

Sumário

1	Introdução	1
1.1	O todo e as partes	2
1.2	O GAS-UFSC e o IAA-CSIC	3
1.2.1	STARLIGHT + CALIFA	4
1.2.2	Linhas de emissão	6
1.3	Gás ionizado difuso (DIG)	7
1.3.1	Primeiras detecções	7
1.3.2	Fonte de ionização do DIG	8
1.3.3	Como separar regiões DIG e SF	9
1.4	Este trabalho	9
	Referências Bibliográficas	I

Lista de Figuras

1.1	Exemplo de ajuste de linha de emissão	7
-----	---	---

Capítulo 1

Introdução

A forma empírica usual de estudarmos galáxias é através da luz emitida pelos seus constituintes. Mais precisamente, das imagens e da distribuição espectral de energia (SED¹) que chegam até nossos telescópios, em terra ou no espaço. Diferentes componentes e eventos os modificam produzindo assinaturas características, nos possibilitando a busca de padrões e a criação de modelos que se propõem a explicar sua constituição, formação e dinâmica. Atualmente, existem diversos projetos astronômicos de levantamento de informações ou mapeamento de regiões do céu, chamados de *surveys*, formando uma rede de gigantescos bancos de dados de imagens, espectros e metainformação. Com diferentes faixas espectrais (desde raios- γ até micro-ondas), diferentes fontes de dados (espectros de galáxias integradas, espectroscopia de campo, imagens, monitoramento temporal de eventos) e diferentes objetivos, os *surveys* astronômicos permeiam por diferentes fenômenos astrofísicos. Através dessa criação e difusão em massa de informações, nossa forma de enxergar o mundo vem se tornando cada vez mais acurada quanto ao Universo. Além de estarem formando um imenso legado de informações para futuros astrofísicos, são basilares para o desenvolvimento de novas ideias e resolução dos desafios atuais da área. Neste capítulo faço uma introdução no assunto o qual esta tese está inserida, que se faz presente nesse cenário de ‘*art nouveau*’ na astronomia, com um breve resumo dos avanços que nosso grupo de astrofísica (GAS-UFSC) têm obtido nos últimos anos.

¹*Spectral energy distribution* - quantidade de energia em cada comprimento de onda.

1.1 O todo e as partes

Galáxias são formadas por uma complexa mistura de gás, poeira, estrelas e matéria escura, distribuídas em discos, bulbos e halos. Os primeiros grandes levantamentos de dados espectrais (SDSS², York et al. 2000; Scoville et al. 2007; 2dFGRS³, Colless et al. 2001; são alguns exemplos) tratavam galáxias como uma fonte puntual de energia. Essa falta de informação espacial faz com que os padrões de diferentes partes com diferentes dinâmicas e regimes de ionização terminem misturadas no mesmo espectro, não sendo mais reconhecíveis. Apesar dessa limitação, muito se aprendeu (e ainda se aprende) sobre a formação e evolução das galáxias. Exemplos incluem a conexão entre o poder do AGN⁴ e as populações estelares (Kauffmann et al. 2003); a relação entre a taxa de formação estelar (SFR⁵) e a massa estelar das galáxias (Brinchmann et al. 2004); a relação massa-metallicidade (MZR⁶; Tremonti et al. 2004); a evolução química e a história de formação estelar das galáxias (Cid Fernandes et al. 2007; Asari et al. 2007); relação massa estelar-metallicidade (Vale Asari et al. 2009); e mais importantes para o escopo desta tese, a revelação de uma imensa e esquecida população de galáxias aposentadas ionizadas por HOLMES⁷ (Stasińska et al. 2008; Cid Fernandes et al. 2010, 2011).

Podemos perceber que qualquer propriedade que varie em função da posição dentro de uma galáxia será erroneamente estimada quando apenas um espectro a representa. Outro problema também acontece quando estimamos propriedades referentes a diferentes regimes de ionização na galáxia, como a metalicidade nebular⁸ por exemplo. Nesse caso, devemos levar em conta apenas os fótons gerados nas regiões de formação estelar (SF⁹), isolando-os daqueles que vêm de outros regimes nebulares, como o gás difuso ionizado (DIG¹⁰), fotoionização pelo núcleo ativo ou estrelas velhas. Dessa forma, para um estudo mais preciso das propriedades derivadas dos espectros integrados e, por consequência, do viés causado por construção dos espectros, um melhor entendimento desses efeitos se faz necessário.

Um grande passo nessa direção foi dado com a criação dos *surveys* de espectroscopia de

²Sloan Digital Sky Survey

³2dF Galaxy Redshift Survey

⁴Active galactic nucleus

⁵Star-formation rate

⁶Mass-metallicity relation

⁷Hot low-mass evolved stars, estrelas quentes de baixa massa em alto estado de evolução.

⁸Quantidade de elementos diferentes de Hidrogênio e Hélio presentes no gás que está formando estrelas, estimada geralmente utilizando a razão entre a abundância do Oxigênio e a do Hidrogênio.

⁹Star-forming

¹⁰Diffuse ionized gas

campo integral (IFS¹¹). Através da IFS podemos desvencilhar essa mistura de partes distintas, pois nessa técnica de observação temos espectros para cada parte da galáxia. Assim, para cada par espacial (x, y) temos uma dimensão espectral λ . Quanto maior o intervalo de comprimento de onda e melhores resolução espacial e espectral teremos uma melhor definição da localização e da natureza espectral de cada uma das partes do objeto observado. Diversos *surveys* IFS já estão finalizados e com seus dados disponíveis publicamente (CALIFA¹² DR3¹³, Sánchez et al. 2016; PINGs¹⁴, Rosales-Ortega et al. 2010), outros ainda estão em fase de observação e com alguns dados já disponíveis (MaNGA¹⁵ SDSS-IV DR13, Albareti et al. 2017; SAMI¹⁶ DR1, Green et al. 2017). Com o desenvolvimento de novos equipamentos como o MUSE¹⁷ e o SITELLE¹⁸ poderemos estudar galáxias e suas interações com ainda mais detalhes.

Nessa direção, este trabalho utiliza dados de IFS do CALIFA para estudar a importância e a caracterização do DIG em diferentes regiões de galáxias cobrindo todos os tipos de Hubble¹⁹, que resultou no artigo já publicado e anexado no Apêndice ?? (Lacerda et al. 2018). A completa cobertura de galáxias com diferentes morfologias e diferentes inclinações faz do CALIFA um *survey* ideal para esse tipo de estudo, mesmo sabendo que a resolução espacial não nos permite uma descrição detalhada das diferentes componentes do meio interestelar (ISM²⁰). Estudos utilizando IFS com melhor resolução já existem (Sánchez et al. 2015; Vogt et al. 2017; Rousseau-Nepton et al. 2017), mas como cobrem tão poucos objetos não podemos usá-los para um estudo mais geral como esse.

1.2 O GAS-UFSC e o IAA-CSIC

Nos últimos anos nosso grupo de Astrofísica (GAS-UFSC) aqui na Universidade Federal de Santa Catarina vem trabalhando com dados de diversos *surveys*. Nosso grupo foi pioneiro no estudo das propriedades físicas das populações estelares de aproximadamente um milhão

¹¹*Integral field spectroscopy*

¹²*Calar Alto Legacy Integral Field Area survey*

¹³*Data-release 3*

¹⁴*PPAK IFS Nearby Galaxies survey*

¹⁵*Mapping nearby Galaxies at Apache Point Observatory*

¹⁶equipamento e *survey* são homônimos - *Sydney-AAO Multi-object Integral-field spectrograph*

¹⁷*The Multi Unit Spectroscopic Explorer* - <https://www.eso.org/sci/facilities/develop/instruments/muse.html>

¹⁸*Spectromètre Imageur à Transformée de Fourier pour l'Etude en Long et en Large de raies d'Emission* - <http://cfht.hawaii.edu/Instruments/Sitelle/>

¹⁹Edwin Hubble criou o diagrama de morfologia de galáxias, conhecido hoje como classificação de Hubble, classificando-as como elípticas, espirais, e irregulares. As galáxias de elípticas são conhecidas como de tipo precoce (*early-type galaxies*) e as espirais são conhecidas como de tipo tardio (*late-type galaxies*).

²⁰*Interstellar medium*

de galáxias do SDSS através do projeto SEAGal/STARLIGHT²¹ publicando diversos artigos importantes e amplamente citados (e.g., Cid Fernandes et al. 2005; Mateus et al. 2006; Stasińska et al. 2006; Asari et al. 2007; Stasińska et al. 2008; Cid Fernandes et al. 2011).

Durante esse trabalho inteiro, nosso grupo de estudo de populações estelares seguiu participando de um projeto com pesquisadores do Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA), na cidade de Granada, Comunidade autônoma de Andalucía, ao sul da Espanha. Esse instituto pertence ao *Consejo Superior de Investigaciones Científicas* (CSIC), o maior órgão público (estatal) de pesquisas científicas na Espanha, e o terceiro maior da Europa. Conta com pesquisadores participantes do CALIFA *survey*, funcionando como centro físico do projeto. A pesquisadora Rosa M. González Delgado, coorientadora deste trabalho, uma das principais líderes do projeto e que também atuou como Pesquisadora Visitante Especial (PVE-CsF) aqui na UFSC; Rubén García Benito, que faz parte do grupo de redução dos dados do *survey*; e Enrique Pérez, do grupo de populações estelares; já trabalham em nossa parceria e possuem conhecimento e domínio das técnicas exploradas por nosso projeto, além de participarem ativamente do desenvolvimento do CALIFA. Durante os últimos cinco anos nosso grupo de populações estelares no CALIFA publicou diversos artigos e quatro teses de doutorado. Paralelamente participamos de diversos congressos e conferências publicando nossos resultados. Detalhes técnicos e comparações entre *surveys* IFS podem ser encontrados em de Amorim (2015).

1.2.1 STARLIGHT + CALIFA

Um dos maiores frutos de toda essa parceria é nossa participação no projeto CALIFA. Dentro dele, nós analisamos todos os cubos de dados dos objetos observados utilizando o código de síntese espectral STARLIGHT e a plataforma *Python CALIFA STARLIGHT synthesis organiser* (PyCASSO), tudo descrito em Cid Fernandes et al. (2013, 2014) e em de Amorim et al. (2017). Com a síntese de populações estelares pode-se modelar os espectros proveniente das estrelas de diferentes idades e composições químicas (metalicidade), além da correção pela aplicação de uma lei de extinção por poeira. Essa análise foi basilar para a série de estudos que aconteceram nos últimos anos, resolvendo as populações estelares destes objetos no espaço e no tempo pela primeira vez. Aqui um rápido resumo do que nós desenvolvemos até agora:

- (i) Através da história de formação estelar (SFH²²) espacialmente resolvida, em Pérez et al.

²¹<http://starlight.ufsc.br>

²²Star-formation history

- (2013) pudemos, pela primeira vez, traçar a história do crescimento da massa estelar de ~ 100 galáxias em função da distância radial. O resultado, que sugere que galáxias crescem de dentro para fora, foi confirmado por [García-Benito et al. \(2017\)](#) com uma amostra sete vezes maior.
- (ii) Informações espacialmente resolvidas e mapas 2-D das populações estelares foram usados para recuperar relações locais entre: (a) densidade superficial de massa estelar, Σ_* , e idades estelares médias ponderadas pela luz, $\langle \log t \rangle_L$ ([González Delgado et al. 2014b](#)); (b) metalicidade estelar média ponderada pela massa, $\langle \log Z \rangle_M$, e Σ_* ([González Delgado et al. 2014a](#)); (c) a densidade superficial da taxa de formação estelar, Σ_{SFR} , que funciona como um sensor de intensidade de formação estelar, e Σ_* ([González Delgado et al. 2016](#)). Estes estudos serviram para mostrar que os processos locais empregam papel fundamental regulando a formação estelar e enriquecimento químico no disco de galáxias espirais. Já nos esferóides esses processos são regulados pela massa estelar total, M_* . Além do mais, com a comparação entre análise espectral integrada e espacialmente resolvida, encontramos que as propriedades das populações estelares são bem representadas por seus valores a 1 HLR²³ [González Delgado et al. \(2014b\)](#).
- (iii) Estudando os perfis radiais de diversas propriedades físicas como a extinção estelar, A_V , Σ_* , $\langle \log t \rangle_L$, $\langle \log Z \rangle_M$ e seus gradientes em função da distância radial confirmamos que galáxias mais massivas são mais compactas, velhas, evoluídas quimicamente e menos avermelhadas por poeira. A dispersão nesses perfis parecem correlacionar com o tipo morfológico mostrando que para uma mesma M_* , as galáxias mais *early-types* são também mais compactas, velhas e mais evoluídas quimicamente, o que evidencia que a cessão de formação estelar está relacionada ao tipo morfológico ([González Delgado et al. 2015](#)). Nesse mesmo artigo vimos que os gradientes negativos de $\langle \log t \rangle_L$ e $\langle \log Z \rangle_M$ confirmam que galáxias crescem de dentro para fora.
- (iv) As estruturas radiais de Σ_{SFR} e a dispersão muito pequena desses perfis radiais entre galáxias espirais nos confirmaram que a sequência principal de galáxias formadoras de estrelas (MSSF²⁴) é praticamente constante em Σ_{SFR} . Os gradientes positivos dos perfis da taxa de formação estelar específica local e recente (sSFR) e o seu aumento ao irmos das galáxias *early-* para as *late-types* também sugerem que galáxias param a formação estelar de dentro para fora e esse processo acontece mais rápido em galáxias dominadas pelo bulbo e não pelo disco ([González Delgado et al. 2016](#)). Nesse mesmo estudo, graças a função de seleção bem definida do CALIFA ([Walcher et al. 2014](#)) pudemos

²³Half-light radius. Raio que contém metade da luz da galáxia na janela espectral de normalização dos espectros.

²⁴Main sequence of star-formation galaxies

estimar a densidade de SFR no Universo local em $0.0105 \pm 0.0008 M_{\odot} \text{ yr}^{-1} \text{ Mpc}^{-3}$, de acordo com outros estudos independentes.

- (v) Com os mapas 2-D da evolução temporal e espacial da SFH das galáxias pudemos estimar a evolução temporal da SFR, sua intensidade (Σ_{SFR}) e a sSFR. Nós encontramos que galáxias se formam muito rápido independentemente de sua massa estelar, resultando em um pico de formação estelar em alto *redshift* ($z \sim 2$), e que a formação estelar subsequente é guiada por M_{\star} e pela morfologia, com os tipos espirais mais tardios formando estrelas por um período mais longo de tempo (González Delgado et al. 2017).
- (vi) Estudos de objetos em interação (*mergers*) e suas comparações com galáxias espirais ‘não-interagentes’ nos revelam o papel que a interação têm sobre a história de formação estelar, qual sua extensão de atividade e também uma estimativa da época do início da interação (Cortijo-Ferrero et al. 2017a,b,c).
- (vii) Atualização do STARLIGHT que nos possibilitou a análise das populações estelares de uma forma mais precisa unindo dados fotométricos no ultra-violeta (UV) do GALEX²⁵ (Martin et al. 2005) com os espectros ópticos do CALIFA (López Fernández et al. 2016). Dessa forma, há uma significativa diminuição nas incertezas nas propriedades estelares. Também obtemos uma melhora na resolução das populações mais jovens, pois elas contribuem majoritariamente no UV.
- (viii) Publicação de um banco de dados²⁶ com todos os resultados da síntese de populações estelares utilizando o STARLIGHT para 445 galáxias do DR3 do CALIFA (de Amorim et al. 2017).

Todos esses resultados provêm da análise das populações estelares, mas com a síntese de populações estelares podemos ir além. Através dos espectros residuais podemos estudar as linhas de emissão que nos servem de fonte para estimar propriedades do gás, como veremos na próxima seção.

1.2.2 Linhas de emissão

Espectros observados carregam uma mistura de luz provenientes de distintas componentes das galáxias (estrelas, gás, poeira, etc). Subtraindo os espectros observados dos espectros modelados pela síntese obtemos os espectros residuais, compostos basicamente pelas linhas de emissão. Essas linhas são geradas principalmente através das ionizações e recombinações de átomos dos elementos encontrados no meio interestelar, e mais densamente, nas nuvens de

²⁵Galaxy Evolution Explorer

²⁶<http://pycasso.ufsc.br> ou <http://pycasso.iaa.es>

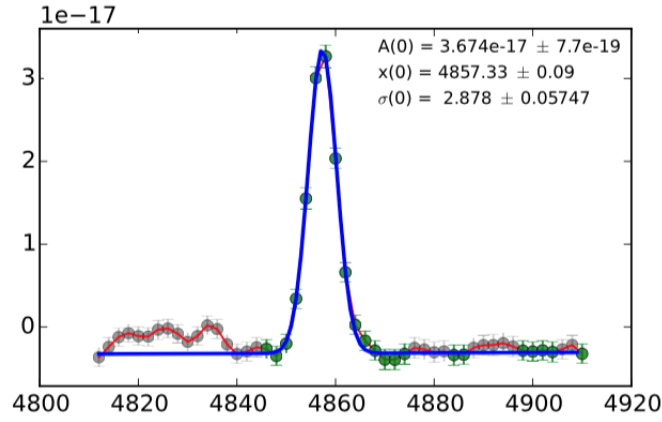


Figura 1.1: Espectro na região da linha de em emissão para a zona central da galáxia UGC00148 (objeto CALIFA 12) juntamente com o melhor ajuste utilizando uma gaussiana. Em destaque a amplitude (A), o comprimento de onda central (x) e o desvio padrão neste ajuste (σ).

gás.

Dentre os diversos produtos indiretos da síntese de populações estelares, a medida dos fluxos integrados das linhas de emissão é peça fundamental em nosso projeto. Esse processo foi feito utilizando o SHERPA IFU line fitting software (SHIFU; [García-Benito et al. 2017](#)), baseado no pacote CIAO's SHERPA ([Freeman et al. 2001](#); [Doe et al. 2007](#)). Esse programa ajusta perfis gaussianos nas linhas de emissão presentes nos espectros residuais, além de estimar os erros envolvidos neste processo. Um exemplo pode ser observado na Fig. 1.1. Nela vemos a linha de na zona central do objeto UGC00148 e o ajuste feito pelo programa.

1.3 Gás ionizado difuso (DIG)

1.3.1 Primeiras detecções

O DIG foi detectado pela primeira vez no disco Galáctico através de linhas de emissão fracas fora de regiões $H\text{II}$ ²⁷ clássicas ([Reynolds 1971](#)). Observações de galáxias espirais de lado através de imageamento em $H\alpha$ ([Dettmar 1990](#); [Hoopes et al. 1996, 1999](#)) mostraram a existência de DIG a grandes distâncias do plano galáctico. [Oey et al. \(2007\)](#), estudando

²⁷Regiões formadoras de estrelas; são formadas por imensas nuvens de gás molecular, originado pelo esfriamento de gás do meio interestelar, que se fragmentam formando estruturas menores e cada vez mais densas.

109 galáxias do SINGS²⁸, chegaram a conclusão que emissão difusa em $H\alpha$ está presente em galáxias de todos os tipos de Hubble e representa $\sim 60\%$ da emissão total em $H\alpha$, independentemente do tipo morfológico ou da SFR total.

1.3.2 Fonte de ionização do DIG

Fótons de estrelas massivas do tipo OB escapando das regiões $H II$ é a fonte de ionização mais comumente adotada para explicar as linhas de emissão no DIG (veja o review em [Haffner et al. 2009](#)). Entretanto, razões de linhas como $[N II]/H\alpha$, $[S II]/H\alpha$, and $[O III]/H\beta$ crescem com a altura em relação ao plano galáctico, fazendo com que seja necessário a inclusão de fontes adicionais (ou alternativas) de ionização. [Hoopes & Walterbos \(2003\)](#) estudaram essas razões de linhas em regiões de DIG em algumas galáxias e chegam a conclusão que nem ionização por estrelas quentes e massivas e nem fótons que escaparam de regiões $H II$ podem explicar por si a ionização do DIG.

Diversas são as fontes que poderiam gerar esse adicional de ionização. As mais citadas são choques ([Collins & Rand 2001](#)), mistura turbulenta de camadas do meio interestelar ([Slavin et al. 1993](#); [Binette et al. 2009](#)), reconexão magnética, raios cósmicos ou emissão fotoelétrica proveniente de pequenos grãos ([Reynolds et al. 2001](#)) e HOLMES ([Flores-Fajardo et al. 2011](#)). Em [Stasińska et al. \(2008\)](#) e em [Cid Fernandes et al. \(2011](#), daqui por diante CF11) HOLMES também foi invocado como fonte de ionização de galáxias aposentadas que apresentam linhas de emissão muito fracas. Esses sistemas pararam de formar estrelas há muito tempo e são ionizados por suas populações de estrelas velhas e quentes, produzindo razões de linhas de emissão do mesmo tipo daquelas em regiões nucleares de baixa ionização (LINER²⁹), um fenômeno que é comum em galáxias elípticas e em bulbos de galáxias espirais ([Sarzi et al. 2010](#); [Gomes et al. 2016](#); [Belfiore et al. 2016](#)).

Independentemente da fonte que alimenta o DIG, seu regime nebular é diferente daquele das regiões $H II$, com densidades menores, menor parâmetro de ionização e temperaturas eletrônicas mais altas, portanto, não podemos negligenciar sua existência quando estamos derivando propriedades de galáxias.

²⁸*Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey*

²⁹Low-ionization nuclear emission-line region

1.3.3 Como separar regiões DIG e SF

As regiões de DIG e SF são separadas geralmente utilizando como base o brilho superficial de $H\alpha$ ($\Sigma_{H\alpha}$) por sua relação direta com a densidade do gás ionizado. [Zhang et al. \(2017\)](#), por exemplo, usa $\Sigma_{H\alpha} > 10^{39} \text{ erg s}^{-1} \text{ kpc}^{-2}$ como critério para selecionar spaxels³⁰ confiantemente dominados por regiões H II. Outros estudos não utilizam apenas um valor limite, mas ainda sim embasados em $\Sigma_{H\alpha}$ (veja a discussão em [Zurita et al. 2000](#), [Oey et al. 2007](#) e [Vogt et al. 2017](#)). No entanto, esse *approach* não é totalmente adequado, como veremos na Seção ???. A separação utilizando como base $\Sigma_{H\alpha}$ é conceitualmente incorreta, podendo levar a inconsistências nos resultados sob certas circunstâncias. Além do mais, $\Sigma_{H\alpha}$ não nos dá pista alguma sobre a natureza da emissão no DIG.

1.4 Este trabalho

Essa tese é um apanhado de alguns dos trabalhos no qual participei durante o tempo do doutorado, com foco principal no artigo sobre a natureza das linhas de emissão das regiões das galáxias do CALIFA, separando aquelas SF daquelas melhores caracterizadas como DIG. No Cap. ?? apresento a amostra de galáxias utilizadas neste trabalho. O artigo principal será dividido em dois capítulos. A apresentação do método de caracterização está no Cap. ??, e no próximo (Cap. ??) fazemos a discussão sobre esse método de classificação de regiões e a análise das regiões classificadas. Por fim, demais artigos e trabalhos são apresentados no Cap. ??.

³⁰*spectral pixels*

Referências Bibliográficas

- Albaret, F. D., Allende Prieto, C., Almeida, A., Anders, F., Anderson, S., Andrews, B. H., Aragón-Salamanca, A., Argudo-Fernández, M. et al. 2017, *ApJS*, 233, 25
- Asari, N. V., Cid Fernandes, R., Stasińska, G., Torres-Papaqui, J. P., Mateus, A., Sodré, L., Schoenell, W., & Gomes, J. M. 2007, *MNRAS*, 381, 263
- Belfiore, F., Maiolino, R., Maraston, C., Emsellem, E., Bershadsky, M. A., Masters, K. L., Yan, R., Bizyaev, D. et al. 2016, *MNRAS*, 461, 3111
- Binette, L., Drissen, L., Ubeda, L., Raga, A. C., Robert, C., & Krongold, Y. 2009, *A&A*, 500, 817
- Brinchmann, J., Charlot, S., White, S. D. M., Tremonti, C., Kauffmann, G., Heckman, T., & Brinkmann, J. 2004, *MNRAS*, 351, 1151
- Cid Fernandes, R., Asari, N. V., Sodré, L., Stasińska, G., Mateus, A., Torres-Papaqui, J. P., & Schoenell, W. 2007, *MNRAS*, 375, L16
- Cid Fernandes, R., González Delgado, R. M., García Benito, R., Pérez, E., de Amorim, A. L., Sánchez, S. F., Husemann, B., Falcón Barroso, J. et al. 2014, *A&A*, 561, A130
- Cid Fernandes, R., Mateus, A., Sodré, L., Stasińska, G., & Gomes, J. M. 2005, *MNRAS*, 358, 363
- Cid Fernandes, R., Pérez, E., García Benito, R., González Delgado, R. M., de Amorim, A. L., Sánchez, S. F., Husemann, B., Falcón Barroso, J. et al. 2013, *A&A*, 557, A86
- Cid Fernandes, R., Stasińska, G., Mateus, A., & Vale Asari, N. 2011, *MNRAS*, 413, 1687
- Cid Fernandes, R., Stasińska, G., Schlickmann, M. S., Mateus, A., Vale Asari, N., Schoenell, W., & Sodré, L. 2010, *MNRAS*, 403, 1036

- Colless, M., Dalton, G., Maddox, S., Sutherland, W., Norberg, P., Cole, S., Bland-Hawthorn, J., Bridges, T. et al. 2001, MNRAS, 328, 1039
- Collins, J. A. & Rand, R. J. 2001, ApJ, 551, 57
- Cortijo-Ferrero, C., González Delgado, R. M., Pérez, E., Cid Fernandes, R., García-Benito, R., Di Matteo, P., Sánchez, S. F., de Amorim, A. L. et al. 2017a, A&A, 607, A70
- Cortijo-Ferrero, C., González Delgado, R. M., Pérez, E., Cid Fernandes, R., Sánchez, S. F., de Amorim, A. L., Di Matteo, P., García-Benito, R. et al. 2017b, MNRAS, 467, 3898
- Cortijo-Ferrero, C., González Delgado, R. M., Pérez, E., Sánchez, S. F., Cid Fernandes, R., de Amorim, A. L., Di Matteo, P., García-Benito, R. et al. 2017c, ArXiv e-prints
- de Amorim, A. L. 2015, PhD thesis, Curso de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal de Santa Catarina
- de Amorim, A. L., García-Benito, R., Cid Fernandes, R., Cortijo-Ferrero, C., González Delgado, R. M., Lacerda, E. A. D., López Fernández, R., Pérez, E. et al. 2017, MNRAS, 471, 3727
- Dettmar, R.-J. 1990, A&A, 232, L15
- Doe, S., Nguyen, D., Stawarz, C., Refsdal, B., Siemiginowska, A., Burke, D., Evans, I., Evans, J. et al. 2007, in Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Vol. 376, Astronomical Data Analysis Software and Systems XVI, ed. R. A. Shaw, F. Hill, & D. J. Bell, 543
- Flores-Fajardo, N., Morisset, C., Stasińska, G., & Binette, L. 2011, MNRAS, 415, 2182
- Freeman, P., Doe, S., & Siemiginowska, A. 2001, in Proc. SPIE, Vol. 4477, Astronomical Data Analysis, ed. J.-L. Starck & F. D. Murtagh, 76–87
- García-Benito, R., González Delgado, R. M., Pérez, E., Cid Fernandes, R., Cortijo-Ferrero, C., López Fernández, R., de Amorim, A. L., Lacerda, E. A. D. et al. 2017, ArXiv e-prints
- Gomes, J. M., Papaderos, P., Vílchez, J. M., Kehrig, C., Iglesias-Páramo, J., Breda, I., Lehnert, M. D., Sánchez, S. F. et al. 2016, A&A, 586, A22
- González Delgado, R. M., Cid Fernandes, R., García-Benito, R., Pérez, E., de Amorim, A. L., Cortijo-Ferrero, C., Lacerda, E. A. D., López Fernández, R. et al. 2014a, ApJ, 791, L16

- González Delgado, R. M., Cid Fernandes, R., Pérez, E., García-Benito, R., López Fernández, R., Lacerda, E. A. D., Cortijo-Ferrero, C., de Amorim, A. L. et al. 2016, *A&A*, 590, A44
- González Delgado, R. M., García-Benito, R., Pérez, E., Cid Fernandes, R., de Amorim, A. L., Cortijo-Ferrero, C., Lacerda, E. A. D., López Fernández, R. et al. 2015, *A&A*, 581, A103
- González Delgado, R. M., Pérez, E., Cid Fernandes, R., García-Benito, R., de Amorim, A. L., Sánchez, S. F., Husemann, B., Cortijo-Ferrero, C. et al. 2014b, *A&A*, 562, A47
- González Delgado, R. M., Pérez, E., Cid Fernandes, R., García-Benito, R., López Fernández, R., Vale Asari, N., Cortijo-Ferrero, C., de Amorim, A. L. et al. 2017, *A&A*, 607, A128
- Green, A. W., Croom, S. M., Scott, N., Cortese, L., Medling, A. M., D'Eugenio, F., Bryant, J. J., Bland-Hawthorn, J. et al. 2017, *ArXiv e-prints*
- Haffner, L. M., Dettmar, R.-J., Beckman, J. E., Wood, K., Slavin, J. D., Giammanco, C., Madsen, G. J., Zurita, A. et al. 2009, *Reviews of Modern Physics*, 81, 969
- Hoopes, C. G. & Walterbos, R. A. M. 2003, *ApJ*, 586, 902
- Hoopes, C. G., Walterbos, R. A. M., & Greenwalt, B. E. 1996, *AJ*, 112, 1429
- Hoopes, C. G., Walterbos, R. A. M., & Rand, R. J. 1999, *ApJ*, 522, 669
- Kauffmann, G., Heckman, T. M., White, S. D. M., Charlot, S., Tremonti, C., Peng, E. W., Seibert, M., Brinkmann, J. et al. 2003, *MNRAS*, 341, 54
- Lacerda, E. A. D., Cid Fernandes, R., Couto, G. S., Stasińska, G., García-Benito, R., Vale Asari, N., Pérez, E., González Delgado, R. M. et al. 2018, *MNRAS*, 474, 3727
- López Fernández, R., Cid Fernandes, R., González Delgado, R. M., Vale Asari, N., Pérez, E., García-Benito, R., de Amorim, A. L., Lacerda, E. A. D. et al. 2016, *MNRAS*, 458, 184
- Martin, D. C., Fanson, J., Schiminovich, D., Morrissey, P., Friedman, P. G., Barlow, T. A., Conrow, T., Grange, R. et al. 2005, *ApJ*, 619, L1
- Mateus, A., Sodré, L., Cid Fernandes, R., Stasińska, G., Schoenell, W., & Gomes, J. M. 2006, *MNRAS*, 370, 721
- Oey, M. S., Meurer, G. R., Yelda, S., Furst, E. J., Caballero-Nieves, S. M., Hanish, D. J., Levesque, E. M., Thilker, D. A. et al. 2007, *ApJ*, 661, 801

- Pérez, E., Cid Fernandes, R., González Delgado, R. M., García-Benito, R., Sánchez, S. F., Husemann, B., Mast, D., Rodón, J. R. et al. 2013, *ApJ*, 764, L1
- Reynolds, R. J. 1971, PhD thesis, THE UNIVERSITY OF WISCONSIN - MADISON.
- Reynolds, R. J., Sterling, N. C., Haffner, L. M., & Tufte, S. L. 2001, *ApJ*, 548, L221
- Rosales-Ortega, F. F., Kennicutt, R. C., Sánchez, S. F., Díaz, A. I., Pasquali, A., Johnson, B. D., & Hao, C. N. 2010, *MNRAS*, 405, 735
- Rousseau-Nepton, L., Robert, C., Drissen, L., Martin, R. P., & Martin, T. 2017, *ArXiv e-prints*
- Sánchez, S. F., Galbany, L., Pérez, E., Sánchez-Blázquez, P., Falcón-Barroso, J., Rosales-Ortega, F. F., Sánchez-Menguiano, L., Marino, R. et al. 2015, *A&A*, 573, A105
- Sánchez, S. F., García-Benito, R., Zibetti, S., Walcher, C. J., Husemann, B., Mendoza, M. A., Galbany, L., Falcón-Barroso, J. et al. 2016, *A&A*, 594, A36
- Sarzi, M., Shields, J. C., Schawinski, K., Jeong, H., Shapiro, K., Bacon, R., Bureau, M., Cappellari, M. et al. 2010, *MNRAS*, 402, 2187
- Scoville, N., Aussel, H., Brusa, M., Capak, P., Carollo, C. M., Elvis, M., Giavalisco, M., Guzzo, L. et al. 2007, *ApJS*, 172, 1
- Slavin, J. D., Shull, J. M., & Begelman, M. C. 1993, *ApJ*, 407, 83
- Stasińska, G., Cid Fernandes, R., Mateus, A., Sodré, L., & Asari, N. V. 2006, *MNRAS*, 371, 972
- Stasińska, G., Vale Asari, N., Cid Fernandes, R., Gomes, J. M., Schlickmann, M., Mateus, A., Schoenell, W., Sodré, Jr., L. et al. 2008, *MNRAS*, 391, L29
- Tremonti, C. A., Heckman, T. M., Kauffmann, G., Brinchmann, J., Charlot, S., White, S. D. M., Seibert, M., Peng, E. W. et al. 2004, *ApJ*, 613, 898
- Vale Asari, N., Stasińska, G., Cid Fernandes, R., Gomes, J. M., Schlickmann, M., Mateus, A., & Schoenell, W. 2009, *MNRAS*, 396, L71
- Vogt, F. P. A., Pérez, E., Dopita, M. A., Verdes-Montenegro, L., & Borthakur, S. 2017, *A&A*, 601, A61
- Walcher, C. J., Wisotzki, L., Bekeraité, S., Husemann, B., Iglesias-Páramo, J., Backsmann, N., Barrera Ballesteros, J., Catalán-Torrecilla, C. et al. 2014, *A&A*, 569, A1

- York, D. G., Adelman, J., Anderson, Jr., J. E., Anderson, S. F., Annis, J., Bahcall, N. A., Bakken, J. A., Barkhouser, R. et al. 2000, *AJ*, 120, 1579
- Zhang, K., Yan, R., Bundy, K., Bershady, M., Haffner, L. M., Walterbos, R., Maiolino, R., Tremonti, C. et al. 2017, *MNRAS*, 466, 3217
- Zurita, A., Rozas, M., & Beckman, J. E. 2000, *A&A*, 363, 9