



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-15035-PRE/9946

**MORFOLOGIA DE RADIOFONTES QUE APRESENTAM JATO
- CENTRO GALÁCTICO -**

Tais Horcajo Martinez Fudoli Favero*

* CRAAM, bolsista CNPq

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado pelo
Dr. Luiz Claudio Lima Botti (CRAAM/INPE).

INPE
São José dos Campos
2007



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

MORFOLOGIA DE RADIOFONTES QUE APRESENTAM JATO -CENTRO GALÁCTICO-

**Tais Horcajo Martinez Fudoli Favero (Bolsista PIBIC/INPE)
Luiz Claudio Lima Botti (Orientador CRAAM/INPE)**

**INPE
São José dos Campos
2007**

Agradecimentos

Aos meus pais, pela força, paciência, amor e compreensão sempre que precisei.

Aos meus irmãos, pelas brigas, discussões e momentos divertidos.

Ao meu namorado Junior, por todo apoio e carinho.

Ao meu orientador e amigo Doutor Luiz Claudio Lima Botti, pela paciência e compreensão sempre.

Aos professores Antonio Carlos Rosal, Francisco Durães, Antonio Santoro e Ítalo Curcio por terem sido meus guias e exemplos.

Aos meus amigos que sempre estiveram por perto quando precisei, nos momentos difíceis e nos momentos de alegria.

A Egidia que me deu uma super força e me apoiou quando eu estava em apuros.

Resumo

Este trabalho iniciado em agosto de 2006, tem como objetivo a continuidade ao projeto de Iniciação Científica com andamento desde 2005, para o estudo da Morfologia de Radiofontes Extragalácticas. O trabalho atual concentra-se no estudo de diversas fontes da região do Centro Galáctico. Este possui uma estrutura semelhante á fontes mais distantes fora de nossa Galáxia, como os quasares, galáxias com núcleos ativos e objetos BL Lacertae. Ao final deste trabalho fazemos uma análise comparativa entre as características encontradas no Centro Galáctico e fontes fora de nossa Galáxia, como as radiofontes extagalácticas NGC 3097, NGC 2992, NGC 4388 e NGC 4438.

Abstract

This study was first started in August 2005, where we have been studying the morphology of extra-galactic radio sources. The current work, started in August 2006, focuses on the study of several sources in the region of the Galactic Center. It has a similar structure to the most distant sources outside our Galaxy, such as quasars, galaxies with active nuclei and BL Lacertae objects. As a conclusion for this research we make a comparative analysis between the Galactic Center features and sources outside our Galaxy, as the extra-galactic radio sources NGC 3097, NGC 2992, NGC 4388 and NGC 4438.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 RADIOTELÉSCÓPIO DE ATIBAIA.....	2
2.1 Técnica de observação utilizada.....	2
3 CENTRO GALÁCTICO.....	3
3.1 Principais características do Centro Galáctico.....	4
3.1.1 O Arco Rádio.....	5
3.1.2 O Lóbulo de Sofue.....	7
3.1.3 SgrA.....	8
3.1.4 Jato de Baixa Energia emanado de SgrA e Lóbulo Galáctico mais ao norte....	10
4 COMPARAÇÃO COM OS JATOS EXTRAGALÁCTICOS.....	11
5 CONCLUSÃO.....	15
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16

LISTA DE FIGURAS

1 Radiotelescópio de Itapetinga.....	2
2 Porção mais interna do Centro Galáctico.....	4
3 Centro Galáctico na frequência de 330MHz.....	5
4 Filamentos alinhados perpendiculares ao plano galáctico.....	6
5 Estruturas helicoidais.....	7
6 Lóbulo de Sofue.....	8
7 SgrA.....	10
8 Jato emanado de SgrA.....	11
9 Galáxia NGC 2992.....	13
10 Galáxia NGC 3079.....	13
11 Galáxia NGC 4388.....	14
12 Galáxia NGC 4438.....	14

LISTA DE TABELAS

1 Tabela 1.....	12
2 Tabela 2.....	12

1 INTRODUÇÃO

Estudar a estrutura morfológica de radiofontes galácticas e extragalácticas é de grande importância para se tentar compreender a física dos jatos e demais estruturas das fontes. Devido à semelhança morfológica dos jatos em escala galáctica (ex.: jatos em objetos estelares jovens (YOS), objetos Herbig-Haro, objeto SS433, fontes superluminais recém descobertas etc) e extragaláctica (quasares, radiogaláxias, objetos BL Lacertae), é de suma importância fazer um estudo comparativo entre esses diversos tipos de objetos.

O Centro Galáctico (GC) possui um número único de sub-estruturas, dentre as quais, a que mais se destaca é o complexo Sagitarius A (Sgr A). Outras estruturas aparecem na região do Centro Galáctico, tais como os filamentos Sgr C (75 pc a sul de Sgr A) que possuem vários sub-filamentos, que por sua vez estão conectados a uma estrutura em forma de loop de 100-200 pc (Lóbulo Omega ou lóbulo GC), o jato rádio de 4 kpc, as plumas de 2 kpc, etc. Cada uma de suas estruturas tem sua peculiaridade, produto de uma série de circunstâncias físicas únicas.

A metodologia desenvolvida neste trabalho baseou-se na leitura de artigos, pesquisa na web e literatura a respeito e em algumas observações feitas no radiotelescópio de Itapetinga, em Atibaia, que auxiliaram na compreensão das informações coletadas sobre as fontes do Centro Galáctico.

2 RADIOTELESCÓPIO DE ATIBAIA

O Rádio Observatório de Itapetinga, Atibaia, em São Paulo, possui um radiotelescópio, com um refletor parabólico de 13,7 metros de diâmetro. Este telescópio, construído em 1971, foi projetado para operar em rádio-frequências de até 100GHz e tem uma estrutura metálica leve devido a sua instalação interna a uma redoma rádio-transparente, protetora da ação dos ventos e incidência da radiação térmica solar. Sua montagem lhe confere uma grande precisão de rastreo. O grande rádio-telescópio de Itapetinga tem mantido programas de pesquisa do meio galáctico e extragaláctico, além de pesquisas solares e planetárias. Na sua historia o Rádio Observatório de Itapetinga (ROI) implementou vários experimentos pioneiros.

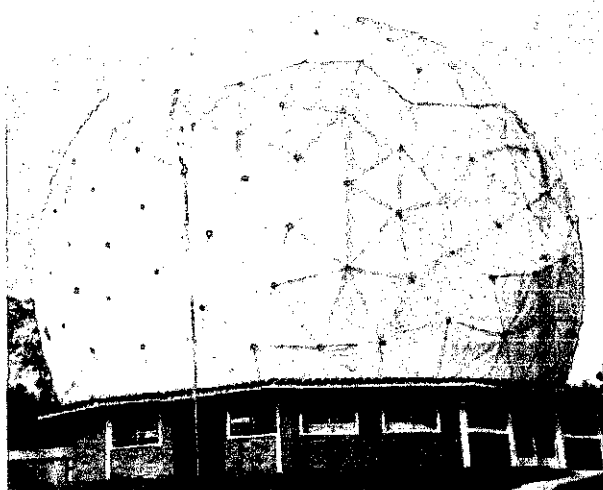


Figura 1. Radiotelescópio de Itapetinga, Atibaia.

2.1 TÉCNICA DE OBSERVAÇÃO UTILIZADA

A técnica de observação consiste em fazer varreduras na fonte, chamadas de “scans”, em elevação constante, com a amplitude no céu de 60’ em 22 GHz e 30’ em 43 GHz. Cada observação consiste na média de trinta varreduras de vinte segundos de duração, precedida por uma calibração com um tubo de ruído (noise source) e uma carga (load) à temperatura ambiente.

As observações foram feitas nas frequências de 22 GHz e 43 GHz. A largura do feixe à meia potência é cerca de 4,2' em 22 GHz e 2,1' em 43 GHz. A temperatura de sistema é da ordem de 700 K. O receptor tem banda lateral dupla de 1 GHz, dando uma temperatura de sistema da ordem de 700 K. A antena opera no modo de potência total.

3 CENTRO GALÁCTICO

Este possui uma estrutura e uma geometria que fascina sob muitos pontos de vista, e por isso é um tópico que está sempre em discussão em estudos feitos por astrônomos com diversas especialidades diferentes.

A luminosidade (erg/s) da fonte central no Centro Galáctico é menor que a luminosidade de núcleos galácticos ativos, como os quasares. Mas o Centro de Nossa Galáxia possui grande variabilidade e a atividade nele é intensa. Trabalhos como os do Itapetinga em 22 e 43 GHz comprovam isso. Outros trabalhos também constatam a grande variabilidade de SgrA*, que se constitui no centro propriamente dito da Galáxia.

A estrutura do Centro Galáctico é muito interessante e semelhante à fontes mais distantes de nossa Galáxia, como os quasares e outras radiofontes extragalácticas. O buraco negro localizado no centro galáctico possui 1000000 vezes a massa do Sol, enquanto que essas fontes longínquas têm no centro de suas estruturas buracos negros com 1000000000 vezes a massa solar.

A figura 2 mostra uma porção do Centro Galáctico, correspondente à sua parte mais interna ou seja, os 120 pc centrais. Assume-se aqui a distância de 10 kpc para o Centro Galáctico, porém a União Astronômica Internacional já adota o valor de 8,5 kpc. Considerando a

distância de cerca de 10 kpc tem-se que um minuto de arco no Centro Galáctico corresponde a uma distância linear de 3 pc.

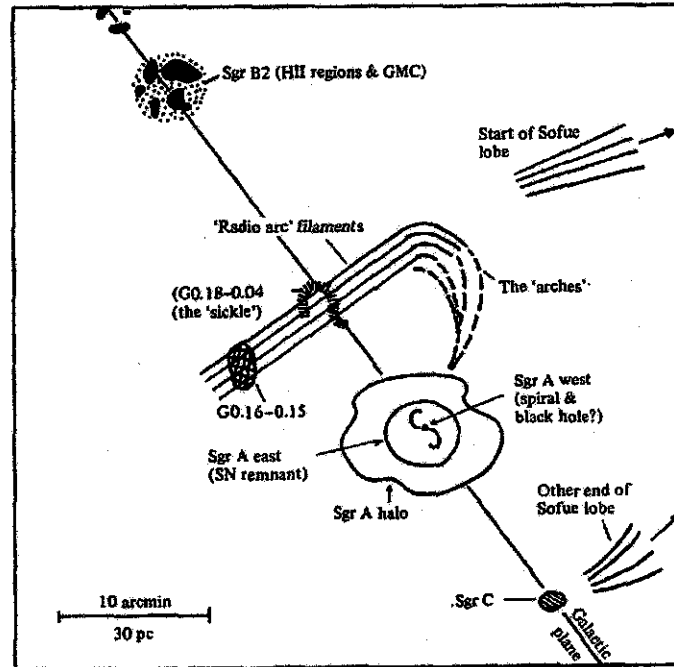


Figura 2. Porção mais interna do Centro Galáctico. Imagem retirada do livro *Beams and Jets in Astrophysics* – Philip A. Hughes

3.1 Principais Características do Centro Galáctico

O Centro Galáctico possui um grande número de sub-estruturas, dentre as quais estão o complexo *Sagittarius A* (Sgr A), os filamentos Sgr C (75 pc a sul de Sgr A) que possuem vários sub-filamentos, que por sua vez estão conectados a uma estrutura em forma de loop de 100-200 pc (Lóbulo Omega ou lóbulo GC), o jato rádio de 4 kpc, as plumas de 2 kpc, etc. Na figura 3 pode-se ver com mais detalhes o Centro Galáctico na frequência de 330 MHz.

O complexo *Sagittarius A* parece estar quase exatamente no Centro Galáctico, e contém uma fonte de rádio compacta intensa, o Sagittarius A*, que muitos astrônomos acreditam poder coincidir com um buraco negro supermassivo no centro de nossa Galáxia.

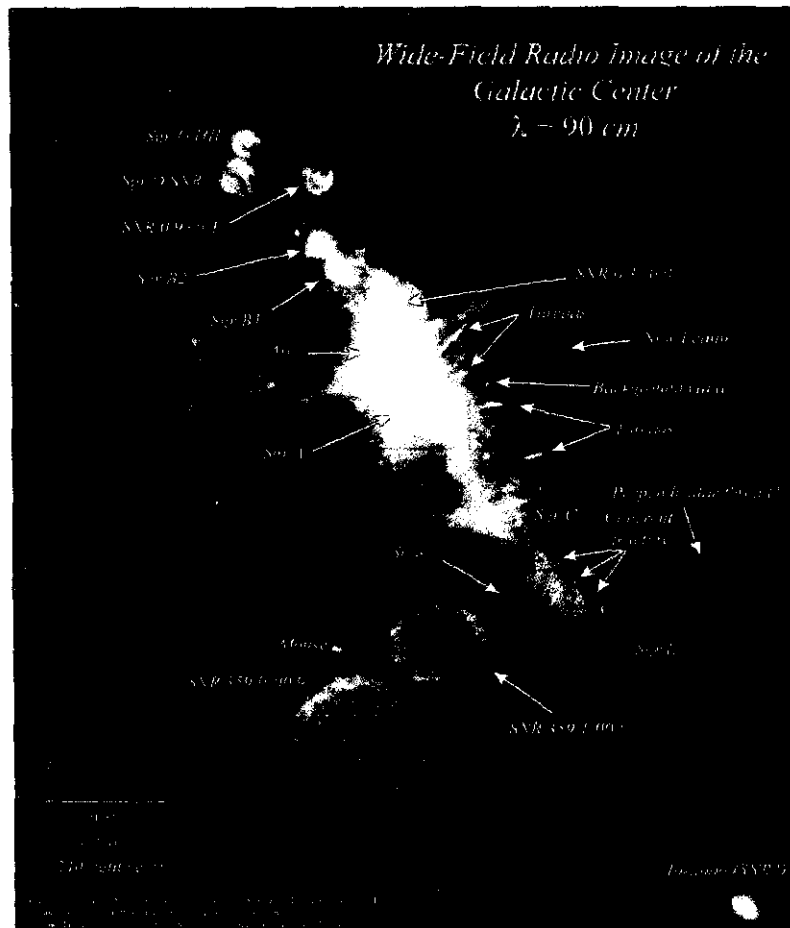


Figura 3. Centro Galáctico na frequência de 330 MHz. Imagem de Naval Research Laboratory, Washington, DC.

3.1.1 O Arco- Rádio

Pauls et al.(1976) observaram pela primeira vez essa estrutura em forma de arco, porém as observações foram feitas com baixa resolução e não foi possível saber a sua natureza verdadeira. Somente em 1984 mapas com melhor resolução (Yusef-Zadeh, Morris e Chance, 1984) foram feitos no VLA (Very Large Array). Estes mapas mostraram uma estrutura

interessante de estreitos filamentos alinhados, perpendiculares ao Plano Galáctico como pode ser visto na figura 4.

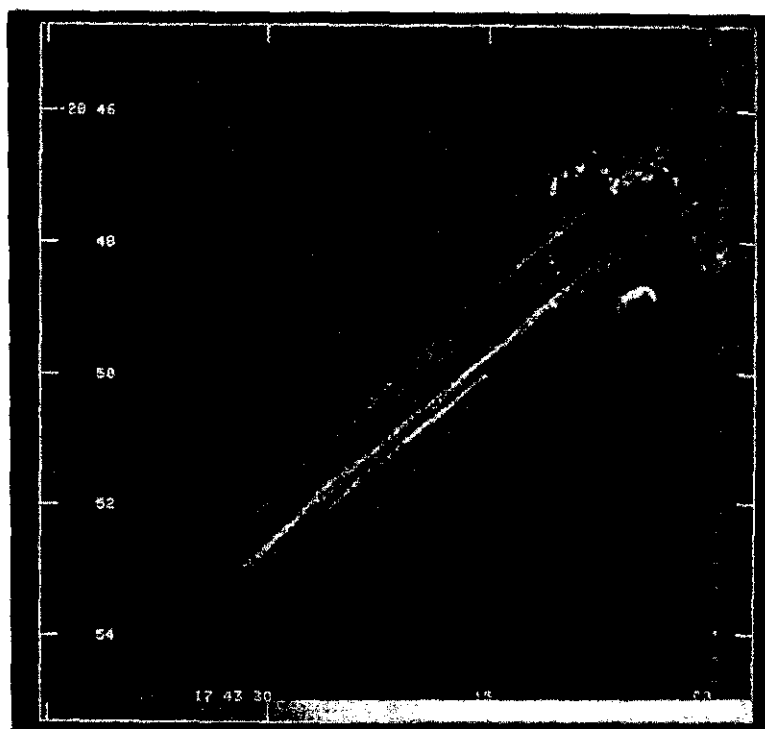


Figura 4. Filamentos alinhados, perpendiculares ao plano galáctico.
Foto de Yusef-Zadeh

Mapas de resolução ainda mais alta mostram que esses filamentos podem estar interagindo com a estrutura térmica G0.18-0.04, vista na figura 2. Estruturas helicoidais podem ser vistas em torno dos arcos rádio na figura 5. Devido a essas morfologias, pode-se inferir que o campo magnético seja importante para controlar a dinâmica em torno desse arco rádio. Mas não se pode descartar explicações envolvendo frentes de choque, para explicar essas morfologias.

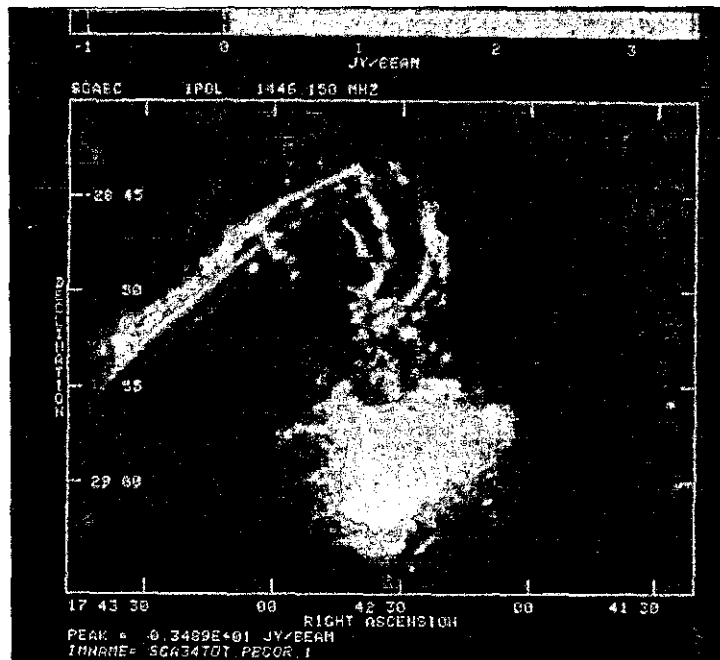


Figura 5. Estruturas helicoidais. Imagem de Yussef-Zadeh

3.1.2 Lóbulo de Sofue

A emissão de rádio prolongada da região central de nossa galáxia foi estudada extensivamente por Sofue, Y. E Handa, T. (1984). Trata-se de uma estrutura proeminente do lóbulo do rádio acima do núcleo galáctico, que foi revelado em um mapa de 10 GHz. A figura 6 nos mostra um mapa do lóbulo de Sofue a uma frequência de 10.7 GHz.

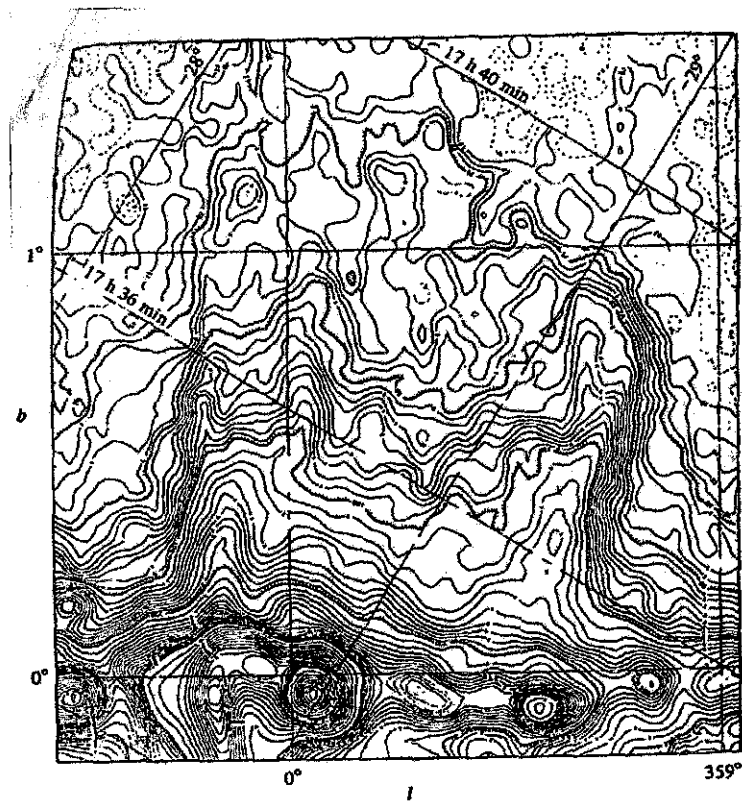


Figura 6. Lóbulo de Sofue. Imagem de *Nature*

3.1.3 Sgr A

O complexo Sagittarius A é umas das estruturas de destaque na região do Centro Galáctico. Possui uma fonte sincrotrônica compacta SgrA*, descoberta em 1982 por R.L Brown e K.Y. Lo, constituindo-se hoje no núcleo verdadeiro de nossa Galáxia. Em torno de SgrA* existem a fonte térmica Sgr A Oeste e a fonte Sgr A Leste (um objeto em forma de concha, que pode ser o remanescente de um evento explosivo envolvendo 40 vezes mais energia que uma única explosão de supernova).

No contínuo, quando observada por diversos radiotelescópios, SgrA* apresenta uma correspondência entre o aumento da amplitude de variação com o aumento da frequência de observação. Esta fonte apresenta uma taxa de 3 explosões por ano. Existe uma variabilidade

de grande amplitude observada em comprimentos de onda milimétricos (Wright, Backer, 1983; Tsuboi, Miyazaki, Tsutsumi, 1999).

Segundo observações feitas (Zhao, 2001; Hermstein, 2006), a periodicidade encontrada é de 106 dias aproximadamente.

Localizado a aproximadamente 50 pc (15' ao norte) de Sgr A, existe um arco radio (GCRA), uma das mais interessantes estruturas de nossa Galáxia. Essas estruturas filamentosas mostram forte polarização com nenhuma linha de emissão e são fontes não térmicas. Na figura 7, podemos ver um esquema da fonte Sgr A Oeste com seu disco de poeira e moléculas de gás.

A radiofonte SgrA foi observada por um período de 6 anos (1980-1986) nas frequências de 22 e 44 Ghz, utilizando-se o Rádio-Observatório do Itapetinga (ROI). A princípio foram registradas flutuações de cerca de 10% do valor médio. Porém as incertezas na calibração, devido as diferentes condições de propagação na atmosfera, não permitiram confirmar se as flutuações eram reais nesta época.

Mas a partir de 1980 foram feitas pesquisas (não-publicadas) e foi constatado que esta fonte apresentava variabilidade de emissão de longo período. Notou-se que a partir de 2004 esta fonte apresentou variações ainda maiores (Gastaldi, 2007). Essas variabilidades foram confirmadas por observações de outros centros de pesquisa.

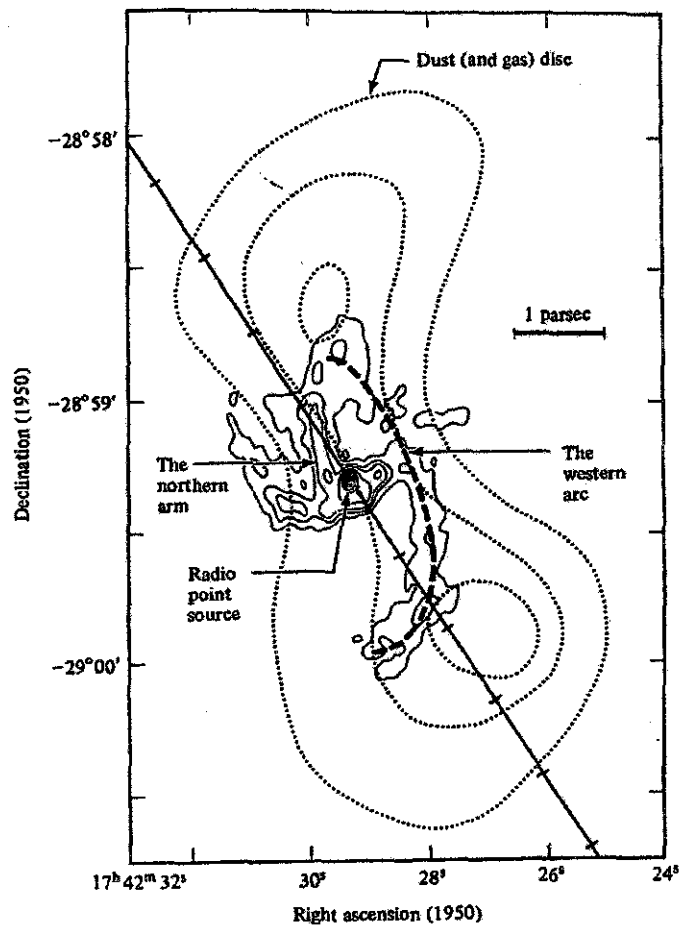


Figura 7. Sgr A. Figura de Genzel e Townes (1987).

3.1.4 Jato de Baixa Energia emanando de Sgr A e Lóbulo Galáctico mais ao Norte

Na figura 8 temos um exemplo de jato de baixa energia.

O Lóbulo Galáctico encontra-se a nordeste do Núcleo Galáctico, próximo a Sgr B1, que pode ser observado na figura 2.

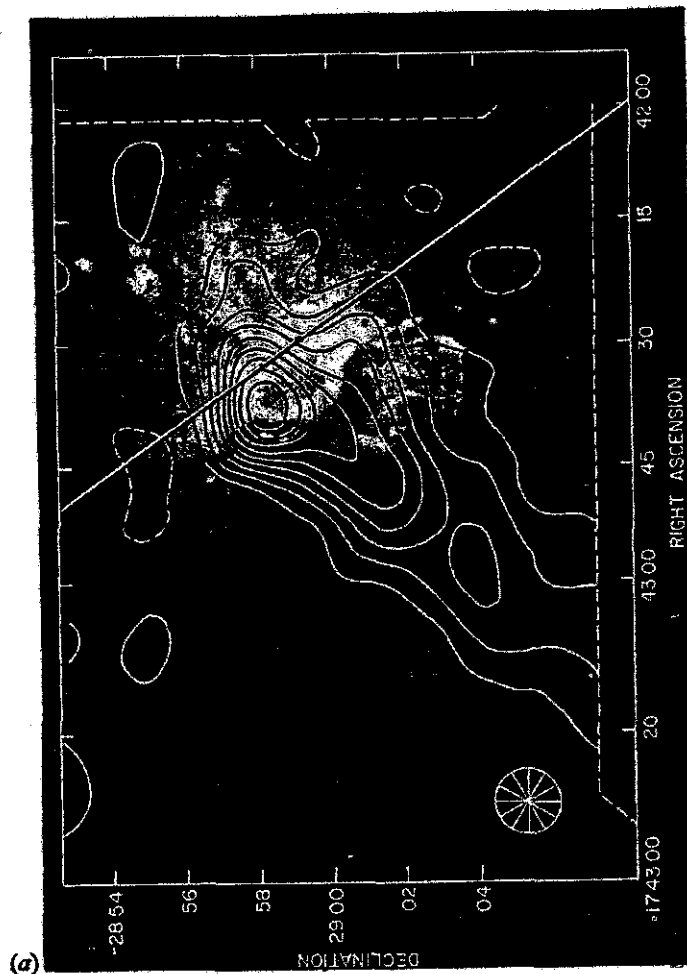


Figura 8. Jato Emanando de Sgr A. Imagem de Yusef-Zadeh

4 COMPARAÇÃO COM OS JATOS EXTRAGALÁCTICOS

Na tabela 1, tem-se relacionados quatro tipos de jatos galácticos: Jato Fóssil (FJ), Lóbulo Galáctico a Nordeste (NGL), Lóbulos Galácticos Centrais (GCL) e Jato na escala de kpc de Sofue (GCJ), comparados a jatos extragalácticos. Como podemos observar, os jatos do Centro Galáctico possuem menor luminosidade que os jatos das fontes extragalácticas.

Object Name	Luminosity (W)	Collimation
FJ	2.0×10^{26}	2.2
NGL	1.0×10^{26}	1.3
G CJ	2.0×10^{28}	10.0
GCL	2.0×10^{27}	1.4
NGC 3097	2.0×10^{31}	2.5
NGC 2992	1.1×10^{31}	2.2
NGC 4388	1.6×10^{30}	1.4
NGC 4438	0.8×10^{31}	2.0

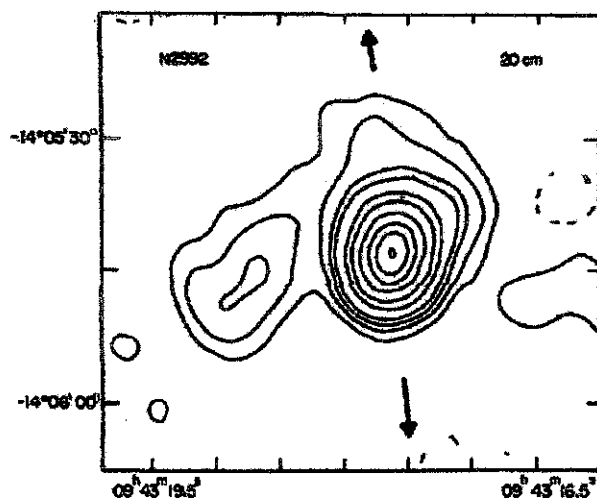
Tabela 1. Dados sobre luminosidade de fontes galácticas e extragalácticas.
Beams and Jets in Astrophysics.

A seguir podemos ver os mapas em VLA (Very Large Array) das fontes que foram citadas e comparadas com as fontes galácticas. A tabela 2 fornece alguns dados sobre os tamanhos e potências de emissão dessas fontes.

NGC	Type	OPTICAL				$P_{1.4\text{ GHz}}$ ($10^{21} W \text{ Hz}^{-1}$)	RADIO			REFERENCES	
		Distance ^a (Mpc)	Position Angle ^b of Major Axis (deg.)	Size ^b (arcmin)	Inclination ^c (deg.)		Position Angle (deg.)	Size (arcsec)	Linear Size (kpc)	Optical	X-Ray
2992	.... S	19	6	5.0×1.5	73	6.3	130, 100	90	8.3	1	2,3
3079	.... Sm	12	165	8.7×1.6	79	2.5	65	40	2.3	4	5
4388	.... Sb	10^d	92	6.2×1.7	75	0.8	23, 7	40	1.9	6	7
4438	.... S	10^d	27	9.7×3.9	68	1.3	123	11	0.5	8	7,9
6500	.... Sa	29	50	2.5×2.0	51	15.8	106, 120	8	1.1	10	

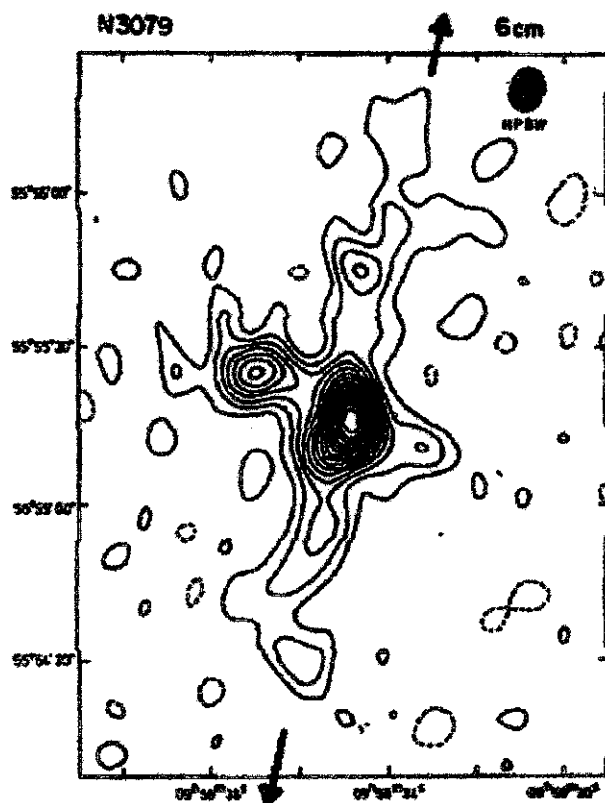
Tabela 2. Propriedades Ópticas e em Radio. The Astrophysical Journal.

A fonte NGC 2992 é uma galáxia espiral com um formato levemente irregular possivelmente devido às atividades em sua vizinhança. Esta fonte possui uma extensão a partir de seu centro, apenas para um de seus lados como pode ser visto no mapa abaixo:



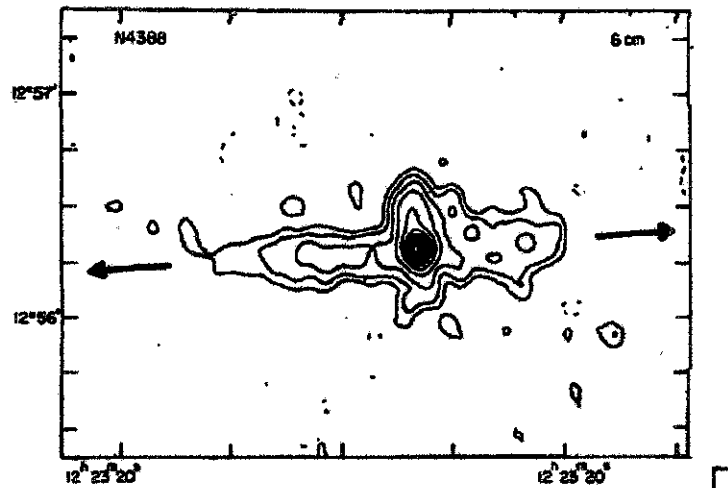
Galáxia NGC 2992. The Astrophysical Journal

A galáxia NGC 3079 possui uma estrutura em rádio em larga escala. A medição em alta resolução sugere a presença de um núcleo bem compacto dessa fonte. E como podemos ver no mapa a seguir, ela possui duas extensões assimétricas.



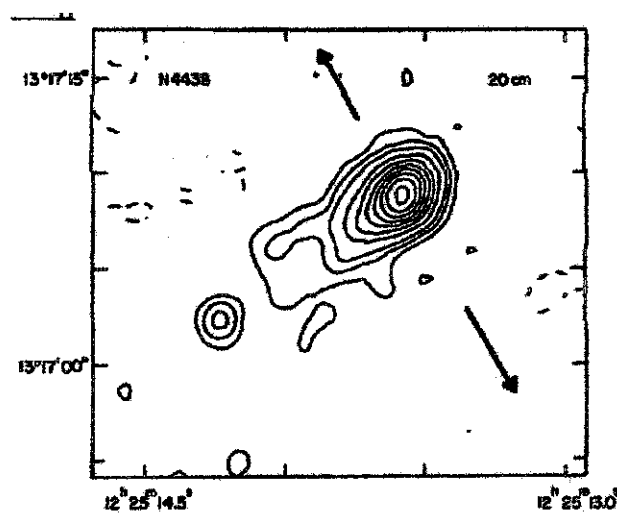
Galáxia NGC 3079. The Astrophysical Journal

O NGC 4388 está localizado no núcleo do aglomerado de Virgo. A estrutura desta fonte é similar com o NGC 3079, possui duas extensões assimétricas a partir de seu núcleo



Galáxia NGC 4388. The Astrophysical Journal.

A galáxia NGC 4438 também está localizada no aglomerado de Virgo. Possui uma estrutura pouco distorcida, fato este que sugere interações com o meio, ou seja leve deformações na borda de sua espiral.



Galáxia NGC 4438. The Astrophysical Journal.

5 CONCLUSÃO

Com este estudo foi feita uma análise comparativa entre as características encontradas no Centro Galáctico e as radiofontes extragalácticas NGC 3097, NGC 2992, NGC 4388 e NGC 4438. Notou-se que a luminosidade é maior para as galáxias e menor para as características encontradas no Centro Galáctico.

Observações muito recentes em raio-X confirmam que o núcleo da Galáxia é um lugar violento, onde além do buraco negro central supermassivo, existe grande quantidade de gás ionizado, e centenas de anãs brancas, estrelas de nêutrons e buracos negros. O buraco negro possivelmente está dentro de uma bolha, criada por uma explosão de uma supernova próxima a ele cerca de 10 a 50 mil anos atrás, detectada por Frederick K. Baganoff et al. (2003, *Astrophysical Journal*, 591, 891) como dois lóbulos de gás quente [Robert Irion (2003, *Science*, 300, 1356)].

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brown, R.L.; Lo, k.y. Variability of the compact radio source at the Galactic Center. The Astrophysical Journal, 253 (1),p. 103-114, fev., 1982.

Zhao, J.H.; Schwarz,U.J.; Gorkom,J.H.; Goss,W.M.; Eckers, R.D.; Anantharamaiah, K.R.; Pedlar, R. Radio Studies of the Galactic Center. I - The Saggiarius A complex. The Astrophysical Journal, 342, p.769, 1989

Wright,M.C.H.; Backer, D.C. Flux density of Sagittarius A at lambda-3 millimeters. The Astrophysical Journal, 417,p. 560, nov, 1983.

Tsuboi, M.; Miyazaki, A.; Tsutsumi, T. The central parsecs of the Galaxy, ASP Conf. Ser. 186 ed. H. Falcke; A.Cotera; W.J. Duschl; F. Melia; M.J. Rieke (San francisco, ASP), p.105, 1999.

Zhao, J- H.; Bower, G.C.;Goss,W.M. Radio Variability of Sagittarius A*- a 106 day cycle The Astrophysical Journal, 547, issue 1,p. L29-L32, jan, 2001.

Abraham, Zulema; Botti, Luiz C. L. Flux Variations and Superluminal Components in Extragalactic Radio Sources, Parsec-scale radio jets, Proceedings of a workshop, held at National Radio Astronomy Observatory, Socorro, New Mexico, October 17-18, 1989. Edited by J. Anton Zensus and Timothy J. Pearson. Cambridge: Cambridge University Press, 1990., p.226.

Abraham, Zulema; Botti, Luiz C. L. Long term variability of radio sources in the frequencies of 22 GHz and 44 Ghz, Rev. Mex. Astron. Astrofis., 14, 97-100 (1987).

Abraham, Zulema; Botti, Luiz C. L.; Kaufmann, P. Search for short-term variability in nonthermal radio sources, Astronomical Journal, vol. 87, Mar. 1982, p. 532-536.

Hughes, P. A., Beams and Jets in Astrophysics.

Paulis et al. (1976).

Yusef-Zadeh, Morris e Chancel (1984).

Sofue, Hande (1984).