



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

MORFOLOGIA DE RADIOFONTES QUE APRESENTAM JATO

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Tais Horcajo Martinez Fudoli Fávero (Mackenzie, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: taisfaver@gmail.com

Dr. Luiz Claudio Lima Botti (CRAAM/INPE, Orientador)
E-mail: botti@craam.mackenzie.br

Julho de 2006

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 Estrutura de uma Fonte	1
1.2 Fontes Galácticas.....	5
1.3 Fontes Extragalácticas.....	5
1.4 Objetivos deste Trabalho.....	7
CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA APLICADA	7
CAPÍTULO 3 –RADIOTELESCÓPIOS	8
3.1 Radiotelescópio de Itapetinga.....	8
CAPÍTULO 4 – ESTUDO DAS MORFOLOGIAS DA FONTES OBSERVADAS	9
4.1 Fontes Duplas com Margens Abrilhantadas Estreitas.....	9
4.2 Fontes Duplas Estreitas com Limites Escuros.....	10
4.3 Fontes Estreitas com Cauda.....	11
4.4 Fontes com Caudas Imensas.....	12
4.5 Fontes Nucleares com Espectro a Lei de Potência.....	13
4.6 Quasares “Radio-Loud” Dominados pelo Lóbulo.....	14
4.7 Fontes Dominadas pelo Núcleo.....	14
4.8 Sequências de Arqueamento.....	15
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E CONCLUSÕES	15

1 Introdução

1.1 ESTRUTURA DE UMA FONTE

Classificamos as fontes segundo as diferentes partes que as compõem, a saber: núcleos, jatos, manchas quentes, lóbulos, plumas, caudas, pontes, halos e principalmente pelas diversas morfologias dos jatos (fontes “Narrow Angle Tail”, “Lobe-dominated”, “Core Dominated”) e também em relação a sua potência de emissão (fontes “Fanaroff-Riley I” e fontes “Fanaroff-Riley II”).

1.1.1 COMPONENTES DE UMA FONTE

1.1.1.1 Núcleo

É a componente central da radiofonte, normalmente entre uma posição intermediária entre os lóbulos, e pode ser coincidente espacialmente com a extremidade central de um dos jatos. Os núcleos produzem jatos relativísticos (resultado de um fenômeno de “ejeção de matéria quente”). Os núcleos rádio são compactos e seu espectro é plano. Normalmente eles não são resolvidos em resolução angular $\geq 0,1$.

1.1.1.2 Jatos

Jatos são fluidos colimados, cujos comprimentos são quatro vezes mais longos que suas larguras. Jatos em rádio, tratam-se de estruturas lineares que ligam os núcleos às partes mais externas das fontes (lóbulos). O termo jato denota um fluxo contínuo de fluido, mas para fontes extragalácticas não existe evidência direta de fluxo nos jatos observados.

1.1.1.3 Manchas Quentes

São componentes brilhantes localizadas nas extremidades dos lóbulos. Tem tamanhos lineares maiores que 1 kpc.

1.1.1.4 Lóbulos

É o material proveniente da expansão dos jatos de emissão, que sofrem transição de fluxo supersônico para subsônico. Ao sofrerem expansão adiabática, os jatos perdem material para o meio interestelar e esse material resfriado é chamado de lóbulo.

1.1.1.5 Plumas

São o termo utilizado para chamar as regiões de emissão em rádio associadas com galáxias rádio de baixa luminosidade.

1.1.1.6 Caudas

São estruturas em forma de lóbulos que acredita-se sofrerem uma reflexão quando ocorre uma interação com o meio externo.

1.1.1.7 Pontes

As pontes são a parte mais interna dos lóbulos com alta luminosidade. Elas contém o plasma mais “velho” da fonte.

1.1.1.8 Halos

São estruturas do lóbulo amorfas e de baixa brilhância contendo plasma “velho”.

1.1.2 MORFOLOGIA DOS JATOS

Jatos são encontrados em todo Universo, sendo os jatos dos quasares mais poderosos e muitas vezes em grande escala. Porém existem jatos em fontes da nossa própria galáxia, encontrados

em objetos Herbig-Haro e também em microquasares. Os jatos podem ser colimados ou apresentar diversas morfologias diferentes, dependendo de uma série de fatores do meio no qual eles estão inseridos. Existem jatos de galáxias que são encurvados para trás, devido ao deslocamento desta galáxia no meio intergaláctico. Este meio possui uma densidade tal que encurva o jato. Alguns jatos são extremamente colimados em vários kpc. Muitas vezes tem-se que pensar em campos magnéticos para manter esse jato colimado em tão grandes distâncias. Alguns tipos de turbulência ao longo das paredes desses jatos também contribuem para sua colimação. Alguns jatos apresentam certo zig-zag, fruto da densidade do meio externo. É como se o jato fosse um rio que procurasse a parte mais fácil para se propagar, ou as regiões de menor densidade no meio intergaláctico.

1.1.2.1 Fontes “Narrow Angle – Tail”

Fazem parte de uma classe especial de radiofontes encontradas em aglomerados de radiogaláxias, as quais apresentam os jatos levemente dobrados em relação ao eixo equatorial de simetria da galáxia.

1.1.2.2 Fontes “Lobe-Dominated”

São radiofontes com núcleo extremamente brilhante, porém os lóbulos são bem mais luminosos que o núcleo, ou seja, apresentam lóbulos de emissão bastante distintos, também chamados de quasares.

1.1.2.3 Fontes “Core-Dominated”

São objetos cuja densidade de fluxo da componente nuclear excede a emitida pelo restante da estrutura da radiofonte, ou seja, possuem núcleos mais brilhantes em rádio que os lóbulos.

1.1.3 POTÊNCIA DE EMISSÃO DE UMA FONTE

1.1.3.1 Fontes Fanaroff-Riley tipo I

Este tipo de radiofonte possui dois jatos relativísticos simétricos com relação a um núcleo central. São objetos de baixa luminosidade em rádio.

1.1.3.2 Fontes Fanaroff-Riley tipo II

Possuem dois jatos relativísticos luminosos que terminam em “hotspots” (estruturas mais brilhantes em rádio, vistas dentro de lóbulos). Normalmente apresentam um lóbulo de emissão o qual circunda os “hotspots”.

1.1.4 PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS DE UMA FONTE

1.1.4.1 Colinearidade

Há um alinhamento preciso entre as manchas quentes e o centro nuclear rádio.

1.1.4.1 Simetria

Essa simetria se caracteriza por jatos de igual tamanho em lados diametralmente opostos. Algumas fontes apresentam assimetrias de 10:1. São algumas vezes chamadas de Duplas D2 ou fontes C.

1.1.4.2 Simetria Rotacional

Essa simetria foi primeiro observada na radiogaláxia Centaurus A e é particularmente evidente na radiofonte 3C47 e também nas componentes mais externas de Cygnus A. Uma causa possível seria a distorção da estrutura pela rotação no meio intergaláctico.

1.1.4.3 Alinhamento

Os alinhamentos são pontes que vão das manchas quentes aos núcleos.

1.2 FONTES GALÁCTICAS

Jatos também são encontrados em inúmeras fontes próximas, dentro de nossa própria galáxia. Esses jatos são extremamente semelhantes aos jatos em galáxias e quasares, porém as escalas envolvidas são muito pequenas. Estudar esses objetos próximos é de suma importância para se tentar compreender os objetos mais distantes. Como exemplo desses objetos tem-se os Objetos Estelares Jovens (YOS), os objetos Herbig-Haro, o objeto peculiar SS433, fontes superluminais galácticas e uma gama de objetos localizados no centro de nossa Galáxia. Esses objetos possuem núcleo e jatos bem colimados e podem ser observados em diversos comprimentos de onda.

1.3 FONTES EXTRAGALÁCTICAS

Extremamente energéticos, com uma luminosidade correspondente a 100 galáxias e jatos com velocidades superluminais, os quasares sempre exerceram um certo fascínio em seu estudo. Recentes pesquisas descobriram que objetos semelhantes aos quasares, também encontram-se localizados em nossa própria galáxia: são denominados microquasares. São fisicamente semelhantes aos quasares, porém, as massas de seus respectivos buracos negros são bastante diferentes. Nos microquasares os buracos negros possuem umas poucas vezes a massa do sol, são formados por estrelas que viraram supernovas, e os jatos emitidos são bem menores comparados a potencia do jato emitido por um quasar. Os quasares possuem características muito interessantes; apresentam componentes compactas (núcleo do objeto), que na verdade são constituídas de várias outras componentes, cada uma caracterizada pelo espectro sincrotrônico. De tal modo que as várias componentes somadas, ou melhor sua envoltória, daria um espectro que não varia com a frequência, ou seja, plano. Do núcleo são ejetadas

componentes com certas velocidades. Muitas vezes essas componentes possuem velocidades próximas à velocidade da luz (chegam a 80% de c). Outras componentes possuem velocidades muito abaixo da velocidade da luz. Da Terra, notamos que muitas vezes essas velocidades são superluminais. Na verdade o que vemos daqui é a projeção do vetor velocidade na direção perpendicular à linha de visada. E é esta velocidade aparente que muitas vezes é superior a velocidade da luz. Os jatos dos quasares, dos objetos BL Lacertae e galáxias com núcleos ativos tem dimensões que muitas vezes chegam a Mpc. Muitos acham que esses três tipos de objetos são um só, mas vistos em ângulos diferentes em relação à linha de visada. Os quasares, por exemplo, apresentam jatos em uma só direção e as galáxias ativas, jatos em duas direções, perpendiculares à linha de visada. Quanto mais relativístico for o objeto, menor é o ângulo entre a direção do jato e a linha de visada. Tem-se a relação $\theta \propto 1/\gamma$, onde θ é o ângulo entre o jato e a linha de visada e γ é o fator de Lorentz. $\gamma = 1/((1 - v^2/c^2)^{1/2})$. Quando $v \rightarrow c$, γ é maior que 1, e θ tende a ficar pequeno. Os quasares apresentam este ângulo bem pequeno, quando comparados às galáxias.

A velocidade aparente vista por um observador da Terra é proporcional ao fator de Lorentz multiplicado pela velocidade da luz. De modo que para fatores de Lorentz maiores que 1 a velocidade aparente é superluminal.

1.4 OBJETIVOS DESTE TRABALHO

Este trabalho, iniciado em agosto de 2005, tem como objetivo estudar fontes galácticas e extragalácticas, estudar a evolução da morfologia desses objetos através de mapas de VLBI (Interferometria de Longa Linha de Base) e VLA (Very Large Array) e classificá-las quanto à suas estruturas morfológicas.

Operar um radiotelescópio de grande porte, como parte do aprendizado do método científico. Para isso foram observações de radiofontes extragalácticas e a consequente redução dos dados observados no rádio-observatório do Itapetinga (Atibaia).

2 Metodologia aplicada

A técnica de observação utilizada foi a de varreduras. Cada varredura tem a duração de 20 segundos. Cada observação tem 30 varreduras. Para a obtenção da temperatura de antena da radiofonte em questão são necessárias 12 observações em 22 GHz e também outras 12 em 43 GHz. O apontamento da antena é verificado, fazendo-se varreduras em azimute e elevação, tanto das fontes calibradoras como das demais. A calibração de sistema é feita com uma carga externa (“load”), um tubo de ruídos (“noise tube”) e uma fonte de ruídos (“noise source”) com temperaturas previamente determinadas. É necessária a utilização de nitrogênio líquido para que os parâmetros do sistema sejam bem determinados. Desta forma a temperatura de sistema é conhecida com precisão. Foram feitas observações do quasar 3C273, das radiogaláxias Virgo A e 3C465, nas frequências de 22 e 43 GHz.

3 Radiotelescópios

Os radiotelescópios são sensores de ruído. Ruído este, que chamamos de “ruído radioelétrico” ou “ruído branco”. Trata-se da mistura de vários comprimentos de onda. A construção destes foi um grande passo e um grande avanço para os estudos em radioastronomia, uma vez que estes permitiam localizar fontes muito mais distantes que sequer imaginava-se existir quando havia apenas os telescópios ópticos. As ondas de rádio

podem ser captadas através de nuvens de poeira estelar, quando o tempo está nublado, ou até mesmo durante o dia.

3.1 RADIOTELESCÓPIO DE ITAPETINGA

O Radio Observatório de Itapetinga, em Atibaia, São Paulo, possui uma grandena antenna, como mostra a figura 1, com um refletor parabólico de 13,7 metros de diâmetro. Este radiotelescópio, construído em 1971, foi projetado para operar em radio-frequencias de até 100GHz e tem uma estrutura metálica leve, devido a sua instalação interna a uma redoma radio-transparente, protetora da ação dos ventos e incidência da radiação térmica e solar. Sua montagem lhe confere grande precisão de rastreo.

O grande radiotelescópio de Itapetinga tem mantido programas de pesquisa do meio galáctico e extragaláctico, além de pesquisas solares e planetárias. Na sua história, o Radio Observatório de Itapetinga (ROI), implementou vários experimentos pioneiros.



Figura 1. Radiotelescópio de Itapetinga

4 Estudo das Morfologias das Fontes observadas

4.1 FONTES DUPLAS COM MARGENS ABRILHANTADAS ESTREITAS

São também chamadas “Duplas Clássicas”, “Duplas Simétricas”, “Duplas Tipo Cygnus A”, “Duplas Tipo I” ou “Triplas”.

Possuem razão Comprimento/Largura ≥ 4 e lóbulos são abrilhantados em suas margens. O tamanho das manchas quentes é da ordem de 1 kpc, ou seja, duas ordens de magnitude menores que a fonte como um todo. Algumas vezes essa fontes são chamadas como “Triplas”, pois existe um núcleo e duas “manchas quentes”. A figura 2 abaixo é uma imagem de alta resolução da radiofonte 3C452. Esta fonte foi observada com o EVN (European VLBI Network). Percebe-se estruturas muito simétricas nesta rádio-galáxia.

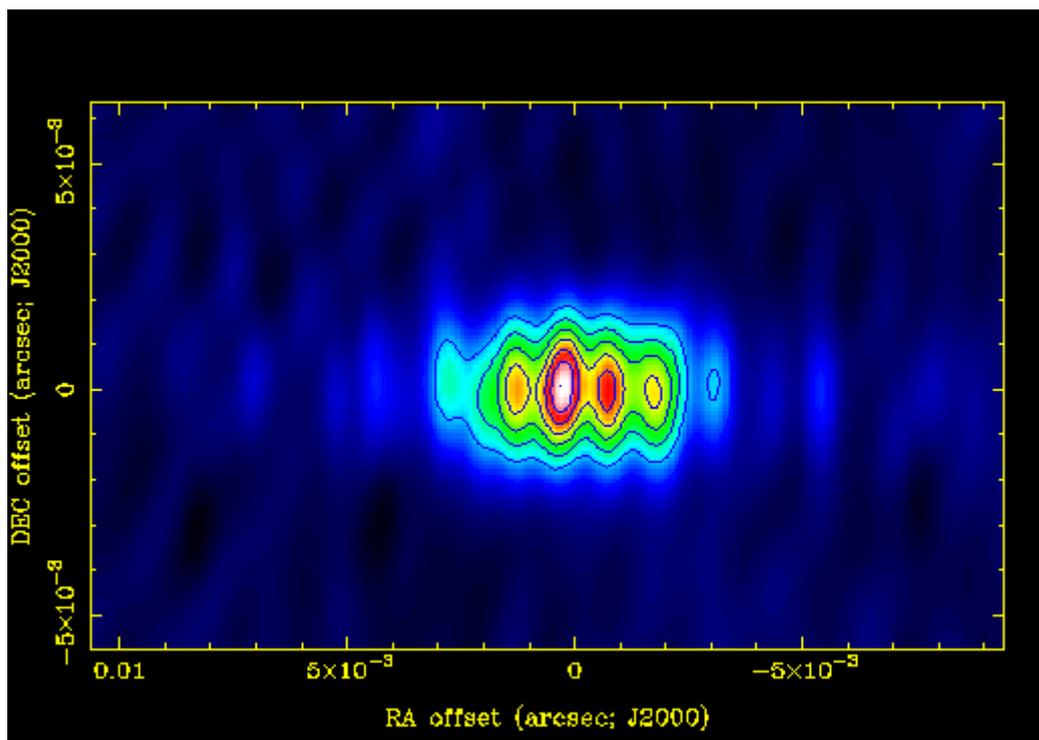


Figura 2. Mapa de VLBI da radiofonte 3C452

4.2 FONTES DUPLAS ESTREITAS COM LIMITES ESCUROS

Várias fontes estreitas possuem distribuição de brilhância que desaparecem em suas extremidades. Essas fontes rádio também possuem núcleos. São também observados jatos estreitos e colimados emanando de seus núcleos. São muitas vezes chamadas “tipo 3C31”. Na figura 3 tem-se a radiofonte 3C31.



Figura 3. Rádio-galáxia 3C31, observada pelo VLA (Very Large Array)

4.3 FONTES ESTREITAS COM CAUDA

Possuem estrutura assimétrica, com alta brilhância, que coincide com o núcleo de uma galáxia elíptica e uma cauda difusa com dimensões de centenas de kpc. São também chamadas “Fontes cabeça-cauda”, “fonte com ângulo de cauda estreito”. Podem ter cauda dupla ou

cabeça dupla. Exemplos: 3C83.1B e IC310. Fontes com cauda apresentam freqüentemente núcleos em rádio. Essas fontes quando estudadas em alta resolução em rádio, são resolvidas como jatos estreitos. Na figura 4 tem-se a radiofonte 3C83.1B ou B0314+416, observada com o VLA.. É considerada uma fonte Fanaroff-Rilley tipo I.

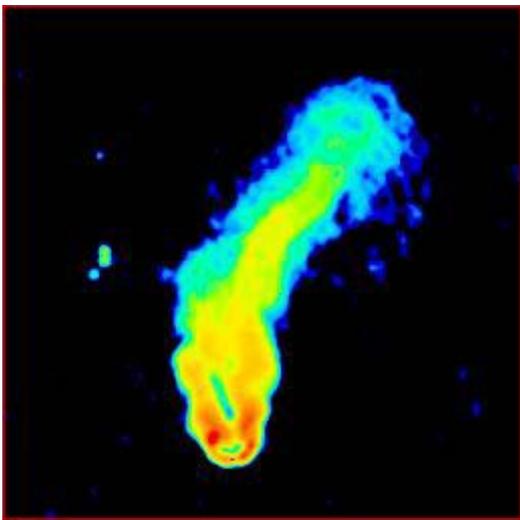


Figura 4. Radiofonte 3C83.1B observada com o VLA em 1,4 GHz.

4.4 FONTES COM CAUDAS IMENSAS

A estrutura dessas fontes é intermediária entre “duplas estreitas com margem escurecida” e as fontes com cauda estreita. São chamadas de WAT (“wide-angle tail”). Um exemplo dessa classe de fontes seria a radiofonte 3C465. É uma radiogaláxia que tem a forma de um C. Está localizada na região central do aglomerado de Abell 2634(rico aglomerado de galáxias). Na figura 5 abaixo pode-se notar os dois jatos que saem do núcleo desta radiofonte. Na mesma distância do núcleo eles se apresentam mais largos e se encurvam. Até então são estreitos.

Essa forma particular é devido à interação dos jatos com sua vizinhança galáctica. Na figura 5 tem-se a fonte 3C465 em 1,5 GHz.

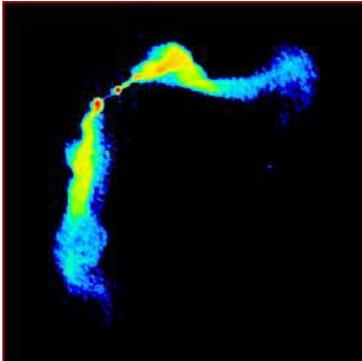


Figura 5. Fonte 3C465 como observada pelo VLA em 1,5 GHz.

4.5 FONTES NUCLEARES COM ESPECTRO A LEI DE POTÊNCIA

São também chamadas fontes tipo “Núcleo-Halo”. Esta classe de objetos é dominada por uma componente de escala de kpc, com espectro à lei de potência, associada com o núcleo de um objeto principal. É embebida por uma difusa componente de baixa brilhância superficial. O melhor exemplo desta classe de objetos é a rádio-galáxia Virgo A ou 3C274 ou M87. Esta fonte contém uma componente dupla de $1''$ (cerca de 5 kpc) . Entorno desta existe um halo com dimensões de $16 \times 12''$ ($\sim 80 \times 60$ kpc) em 408 MHz. Existe também um jato de $25''$ (~ 2 kpc) ligando o núcleo à componente norte. Num dado ponto deste jato, existe como característica peculiar de diversos nós. Na figura 6 tem-se a galáxia elíptica Virgo A vista em comprimentos de onda ópticos. Possui dimensão maior que nossa própria galáxia, Via Láctea



(~ 120000 anos-luz). Foi descoberta em 1781 por Charles Messier.

Figura 6. Rádio- galáxia Virgo A, no coração do aglomerado de Coma-Virgo.

4.6 QUASARES “RADIO-LOUD” DOMINADOS PELO LÓBULO

Esses são objetos tipo Fanaroff-Riley tipo II. As estruturas são caracterizadas por núcleos proeminentes e jatos fortes em uma só direção. Um exemplo desse tipo de fonte seria 3C179.

4.7 FONTES DOMINADAS PELO NÚCLEO

Objetos desta classe são caracterizados por um núcleo muito luminoso, que tende a dominar a fonte como um todo. Possui também um jato brilhante para um lado só. Um exemplo desta classe seria o quasar 3C273, que apresenta componentes com movimento superluminal (velocidades aparentes maiores que a velocidade da luz). Outro exemplo seria a galáxia 3C120. A figura 7 mostra o quasar 3C273 em 3 diferentes comprimentos de onda. A escala das diversas imagens é a mesma.

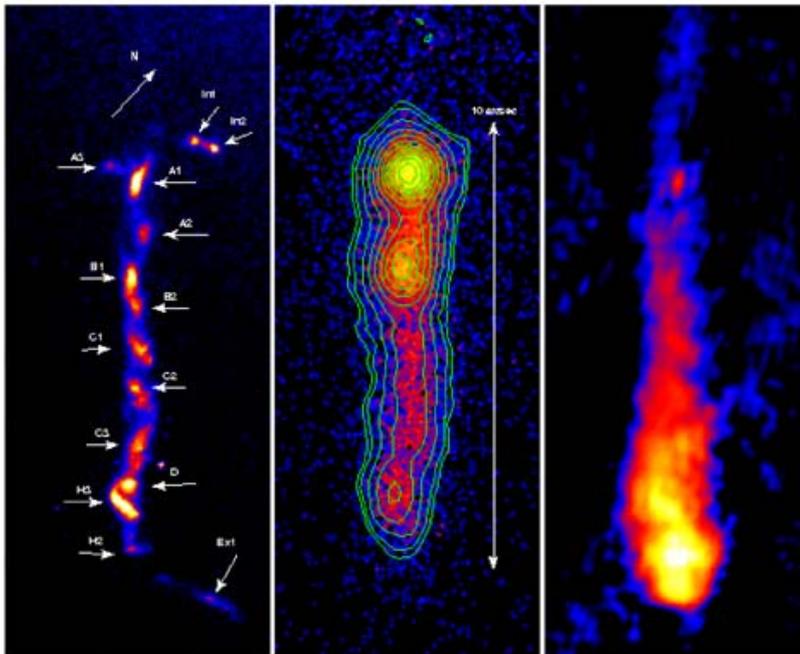


Figura 7. O jato do quasar 3C273 visto em três diferentes comprimentos de onda.

4.8 SEQUÊNCIA DE ARQUEAMENTO

As estruturas em grande escala das galáxias apresentam um arqueamento nas extremidades mais externas das fontes. Existe um arqueamento contínuo quando estudamos diversas fontes e o ângulo varia entre 0° (para fontes com caudas estreitas) a 180° (fontes duplas). As fontes com cauda são vistas como pistas ou registros fósseis depositados por galáxia ativas. Pode-se observar a seqüência de arqueamento indo da fonte 3C449, que possui um ângulo de 180° entre os jatos, passando pelas fontes 1650-60.8, 3C465, IC708, 3C83.1B até chegar a fonte IC310 com arqueamento de 0° .

5 Resultados e Conclusões

Durante o desenvolvimento deste projeto foram feitas observações de diversas fontes, porém, os estudos aprofundaram-se e focalizaram-se em três fontes específicas; o quasar 3C273, a radiogaláxia Virgo A e a radiofonte 3C465.

Em virtude do estudo desenvolvido neste trabalho, conclui-se que o quasar 3C273 pode ser classificado como sendo uma Fonte Dominada pelo Núcleo, ou seja, possui um núcleo muito luminoso que tende a dominar a densidade de fluxo como um todo. Possui também um jato brilhante para um lado só, em comprimentos de onda rádio e apresenta componentes com movimento superluminal (velocidades aparentes maiores que a velocidade da luz). A radiogaláxia Virgo A pode ser classificada como uma Fonte Nuclear com Espectro à Lei de Potência, também chamada de fonte tipo Núcleo-Halo. Este tipo de fonte é dominada por uma componente em escala de kiloparsec, com espectro de lei de potência, associada com o núcleo de um objeto principal. É embebida por uma difusa componente de baixa brilhância superficial. Suas dimensões são maiores que nossa própria galáxia, a Via Láctea. 3C465 é uma fonte que possui estrutura morfológica na forma de um C (Cauda com Ângulo Grande).

O estudo da estrutura morfológica de radiofontes galácticas e extragalácticas é de grande importância para se tentar compreender a física dos jatos e demais estruturas das fontes e assim contribuir para a compreensão dos processos físicos inerentes a esses objetos.

Os estudos prosseguirão, dando continuidade a este projeto.

