galaxies *Astronomical Society*, Vol. 24, p.1200, Sep. 1992
- [56] OGANDO, L. C. R.; MAIA, A. G. M.; CHIAPPINI, C.; PELLEGRINI, S. P.; SCHIAVON, P. R.; da COSTA, N. L. Do observed metallicity gradients of early-type galaxies support a hybrid formation scenario? *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 632, n. 2, p. 61-64, Sep 2005
- [57] OSTERBROCK, D. E. *Astrophysics of gaseous nebulae and active galactic nuclei*. Mill Valley: University Science Books, 1989.
- [58] O'SULLIVAN, E.; FORBES, D. A.; PONMAN, T. J. A catalogue and Analysis of X-ray Luminosities of Early Type Galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 328, n. 1, p. 461-484, Apr. 2001.
- [59] PASTORIZA, M. G.; WINGE, C.; FERRARI, F.; MACCHETTO, D.; CAON, N. A Photometric and Kinematic study of the Stars and Interstellar Medium in the Central 2 Kiloparsecs of NGC 3379 *Astrophysical Journal*, U.S.A., v. 529, p. 866-874, Aug. 2000.
- [60] PAVANI, D. B.; BICA, E.; DUTRA, C. M.; DOTTORI, H.; SANTIAGO, B. X.; CARRANZA, G.; DIAZ, R. J. Open clusters or their remnants: B and V photometry of NGC 1901 and NGC 1252 *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v. 374, n. 2, p. 554-563, Aug. 2001.
- [61] PELETIER, R. F. Visual-infrared color gradients in elliptical galaxies. In: ELSTON, R. (Ed.) *Astrophysics with infrared arrays*. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 1990. p. 32-34. (ASP conference series, 14).
- [62] PELETIER, R. F.; DAVIES, R. L.; ELLINGWORTH, G. D.; DAVIES, L. E.; CAWSON, M. CCD surface photometry of galaxies with dynamical data. II - UBR photometry of 39 elliptical galaxies. *The Astronomical Journal*, New York, v. 100, n. 4, p. 1091-1142, Oct. 1990.
- [63] PHILLIPS, M. M.; JENKINS, C. R.; DOPITA, M. A.; SADLER, E. M.; BINETTE, L. Ionized gas in elliptical and S0 galaxies. I - A survey for H-alpha and forbidden N II emission. *The Astronomical Journal*, New York, v. 91, n. 5, p. 1062-1085, May 1986.

- [64] PLANA, H.; BOULESTEIX, J.; AMRAM, Ph.; CARIGNAN, C.; MENDES DE OLIVEIRA, C. Extended Ionized Gas in Elliptical Galaxies. II. Velocity and Monochromatic maps of 11 Elliptical and lenticular galaxies. *Astronomy and Astrophysical Supplement Series*, Les Ulis, v. 128, n. 1, p. 75-109, Feb. 1998.
- [65] RAIMANN, D.; STORCHI-BERGAMN, T.; BICA, E.; ALLOIN, D. Stellar population gradients in normal and active galaxies *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 324, Issue 4, p. 1087-1101, July 2001.
- [66] REMBOLD, S. B.; PASTORIZA, M. G.; DUCATI, J. R.; RUBIO, M.; ROTH, M. Near-infrared surface photometry of early-type galaxies *Astronomy and Astrophysics*, v.391, p.531-545, Aug. 2002.
- [67] RICKES, M. G.; PASTORIZA, M. G., BONATO, CH. The elliptical galaxy NGC 5044: Stellar population and ionized gas. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v. 419, n. 1, p. 449-458, Feb 2004.
- [68] SALPETER, E.F. The Luminosity Function and Stellar Evolution. *Astrophysical Journal*, New York, p. 161-167 Jan. 1955.
- [69] SALPETER, E.F. Distribution and composition of interstellar matter. *In NASA. Marshall Space Flight Center Sci. Res. with the Space Telescope*, New York, p. 123-138 Oct. 1979.
- [70] SANDAGE, A. The Redshift-Distance Correlation. VIII. Magnitude and Redshifts of Southern Galaxies in Groups: A Further Mapping of the Local Velocity Field and an Estimate of q_0 . *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 202, n. 1, p. 563-582, Dec. 1975.
- [71] SAVAGE, A.; WRIGHT, A. E.; BOLTON, J. G. The Parkes 2700 MHz Survey (Thirteenth Part) Catalogue for Declination -15° to -30° , Right Ascension 10^h to 15^h . *August. J. physical Astrophysical Supplement*, New York, n. 44, p. 1-20, Oct. 1977.
- [72] SCHMITT, H. R.; BICA, E.; PASTORIZA, M. G. Spectral analysis of the nuclear stellar population and gas emission in NGC 6240 *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 278, Issue 4, p. 965-974 Feb. 1996.
- [73] SCHWEIZER, F. S. P.; SEITZER, P.; FABER, S. M.; BURSTEIN, D.; DALLE, O. C. M.; GONZALEZ, J. J. Correlations between line strengths and fine structure on elliptical galaxies. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 364, n. 2, p. L33-L36, Dec. 1990.

- [74] SCHWEIZER, F.; SEITZER, P. Correlations between UBV colors and fine-structure in E-galaxies and S0-galaxies: a first attempt at dating ancient merger events. *Astronomical Journal*, New York, v. 104, n. 3, p. 1039-106, Sept. 1992.
- [75] SCHWEIZER, F.; SEITZER, P. Correlations between UBV colors and fine structure in E+S0 galaxies. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 149, n. 2, p. 488-492, Aug. 1992.
- [76] SÉRSIC J. L. Galaxies, Groups of Galaxies, Atlases *ESO*, Cordoba, Argentina: Observatorio Astronomico, Dec 1968.
- [77] SHIELDS, G. A.; SKILIMAN, E. D.; KENNICUTT, K., ROBERT, C. High chemical abundances in virgo spiral galaxies. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 371, n. 1, p. 82-91, Apr. 1991.
- [78] SING, K. P.; BHAT, P. N.; KEMBHAVI, A. K. Distribution of ionized gas in X-ray bright early-type galaxies. *Astronomy and Astrophysical Journal*, Chicago, v. 302, p. 658-664, Feb. 1995.
- [79] SPARKS, W. B.; WALL, J. V.; THORNE, D. J.; JORDEN, P. R.; van BREDA, I. G.; RUDD, P. J.; JORGENSEN, H. E. Dust in Elliptical Galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 217, n. 1, p. 89-98, Dec. 1985.
- [80] SPARKS, W. B.; COLLIER, C. A. A relation between UV excess and the interstellar medium in elliptical galaxies? *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 232, n. 1, p. 215-224, May 1988.
- [81] SPARKS, W. B.; MACCHETTO, F.; GOLOMBEK, D. Imaging observations of gas and dust in NGC 4696 and implications for cooling flow models. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 345, n. 1, p. 153-162, Oct. 1989.
- [82] TAMURA, N.; KOBAYASHI, C.; ARIMOTO, N.; KODAMA, T.; OHTA, K. Origin of color gradients in elliptical galaxies. *The Astronomical Journal*, Chicago, v. 119, n. 5, p. 2134-2145, May 2000.
- [83] TERASHIMA, Y.; IYOMOTO, N.; HO, L. C.; PTAK, A. F. K. X-Ray Properties of LINERs and Low-Luminosity Seyfert Galaxies Observed with ASCA. I. Observations and Results *The Astrophysical Journal Supplement Series*, Chicago, v. 139, n. 5, p. 1-36, Mar. 2002.
- [84] THOMAS, D.; MARASTON, C.; BENDER, R. Stellar Population Models of Lick Indices With Variable Element Abundance Ratios *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 339, n. 1, p. 897-911, Sep. 2003.

- [85] TOOMRE, A; TOOMRE, J. Galactic bridges and tails. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 178, n. 3, p. 623-666, Dec. 1972.
- [86] TRAGRE, S. C.; FABER, S. M.; DRESSLER, A.; OEMLER, A., Jr. Galaxies at Z 4 and the Formation of Population II *Astrophysical Journal* v.485, p.92, Aug. 1997.
- [87] VADER, J. P.; VIGROUX, L.; LACHIEZE-REY, M.; SOUVIRON, J. Three-color surface photometry of a selected sample of early-type galaxies. II - Color gradients. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v. 203, n. 2, p. 217-225, Sept. 1988.
- [88] VADER, J. P.; VIGROUX, L. A star-forming disk in the elliptical galaxy NGC 5173. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v. 246, n. 1, p. 32-38, June 1991.
- [89] van den BERGH, S. Globular clusters and galaxy mergers. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, San Francisco, v. 94, n. 559, p. 459-464, June 1982.
- [90] van den BERGH, S. How important are galaxy merges?. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 31, n. 1, p. 153-159, Sept. 1990.
- [91] van DOKKUM, P.; STANFORD S. A. The fundamental plane at $z=1.27$: First calibration of the mass scale of red galaxies at redshifted $z > 1^{1.2}$. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 585, n. 1, p. 79-89, Mar. 2003.
- [92] WORTHEY, G.; FABER, S. M.; GONZALES, J. J. Mg end Fe absorption features in elliptical galaxies. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 398, n. 1, p. 69-73, Oct. 1992.
- [93] WORTHEY, G.; FABER, S. M. GONZALES, J. J.; BURSTEIN, D. Old stellar populations. 5: Absorption feature indices for the complete LICK/IDS sample of stars *The Astrophysical Journal Supplement Series*, vol. 94, no. 2, p. 687-722, Oct. 1994
- [94] WORTHEY, G.; TRAGER, S. C.; FABER, S. M. The galaxian age-metallicity relation. *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, Mexico, p. 203-206, Mar. 1995
- [95] YOSHII, Y.; ARIMOTO, N. Spheroidal systems as a one-parameter family of mass at their birth. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v. 188, n. 1, p. 13-23, Dec. 1987.
- [96] ZEILINGER, W. W.; PIZZELLA, A.; AMICO, P.; BERTIN, G.; BERTOLA, F.; BUSON, L. M.; DEJONGHE, H.; DADLER, E. M.; SAGLIA, R. P.; de ZEEUW, P. T. The Distribution of Ionized Gas in Early Type Galaxies. II. The Velocity Field of the Ionized Gas *The Astrophysical Journal Supplement Series*, Chicago, v. 120, n. 1, p. 257-266, Mar. 1996.

Capítulo 11

Apêndice 01

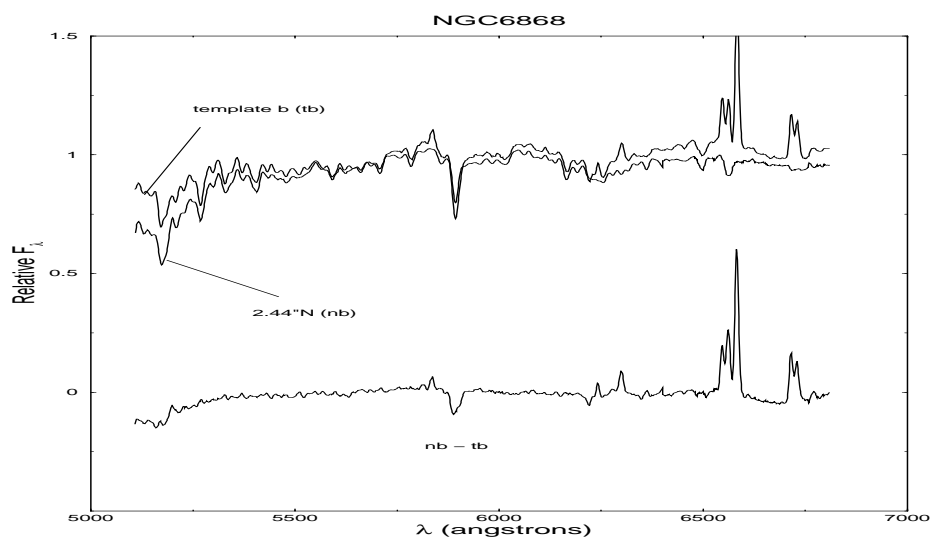


Fig. 11.1:

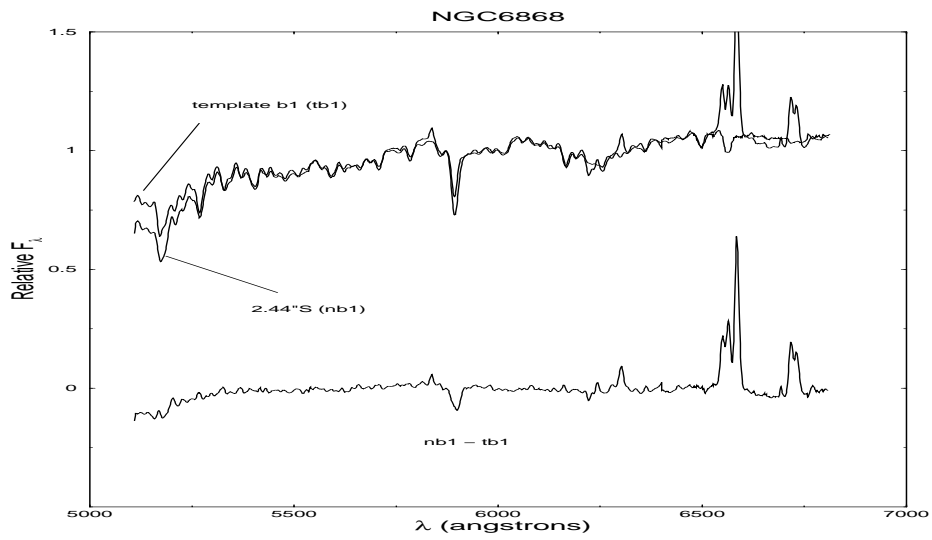


Fig. 11.2:

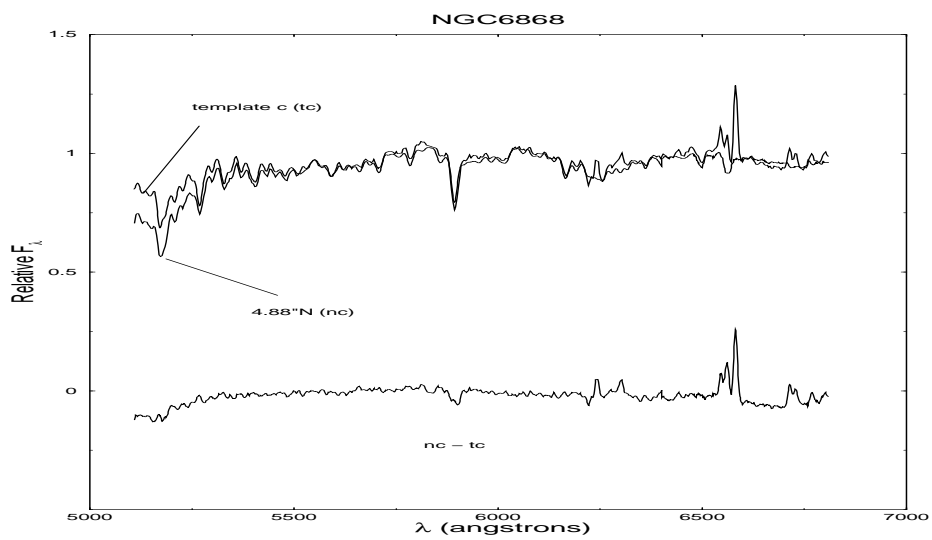


Fig. 11.3:

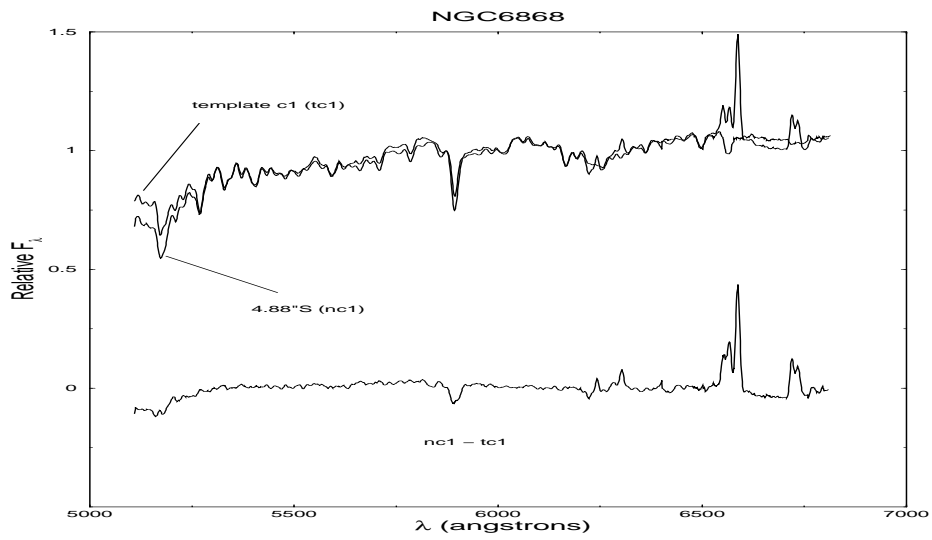


Fig. 11.4:

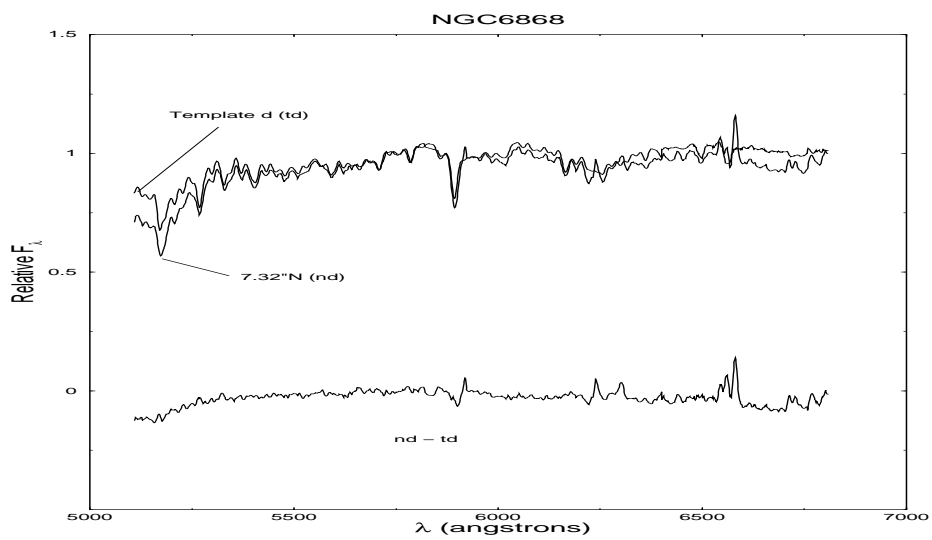


Fig. 11.5:

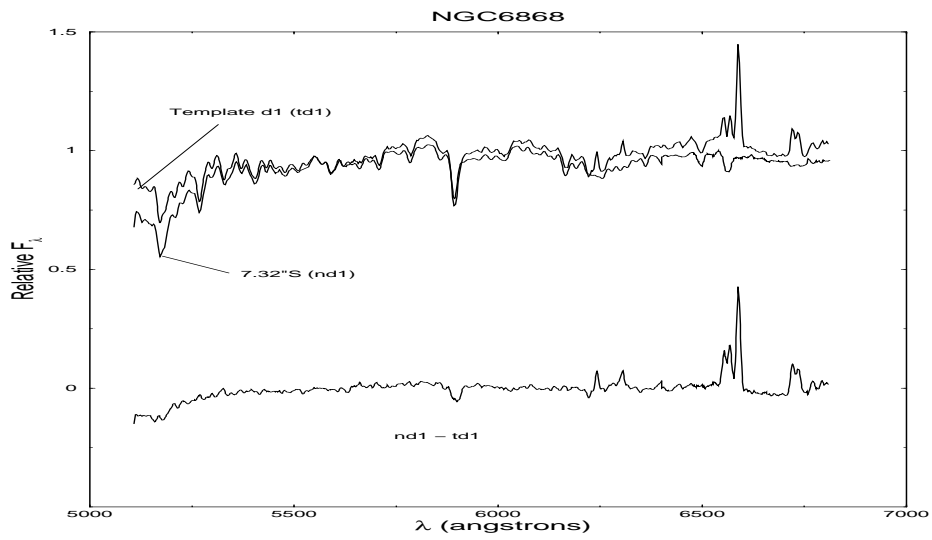


Fig. 11.6:

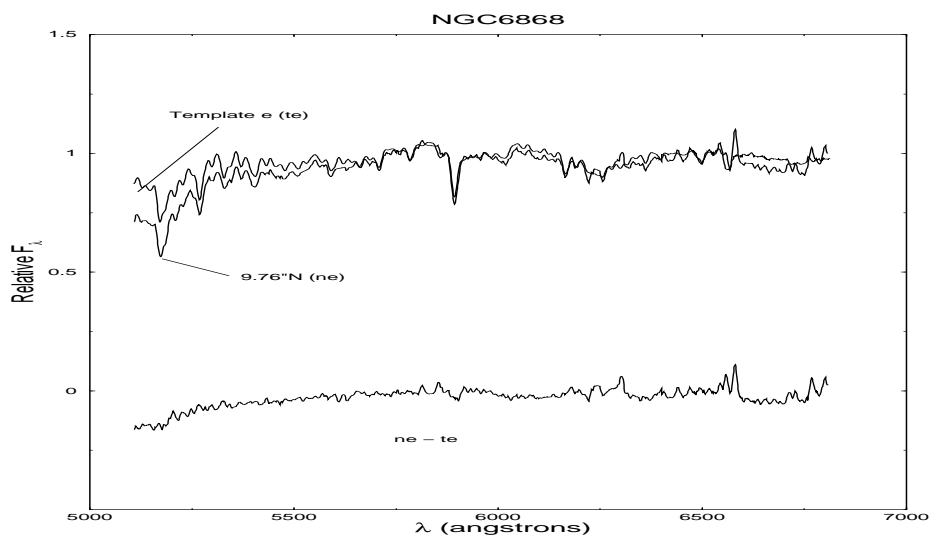


Fig. 11.7:

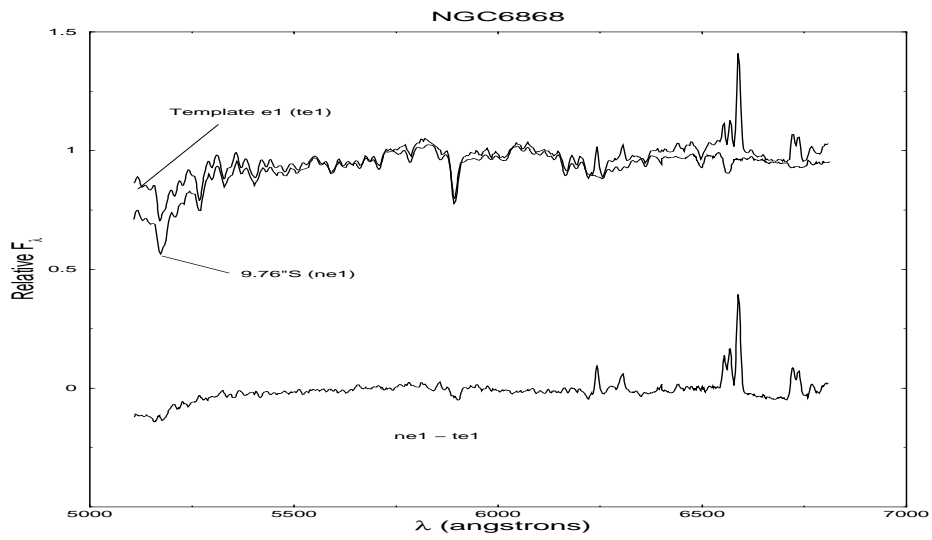


Fig. 11.8:

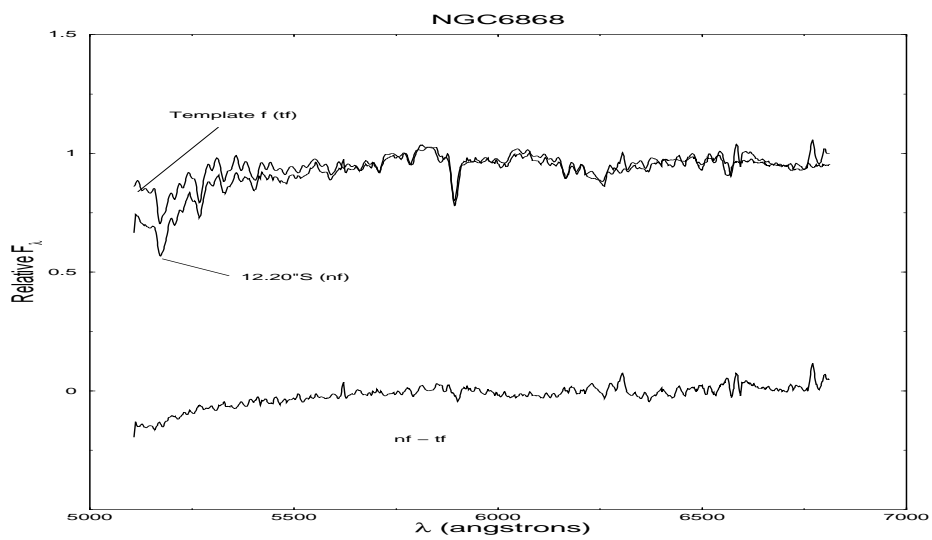


Fig. 11.9:

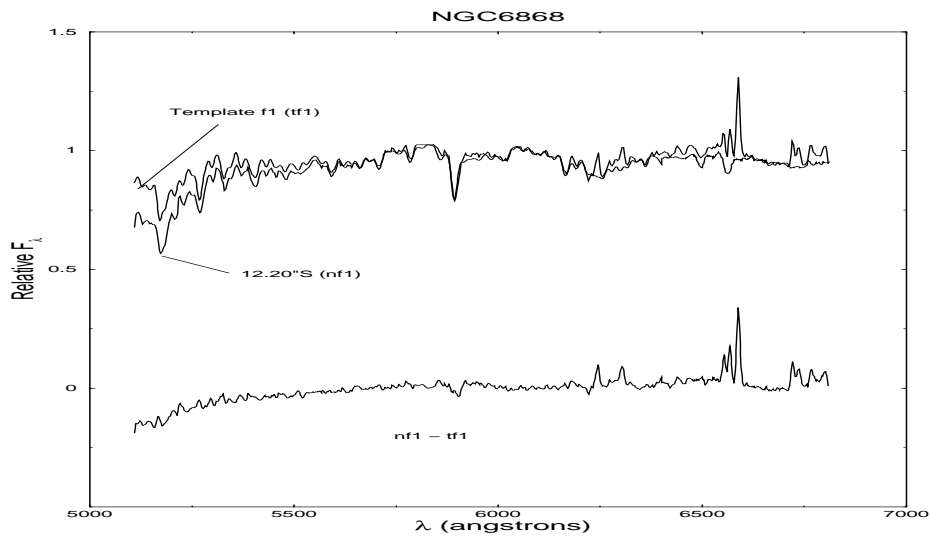


Fig. 11.10:

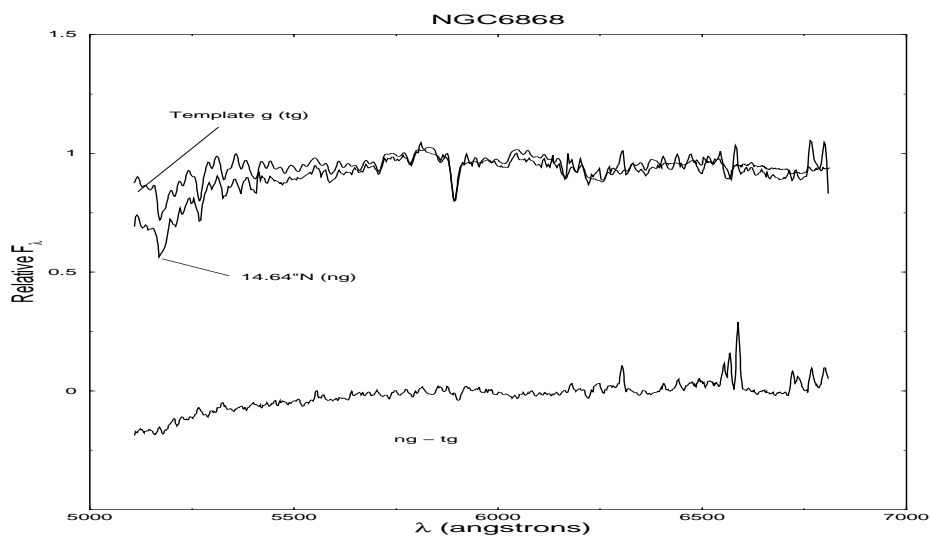


Fig. 11.11:

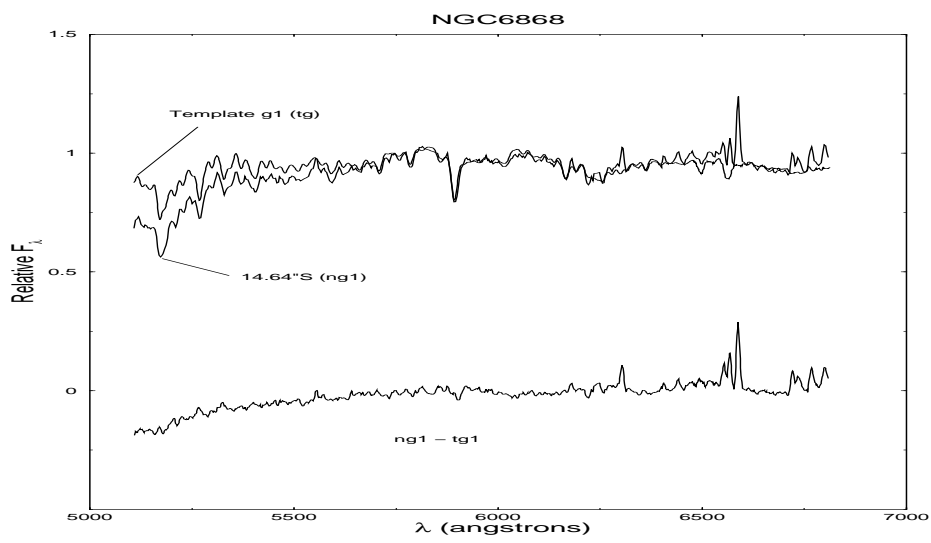


Fig. 11.12:

Capítulo 12

Apêndice 02

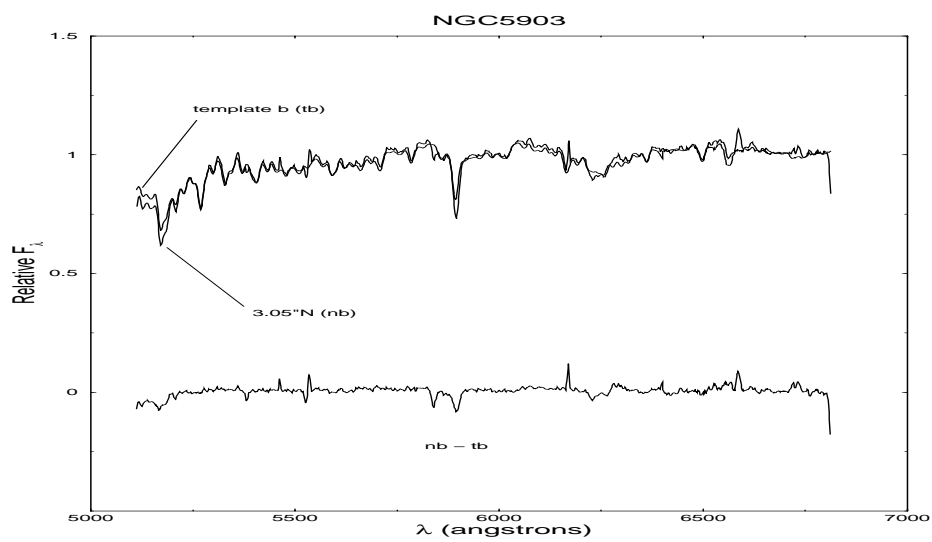


Fig. 12.1:

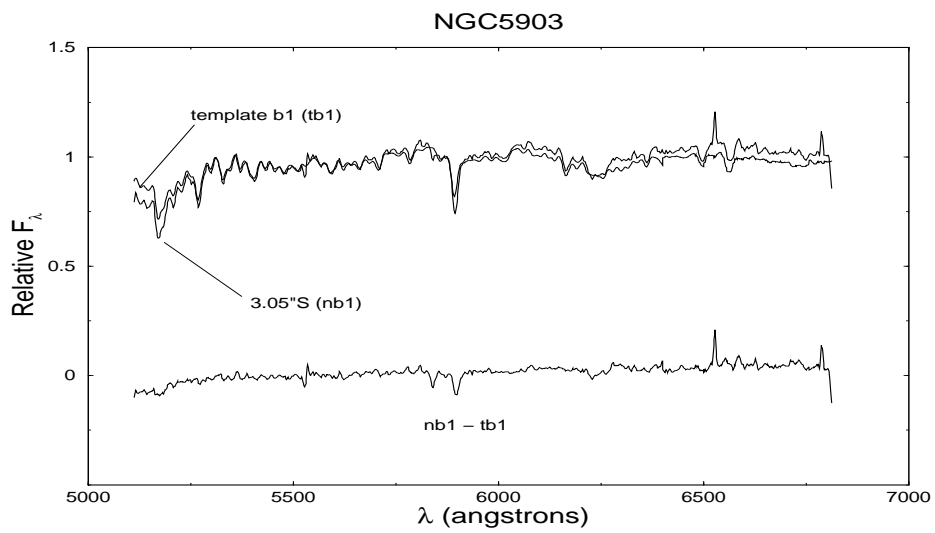


Fig. 12.2:

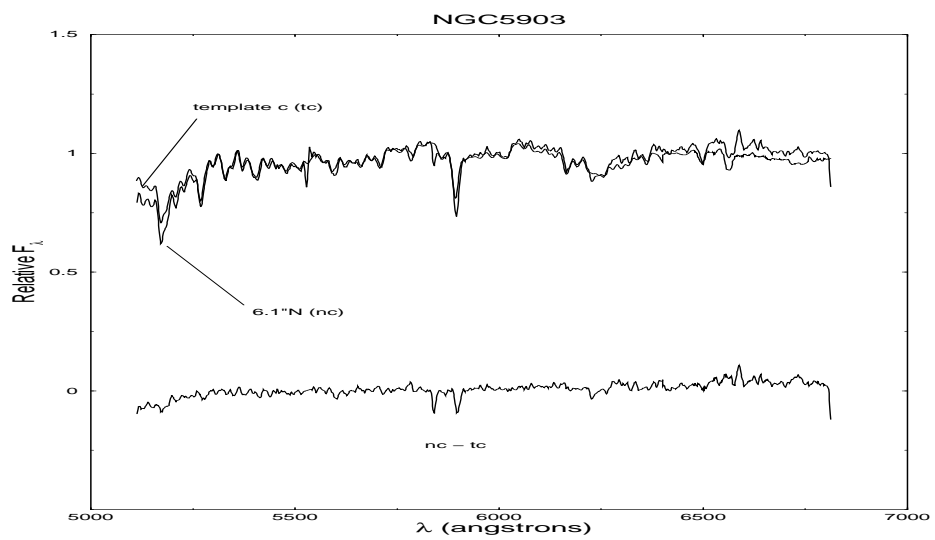


Fig. 12.3:

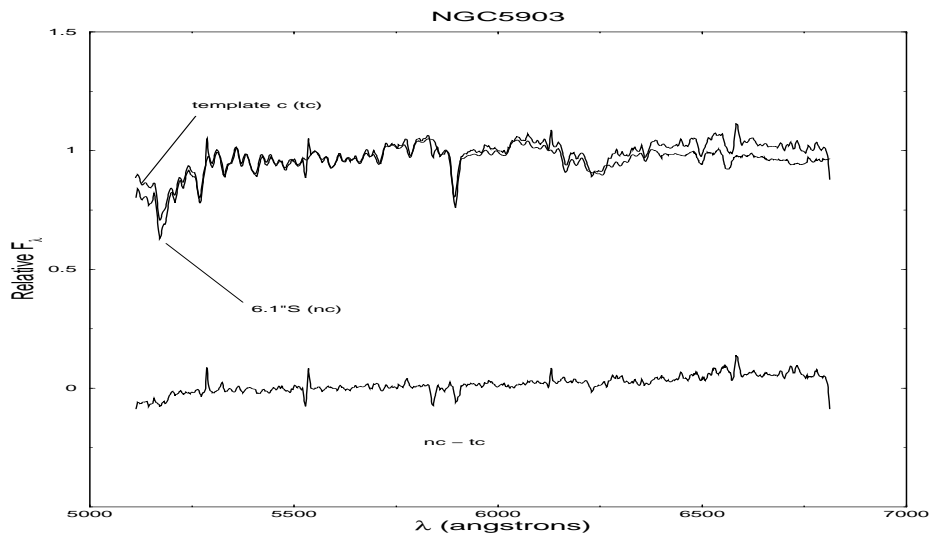


Fig. 12.4:

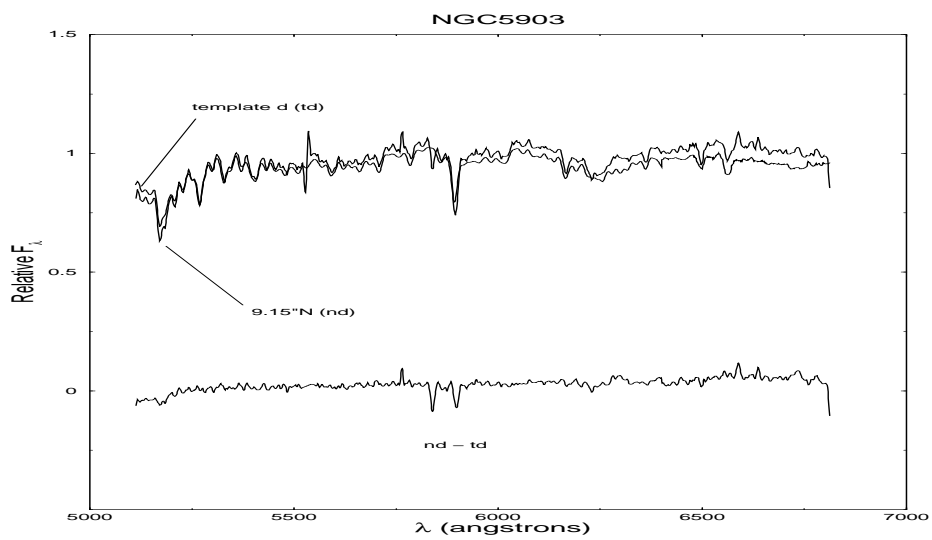


Fig. 12.5:

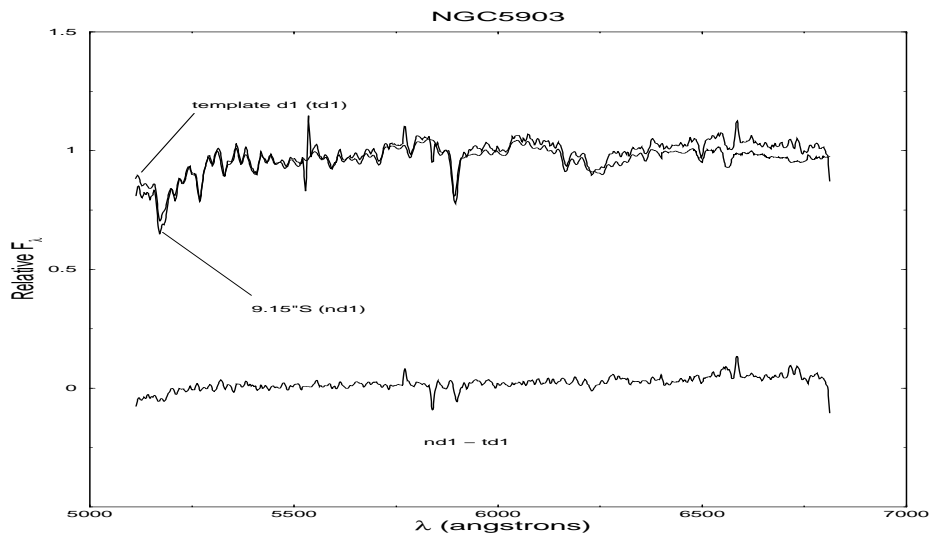


Fig. 12.6:

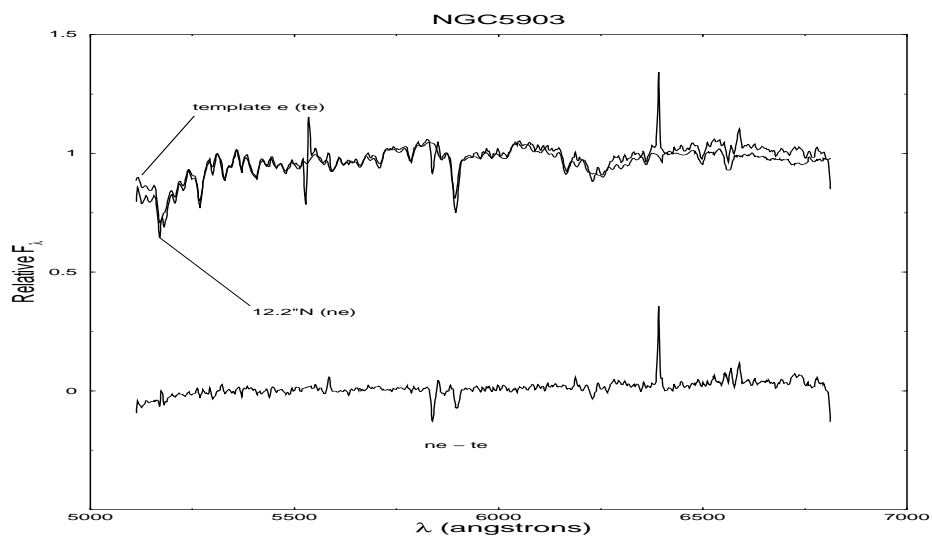


Fig. 12.7:

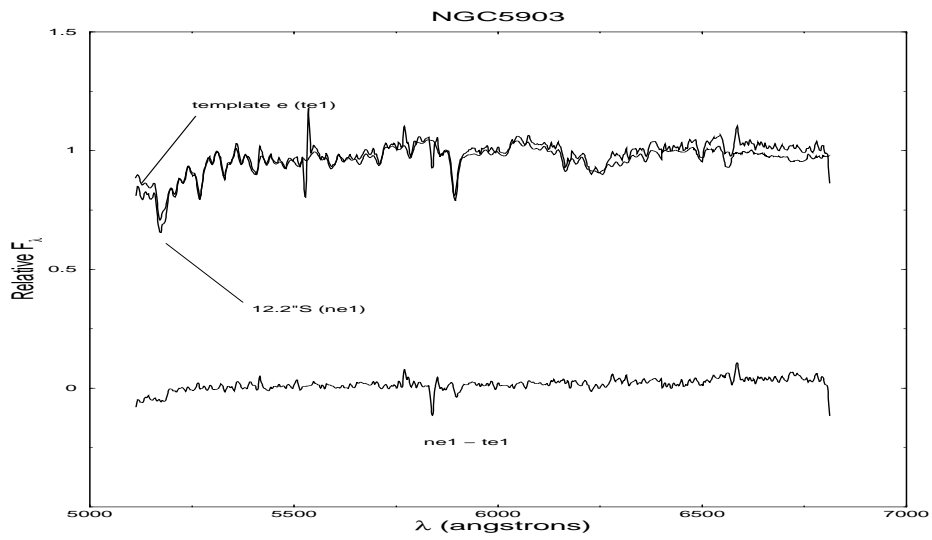


Fig. 12.8:

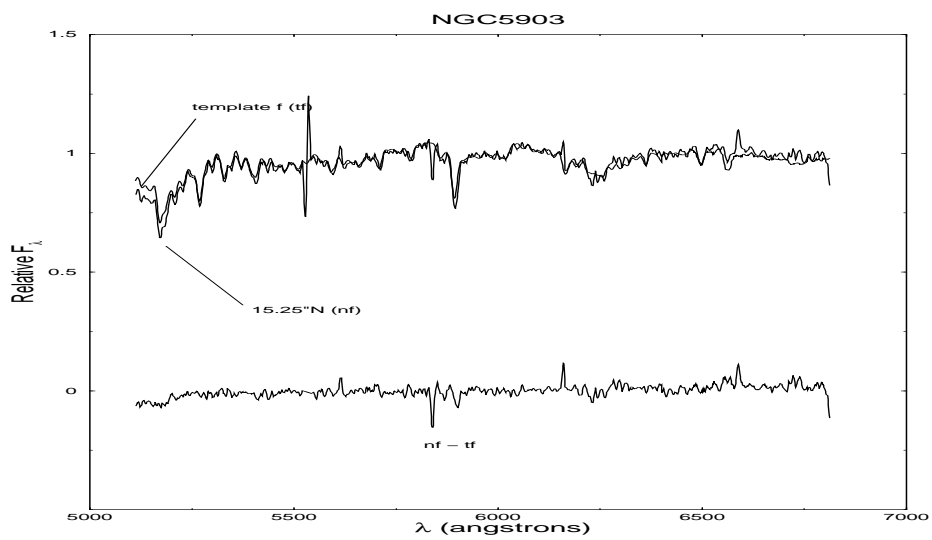


Fig. 12.9:

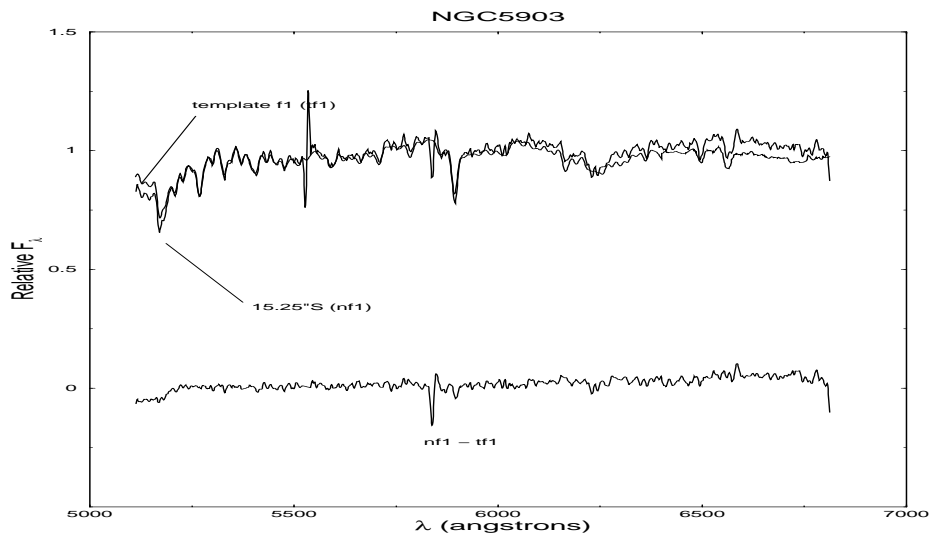


Fig. 12.10:

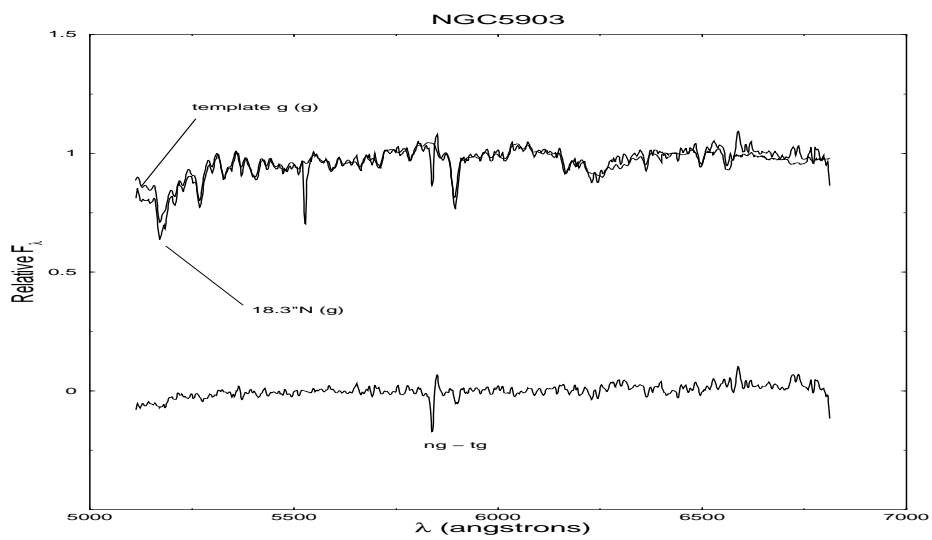


Fig. 12.11:

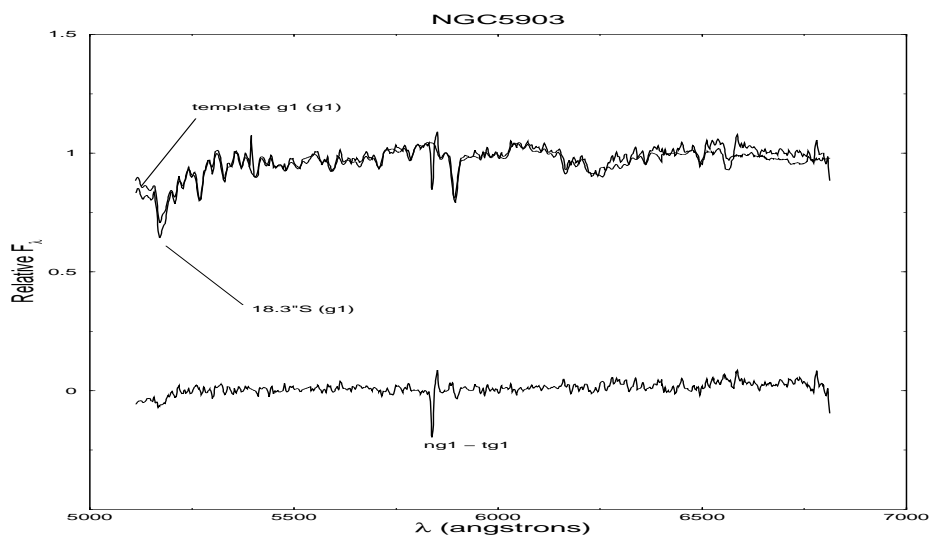


Fig. 12.12:

Capítulo 13

Apêndice 03

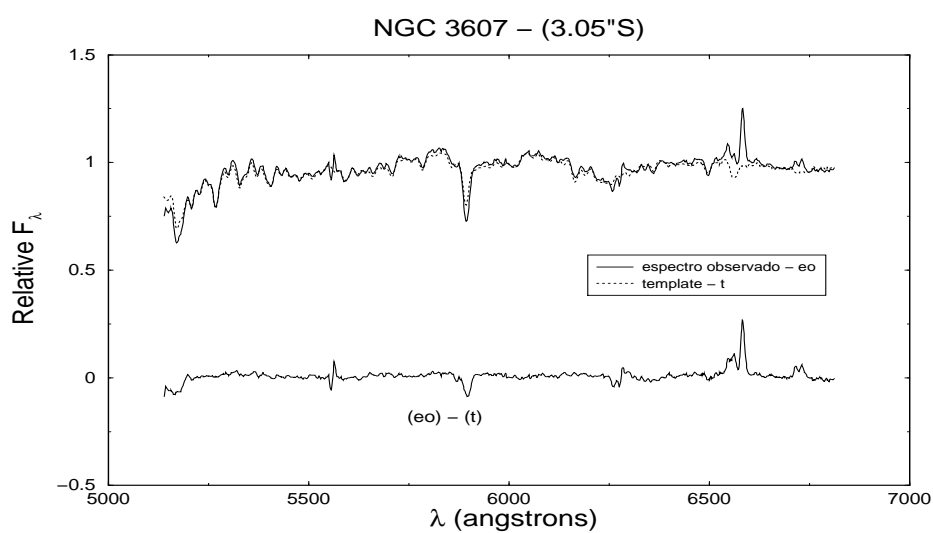


Fig. 13.1:

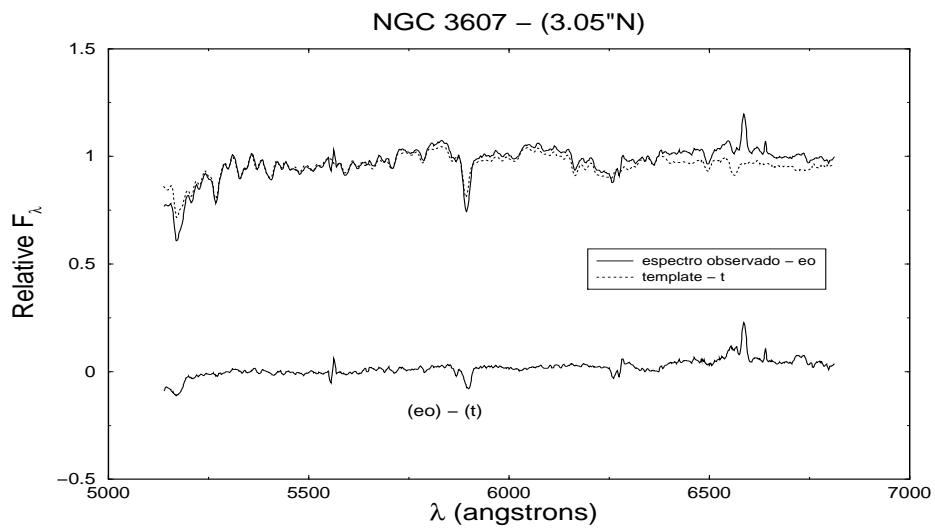


Fig. 13.2:

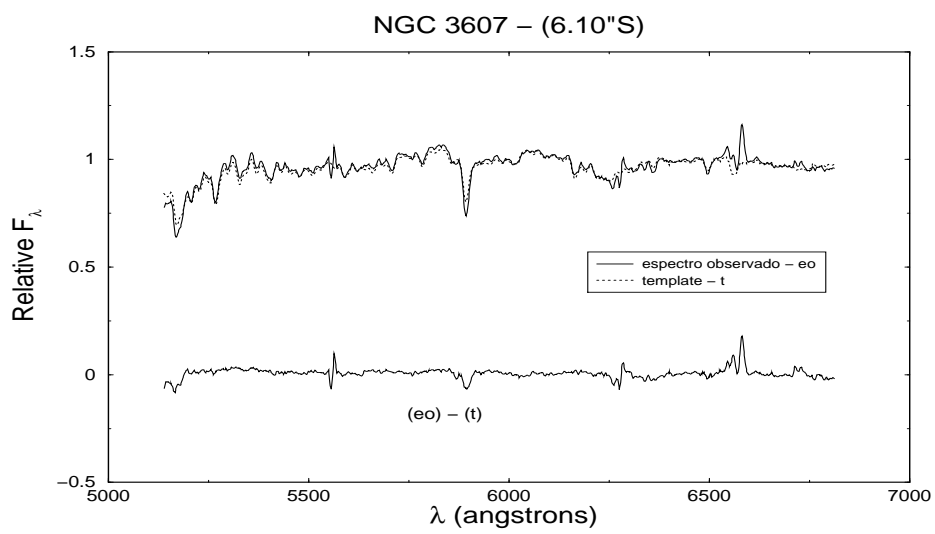


Fig. 13.3:

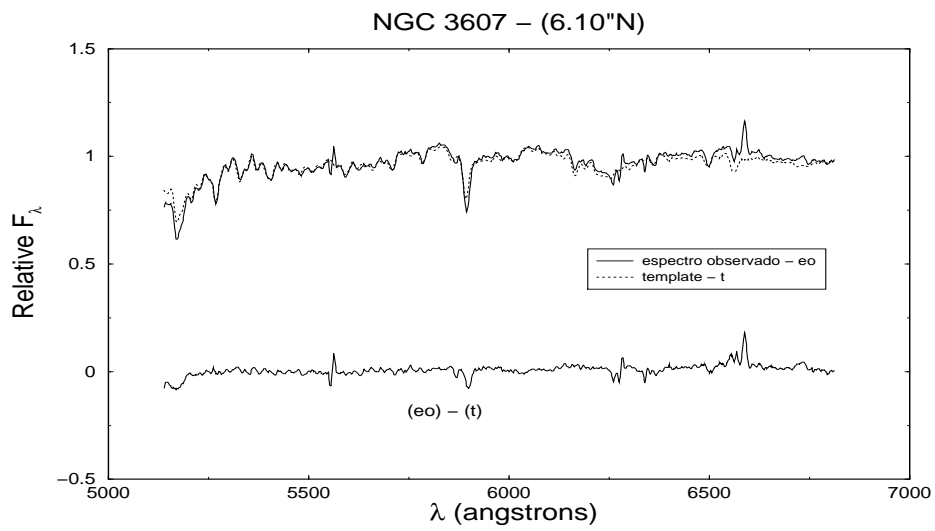


Fig. 13.4:

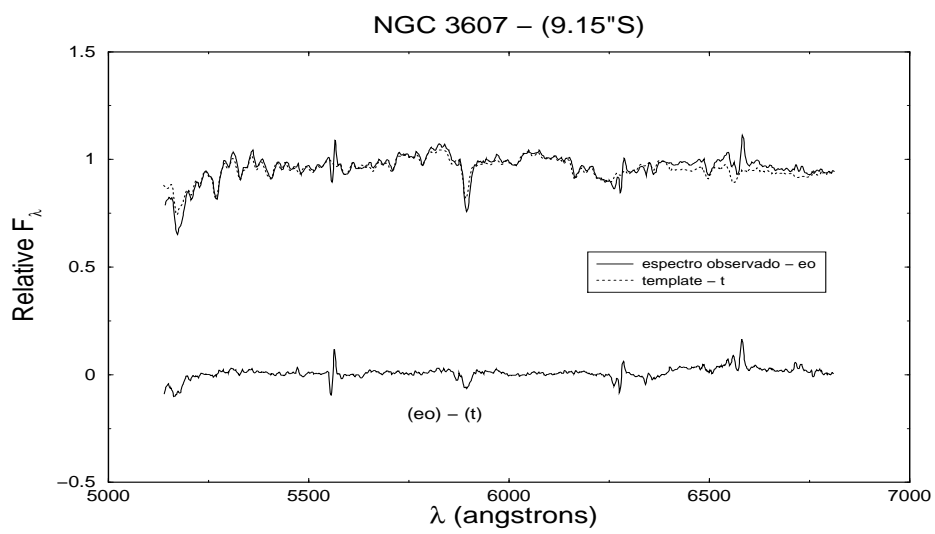


Fig. 13.5:

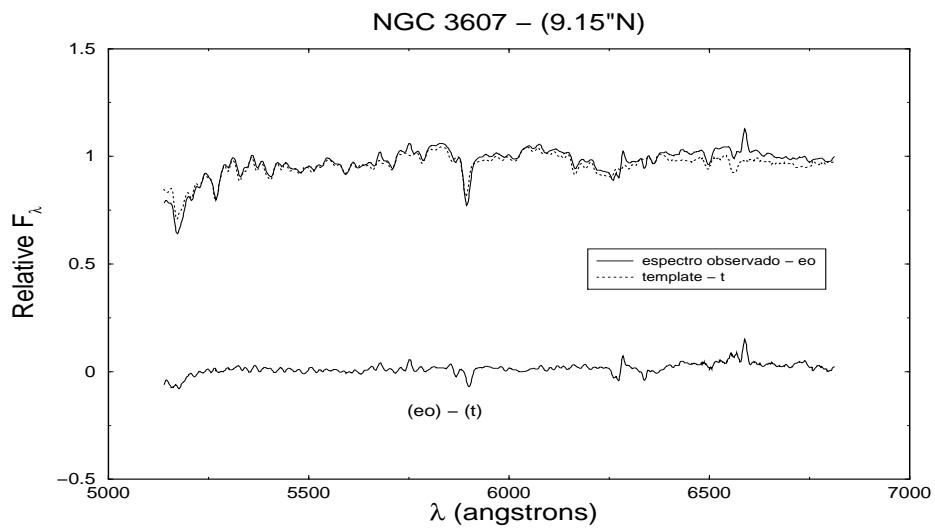


Fig. 13.6:

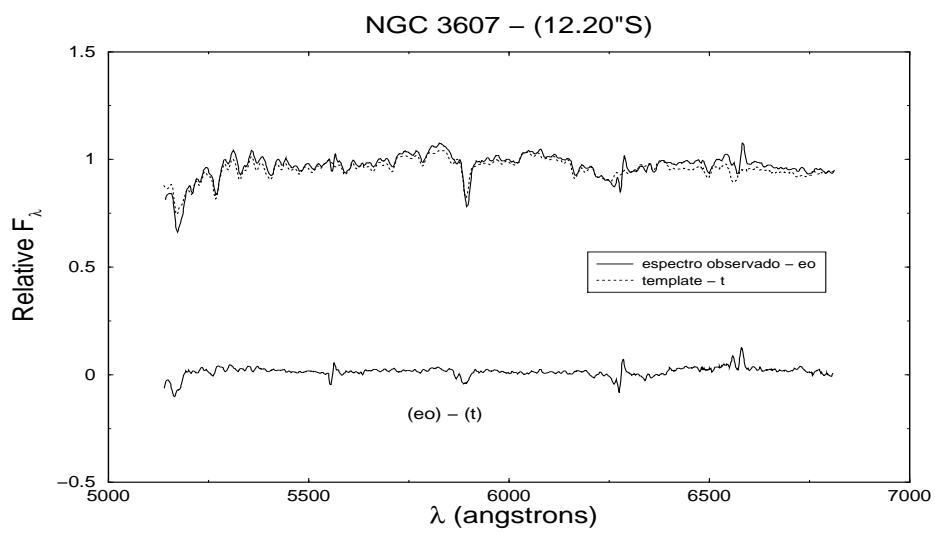


Fig. 13.7:

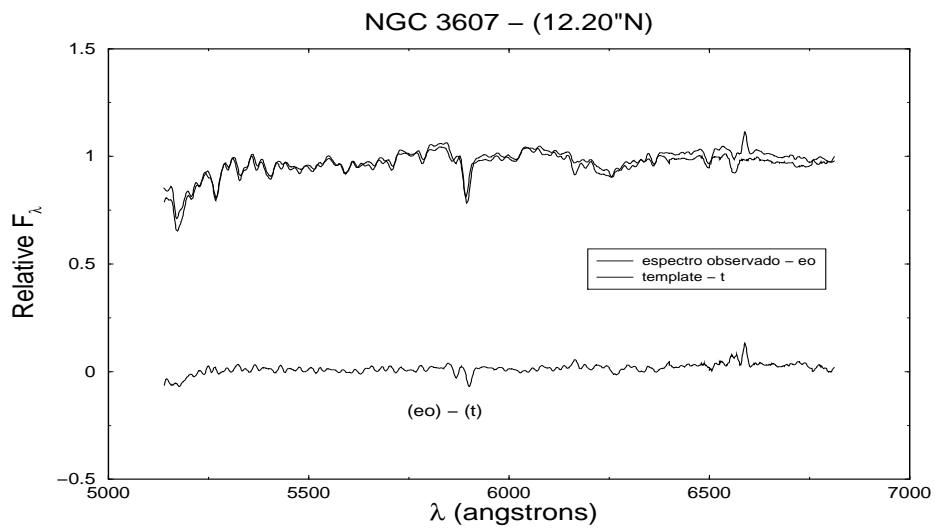


Fig. 13.8:

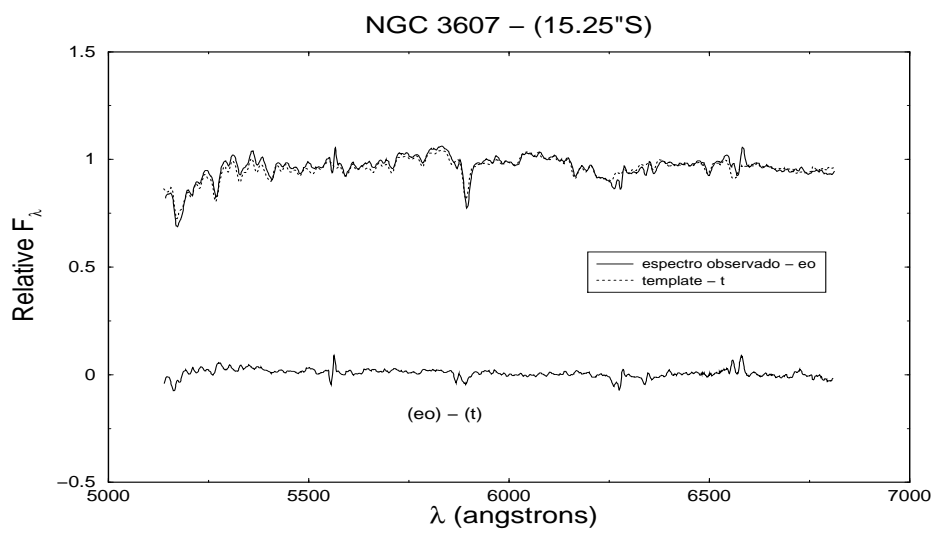


Fig. 13.9:

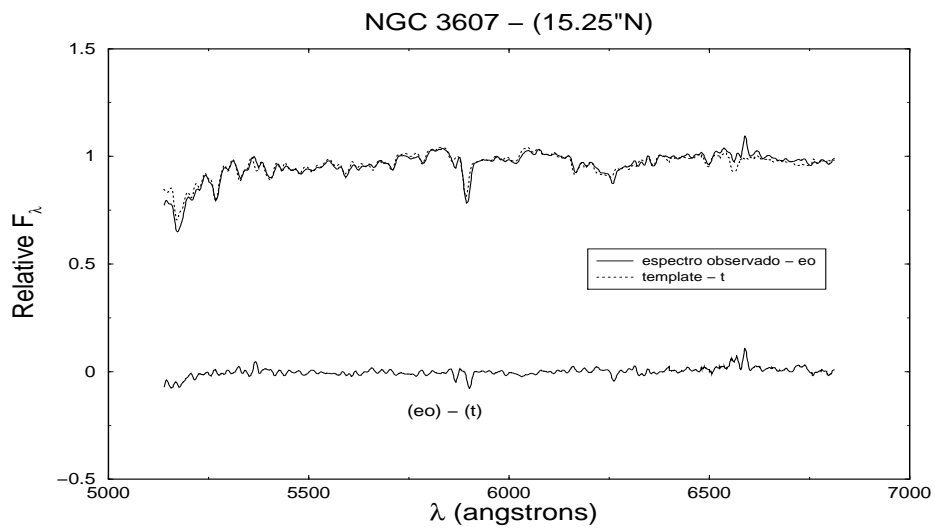


Fig. 13.10:

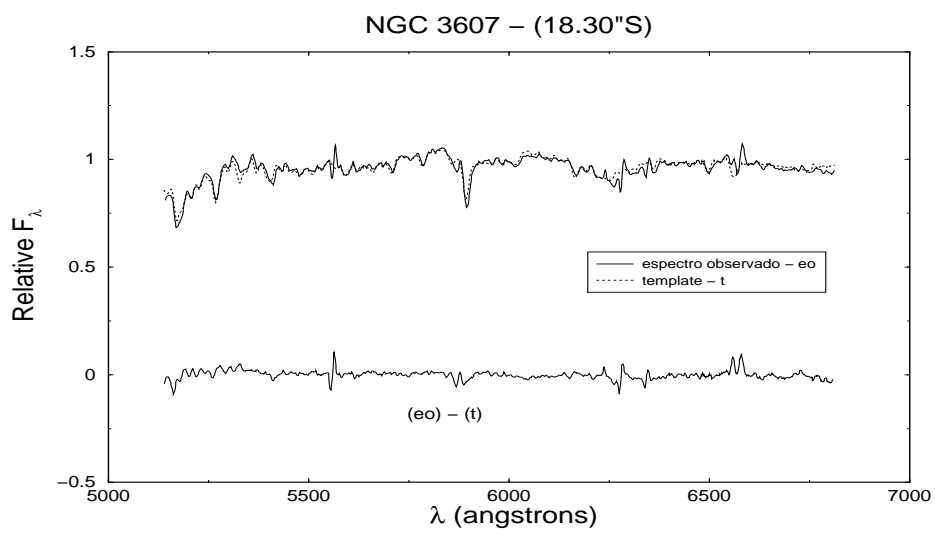


Fig. 13.11:

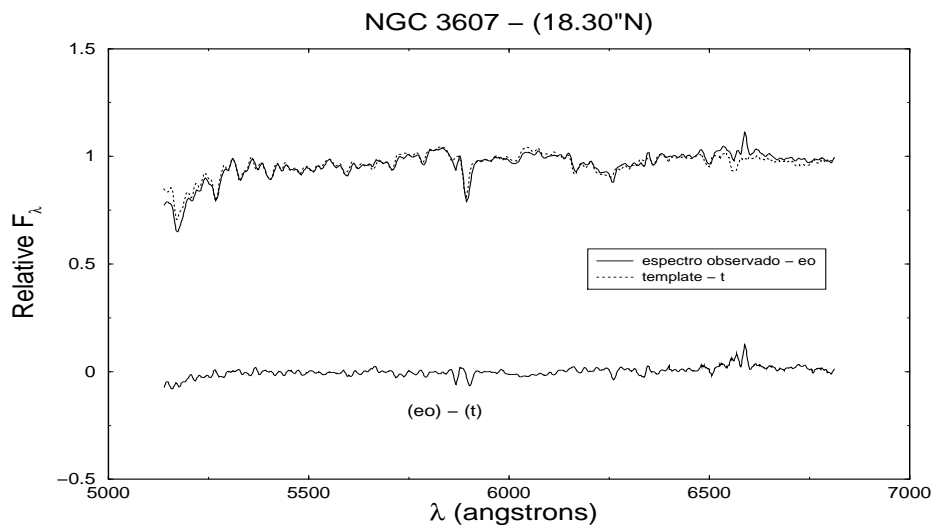


Fig. 13.12:

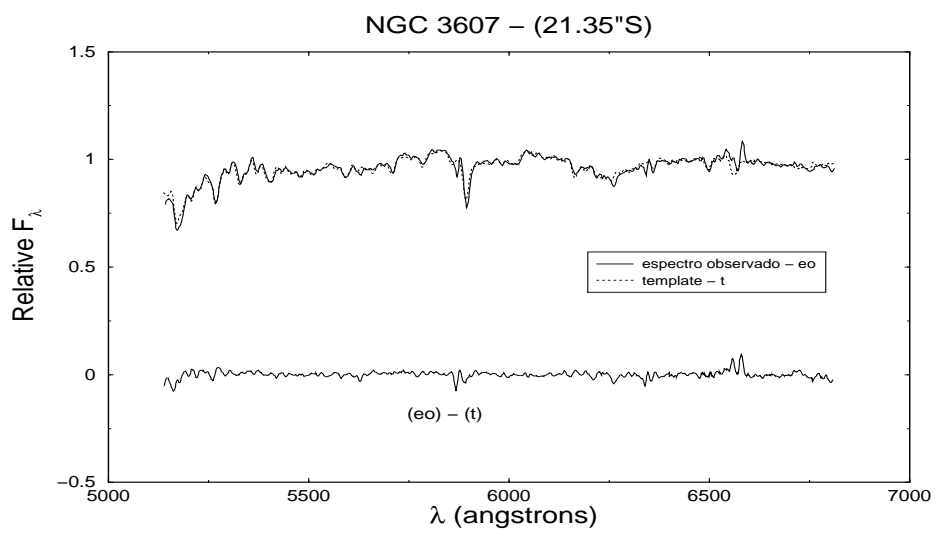


Fig. 13.13:

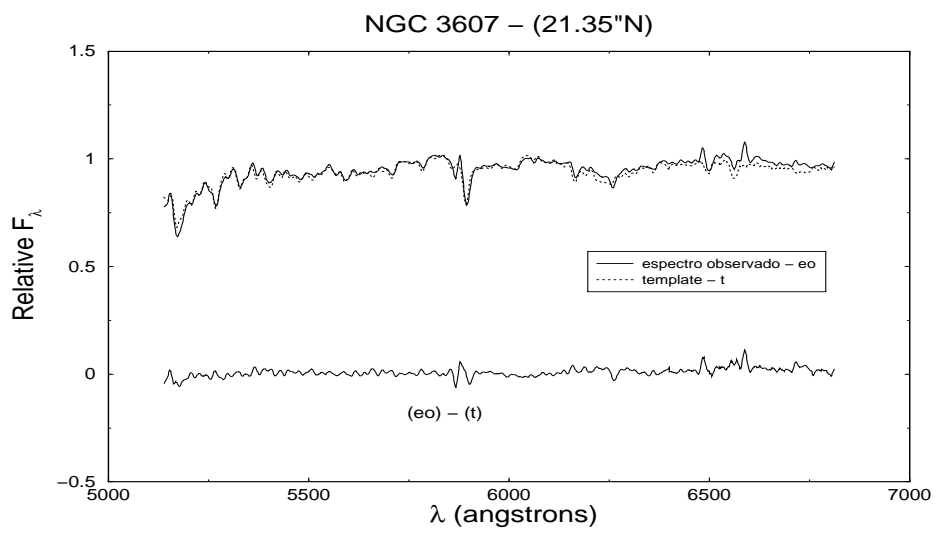


Fig. 13.14:

Capítulo 14

Artigos Publicados

Capítulo 15

Artigos em Fase de Análise