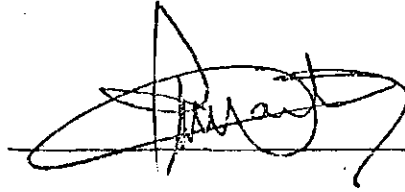


1. Publicação nº <i>INPE-2913-TDL/149</i>	2. Versão	3. Data <i>Out., 1983</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa  <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DRH-DRA</i>	Programa <i>FRH/CEA</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>VARIABILIDADES: QUASARES E RADIOGALÁXIAS</i>			
7. C.D.U.: <i>523.164</i>			
8. Título  <i>ESTUDO DE VARIABILIDADES DE RADIOFONTES EXTRAGALÁTICAS EM 22 GHz E 44 GHz</i>		10. Páginas: <i>132</i>	11. Última página: <i>A.25</i>
9. Autoria <i>Luiz Cláudio Lima Botti</i>		12. Revisada por  <i>Zulema Abraham</i>	
Assinatura responsável <i>Luiz Cláudio Lima Botti</i>		13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Director Geral</i>	
14. Resumo/Notas  <i>Para estudar as variabilidades de longo e curto período dos quasares 3C 273 e OV 236, além da radiogaláxia Cen A e da fonte não-térmica no Centro Galático, foram feitas diversas observações desses objetos nas radiofrequências de 22 GHz e 44 GHz. As radiofontes Virgo A, G 298.2-0.3 e Jupiter foram utilizadas como fontes calibradas. As observações foram realizadas num período de dois anos e meio com o radiotelescópio do Itapetinga. As radiofontes Sgr A, OV 236 e 3C 273 apresentaram variabilidade de longo período em 22 GHz. Variabilidades de curto período também foram detetadas tanto em 22 GHz quanto em 44 GHz nas quatro radiofontes acima. Dos resultados obtidos em 22GHz podem-se estimar as dimensões e os campos magnéticos associados aos objetos pesquisados.</i>			
15. Observações <i>Dissertação de Mestrado em Ciência Espacial, aprovada em 11 de maio de 1983.</i>			



Aprovada pela Banca Examinadora  
em cumprimento a requisito exigido  
para a obtenção do Título de Mestre  
em Ciência Espacial

Dr. Inacio Malmonge Martin



Presidente

Dra. Zulema Abraham



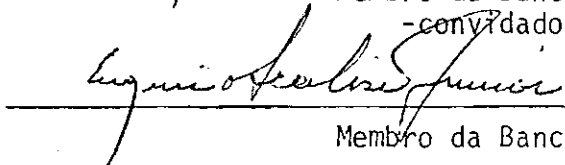
Orientador

Dra. Sueli Maria V. Aldrovandi



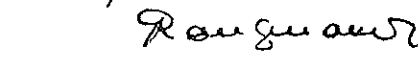
Membro da Banca  
-convitado-

Dr. Eugênio Scalise Jr.



Membro da Banca

Prof. Pierre Kaufmann



Membro da Banca

Candidato: Luis Claudio Lima Botti

São José dos Campos, 11 de maio de 1983



A

Claudio Botti e Zenita Lima Botti, meus pais,

e

Adélia Firmani.



## AGRADECIMENTOS

A Da. Zulema Abraham por sua orientação durante toda a fase de pós-graduação.

Aos estagiários: Adélia Firmani, Ana Cristina de O. Concoro, Every Antonio Carrara, Lineu Fernando Del Ciampo e também a Catherine Laporte, que muito me ajudaram em diversos períodos de observação.

A Cláudio Eiichi Tateyama pelas discussões e colaboração.

A Maria Alcina Braz pelo incentivo durante o início da pós-graduação.

A Ana Maria Zodi Vaz, Emília Correia, José Luiz Monteiro do Vale, José Williams dos Santos Vilas-Boas e Neusa Maria Paes Leme, que sempre me apoiaram e ajudaram nas horas difíceis.

Ao Prof. Pierre Kaufmann e ao Dr. Hanumant S. Sawant pela ajuda em alguns períodos de observação.

A todo o pessoal do radioobservatório do Itapetinga pela colaboração durante o período em que lá estive observando.

A Adélia Firmani pelo grande incentivo e pelo trabalho de datilografia.

Ao CNPq e à CAPES pelas bolsas de Estudo.

E a todos os amigos do CRAAM que, de uma forma ou de outra, tornaram possível a realização deste trabalho.





#### ABSTRACT

We made observations of the quasars 3C 273 and OV 236, the radio galaxy Cen A and nonthermal radio source in the Galactic Center at 22 and 44 GHz, in order to study the short and long term variability of these objects. The radio sources Virgo A, G 293.2-0.3 and Jupiter were used as calibration sources. The observations were made during a period of two years and a half with the Itapetinga radio telescope. The radio sources Sgr A, OV 236 and 3C 273 have shown long period variability in 22 GHz. Short period variability was also detected at both 22 and 44 GHz. From the results obtained at 22 GHz we can estimate the dimensions and magnetic fields associated with the observed objects.



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	<i>xi</i>
LISTA DE TABELAS .....	<i>xiii</i>
LISTA DE SÍMBOLOS .....	<i>xiv</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> .....	01
1.1 - Objetivo do trabalho .....	01
1.2 - Variabilidade de longo e de curto períodos de radiofontes ex tragaláticas .....	02
1.2.1 - Centaurus A (NGC 5128) .....	05
1.2.2 - Sgr A (Centro Galáctico) .....	08
1.2.3 - 3C 273 (1226 + 023) .....	09
1.2.4 - OV 236 (1921 - 29) .....	10
<u>CAPÍTULO 2 - MODELOS DE QUASARES E NÚCLEOS GALÁCTICOS ATIVOS</u> .....	13
2.1 - Introdução .....	13
2.2 - Espectro de quasares e núcleos galácticos ativos .....	13
2.3 - Determinação da dimensão de uma fonte através do seu perí do de variabilidade .....	16
2.4 - Modelos de quasares e núcleos galácticos ativos que levam em conta expansão não-relativística .....	18
2.5 - Modelos de expansão relativística para explicar variações rã pidas na densidade de fluxo .....	23
2.6 - Acréscimo de massa a buracos negros .....	32
2.7 - Modelo "spinar" .....	36
<u>CAPÍTULO 3 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DO RADIOTELESCÓPIO E TÉCNICAS OBSERVACIONAIS</u> .....	37
3.1 - Introdução .....	37
3.2 - Características do radiotelescópio do Itapetinga .....	37
3.3 - Técnica utilizada .....	38
3.4 - Calibração .....	39
3.5 - Aquisição de dados .....	42

	<u>Pág.</u>
<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS OBSERVACIONAIS OBTIDOS DAS RADIOFONTES...</u>	49
4.1 - Observações e Resultados .....	49
4.2 - OV 236 .....	52
4.3 - 3C 273 .....	59
4.4 - Cen A .....	64
4.5 - Sgr A .....	75
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO</u> .....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	79
APÊNDICE A - TABELAS DAS RADIOFONTES	

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Cinemática de uma expansão relativística com velocidade de $v$ .....	25
2.2 - Comportamento da densidade de fluxo, ao longo das três fases de evolução de uma fonte, para o índice espectral igual a 0 .....	28
2.3 - Comportamento da densidade de fluxo, ao longo das três fases de evolução de uma fonte, para o índice espectral igual a 1 .....	30
2.4 - Evolução da densidade de fluxo opticamente opaco e do raio aparente da fonte ao longo do tempo .....	34
3.1 - Observação de Virgo A durante 10 minutos .....	43
4.1 - Representação percentual da densidade de fluxo em 22 GHz para as fontes observadas, em relação ao seu valor médio, durante o período de observação .....	53
4.2 - Radiofontes observadas em 22 GHz durante dois anos e meio de pesquisa .....	55
4.3 - Densidades de fluxo de Sgr A, OV 236 e Virgo A em 22 GHz .....	57
4.4 - Comportamento de diversas fontes variáveis em relação à fonte calibradora Júpiter .....	58
4.5 - Comportamento de 3C 273, em relação a Virgo A, ao longo do tempo .....	61
4.6 - Observações de 3C 273 e Virgo A, em 22 GHz, durante um período aproximado de uma semana .....	62
4.7 - Densidade de fluxo de 3C 273 e Cen A em 22 GHz, em relação à fonte calibradora Virgo A.....	63
4.8 - Centaurus A ao longo do tempo .....	66
4.9 - Temperatura de antena de Cen A em relação à elevação da fonte.....	67
4.10 - Temperatura de antena da região HII G298.2 -0.3 em função da elevação .....	68
4.11 - Média ponderada entre as temperaturas de antena obtidas pelas cornetas que recebem vetor de polarização vertical e horizontal .....	69
4.12 - Densidades de fluxo de Sgr A e Cen A ao longo do tempo, em relação à densidade de fluxo de Virgo A .....	70

	<u>Pág.</u>
4.13 - Densidades de fluxo de Sgr A e Cen A, em 44 GHz ao longo do tempo .....	71
4.14 - Fluxo relativo entre Cen A e Virgo A em 22 GHz e 44 GHz .....	72
4.15 - Densidades de fluxo ao longo do tempo durante dois anos e meio de observações .....	73
4.16 - Densidade de fluxo de Cen A ao longo de vários anos de observações no radioobservatório do Itapetinga.....	74
4.17 - Fluxo relativo entre Sgr A e Virgo A em 22 e 44 GHz...	76

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
4.1 - Período e frequência de observação das radiofontes durante dois anos e meio de pesquisa .....	50
4.2 - Densidades de fluxo média S e coeficiente de regressão linear C no período compreendido entre 08 de julho e 01 de agosto de 1980.....	54
A.1 - Coordenadas das radiofontes .....	A.1
A.2 - Densidades de fluxo e época de observação das radiofontes, em 22 GHz, durante 2 anos e meio .....	A.2
A.3 - Temperatura de antena e elevação de Centaurus A e G 298.2-0.3 em 22 GHz, para os dias 27 e 28 de maio de 1981.....	A.5
A.4 - Temperatura de antena e hora sideral em 22 GHz, para os dias 27 e 28 de maio de 1981 .....	A.8
A.5 - Média ponderada entre as temperaturas de antena das cornetas vertical e horizontal e hora sideral média, em 22 GHz, nos dias 27 e 28 de maio de 1981.....	A.10
A.6 - Densidades de fluxo e hora sideral de 3C 273 e Virgo A em 22 GHz .....	A.11
A.7 - Densidades de fluxo obtidas em abril de 1982 na radiofrequência de 22 GHz .....	A.13
A.8 - Densidades de fluxo em 44 GHz obtidas em abril de 1982 .	A.16
A.9 - Densidades de fluxo e hora sideral de 3C 273, em 22 GHz, obtidas entre 21 e 29 de setembro de 1982 .....	A.18
A.10 - Densidades de fluxo em 22 GHz obtidas em setembro de 1982.	A.20
A.11 - Densidades de fluxo em 44 GHz obtidas em setembro de 1982.	A.22
A.12 - Densidades de fluxo em 22 GHz obtidas em novembro de 1982.	A.24





## LISTA DE SÍMBOLOS

- B - Campo magnético, gauss.
- c - Velocidade da luz,  $m s^{-1}$ .
- s - Distância cosmológica de um objeto, m.
- D - Diâmetro mínimo de uma região na fonte que emite radiação sincrotrônica, m.
- E - Energia dos elétrons, erg.
- e - Eficiência de antena, adimensional.
- F ( $\phi$ ) - Fração de flutuação verdadeira, adimensional.
- F - Fator de preenchimento do feixe, adimensional.
- G - Correção para o achatamento do planeta, adimensional.
- H - Constante de Hubble,  $Km s^{-1} Mpc^{-1}$ .
- h - Elevação do objeto,  $^{\circ}$ .
- I - Brilhância superficial,  $w m^{-2} Hz^{-1} rad^{-2}$ .
- $\bar{I}$  - Brilhância superficial média,  $w m^{-2} Hz^{-1} rad^{-2}$ .
- $I_f$  - Componente responsável pela flutuação em fase de brilhância superficial,  $w m^{-2} Hz^{-1} rad^{-2}$ .
- k - Constante de Boltzmann,  $1,38 \times 10^{-16} erg K^{-1}$ .
- L - Luminosidade total,  $w m^{-2} Hz^{-1}$ .
- $\bar{L}$  - Luminosidade média,  $w m^{-2} Hz^{-1}$ .
- M - Massa do buraco negro, g.
- $M_{\odot}$  - Massa do sol, g.
- N(E) - Número de elétrons por unidade de volume e energia,  $cm^{-3} erg^{-1}$ .
- $P_0$  - Período de oscilação em brilhância de uma superfície esférica, s.
- P - Período de oscilação de uma superfície para um observador num referencial fora da fonte, s.

$R$	- Raio da superfície esférica oscilante, m.
$r_1, r_2$	- Raios de uma nuvem esférica nos instantes de tempo $t_1$ e $t_2$ , respectivamente, m.
$r$	- Posição aparente das partículas a partir do ponto da explosão, m.
$R'$	- Raio da antena, m.
$S$	- Densidade de fluxo, Jy.
$S_1, S_2$	- Densidades de fluxo nos instantes de tempo $t_1$ e $t_2$ , respectivamente, Jy.
$s_d$	- Semidiâmetro do planeta. "
$S_F$	- Densidade de fluxo da radiofonte, Jy.
$t$	- Tempo transcorrido, s.
$T_{max}$	- Temperatura máxima para uma fonte que se expande relativisticamente, K.
$T_{NR}$	- Temperatura de brilhância no caso não-relativístico, K.
$T$	- Temperatura de brilhância para fontes com variações rápidas em sua densidade de fluxo, K.
$T_{LOAD}$	- Temperatura de antena da carga ("load"), K.
$T_C$	- Temperatura de ruído do céu, K.
$T_{ambiente}$	- Temperatura ambiente, K.
$T_{fonte}$	- Temperatura de antena da fonte, K.
$T_0$	- Temperatura de antena da fonte sem atenuação da atmosfera, K.
$T_{ij}^B$	- Valor da linha de base ajustada correspondente ao ponto $i$ da observação $j$ .
$T_{ij}$	- Valor da temperatura de cada ponto $i$ da observação $j$ , K.
$T_j^{max}$	- Valor máximo da temperatura obtido em uma varredura, K.
$\bar{T}$	- Média entre as temperaturas, K.
$T_B$	- Temperatura de brilhância do planeta, K.

$T_{A\text{obs}}$	- Temperatura de antena observada, K.
$T_{A\text{corr}}$	- Temperatura de antena corrigida, K.
$T_F$	- Temperatura de antena da radiofonte, K.
$t_{\text{min}}$	- Escala de tempo mínima para variações de fluxo, s.
$v$	- Velocidade no referencial da fonte, $\text{m s}^{-1}$ .
$v_T$	- Velocidade transversal, $\text{m s}^{-1}$ .
$v_0$	- Velocidade inicial de expansão, $\text{m s}^{-1}$ .
$V_{\text{LOAD}}$	- Voltagem correspondente ao "load", V.
$V_{\text{CEU}}$	- Voltagem correspondente ao céu, V.
$V_{\text{FONTE+CEU}}$	- Voltagem correspondente à fonte e ao céu, V.
$w_0$	- Frequência de oscilação de uma superfície esférica, Hz.
$z$	- Desvio para o vermelho, adimensional.
$\alpha$	- Índice espectral, adimensional.
$\beta$	- Fator de conversão entre a densidade de fluxo e a temperatura de antena, $\text{Jy K}^{-1}$ .
$\gamma$	- Fator de Lorentz, adimensional.
$\gamma_{\text{Plasma}}$	- Fator de Lorentz para o plasma, adimensional.
$\gamma_{\text{Min}}$	- Fator de Lorentz mínimo para reduzir a temperatura de brilho, adimensional.
$\delta$	- Índice de distribuição de energia dos elétrons relativístico, adimensional.
$\Delta$	- Constante definida quando o campo magnético está em gauss e a frequência em MHz.
$\epsilon$	- Erro associado à temperatura de antena, K.
$\zeta$	- Fator de transmissão da redoma, adimensional.
$\eta$	- Ângulo de fase, $^\circ$ .
$\theta$	- Tamanho angular da fonte, ms.

- $\theta'$  - Ângulo entre o movimento e a linha de visada,  $^{\circ}$ .  
 $\lambda$  - Comprimento de onda, m.  
 $\nu$  - Frequência, Hz.  
 $\nu_m$  - Frequência para a qual ocorre o máximo no espectro, GHz.  
 $\xi$  - Fator de proporcionalidade,  $K V^{-1}$ .  
 $\rho$  - Fator de proporcionalidade entre a temperatura de antena observada e a corrigida, adimensional.  
 $\sigma_j$  - Ruído da linha de base, K.  
 $\sigma$  - Profundidade óptica, adimensional.  
- Constante adimensional definida pela Equação 2.9.  
 $x_1, x_2$  - Variáveis relacionadas com os raios da nuvem esférica  $r_1$  e  $r_2$ ,  $m^{-(\delta+2)}$ .  
 $\zeta$  - Fator de atenuação da redoma adimensional.

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 - OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é o estudo das variabilidades de longo e curto períodos, nas radiofrequências de 22 GHz e 44 GHz, das seguintes radiofontes:

- a) Sgr A (fonte não-térmica no centro de nossa galáxia);
- b) Cen A (radiogaláxia);
- c) 3C 273 (quasar);
- d) OV 236 (quasar).

Essas radiofontes apresentam ótimas condições para observação no Hemisfério Sul e possuem densidades de fluxo altas em comprimentos de onda milimétricos.

Para o estudo de variabilidade faz-se necessário observar fontes calibradoras não-variáveis, com o objetivo de obter uma comparação entre as variações apresentadas pela amostra de radiofontes acima e o comportamento das fontes calibradoras não-variáveis. Observaram-se as seguintes fontes calibradoras:

- a) Virgo A (radiogaláxia);
- b) G 298.2-0.3 (região HII);
- c) Júpiter.

Para compreender e confirmar os fenômenos transientes rápidos em núcleos galácticos ativos e quasares, foram feitas várias observações em curtos intervalos de tempo (dias, horas e minutos), que

possibilitarão eventualmente a investigação dos processos físicos que produzem as rápidas liberações de energia nesses objetos. Para o estudo do comportamento de longo período (meses e anos) das radiofontes acima, as observações foram feitas mensalmente, sempre que possível, durante um período aproximado de dois anos.

Neste capítulo descreve-se, de uma maneira geral, a variabilidade observada em radiofontes e, em particular, as radiofontes Sgr A, Cen A, 3C 273 e OV 236.

No Capítulo 2 discutem-se os modelos associados às radiofontes.

No Capítulo 3 descrevem-se as características do radiotelescópio, a técnica utilizada para observação, calibração e aquisição de dados.

No Capítulo 4 têm-se as observações e resultados obtidos durante cerca de dois anos e meio de pesquisa.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões.

## 1.2 - VARIABILIDADES DE LONGO E DE CURTO PERÍODOS DE RADIOFONTES EXTRAGALÁTICAS

Em ondas de rádio, a primeira evidência de variabilidade de radiofontes extragaláticas foi obtida em 3,75 cm por Dent (1965). Observando alguns quasares, notou-se que o 3C 273 apresentou um aumento de cerca de 40% em sua densidade de fluxo, e os demais quasares apresentaram variações um pouco menores num período de três anos.

Kellermann e Pauliny-Toth (1968) fizeram, num período de aproximadamente oito anos, observações de diversas radiofontes em comprimentos de onda de 40 cm, 22 cm, 11 cm, 6 cm, 3,75 cm, 2 cm, 2,8 cm e 3,4 mm, notando variações em suas densidades de fluxo.

Allen et alii (1968) observaram diversas radiofontes em comprimentos de onda de 2 cm e 3,4 cm. O quasar 3 C 273 apresentou, no período compreendido entre 1964 e meados de 1966, um aumento em sua densidade de fluxo, e houve um brusco decréscimo em maio e setembro de 1966, no primeiro e segundo comprimentos de onda, respectivamente.

Dent et alii (1974) registraram a variabilidade de muitas radiofontes nas frequências de 15,5 GHz e 7,8 GHz, durante um período de quatro anos (janeiro de 1969 a dezembro de 1973). Constataram que o máximo na densidade de fluxo ocorreu primeiro em 15,5 GHz, o que poderia ser explicado por uma fonte em expansão (Kellermann e Pauliny-Toth, 1968).

No período de setembro de 1972 a agosto de 1974, foi constatada variabilidade na frequência de 2,7 GHz em uma boa amostra de radiofontes extragaláticas (Kesteven et alii, 1976).

Dent e Kapitzky (1976) estudaram 63 radiofontes extragaláticas em 7,9 GHz. De fonte para fonte percebe-se uma diversificação em períodos de variação desde cerca de 0,1 até algumas dezenas de anos.

Webber et alii (1976) estudaram a variabilidade de diversas radiofontes em 18 cm durante o período de 1973 a 1975.

Hobbs e Dent (1977) observaram diversas radiofontes variáveis nas frequências de 31,4 GHz e 85,2 GHz, e constataram novamente que o máximo na densidade de fluxo ocorreu primeiro no comprimento de onda menor, como em Dent et alii (1974).

Hine e Scheur (1980) fizeram um estudo sobre a variabilidade no núcleo de galáxias duplas e quasares. As frequências utilizadas foram de 1,4 GHz, 2,7 GHz, 5 GHz e 15,4 GHz, notando-se forte variabilidade nas radiogaláxias.

Jones et alii (1981) estudaram a variabilidade de diversas radiofontes entre  $11 \text{ cm} > \lambda > 1 \text{ mm}$ , constatando variações pico-a-pico menores que 20%.

Rudinick e Jones (1982) observaram 40 radiofontes nos comprimentos de onda de 2 cm, 6 cm e 20 cm que, de uma maneira geral, apresentaram grandes variabilidades.

No comprimento de onda de 3 mm, as primeiras observações de fontes extragaláticas foram feitas em 1965 com o telescópio Aerospace de 4,6 m. Na ocasião, notou-se que muitas fontes eram variáveis e quanto menor era o comprimento de onda, menores eram as escalas de tempo das variações.

Fogarty et alii (1971), num período de aproximadamente 5 anos, observaram variabilidade em escalas de tempo de cerca de uma semana a vários meses em várias radiofontes no comprimento de onda de 3,3 mm entre elas a 3C 273.

O'Dell et alii (1978) estudaram as mudanças de fluxo de fontes variáveis na faixa de comprimentos de onda de  $0,36 \mu\text{m}$  a  $3,5 \mu\text{m}$ , encontrando uma atividade pronunciada em algumas fontes.

Em 1 mm foram feitas diversas observações de 23 objetos extragaláticos, constatando-se variabilidade entre 1975 e 1977 (Elias et alii, 1978).

Brown et alii (1981) detetaram variabilidade em 20 cm, 6 cm e 2 cm no período entre 1977 e 1979.

Observações fotográficas e fotoelétricas mostraram que os quasares também variam na faixa óptica, em escala de tempo de meses e semanas e em determinados casos de dias (Sandage, 1966; Wampler, 1967; Cannon and Penston, 1967; Oke, 1967; Hunter and Lu, 1969; Kinman et alii, 1968; Kinman, 1969).



A variabilidade de radiofontes também foi estudada no rádio-observatório de Itapetinga, que dedicou parte de suas pesquisas ao estudo do comportamento da radiogaláxia Cen A, tanto em 22 GHz quanto em 44 GHz (Kaufmann et alii, 1977; Kaufmann and Raffaelli, 1979; Kaufmann and Beall, 1980; Kaufmann et alii, 1981).

Variabilidades em raios-X, também foram observadas de diversas radiofontes (Kellog et alii, 1971; Tucker et alii, 1973; Eyles et alii, 1975; Davis et alii, 1976; Lawrence et alii, 1977; Beall et alii, 1978; Mushotzky et alii, 1978; Primini et alii, 1979; Pietsch et alii, 1981; Feigelson et alii, 1981; Kaufmann et alii, 1981).

#### 1.2.1 - CENTAURUS A (NGC 5128)

Cen A é uma galáxia de tipo E0, com um núcleo ativo emitindo em toda a faixa do espectro eletromagnético. É um objeto extremamente interessante devido ao fato de ser a galáxia mais próxima com um núcleo ativo e lóbulos em rádio indicando a ejeção de material energético (Price and Stull, 1973; Beall et alii, 1978). Possui, em rádio, uma fonte variável extremamente compacta (Kellermann, 1974).

Fogarty e Schuch (1975) observaram Cen A de abril a dezembro de 1974 e não encontraram variabilidade significativa em 22 GHz.

Em 10,7 GHz não foi observada variabilidade na densidade de fluxo da região nuclear, mas apenas algumas flutuações (Price and Stull, 1973).

De julho de 1976 a março de 1977 Kaufmann et alii (1977) fizeram 37 observações do núcleo de NGC 5128 em 1,35 cm para o estudo de variabilidades de curto período, e registraram um possível evento com redução de fluxo entre 22 de novembro e 5 de dezembro de 1976.

Kaufmann e Raffaelli (1979) fizeram uma série de observações diárias de julho a agosto de 1978 nos comprimentos de onda de 7 mm e 14 mm, e detetaram uma quase-periodicidade em escala de tempo de cerca de 8 dias.

Kaufmann et alii (1981) observaram NGC 5128 no comprimento de onda de 1,35 cm, simultaneamente com observações em raios-X moles. Detetaram uma variação em rádio, com aumento de cerca de 30% na densidade de fluxo, em dezembro de 1979.

NGC 5128 é uma fonte variável tanto em intensidade quanto em índice espectral (Tucker et alii, 1973; Mushotzky et alii, 1976).

Morfologicamente, Centaurus A, em raios-X é uma fonte complexa que possui três pares de lóbulos, uma fonte central e um jato (Feigelson et alii, 1981).

Segundo Lawrence et alii (1977), o núcleo de Cen A tem mostrado grandes variações em intensidade, em diferentes escalas de tempo (semanas a meses). De 18 de dezembro a 26 de março de 1977, houve um aumento aproximadamente linear, em raios-X. Num total de 46 dias, somente um rápido aumento de fluxo foi percebido, podendo-se estimar muito aproximadamente que essas variações ocorrem numa frequência média de 8 por ano. Registrou-se uma liberação lenta de energia numa escala de tempo que vai de quatro a sete anos. Foi constatado também variabilidade em uma escala de tempo curta.

Entre 1975 e 1976 houve um decréscimo em seu fluxo por um fator de aproximadamente 2 e uma variação com período de 10 dias em raios-X (Mushotzky et alii, 1978).

Das observações de Beall et alii (1978), verificou-se uma mudança na intensidade em raios-X de, no mínimo, um fator 5, no período compreendido entre 1971 e 1976, e aproximadamente em seis dias em 1973 houve um acréscimo da ordem de 2.

Medidas simultâneas feitas por Beall et alii (1978) mostraram que enquanto o fluxo em raios-X desta radiogaláxia variava 40%, o fluxo rádio variava cerca de 18% num intervalo de 5 dias, havendo indicação de variação em fase entre raios-X e rádio.

As observações de Feigelson et alii (1981) mostraram um decrêscimo na intensidade em raios-X por um fator da ordem de 3,5 com o HRI ("High Resolution Imager" - Imageador de Alta Resolução), bem como um decrêscimo por um fator de ordem 7, com o ICP ("Imaging Proportional Counter" - Contador Proporcional de Imagem). Houve a incidência de no m̃nimo duas variações entre os períodos de 1972 a 1976 e de 1978 a 1979. Durante a observação de agosto de 1979, o fluxo se apresentou mais baixo do que os outros registrados anteriormente, ao contrário do de fevereiro de 1979 que se apresentou próximo ao m̃ximo registrado.

O fluxo em raios-X do núcleo varia entre limites bem definidos, estimados durante um período de dez anos em observações, ou seja, de cerca de  $0,5$  a  $5 \times 10^{-10}$  erg  $s^{-1}$   $cm^{-2}$  na faixa de 2 a 6 KeV, ou uma luminosidade de 1 a  $10 \times 10^{42}$  erg  $s^{-1}$  na faixa de 2 a 50 KeV (Feigelson et alii, 1981).

Grindlay et alii (1975) registraram em faixas de energias maiores que  $3 \times 10^{11}$  eV um fluxo de  $(4,4 \pm 1) \times 10^{-11}$  fôtons  $cm^{-2}$   $s^{-1}$  para esta radiofonte.

Em infravermelho esta radiogaláxia foi estudada por Kunkel e Bradt, 1971; Kleinmann e Wright, 1974; Becklin et alii, 1971; Walsh e White, 1982. Walsh e White (1982) Observaram que em  $2,2 \mu m$  a densidade de fluxo varia com a distância ao núcleo deste objeto.

### 1.2.2 - SGR A (CENTRO GALÁTICO)

A radiofonte Sgr A, na direção do Centro Galático, consiste em duas principais componentes: Sgr A leste (não-térmica) e Sgr A oeste (térmica), esta com índice espectral de aproximadamente  $-0,1$ , na faixa de 1,4 a 5 GHz (Downes and Martin, 1971; Ekers et alii, 1975).

Gopal-Krishna et alii (1972) observaram em 327 MHz dois máximos proeminentes de Sgr A em direção às partes oriental e ocidental. Devido à alta temperatura de brilhância (superior a  $10^5$  K) do máximo ocidental nesta frequência, Jones (1973) sugeriu que o máximo ocidental fosse de origem não-térmica. Gopal-Krishna e Swarup (1976), fazendo comparações detalhadas em 160 MHz e 5 GHz, chegaram à conclusão que Sgr A oeste consiste em componentes discretas térmicas e não-térmicas. Acredita-se que Sgr A oeste seja o Centro Galático.

O Centro Galático situa-se no interior de uma aglomeração de fontes infravermelhas, numa área de  $20''$  (1 pc) (Oort, 1977), coincidindo com uma fonte infravermelha forte, provavelmente originada de um denso aglomerado estelar de  $10^6 M_{\odot} \text{pc}^{-3}$  (Becklin et alii, 1978).

Em raios-X as primeiras observações significantes foram feitas com o satélite UHURU (Kellog et alii, 1971).

Davis et alii (1976) e Eyles et alii (1975) constataram variações em rádio seguidas de variações em raios-X numa mesma região.

Segundo Skinner (1979), o Centro Galático parece conter uma concentração de fontes variáveis e estudos mais cuidadosos se fazem necessários para a melhor compreensão desta região. Um fenômeno interessante que tem ocorrido são explosões em raios-X. As explosões curtas têm um aumento rápido no tempo, mas um decaimento gradual da ordem de 10 s. Foram descobertas seis dessas fontes na direção de Centro Galático.

Das observações de Dennis et alii (1980), nenhuma emissão de raios-X foi detetada da radiofonte compacta Sgr A oeste, descoberta por Balick e Brown (1974), mas posteriormente houve a identificação de uma fonte em raios-X (1 E 1742.2-2859) que coincidia com ela (Watson et alii, 1981).

Riegler et alii (1981) encontraram certa evidência para a existência de variação temporal da raia de emissão estreita em 511 KeV, quando fizeram uma pesquisa em energias de raios gama na faixa de 50 KeV a 10 MeV do céu inteiro. A emissão origina-se de uma única fonte pontual no Centro Galático. A variabilidade observada sugere uma fonte de dimensão de aproximadamente  $10^{18}$  cm, com densidade de cerca de  $10^4 \text{ cm}^{-3}$  a  $10^6 \text{ cm}^{-3}$ , na qual ocorre aniquilação de pósitrons. A largura desta raia implica que esta região de aniquilação é parcialmente ionizada e tem uma temperatura menor do que  $10^5$  K.

### 1.2.3 - 3C 273 (1226 + 023)

O quasar 3C 273, variável numa grande faixa de comprimentos de onda, é um dos mais pesquisados. As mudanças de sua luminosidade podem ocorrer em poucos anos ou em vários dias, tanto na faixa óptica do espectro quanto na de rádio. 3C 273 foi uma das primeiras radiofontes extragaláticas na qual se constatou variabilidade na frequência de 8 GHz (Dent, 1965).

Allen et alii (1968) fizeram observações deste objeto em 2 cm e 3,64 cm e no período compreendido entre maio de 1965 e março de 1967, notaram variações seculares em sua densidade de fluxo.

Efanov et alii (1977) constataram variações no seu fluxo no comprimento de onda de 1,35 cm, em escalas de tempo de um dia ou várias horas. A amplitude total (pico-a-pico) das variações relativas ao fluxo foi cerca de 33%.

Andrew et alii (1978) observaram o quasar 3C 273 num período de dez anos nos comprimentos de onda de 2,8 cm e 4,5 cm, com o objetivo de constatar variabilidades.

Elias et alii (1978) observaram flutuações de curto período nesta fonte. Os resultados sugerem que essas variações em 1 mm observadas estejam relacionadas com variações em rádio, mas nada se pode dizer a respeito da fase relativa entre as variações nestes dois comprimentos de onda.

Em comprimentos de onda ópticos foi estimado que a duração de cada evento nessa fonte é de aproximadamente um ano, e uma taxa de quarenta eventos é necessária para explicar a variabilidade apresentada (Manwell and Simon, 1968).

Primini et alii (1979) observaram em raios-X variabilidades em escala de tempo da ordem de meses para 3C 273.

Foi confirmada a presença de uma fonte de radiação gama na posição de 3C 273, que constitui a primeira fonte extragalática identificada nesta faixa de energia (Bignami et alii, 1981). Entre julho de 1976 a junho de 1978 não foi observada nenhuma variação de fluxo na faixa de 50 a 800 MeV, dentro de uma incerteza de cerca de 50% (Bignami et alii, 1981).

#### 1.2.4 - OV 236 (1921-29)

É um quasar que apresenta grande atividade. Andrew et alii (1978) observaram-no em comprimentos de onda de 2,8 cm de julho de 1971 a dezembro de 1976 e de 4,5 cm de março de 1972 a junho de 1973, respectivamente. Sua densidade de fluxo variou cerca de 5,4 Jy (mínima) a aproximadamente 8,2 Jy (máxima) em 2,8 cm. Já em 4,5 cm variou aproximadamente 6,2 Jy a 7,4 Jy. Também foi estudado por Dent e Balonek (1980) nas frequências de 7,9, 15,5, 31,4 e 89,6 GHz durante um período de aproximadamente oito anos.

Houve registro de decrêscimo de sua densidade de fluxo (dezembro de 1979) em 90 GHz, quando num período de três dias decresceu por um fator de 2,7, levando dois dias para atingir seu valor original (Epstein et alii, 1980).

Gilmore (1980) o observou na faixa óptica, constatando boa correlação entre variabilidades óptica e de rádio. Esta radiofontes neste período se apresentou em grande atividade, razão pela qual foi escolhida para este trabalho.





## CAPÍTULO 2

### MODELOS DE QUASARES E NÚCLEOS GALÁCTICOS ATIVOS

#### 2.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as características espectrais dos quasares e núcleos galácticos ativos, além dos modelos que melhor as reproduzem. A seguir discutem-se as informações físicas que podem ser obtidas do estudo da variabilidade, da intensidade de radiação e do espectro, bem como os modelos que poderiam explicar as características observacionais desta variabilidade.

#### 2.2 - ESPECTRO DE QUASARES E NÚCLEOS GALÁCTICOS ATIVOS

Os espectros de quasares e núcleos galácticos ativos podem ser representados na faixa de comprimento de onda milimétrica, por uma lei de potência da forma:

$$S \propto \nu^\alpha, \quad \text{com } \alpha \lesssim 0, \quad (2.1)$$

onde:

$S$  é a densidade de fluxo,

$\nu$  é a frequência,

$\alpha$  é o índice espectral.

Este espectro pode ser explicado por radiação sincrotrônica de uma nuvem de elétrons relativísticos num campo magnético. Na faixa de frequências mais baixas do espectro, a densidade de fluxo aumenta com a frequência ( $\alpha > 0$ ), devido provavelmente à auto-absorção (Kellermann, 1974). Em frequências muito altas existe um "corte" na densidade de fluxo, devido possivelmente a perdas de energia dos elétrons relativísticos por efeito Compton inverso, que para essas ener

gias  $\bar{e}$  mais eficiente do que a radiação sincrotrônica (Jones et alii, 1974a).

No modelo mais simples de quasares (Kellermann, 1974), considera-se uma nuvem homogênea de elétrons relativísticos num campo magnético  $B$ . A distribuição de elétrons segue uma lei de potência:

$$N(E) \propto E^{-\delta}, \quad (2.2)$$

onde:

$N(E)$   $\bar{e}$  o número de elétrons por unidade de volume e energia,

$E$   $\bar{e}$  a energia dos elétrons,

$\delta$   $\bar{e}$  o índice de distribuição de energia dos elétrons relativísticos.

Neste modelo, a parte do espectro correspondente a baixas frequências  $\bar{e}$  opticamente espessa e a parte correspondente a altas frequências  $\bar{e}$  opticamente fina.

A frequência para a qual a profundidade óptica  $\bar{e}$  próxima a 1, a qual corresponde ao máximo do espectro,  $\bar{e}$  dada por Kellermann (1974):

$$\nu_m \sim 10 S^{2/5} e^{4/5} B^{1/5} (1+z), \quad (2.3)$$

onde:

$S(\nu)$   $\bar{e}$  a densidade de fluxo,

$e$   $\bar{e}$  o tamanho angular da fonte,

$B$   $\bar{e}$  o campo magnético uniforme,

$z$   $\bar{e}$  o desvio para o vermelho.

Quando  $\nu \gtrsim 2 \nu_m$ , a fonte é transparente; quando  $\nu \lesssim \nu_m/2$ , é opaca.

A forma de espectro para a região transparente é dada por:

$$S(\nu) \propto \nu^\alpha, \quad (2.4)$$

onde:  $\alpha = \frac{1-\delta}{2}$  é o índice espectral.

Para baixas frequências o espectro sincrotrônico tem a seguinte forma:

$$S(\nu) \propto \nu^{2,5}. \quad (2.5)$$

Geralmente os quasares e núcleos galácticos ativos apresentam, em baixas frequências, índices espectrais que variam entre -0,4 e 1. Modelos não-homogêneos conseguem reproduzir melhor os espectros, com uma escolha apropriada dos parâmetros utilizados (Jones et alii, 1974a; Jones et alii, 1974b).

A existência de espectros planos é interpretada como a superposição de espectros de diversos componentes (Andrew and Kraus, 1970).

O efeito Compton inverso impõe um limite para a temperatura de brilhância dessas fontes. Se esta temperatura for maior que o limite de  $10^{11} - 10^{12}$  K imposto pelo esfriamento Compton inverso, os elétrons relativísticos rapidamente perderão sua energia devido a choques com fótons e, conseqüentemente, apresentarão um espectro diferente do observado (Pacholczyk, 1979).

### 2.3 - DETERMINAÇÃO DA DIMENSÃO DE UMA FONTE ATRAVÉS DO SEU PERÍODO DE VARIABILIDADE

Seja uma fonte cuja superfície esférica de raio R oscila em brilhância com um período (Burbidge and Burbidge, 1967).

$$P_0 = \frac{2\pi}{w_0}, \quad (2.6)$$

onde  $w_0$  é a frequência de oscilação da superfície.

Todas as partes da fonte variam em fase e em brilhância superficial, ou seja:

$$I = \bar{I} + I_f \text{ sen } w_0 t \quad (2.7a)$$

e

$$\bar{I} \geq I_f \geq 0, \quad (2.7b)$$

onde:

$I$  é a brilhância superficial,

$\bar{I}$  é a brilhância superficial média,

$I_f \text{ sen } w_0 t$  é uma perturbação.

A luminosidade total,  $L$ , é calculada por uma integração sobre a superfície, usando a lei do co-seno de Lambert da brilhância superficial:

$$L = \pi R^2 [ \bar{I} + I_f F(\phi) \text{ sen } (w_0 t - \eta) ], \quad (2.8)$$

$$\phi = \frac{2\pi R}{cP_0}, \quad (2.9)$$

onde  $c$  é a velocidade da luz.

$$t_{g\eta} = \frac{\phi - \text{sen}\phi}{1 - \text{cos}\phi}, \quad (2.10)$$

$$F(\phi) = \frac{2}{\phi^2} [2 + \phi^2 - 2 \text{cos}\phi - 2\phi \text{sen}\phi]^{1/2}. \quad (2.11)$$

Para  $\phi \gg 1$ .

$$F(\phi) \approx \frac{2}{\phi} = \frac{cP_0}{\pi R} \quad (2.12)$$

$F(\phi)$  é a fração de flutuação verdadeira, observável em uma certa distância.

Das Expressões 2.7b e 2.9, tem-se a mudança fracional na luminosidade,  $\Delta L$ , é dada por:

$$\frac{\Delta L}{\bar{L}} \leq 2 F(\phi) \quad (2.13)$$

ou

$$\frac{\Delta L}{\bar{L}} \leq \frac{2 c P_0}{\pi R}, \quad (2.14)$$

onde  $\bar{L}$  é a luminosidade média.

Então

$$R \leq \frac{2 c P_0}{\pi} \left( \frac{\bar{L}}{\Delta L} \right). \quad (2.15)$$

Para um observador num sistema de referência fora da fonte

$$P = P_0 (1 + z), \quad (2.16)$$

onde  $z$  é o desvio para o vermelho.

Para que as variações de fluxo sejam bem estabelecidas observacionalmente, é usual que  $\Delta L \sim \bar{L}$ . Então,

$$R \lesssim cP. \quad (2.17)$$

Consequentemente a Equação 2.17 impõe um limite superior ao tamanho do objeto para um dado valor do período de variabilidade  $P$ .

O problema deste modelo torna-se mais acentuado quando os quasares são considerados cosmológicos. Pela Equação 2.17, para variações muito rápidas na densidade de fluxo, estimam-se dimensões muito pequenas das regiões emissoras e estas variações seriam mais bem explicadas por este modelo se os quasares fossem considerados locais.

#### 2.4 - MODELOS DE QUASARES E NÚCLEOS GALÁCTICOS ATIVOS QUE LEVAM EM CONTA EXPANSÃO NÃO-RELATIVÍSTICA

O modelo desenvolvido por Van der Laan (1966) considera a expansão de uma nuvem esférica de raio  $r$  numa taxa  $\dot{r}$ . Dentro dela os elétrons possuem distribuição isotrópica de velocidades e distribuição de energias com a seguinte forma:

$$N(E)dE \propto E^{-\delta} dE. \quad (2.18)$$

Inicialmente esta nuvem  $\bar{e}$  compacta, sendo opticamente espessa em todas as radiofrequências. A densidade de fluxo para uma fonte opticamente espessa  $\bar{e}$  dada por Kellermann e Pauliny-Toth(1968):

$$S(\nu, t) \propto B^{-1/2}(t) \nu^{5/2} \theta^2(t), \quad (2.19)$$

onde:

$S(\nu, t)$   $\bar{e}$  a densidade de fluxo em função da frequência e do tempo,

$B(t)$   $\bar{e}$  o campo magnético,

$\nu$   $\bar{e}$  a frequência de observação,

$\theta(t)$   $\bar{e}$  a dimensão angular da fonte.

Se durante a expansão da nuvem o fluxo magnético  $\bar{e}$  conservado, então:

$$\frac{B(t_2)}{B(t_1)} = \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2, \quad (2.20)$$

onde:

$B(t_1)$  e  $B(t_2)$  são os campos magnéticos em duas épocas distintas,  $t_1$  e  $t_2$ ;

$r_1$  e  $r_2$  são os raios da nuvem esférica nos instantes de tempo  $t_1$  e  $t_2$ , respectivamente.

Se a velocidade de expansão da nuvem  $\bar{e}$  constante,

$$\frac{B(t_2)}{B(t_1)} = \left( \frac{t_1}{t_2} \right)^2 \quad (2.21)$$

e

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{t_2}{t_1}, \quad (2.22)$$

onde  $\theta_1$  e  $\theta_2$  são as dimensões angulares da nuvem em instantes de tempo  $t_1$  e  $t_2$ , respectivamente.

Tem-se portanto

$$S(t_2) = S(t_1) \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^3. \quad (2.23)$$

A radiação sincrotrônica de uma fonte opticamente fina a qual subtende um ângulo  $\theta$  observada em uma frequência  $\nu$ ,  $\bar{e}$

$$S(\nu) \propto \chi B^{\frac{\delta+1}{2}} \theta^3 \nu^\alpha, \quad (2.24)$$

onde  $\chi$  está relacionado com o raio da nuvem esférica:

$$\frac{\chi_2}{\chi_1} = \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^{\delta+2}. \quad (2.25)$$



Utilizando as Expressões 2.20, 2.24 e 2.25, tem-se

$$S_2 = S_1 \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^{-2\delta} = S_1 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^{-2\delta}. \quad (2.26)$$

Da Expressão 2.23 pode-se concluir que na região do espectro onde a fonte é opaca ( $\tau \gg 1$ ), a densidade de fluxo aumenta com o tempo. Da Expressão 2.26, onde a fonte é transparente ( $\tau \ll 1$ ), a densidade de fluxo decresce com o tempo.

A profundidade óptica ( $\tau$ ) é dada pela solução da seguinte equação (Kellermann e Pauliny-Toth, 1968):

$$e^\tau - \frac{(\delta+4)\tau}{5} - 1 = 0, \quad (2.27)$$

cuja solução é

$$\tau = \frac{1}{2} \{ [ 9 - 4,8 (1-\delta) ]^{1/2} - 3 \}. \quad (2.28)$$

Não existe solução para  $\delta \leq 1$ .

Este modelo é matematicamente simples, pois utiliza-se de uma distribuição esférica de elétrons relativísticos que se expandem em uma velocidade constante, uniforme e não-relativística.

Ele explica razoavelmente bem o comportamento de alguns quasares e núcleos galácticos cujas densidades de fluxo variam em períodos longos de tempo (anos), devido ao fato de a expansão da nuvem esférica não ser relativística. Quanto às fontes que apresentam variações muito rápidas em suas densidades de fluxo (dias, semanas), não se pode

explicar este comportamento através de uma lenta expansão de uma nuvem de elétrons relativísticos a princípio opticamente opaca, que se torna opticamente fina. Ter-se-ia de levar em conta uma expansão relativística, considerando principalmente as distâncias cosmológicas desses objetos. Na realidade, um modelo mais complexo teria de considerar um fluxo magnético não-conservativo, a variação do índice  $\delta$ , além de uma velocidade variável e relativística.

Neste modelo de expansão não-relativística existem muitos pontos discordantes ao comparar o modelo com o que é observado de fontes variáveis. Segundo Marscher (1978a), os pontos de discrepância são os seguintes:

- a) A observação de algumas fontes variáveis mostra que o espectro tem forma plana abaixo da frequência de corte (frequência na qual ocorre um "corte" no espectro da fonte em observação).
- b) Há uma fraca dependência da variação da densidade de fluxo da fonte com a frequência observada.
- c) Ocorre uma dependência fraca entre a duração do máximo na densidade de fluxo e a frequência de observação.
- d) A densidade de fluxo cresce lentamente antes e decai rapidamente depois de seu máximo.

Para resolver essas discrepâncias foram postulados os modelos de nuvens de elétrons com expansão em velocidades relativísticas.

## 2.5 - MODELOS DE EXPANSÃO RELATIVÍSTICA PARA EXPLICAR VARIAÇÕES RÁPIDAS NA DENSIDADE DE FLUXO

Rees (1967) sugeriu que a fonte estivesse se expandindo com velocidade próxima à da luz. Os sinais que se originam de diferentes regiões da fonte teriam diferentes intervalos de tempo para chegarem ao observador, proporcionando a ilusão de uma velocidade de propagação superior a  $c$ . Consequentemente poder-se-ia estimar um tamanho angular maior e uma temperatura de brilhância menor do que a estimada anteriormente para a fonte considerando que as dimensões da fonte não excedem a distância percorrida pela luz durante um tempo  $P$  e que a distância do quasar é dada pelo seu desvio para o vermelho, isto é (Burbidge e Burbidge, 1967):

$$d = \frac{cz}{H}, \quad (2.29)$$

onde:

$d$  é a distância cosmológica do objeto,

$H$  é a constante de Hubble.

Rees (1967) considerou em seu modelo um observador a uma certa distância da explosão. Esta ocorre em um ponto distante  $Q$  na fonte, no tempo  $t = 0$ . Os fragmentos da explosão são ejetados de  $Q$  em todas as direções com velocidades que podem ser relativísticas as quais, depois de um certo tempo  $t$ , permanecem constantes. Por hipótese o centro da explosão  $Q$  está em repouso em relação ao observador situado num ponto  $O$ . Num tempo  $t > 0$  o material ejetado com velocidade  $v$  aparecerá sobre uma superfície.

$$r = \frac{vt}{\left(1 - \frac{v}{c} \cos\theta'\right)}, \quad (2.30)$$

onde:

- $r$  é a posição aparente das partículas a partir do ponto  $Q$ ,
- $t$  é o tempo transcorrido após a explosão,
- $v$  é a velocidade no referencial da fonte,
- $\theta'$  é o ângulo entre o movimento e a linha de visada.

Quando  $v \sim c$ , a distância que uma partícula parece ter-se movido depende da direção do movimento, como visto na Equação 2.30, e a superfície será um esferoide com eixo ao longo de  $\vec{QO}$ , com excentricidade  $v/c$ . As partículas que possuem velocidades transversais maiores são aquelas com  $\theta' = \cos^{-1}(v/c)$  (Figura 2.1) e esta velocidade transversal é dada por

$$v_T = \gamma v, \quad (2.31)$$

onde  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$  é o fator de Lorentz.

$$\text{Quando } v \sim c \Rightarrow v_T \gg c.$$

Devido a este fato, o tamanho angular aparente de um objeto que se expande pode aumentar rapidamente e, conseqüentemente, a densidade de fluxo pode também variar rapidamente.

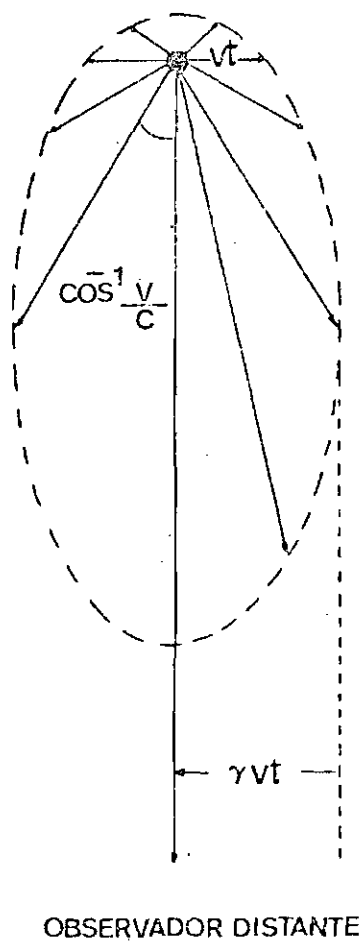


Fig. 2.1 - Cinemática de uma expansão relativística com velocidade  $v$ .  
FONTE: Rees (1967), p. 347.

Pode-se dividir a evolução de uma fonte em três fases distintas:

a) Fase I

Nesta fase a auto-absorção sincrotrônica é importante e o fluxo que é observado vem de uma fina camada superficial que se move com velocidade constante  $v_0 \sim c$ , relativa a  $Q$ . Somente as partes do esferoide cujas velocidades fazem um ângulo  $\theta' \leq \cos^{-1}(v_0/c)$  contribuirão com o fluxo observado. A densidade de fluxo é dada por

$$S(\nu) = \frac{8}{35} (1 + 6\sqrt{2}) \frac{\pi \Delta c^2 t^3 H_0^{-1/2} \gamma_0^{7/2} \nu^{2,5}}{d^2}, \quad (2.32)$$

onde:

$\Delta \sim 3 \times 10^7$  quando o campo magnético  $H_0$  está em gauss e a frequência em MHz;

$t$  é o tempo em que a radiação atinge o observador;

$d$  é a distância entre  $Q$  e  $Q_0$ ;

$H_0$  é o campo magnético em um ponto de fonte;

$\gamma_0$  é uma das condições de contorno para a fonte:

$$\gamma = \gamma_0 \quad \text{e} \quad v = v_0 \quad \text{para} \quad t = 0.$$

Podê-se escrever a Equação 2.32 como

$$S(\nu) \propto t^3. \quad (2.33)$$

b) Fase II

Durante esta fase algumas partes da fonte serão transparentes. A radiação escapa livremente em regiões próximas ao contorno da fonte ( $\gamma = \gamma_0$ ,  $v = v_0$ ), nos estágios iniciais de expansão. Nesta fase a fonte está dividida em duas regiões: uma transparente com  $\tau < 1$  (região I) e uma opaca com  $\tau > 1$  (região II), sendo  $\tau$  a profundidade óptica. A densidade de fluxo será composta por uma integração sobre a superfície da região II e por uma integração através da região I, desprezando-se a auto-absorção.

Quanto maior o valor de  $\gamma_0$ , maior é a duração da fase II em relação à fase I (Figura 2.2).

A densidade de fluxo comporta-se da seguinte forma:

$$S(\nu) \propto t^{-\frac{2(5+\alpha)}{5+6\alpha}} \quad \text{para } \alpha \geq 0, \quad (2.34)$$

$$S(\nu) \propto t^{-2(2\alpha+1)} \quad \text{para } \alpha \leq 0, \quad (2.35)$$

onde  $\alpha$  é o índice espectral para a região considerada na fonte.

A razão dos diferentes expoentes nas duas equações acima deve-se ao fato de que quando o índice espectral  $\alpha > 0$ , a maior parte do fluxo vem da região II (opaca), e quando  $\alpha < 0$ , a contribuição da região I (transparente) é maior.

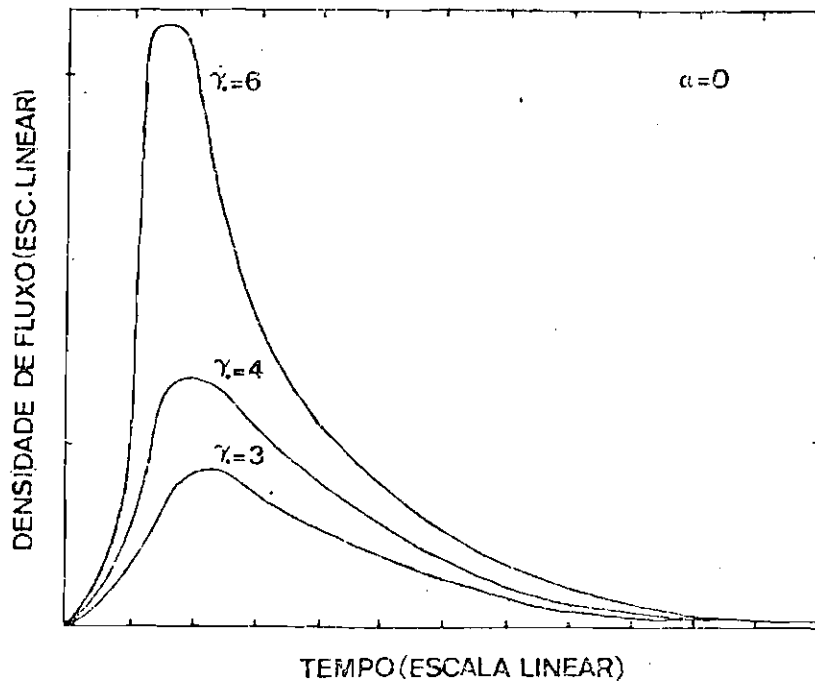


Fig. 2.2 - Comportamento da densidade de fluxo, ao longo das três fases de evolução de uma fonte, para o índice espectral igual a 0.

FONTE: Rees (1967), p. 354.



c) Fase III

Durante esta fase a densidade de fluxo comporta-se como

$$S(v) \propto t^{-2(2\alpha+1)}. \quad (2.36)$$

Para  $\alpha = 0$ ,  $S(v) \propto t^{-2}$  tanto nesta fase quanto na fase II.

Para  $\alpha = 1$ ,  $S(v) \propto t^{-\frac{12}{11}}$  durante a fase II e  $S(v) \propto t^{-6}$  durante a fase III.

Portanto, em comparação com o comportamento da densidade de fluxo quando  $\alpha = 0$ , seu decréscimo é mais lento durante a fase II, mas cai com  $t^{-6}$  durante a fase III (Figura 2.3).

As Figuras 2.2 e 2.3 mostram o comportamento temporal da densidade de fluxo quando  $\alpha = 0$  e  $\alpha = 1$  para diferentes valores de  $\gamma_0$ .

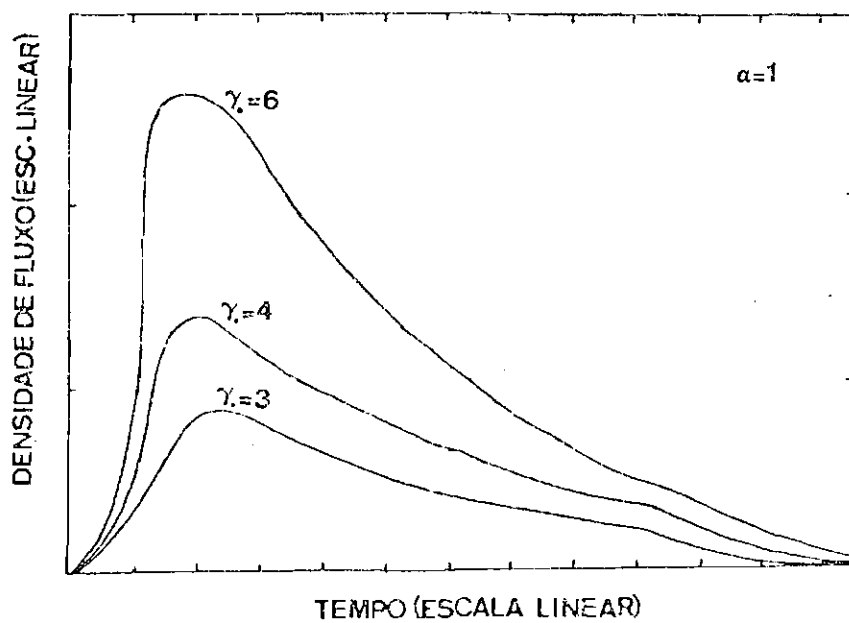


Fig. 2.3 - Comportamento da densidade de fluxo, ao longo das três fases de evolução de uma fonte, para o índice espectral igual a 1.

FONTE: Rees (1967), p. 354.

Desta discussão pode-se observar que este modelo proporciona mudanças arbitrárias na densidade de fluxo, quando se escolhem valores de  $\alpha$  e  $\gamma_0$  apropriados.

Marscher (1978b), baseando-se nas idéias de Rees (1967), desenvolveu um modelo que pode explicar adequadamente as características de variação de fluxo em radiofontes compactas. Nele é considerada a formação de uma onda de destruição relativística quando a energia liberada num evento, em um quasar, é muito maior que a energia de reposso dos fragmentos em torno.

A temperatura máxima de uma fonte que se expande relativisticamente é dada por Marscher (1978a):

$$T_{\max} = T_{NR} \left( \frac{\gamma_{\text{plasma}}}{1+z} \right)^{1,2}, \quad (2.37)$$

onde:

$$\gamma_{\text{plasma}} = \frac{\gamma_{\min}}{\sqrt{2}} \quad \text{é o fator de Lorentz do plasma;}$$

$z$  é o desvio para o vermelho;

$T_{NR}$  é a temperatura de brilhância para a expansão não-relativística, imposta pelo efeito Compton inverso:  $T_{NR} \approx 10^{11}$  a  $10^{12}$  K.

Segundo Marscher (1978b), o fator de Lorentz mínimo,  $\gamma_{\min}$ , para reduzir a temperatura de brilhância é dado por:

$$\gamma_{\min} = 1,14 \left( \frac{T}{T_{NR}} \right)^{1/3,2} (1+z)^{3/8}, \quad (2.38)$$

onde  $T$  é a temperatura de brilhância para fontes com variações rápidas em sua densidade de fluxo.

Terrell (1977) mostrou que fontes que se expandem relativisticamente não produziram pulsos curtos de luminosidade. A variação do fluxo estaria ligada somente ao tamanho de superfície que estivesse se expandindo e não a velocidades relativísticas. Konigl (1978) provou que o modelo de Terrell (1977) não era geral, mostrando que variações "superluminais", ou seja, pulsos de duração curta, poderiam ser produzidas numa região opticamente opaca da fonte, como é visto na Figura 2.4.

Christiansen e Scott (1977) também interpretaram as variações "superluminais" que têm origem em explosões relativísticas, as quais se propagam nas regiões mais internas das fontes, através do gás em torno delas.

Pacholczyk e Scott (1976) acham que a aceleração turbulenta e a expansão adiabática de um plasma que contém elétrons relativísticos poderiam explicar a variabilidade associada a radiofontes compactas, mas esta não pode ser explicada pelas explosões de supernova, pois essas explosões não produzem número significativo de partículas relativísticas (Beall, 1979).

## 2.6 - ACRÉSCIMO DE MASSA A BURACOS NEGROS

O acréscimo de gás a buracos negros é uma hipótese bastante interessante, pois num colapso a liberação de energia é muito grande. Mas o problema que surge é devido ao fato de a liberação de energia dever ocorrer durante um tempo longo e o colapso, ao contrário, possuir duração muito curta. Pensando neste problema, Linde-Bell (1969) sugeriu que a própria matéria em torno do buraco, devido à sua enorme

quantidade, estaria alimentando continuamente a fonte de energia. Outra questão a ser levantada quando se levam em conta buracos negros é que estes necessitam, para liberar energia, da queda de matéria em direção ao seu centro, mas observacionalmente tem-se visto apenas ejeção de matéria, o que aumenta o problema de usá-los como fonte de energia.

Lovelace (1976) considerou um disco de acréscimo que atua como um dínamo elétrico, produzindo dois feixes de partículas ultra-relativísticas diametralmente opostos. Neste modelo, este disco de acréscimo localiza-se em torno do buraco negro. Através da perda de massa das estrelas ou da aproximação destas ao buraco negro, o material gasoso fornecido por estes dois fenômenos é acrescentado ao disco. Além deste modelo existem o de Pringle et alii (1973), que considera os efeitos observáveis sobre buracos negros massivos; o de Blandford (1976); e o de Lynden-Bell e Rees (1971), que afirma que a maior parte da radiação de um buraco negro tem origem térmica.

Shields e Wheeler (1978) dividiram os modelos que levam em conta o acréscimo de gás em duas categorias:

- a) Aqueles aos quais o buraco negro acrescenta estavelmente o gás como ele é produzido.
- b) Aqueles nos quais o gás é estocado em períodos de calma e eventual e rapidamente consumido, liberando energia.

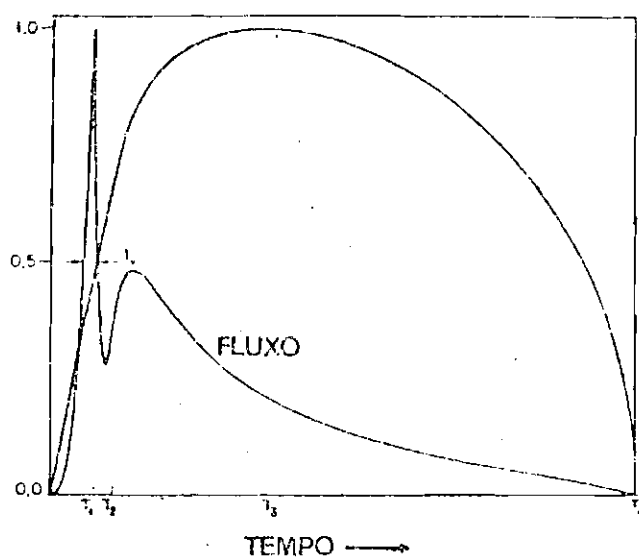


Fig. 2.4 - Evolução da densidade de fluxo opticamente opaco e do raio aparente da fonte ao longo do tempo.

( $t_1$  é a escala de tempo para variações de fluxo).

FONTE: König1 (1978), p. 735.

Mas isso esbarra em algumas dificuldades, pois tem-se observado variabilidade em escalas de tempo de meses, semanas e dias; os modelos que levam em conta o acréscimo de gás estimam que a escala de tempo do disco de acréscimo seja de  $10^7$  anos, o que certamente entra em contradição com as escalas acima. A rápida variabilidade poderia ser atribuída a instabilidades gravitacionais, mas estas prevêem variações de centenas de anos e não mostram periodicidade, como já observado em alguns objetos. Vila (1979) contornou este problema interpretando as variações de luminosidade como pulsações em discos de acréscimo, as quais seriam perpendiculares aos seus planos de simetria. Cada disco tem um determinado raio e para diferentes raios têm-se diferentes períodos de pulsação. As variações periódicas observadas podem ser explicadas pela superposição de pulsações independentes.

Abramowicz e Nobili (1982) mostraram que a teoria do buraco negro pode explicar periodicidades bem mais curtas que a escala de tempo mínima para a periodicidade, dada por Elliot e Shapiro (1974):

$$t_{\min} = \frac{\text{Raio Gravitacional}}{c} = 10^{-5} \left( \frac{M}{M_{\odot}} \right), \quad (2.39)$$

onde:

$M$  é a massa do buraco negro,

$M_{\odot}$  é a massa do sol,

$T_{\min}$  é a escala de tempo para variações de fluxo.

Na amostra de objetos estudada por Elliot e Shapiro (1974), todos os objetos haviam apresentado variabilidade maior do que o limite  $t_{\min}$ . Portanto, a conclusão de Abramowicz e Nobili (1982) a respeito da variabilidade é bastante importante.

## 2.7 - MODELO "SPINAR"

Além de todos os modelos anteriormente apresentados existe o modelo "spinar", que leva em conta a aceleração de elétrons em fortes campos elétricos próximos à superfície de um corpo massivo magnetizado (plasma) que gira. Os elétrons são acelerados ao longo de linhas de força magnéticas, com pequenos ângulos entre a velocidade e as linhas de campo magnético, e se movem para uma magnetosfera onde a configuração de campo magnético é aproximadamente dipolar (Morrison, 1969).

Cocke e Pacholczyk (1978) desenvolveram um modelo baseado no modelo "spinar", o qual leva em conta um mecanismo de radiação que consiste no espalhamento de elétrons de alta energia em irregularidades magnéticas. Os elétrons, em seu próprio sistema de referência, vêem as irregularidades magnéticas como fótons e sofrem o espalhamento de Thompson. Uma tentativa de explicação para essas irregularidades dada por Cocke e Pacholczyk (1978) é que podem ser causadas por instabilidades quando os elétrons interagem com um plasma térmico de baixa densidade. Este modelo explica razoavelmente variabilidades associadas a algumas fontes na faixa de centenas de MHz a poucos GHz.



## CAPÍTULO 3

### CARACTERÍSTICAS GERAIS DO RADIOTELESCÓPIO E TÉCNICAS OBSERVACIONAIS

#### 3.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas as características do radiotelescópio, a técnica utilizada nas observações, a calibração e a aquisição de dados.

#### 3.2 - CARACTERÍSTICAS DO RADIOTELESCÓPIO DO ITAPETINGA

O radiotelescópio do Itapetinga possui um prato parabólico refletor de 13,7 m de diâmetro, tendo desenho Cassegrain e montagem altazimutal. Encontra-se no interior de uma redoma de 22m de diâmetro, fabricada com plástico especial que reduz consideravelmente o desgaste, pela ação do tempo, dos componentes da antena e facilita a estabilidade de apontamento, evitando as deformações devidas à variações de temperatura.

Em 22 GHz trabalh-se com duas cornetas separadas de 20', uma recebendo o vetor de polarização vertical e a outra, o de polarização horizontal. Em 44 GHz trabalha-se com outras duas cornetas que recebem os dois tipos de polarização, separadas de 9'.

Nas medições foi utilizado o método de "potência total", isto é, mede-se a potência total de ruído da fonte e do receptor, os amplificadores deste último são lineares. O ganho do receptor é constante durante os intervalos de tempo de integração utilizados. O radiômetro é de faixa lateral dupla. A banda usada foi de 500 MHz, pois havia necessidade de operar com a maior faixa instantânea possível, para detetar maior quantidade possível de energia. Devido ao tipo de radiômetro, a banda total foi de 1 GHz.

### 3.3 - TÉCNICA UTILIZADA

Fez-se uso da técnica de "scan", que consiste em varrer com o feixe da antena a radiofonte. A duração de cada varredura é de 20 segundos. O tempo de rastreamento, já programado no computador HP 2114B, pode ser de 20 s, 30 s e 60 s. A escolha do tempo de varredura foi feita devido ao fato de ele possibilitar um rastreamento mais rápido, eliminando ao máximo o efeito devido à instabilidade atmosférica. Em média foram feitas 30 varreduras de 20 s cada, em cada observação, correspondente a um total de 10 minutos.

Além do método de varredura ("scan"), existem outros dois métodos de observação empregados no observatório de Itapetinga: o método "on-on" e o método "on-off síncrono". O primeiro consiste na utilização de duas cornetas com separação angular de 20' entre elas. A chave de um ferrite faz o chaveamento entre as duas, permitindo que o sinal proveniente delas atinja o receptor alternadamente. Este chaveamento é feito numa frequência de 30 Hz. A sequência é a seguinte: Enquanto a corneta 1 aponta durante 1 minuto para a radiofonte, a corneta 2 aponta para o céu. No minuto seguinte a situação se inverte: a corneta 1 aponta para o céu e a 2, para a radiofonte. A diferença dos sinais em cada par de minutos é então obtida. Como alguma das cornetas está sempre apontando para a radiofonte, a metade do tempo de observação está sendo verdadeiramente utilizada quando se observa o objeto. E isso constitui uma das principais vantagens deste método. O outro método consiste no seguinte: No primeiro minuto uma das cornetas observa a radiofonte e o céu; a outra corneta, somente o céu. Neste primeiro minuto tem-se um sinal correspondente a esta situação. No segundo minuto, a mesma trajetória é seguida pelo radiotelescópio, semelhante à do primeiro minuto. Desta vez as duas cornetas estão observando apenas o céu. Tem-se, então, o sinal correspondente a esta observação. Logo em seguida é feita a diferença entre esses dois sinais. A vantagem sobre o método "on-on" é a de eliminar efeitos sistemáticos produzidos pela redoma, o que o "on-on" não faz. Mas possui uma desvantagem: o tempo efetivo de observação reduz-se a metade.

Em relação aos dois métodos anteriores, o de varredura mostrou-se superior, pelo menos para fontes fortes, pois fornece melhor determinação a respeito das mudanças no céu, especialmente em condições de chuva e nebulosidade, além de possibilitar a visualização da presença da radiofonte no período de observação.

As fontes pontuais como os quasares foram rastreadas variando o azimute e conservando a elevação da fonte, ou vice-versa. Desta maneira foi possível verificar a precisão do apontamento. Cen A e Sgr A, que são fontes com tamanhos angulares iguais à dimensão do feixe da antena ou maiores que ele, foram rastreadas através de 3 pontos: um é central, nos planos das radiogaláxias, e os outros dois são diametralmente opostos, perpendiculares a esses planos. Este tipo de varredura, que utiliza os 3 pontos, fornece uma boa linha de base para eliminar a contribuição do céu, sem contaminação pela própria radiofonte.

### 3.4 - CALIBRAÇÃO

A técnica de calibração utiliza-se do "load" (carga) e elimina automaticamente o efeito de atenuação atmosférica. A sequência de operações é a seguinte:

- a) Determina-se a contribuição do céu e da carga, afastando o radiotelescópio da fonte vários graus em azimute. Obtém-se uma voltagem correspondente, sendo a temperatura do "load" de aproximadamente 295K:

$$T_{LOAD} = \epsilon V_{LOAD} \quad (3.1)$$

onde:

$T_{LOAD}$  é a temperatura de ruído da carga, e

$V_{LOAD}$  é a voltagem correspondente.

b) Retira-se o "load" e obtêm-se uma voltagem correspondente ao céu:

$$T_c = \xi V_c$$

onde:

$T_c$  é a temperatura de ruído do céu,

$V_c$  é a voltagem correspondente ao céu, e

$\xi$  é o fator de proporcionalidade.

c) Faz-se a diferença entre a temperatura de ruído de "load" e a do céu considerando uma temperatura ambiente de 295K:

$$\begin{aligned} T_{LOAD} - T_c &= \xi(V_{LOAD} - V_c) = 295 - 295 (1 - e^{-\tau \cos \theta}) = \\ &= 295 e^{-\tau \cos \theta}, \end{aligned} \quad (3.3)$$

onde:

$$T_c = T_{ambiente} (1 - e^{-\tau \cos \theta}) \quad (3.4)$$

em que  $\theta$  é a elevação da fonte e  $\tau$ , a profundidade óptica.

Desta forma, tem-se

$$\xi = \frac{295 e^{-\tau \cos \theta}}{V_{LOAD} - V_c} \quad (3.5)$$

d) Quando o feixe da antena passa pela posição da radiofonte:

$$T_{\text{fonte}} = (V_{(\text{FONTE}+\text{C}\bar{\text{E}}\text{U})} - V_c), \quad (3.6)$$

onde:

$V_{(\text{FONTE}+\text{C}\bar{\text{E}}\text{U})}$  é a contribuição da fonte e do céu.

e

$$T_{\text{fonte}} = T_o e^{-\tau \text{cosech}}, \quad (3.7)$$

em que  $T_o$  é a temperatura da fonte sem a atenuação da atmosfera.

Igualando as Equações 3.6 e 3.7, tem-se,

$$T_o = \frac{\xi(V_{(\text{FONTE}+\text{C}\bar{\text{E}}\text{U})} - V_c)}{e^{-\tau \text{cosech}}}. \quad (3.8)$$

Substituindo  $\xi$  da Equação 3.5 na Equação 3.8, obtém-se:

$$T_o = \frac{295(V_{(\text{FONTE}+\text{C}\bar{\text{E}}\text{U})} - V_c)}{(V_{\text{LOAD}} - V_c)}. \quad (3.9)$$

A redoma atenua o sinal quando este a atravessa. O fator de transmissão é de 0,77 para 22 GHz e de 0,66 para 44 GHz. Portanto na realidade tem-se de dividir a Equação 3.9 por 0,77 e 0,66, respectivamente, para obter a temperatura da fonte nas duas frequências.

### 3.5 - AQUISIÇÃO DE DADOS

A aquisição de dados é feita através de um voltímetro digital ligado à calculadora HP 9810A, que possui capacidade de 2000 passos programáveis e 110 registros de dados.

A forma do feixe da antena é aproximadamente gaussiana, cujo máximo corresponde a temperatura da fonte (Figura 3.1). Cada varredura através da fonte fornece 43 pontos, os quais são o resultado da integração ao longo da trajetória por um período de 1/3 segundos. Cada observação consiste geralmente na média de 30 varreduras na frente da fonte.

De cada observação subtrai-se uma linha de base que representa a contribuição do céu e do ruído do sistema, a qual é obtida através dos 14 pontos extremos em cada varredura.

O ruído da linha de base é calculado utilizando os 28 pontos da própria linha de base e é dado por:

$$\sigma_j \equiv \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (T_{ij} - T_{ij}^B)}{n - 1} \right\}^{1/2} \quad (3.10)$$

O subíndice i representa cada um dos 28 pontos utilizados na determinação da linha de base e o j, cada uma das observações de 10 minutos.

$T_{ij}^B$  representa o valor da linha de base ajustada, correspondente ao ponto i da observação j.

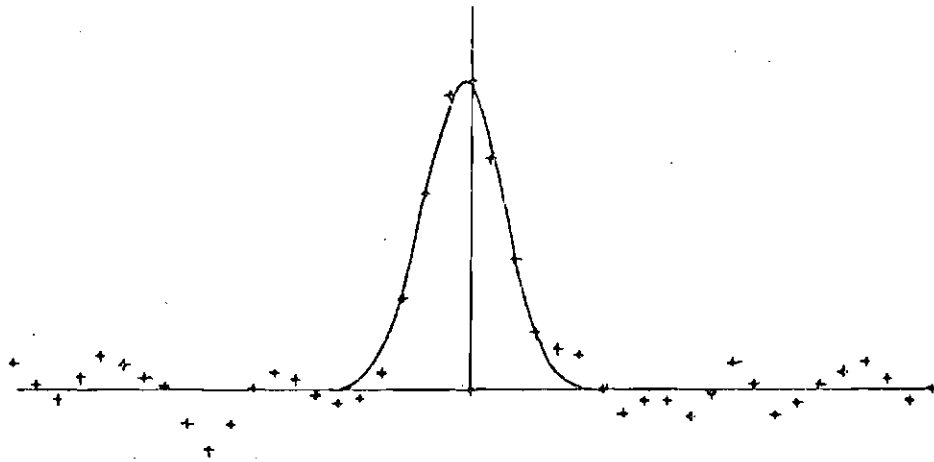


Fig. 3.1 - Observação de Virgo A durante 10 minutos.

Cada ponto  $\bar{e}$  separado por  $1'$ . A curva s $\bar{o}$  lida representa uma gaussiana depois de ser subtraída a linha de base.

Em primeira aproximação, a temperatura da fonte  $\bar{T}$  é calculada a partir do valor máximo obtido da varredura, depois de se subtrair a linha de base:

$$T_j^{MAX} = MAX . (T_{ij} - T_{ij}^B). \quad (3.11)$$

A média das observações é dada por:

$$\bar{T} = \frac{\left[ \sum \frac{T_j^{MAX}}{\sigma_j^2} \right]}{\sum 1/\sigma_j^2} \quad (3.12)$$

Para utilizar toda a informação contida nos rastreios, uma gaussiana é ajustada aos pontos centrais da varredura.

Nas observações o erro associado à temperatura de antena é dado por (Tateyama, 1982):

$$\epsilon = 0,7 \times (\text{RMS da Linha de Base}). \quad (3.13)$$

Para obter a densidade de fluxo das radiofontes estudadas em 22 GHz, é necessário utilizar a fonte calibradora Virgo A. Para isso fazem-se diversas observações desta radiofonte, as quais totalizam algumas horas de integração. Como resultado tem-se uma temperatura de antena correspondente a este objeto. Sabendo que em 22 GHz a densidade de fluxo de Virgo A é de 21,4 Jy (Klein, 1974), pode-se obter o fator de conversão  $\beta$  entre a temperatura de antena da fonte e a densidade de fluxo:

$$\beta = \frac{S(21,4 \text{ J}_y)}{T_A (\text{Virgo A})}. \quad (3.14)$$



Com este fator calculado, obtêm-se a densidade de fluxo das fontes pontuais de uma forma geral, pois  $S(\text{FONTES}) = \beta T_A(\text{FONTES})$ .

Virgo A também é utilizada como fonte calibradora em 44 GHz. Nesta frequência possui uma densidade de fluxo de 11,5 Jy. Conhecendo a temperatura de antena obtida das observações, pode-se obter o fator  $\beta$ , dado que a densidade de fluxo em 44 GHz é conhecida.

No entanto, em 44 GHz Virgo A possui temperatura de antena muito baixa. Devido a isto o planeta Júpiter foi utilizado como fonte calibradora. Por ser um planeta, é necessário fazer uma correção devido à sua distância, que varia durante o ano. Como no caso de Virgo A, também é encontrado um fator de conversão de temperatura de antena em densidade de fluxo. A determinação deste fator é feita calculando primeiramente a densidade de fluxo do planeta pela relação

$$S_{\text{JÚPITER}} = \frac{(6,49 \times 10^{-34}) \pi T_B G S_d^2}{\lambda^2} \quad (3.15)$$

onde:

$T_B$  é a temperatura de brilhância para Júpiter;

$S_d$  é o semidiâmetro em segundos de arco;

$G$  é a correção para o achatamento do planeta;

$\lambda$  é o comprimento de onda.

A temperatura de antena correspondente ao planeta deve ser calculada levando em conta o seu semidiâmetro, que depende do período de observação e do fator de atenuação da redoma. Em primeiro lugar calcula-se o fator de preenchimento do feixe:

$$F = \frac{0,693 \times (2 S_d)^2}{(\text{HPBW})^2}, \quad (3.16)$$

onde HPBW é a largura do feixe a meia potência.

Substitui-se, então, F da Equação 3.16 na Equação abaixo:

$$\rho = \frac{F}{(1 - e^{-F})} \quad (3.17)$$

onde  $\rho$  é um fator de proporcionalidade entre a temperatura de antena observada e a corrigida.

Substituindo  $\rho$  da Equação 3.17 na Equação abaixo,

$$T_A = \rho T_A^{\text{Observado}}, \quad (3.18)$$

obtem-se a temperatura de antena corrigida pelo alargamento do planeta. Agora corrige-se essa temperatura pelo fator de transmissão da redoma que é de 0,66 em 44 GHz e 0,77 em 22 GHz.

$$T_A^{\text{Corrigida}} = \frac{T_A}{\zeta'} \quad (3.19)$$

onde  $\zeta'$  é o fator de atenuação da redoma.

Sabendo a densidade de fluxo do planeta e sua temperatura de antena corrigida, calcula-se a eficiência da antena pela seguinte relação:

$$e = \frac{2 \kappa T^{\text{Corrigida}}}{S_{\text{JUPITER}} \pi R'^2}, \quad (3.20)$$

onde:

$R'$  é o raio da antena,

$\kappa$  é a constante de Boltzmann.

O fator de proporcionalidade entre a temperatura de antena de uma radiofonte e sua densidade de fluxo é dado por:

$$\beta = \frac{2\kappa}{\pi R'^2 e}. \quad (3.21)$$

Então tem-se

$$S_F = \beta T_F, \quad (3.22)$$

onde:

$T_F$  é a temperatura de antena de radiofonte.

$S_F$  é a densidade de fluxo da radiofonte.



## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS OBSERVACIONAIS OBTIDOS DAS RADIOFONTES

#### 4.1 - OBSERVAÇÕES E RESULTADOS

Para este trabalho foram observadas quatro radiofontes, das quais duas são quasares (OV 236 e 3C 273) e as outras duas constituem o centro não-térmico de nossa galáxia (Sgr A) e a radiogaláxia Cen A. Além dessas radiofontes, observaram-se fontes calibradoras como a radiogaláxia Virgo A, a região HII G 298.2-0.3 e o planeta Júpiter. Corrigiram-se os efeitos de variação da densidade de fluxo do planeta Júpiter com sua distância à Terra.

As observações foram feitas em sua maioria em 22 GHz, mas resultados em 44 GHz também serão apresentados neste capítulo. O período total da pesquisa foi de aproximadamente dois anos e meio, tendo sido interrompido várias vezes por motivo de ordem técnica e disponibilidade de tempo de observação.

Neste capítulo serão apresentados os resultados observacionais obtidos durante todo esse período de pesquisa. Em primeiro lugar serão apresentados os resultados obtidos pela observação de dois quasares e, a seguir, aqueles obtidos da radiogaláxia Cen A e do Centro Galáctico.

Existem incertezas que limitam a precisão da determinação das densidades de fluxo em comprimentos de onda milimétricos, tais como flutuações de curto período na transmissão atmosférica, que podem afetar a calibração e as características de transmissão em condições de chuva e tempo nublado. Devido a este fato, foram utilizadas as fontes calibradoras Virgo A, G298.2-0.3 e Júpiter. Através de simples observações dessas radiofontes não-variáveis durante o período de pesquisa, podem-se estimar os parâmetros responsáveis pelas flutuações.

TABELA 4.1

PERÍODO E FREQUÊNCIA DE OBSERVAÇÃO DAS RADIOFONTES  
DURANTE DOIS ANOS E MEIO DE PESQUISA

RADIOFONTE	PERÍODO DE OBSERVAÇÃO (DIA, MÊS E ANO)	FREQUÊNCIA DE OBSERVAÇÃO (GHz)
OV 236	08/07/80 - 01/08/80	22
	27/05/81 - 28/05/81	22
	10/10/81 - 11/10/81	22
	24/11/81 - 26/11/81	22
	15/12/81	22
	13/02/82 - 14/02/82	22
	14/03/82	22
	17/08/82	22
	20/08/82	44
	20/07/82 - 29/07/82	22
	20/07/82 - 25/07/82	44
	3C 273	08/07/80 - 01/08/80
17/10/81		22
27/11/81		22
17/12/81		22
13/02/82 - 14/02/82		22
13/03/82 - 15/03/82		22
19/08/82		22
22/08/82		44
20/09/82 - 28/09/82		44
04/11/82 - 11/11/82		22

(continua)

Tabela 4.1 - Conclusão

RADIOFONTE	PERÍODO DE OBSERVAÇÃO (DIA, MÊS E ANO)	FREQUÊNCIA DE OBSERVAÇÃO (GHz)
Sgr A	08/07/80 - 01/08/80	22
	10/10/81	22
	26/11/81 - 27/11/81	22
	29/11/81	22
	15/12/81 - 16/12/81	22
	13/02/82 - 14/02/82	22
	10/04/82 - 25/04/82	22
	10/04/82 - 25/04/82	44
	19/08/82	44
	20/08/82	22
	20/09/82 - 29/09/82	22
	20/09/82 - 29/09/82	44
	04/11/82 - 11/11/82	22
	Cen A	08/07/82 - 01/08/80
25/05/81 - 28/05/81		22
10/10/81 - 11/10/81		22
27/11/81 e 29/11/81		22
18/12/81		22
13/02/82 - 14/02/82		22
14/03/82		22
10/04/82 - 25/04/82		22
10/04/82 - 25/04/82		22
19/08/82		22
22/08/82		44
04/11/82 - 11/11/82		22

#### 4.2 - OV 236

Este quasar apresentava-se com variações lentas de  $\pm 25\%$  em comprimentos de onda centimétricos, até que de repente teve sua densidade de fluxo aumentada de um fator superior a 3 em 1979 (Dent and Balonek, 1980). Dent e Balonek (1980) o estudaram desde 1971 nas frequências de 7,9 GHz, 15,5 GHz, 31,4 GHz e 89,6 GHz, observando duas variações, uma lenta em 1977 e outra rápida em 1979, em todas as frequências acima.

Devido ao comportamento variável que este objeto vinha apresentando (Dent and Balonek, 1980), observou-se no rádio-observatório do Itapetinga, na frequência de 22 GHz, o quasar OV 236 num período de 24 dias, entre os meses de julho e agosto de 1980. Durante este período este objeto mostrou variações diárias em sua densidade de fluxo. As observações deste quasar foram feitas após o pôr-do-sol; durante essas horas existe um aumento nas flutuações de temperatura do céu que ainda não foram muito bem explicadas. Essas flutuações podem ser devidas à rápida queda de temperatura e ao conseqüente aumento de umidade. Talvez devido a isto esta radiofonte tenha apresentado o comportamento visto na Figura 4.1, que sugere variações de curto período. Nesta figura as barras de erro representam os erros padrões da média como determinados das flutuações em torno da linha de base. Na Tabela 4.2 pode-se notar que OV 236 apresentou durante o período de julho a agosto um aumento em sua densidade de fluxo de  $0,096 \pm 0,017$  Jy/dia, como estimado do coeficiente de regressão linear.

Em maio de 1981, OV 236 foi novamente observado em 22 GHz, tendo sua densidade de fluxo apresentado um decréscimo de um fator 2,5 em relação às observações de julho a agosto de 1980 (Figura 4.2). Esta radiofonte apresentou nos meses seguintes um aumento suave em sua densidade de fluxo, o qual continuou até setembro de 1982, quando alcançou  $14,1 \pm 0,1$  Jy (Tabela A.2).



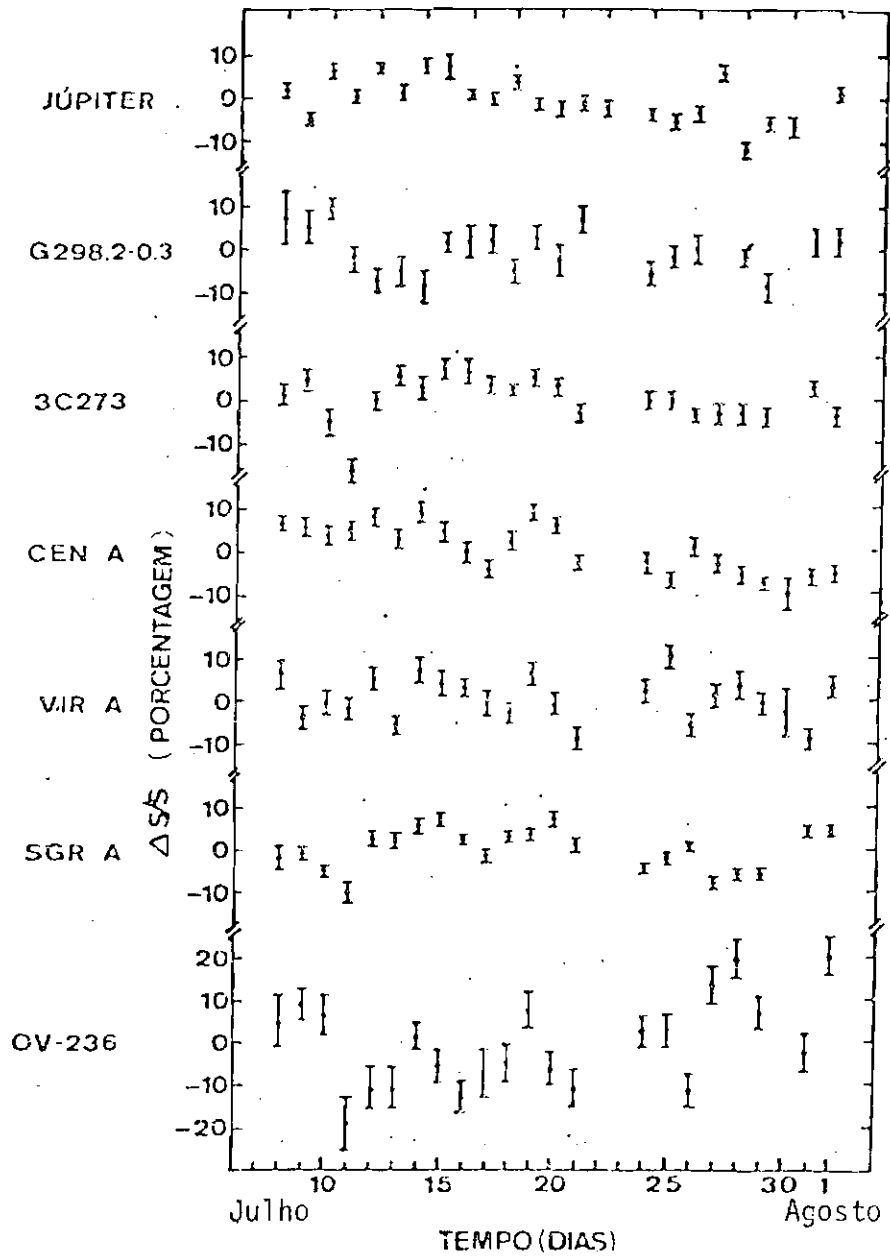


Fig. 4.1 - Representação percentual da densidade de fluxo em 22 GHz para as fontes observadas, em relação ao seu valor médio durante o período de observação.

TABELA 4.2

DENSIDADES DE FLUXO MÉDIA S E COEFICIENTE DE REGRESSÃO  
LINEAR C NO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE 03 DE JULHO  
E 01 DE AGOSTO DE 1980

RADIOFONTE	S (Jy)	C (Jy/dia)
Júpiter	$36,6 \pm 0,3$	$- 0,013 \pm 0,017$
G298.2-0.3	$18,9 \pm 0,2$	$- 0,016 \pm 0,020$
3C 273	$25,0 \pm 0,2$	$- 0,044 \pm 0,016$
Cen A	$26,9 \pm 0,3$	$- 0,200 \pm 0,017$
Virgo A	$21,5 \pm 0,2$	$0,002 \pm 0,017$
Sgr A	$51,8 \pm 0,5$	$- 0,049 \pm 0,021$
OV 236	$15,8 \pm 0,3$	$0,096 \pm 0,017$

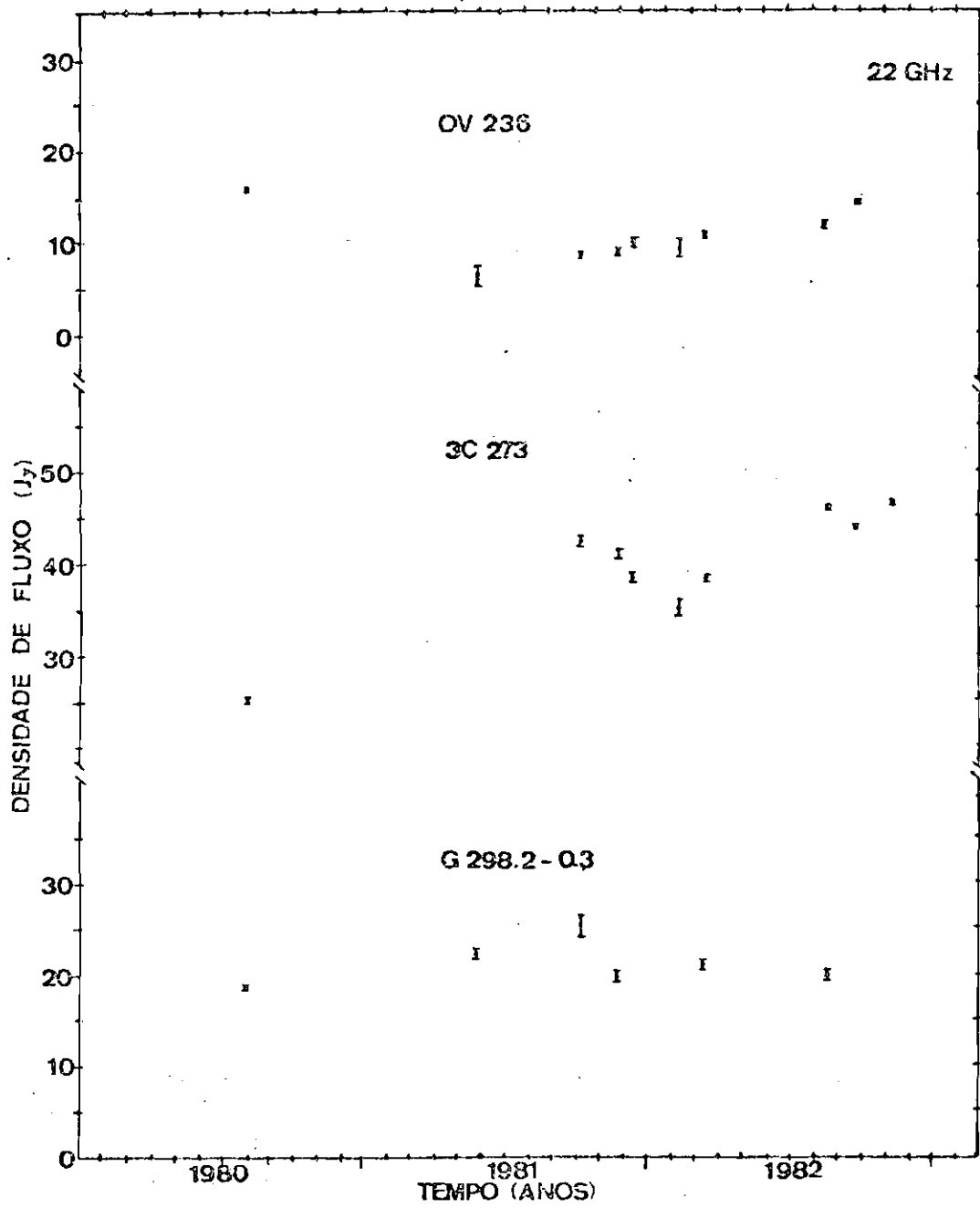


Fig. 4.2 - Radiofontes observadas em 22 GHz durante dois anos e meio de pesquisa.

No período compreendido entre 20 e 29 de setembro de 1982 foram novamente feitas observações diárias desta radiofonte, com o objetivo de detectar variações de curto período. Mas como pode ser visto pela Figura 4.3 e Tabela A.11, seu comportamento é semelhante ao da fonte calibradora Virgo A, não sugerindo este tipo de variabilidade.

Em 44 GHz, esta radiofonte foi observada diariamente em setembro de 1982 (Figura 4.4 e Tabela A.12), não apresentando variabilidade de curto período.

Da Figura 4.2 pode ser observado que OV 236 é um quasar que apresenta variabilidade de longo período em 22 GHz. Desta figura pode-se estimar um período aproximado de 26 meses para esta variabilidade, ou seja,  $68,4 \times 10^6$  segundos. Da Equação 2.17 pode-se determinar o raio da fonte emissora, que é aproximadamente de 0,7 pc. Segundo Rees (1967), o diâmetro de uma radiofonte que emite radiação sincrotrônica é dado por:

$$D \sim H^{1/4}, \quad (4.1)$$

onde  $D$  é o diâmetro mínimo de uma região na fonte que emite radiação sincrotrônica.

Pode-se então calcular o campo magnético associado a OV 236, que é cerca de  $10^{-5}$  gauss.

De Dent e Balonek (1980) podem-se estimar variabilidades de aproximadamente 3 anos em 15,5 GHz, se forem consideradas as duas variações na densidade de fluxo que ocorreram em 1977 e 1980. Para esta variabilidade, o raio da fonte emissora é cerca de 0,9 pc, segundo a Equação 2.17, e o campo magnético está em torno de  $10^{-4}$  gauss. Caso seja considerada apenas a variação rápida de 4 meses que ocorreu em 1979, tem-se um raio de 0,1 pc estimado para a região emissora a um campo magnético de  $10^{-8}$  gauss calculado pela Equação 4.1.

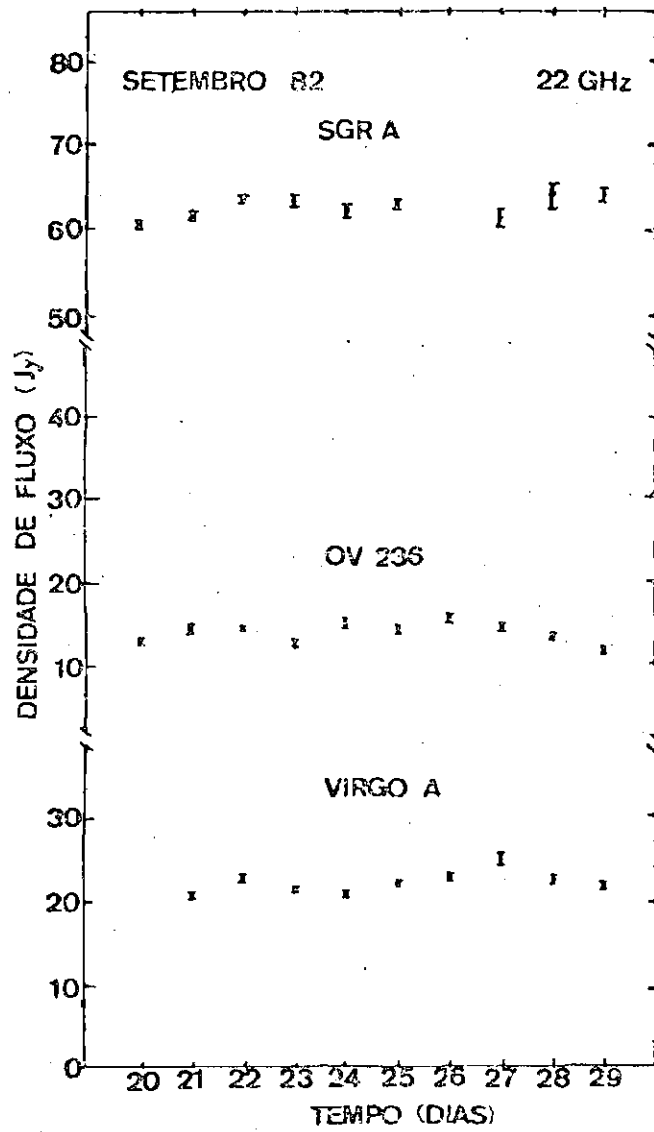


Fig. 4.3 - Densidades de fluxo de Sgr A, OV 236 e Virgo A em 22 GHz.

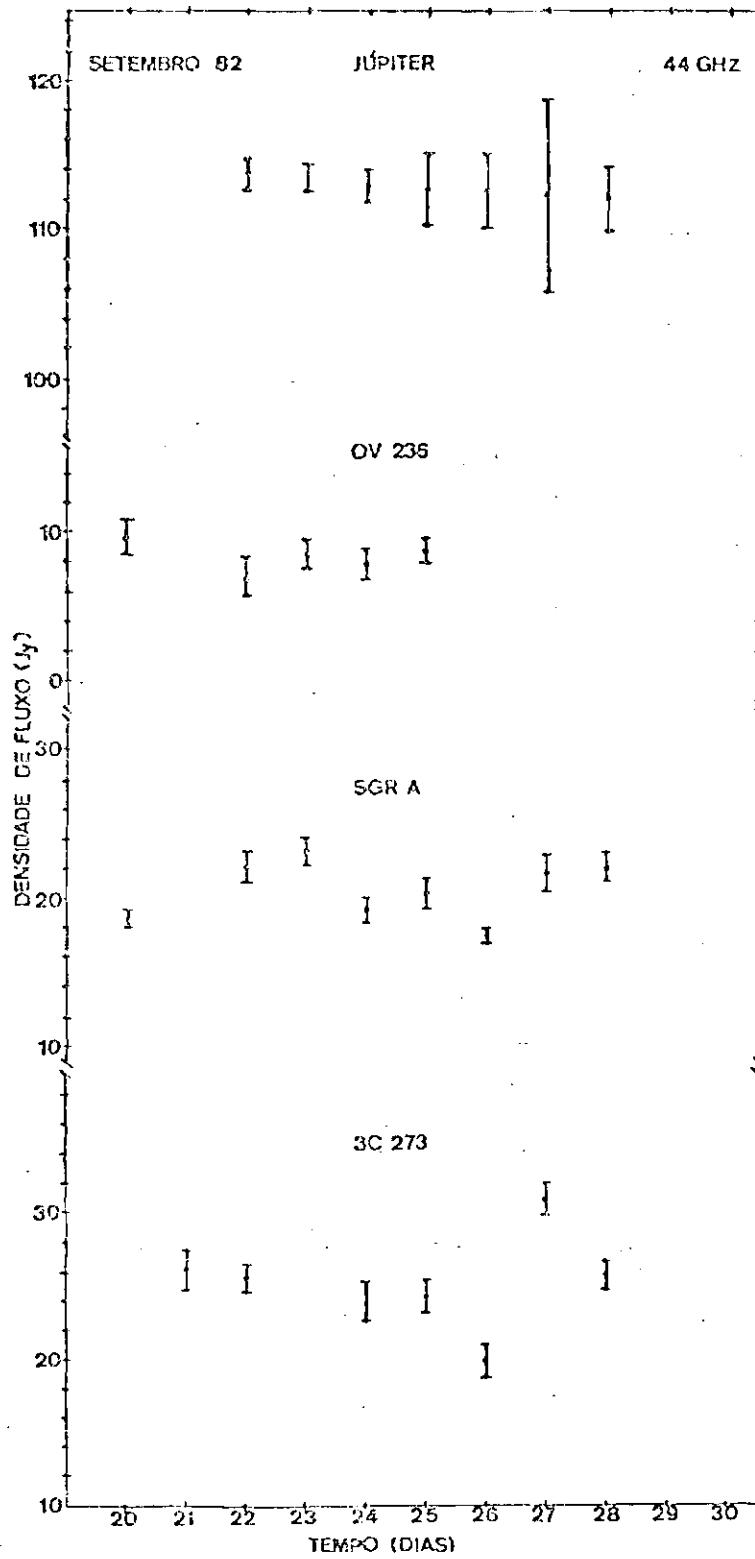


Fig. 4.4 - Comportamento de diversas fontes variáveis em relação à fonte calibradora Júpiter.

#### 4.3 - 3C 273

Este quasar possui duas componentes principais, das quais provêm a maior parte da radioemissão: a componente compacta com espectro plano (3C 273 B) e a componente mais difusa (3C 273 A) (Pearson et alii, 1981). A componente 3C 273 B foi uma das primeiras fontes a serem estudadas por interferometria de longa linha de base. Clark et alii (1967), utilizando esta técnica, estimaram que o tamanho angular de 3C 273 B era menor que 0,005" em 18 cm. Broten et alii (1967) estimaram, pela mesma técnica, um diâmetro menor que 0,02" em 448 MHz.

O quasar 3C 273 é um objeto que apresenta variabilidade em várias frequências, possuindo períodos que são de poucas horas a vários anos (Dent, 1965; Allen et alii, 1968; Manwell and Simon, 1968; Efanov et alii, 1977; Elias et alii, 1978; Primini et alii, 1979).

Efanov et alii (1977) observaram em 1,35 cm variabilidade de curto período neste objeto. Os períodos de variação estavam em torno de um dia ou mesmo de algumas horas, com amplitude total das variações relativas do fluxo de 33%.

No radiotelescópio do Itapetinga as observações desta radiofonte foram feitas diariamente em 22 GHz, durante o período de julho a agosto de 1980. Nesta época 3C 273 apresentou flutuações pico-a-pico de 10%, semelhante às das fontes calibradoras, isto é, com amplitude total pico-a-pico bem menor do que a observada por Efanov et alii (1977). Na Figura 4.1 pode-se notar a variação percentual da densidade de fluxo ao longo dos 24 dias de observação.

3C 273 também foi observado em outubro, novembro e dezembro de 1981 novamente em 22 GHz; até outubro de 1981 sua densidade de fluxo aumentou por um fator de 1,6, diminuindo um pouco em novembro e dezembro do mesmo ano (Tabela A.3 e Figura 4.2). Até fevereiro de 1982 sua densidade de fluxo diminuiu, caindo de  $42,4 \pm 1,3$  Jy em outubro de 1981 para  $35,1 \pm 0,8$  Jy em fevereiro de 1982.

Em março de 1982 este objeto foi observado durante três dias, em 22 GHz. Notaram-se algumas flutuações na densidade de fluxo, que sugerem a possível existência de variabilidade de curto período, quase no limite de confiabilidade das flutuações (Figura 4.5, Tabelas A.3 e A.7).

3C 273 também foi observado em setembro de 1982, entre os dias 21 a 30, na frequência de 22 GHz, notando-se variações horárias na densidade de fluxo, as quais como se repetem diariamente com a distância zenital, parecem ser devidas a erros de apontamento (Figura 4.6 e Tabela A.10).

Em novembro de 1982 foram feitas diversas observações desta radiofonte num período de sete dias, com o objetivo de detectar variabilidade de curto período em 22 GHz, mas 3C 273 manteve-se estável (Figura 4.7 e Tabela A.13).

Em 44 GHz esta radiofonte foi observada em agosto de 1982, fornecendo uma densidade de fluxo de  $39,0 \pm 1,25$  Jy como a média de algumas horas de integração. Nesta mesma época a densidade de fluxo em 22 GHz foi de  $45,7 \pm 0,3$  Jy.

3C 273 foi observado em 44 GHz em setembro de 1982, durante um período de oito dias. Nesta ocasião houve uma variação em sua densidade de fluxo (Figura 4.4 e Tabela A.12), sem correlação com as observações feitas em 22 GHz nesta mesma época. Apesar de as observações durante esta variação estarem boas, o tempo apresentou-se nublado e a fonte calibradora Júpiter apresentou uma barra de erro muito grande. Por se desconhecerem as características de transmissão atmosféricas em condições de tempo nublado, não se pode dizer que a variação registrada tenha sido intrínseca à fonte, podendo ser devida a variações na própria atmosfera.



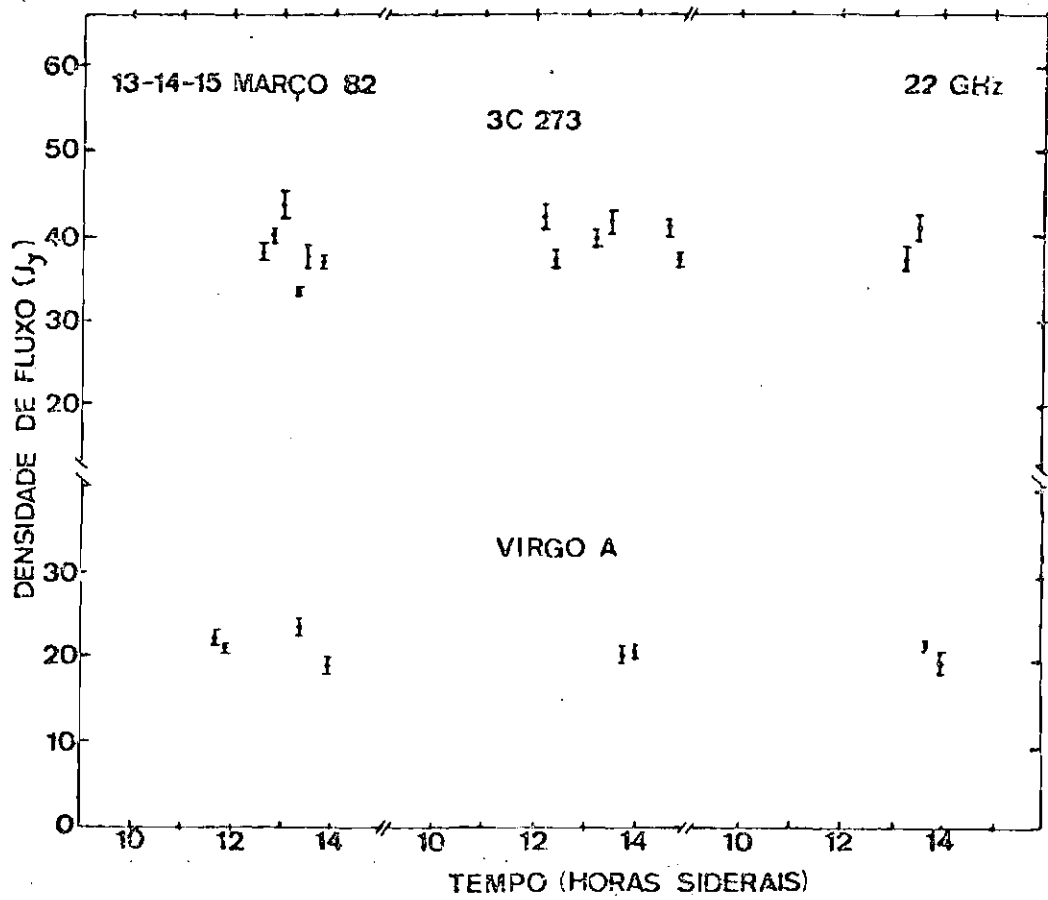


Fig. 4.5 - Comportamento de 3C 273, em relação a Virgo A, ao longo do tempo.

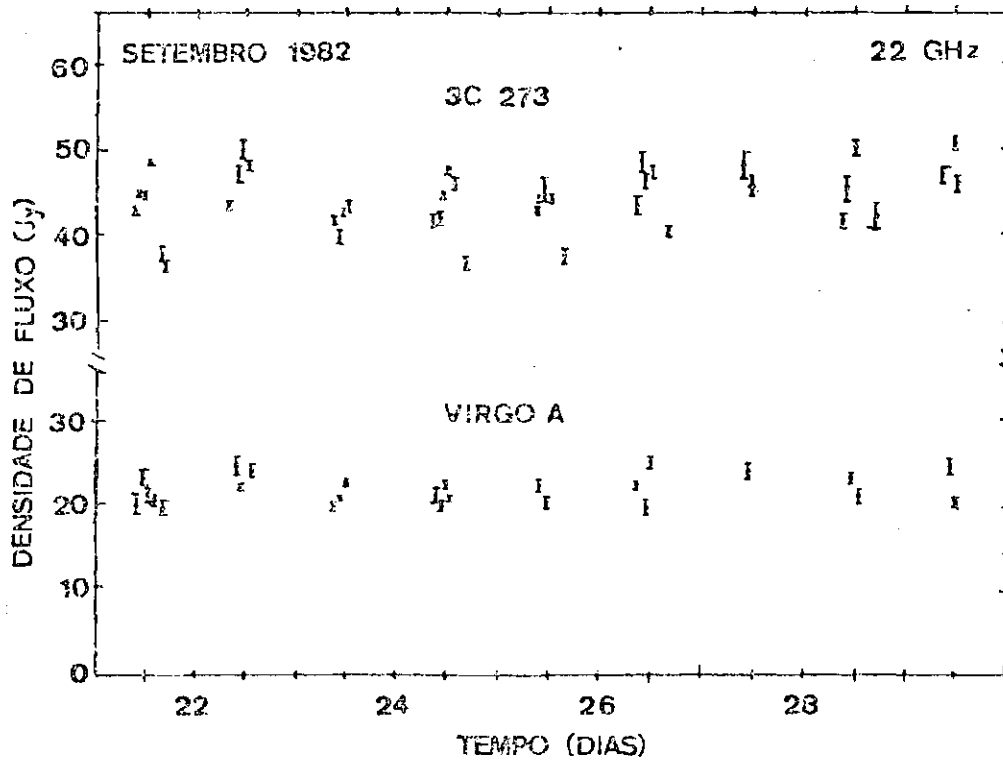


Fig. 4.6 - Observações de 3C 273 e Virgo A, em 22 GHz, durante um período aproximado de uma semana.

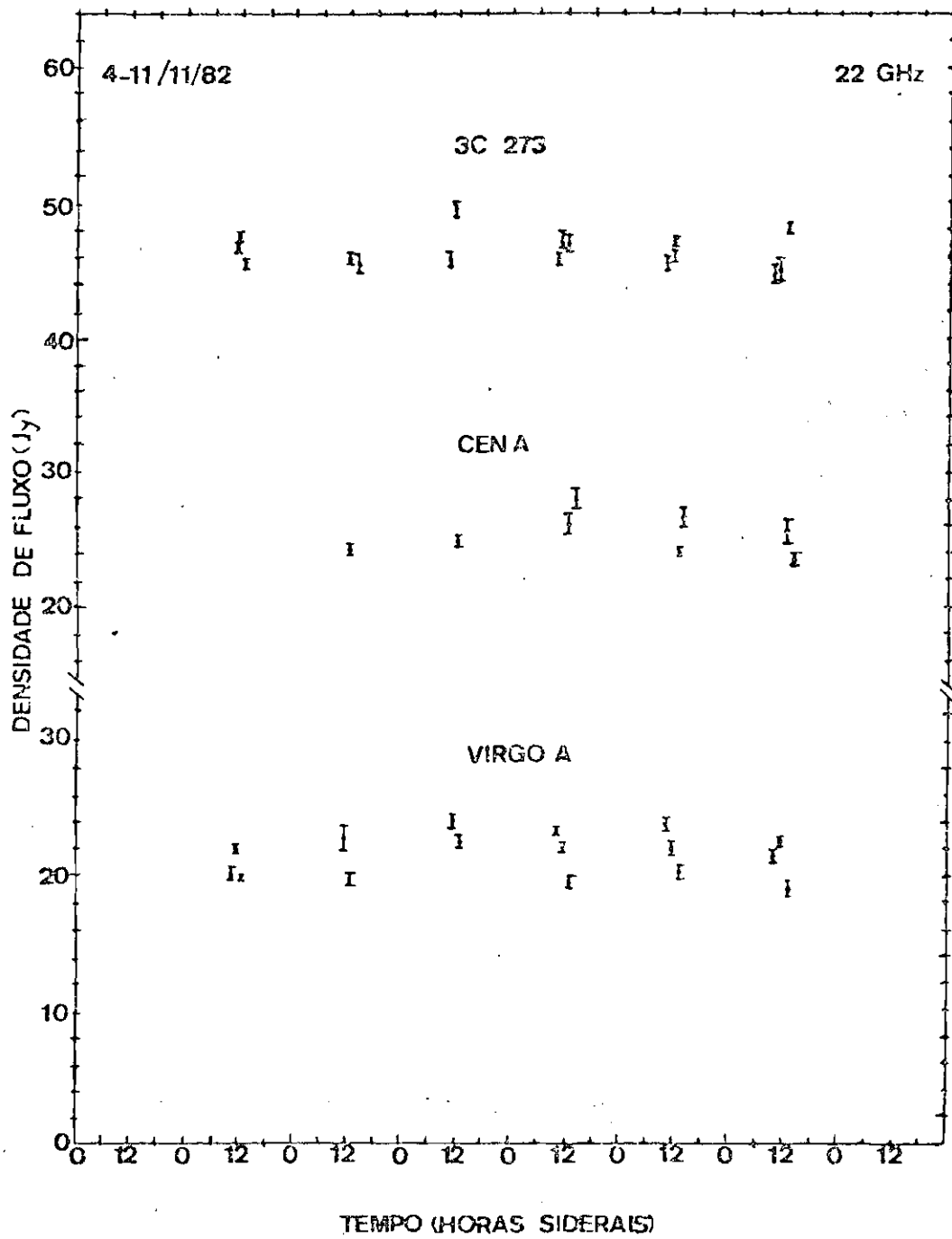


Fig. 4.7 - Densidades de fluxo de 3C 273 e Cen A, em 22 GHz, em relação à fonte calibradora Virgo A.

Da Figura 4.2 e Tabela A.3 pode-se constatar que o quasar 3C 273 apresentou variabilidade de longo período durante os dois anos em que foi pesquisado. Da Figura 4.2 pode-se estimar um período de variabilidade de 10 meses em 22 GHz. Rees (1967) estimou um campo magnético menor ou cerca de  $10^{-4}$  gauss para 3C 273, sabendo que esta radiofonte havia variado no comprimento de onda de 21,2 cm, em um período de 3 anos, aproximadamente. Da Figura 4.2 pode-se estimar um período de variabilidade de 10 meses em 22 GHz, o que implica um diâmetro da região emissora de 0,50 pc. Pela Equação 4.1, o campo magnético será da ordem de  $10^{-7}$  gauss.

#### 4.4 - CEN A

Esta radiogaláxia não apresentou variação nem flutuação periódica durante o período de julho a agosto de 1980, quando foi observada em 22 GHz, mas um decréscimo estável em sua densidade de fluxo, como observado na Figura 4.1. Este decréscimo é mais bem apresentado na Tabela 4.2, onde constam a densidade de fluxo média e os coeficientes de regressão linear desta fonte.

Cen A foi observada também nos dias 27 e 28 de maio de 1981 (Tabela A.3). Nesta época cada observação consistiu em 21 varreduras de 20 segundos cada, em vez de 30 varreduras de 20 segundos cada, para obter maior número possível de observações compatíveis com a precisão requerida das medidas. Tanto se utilizou a corneta de polarização vertical quanto a de polarização horizontal. Constatou-se que não havia diferenças apreciáveis nos resultados obtidos, quando observadas com uma ou com outra (Figuras 4.8 e 4.9 e Tabelas A.4 e A.5). A região HII G 298.2-03 foi observada com o primeiro tipo de corneta, com varreduras tanto em azimute quanto em elevação (Figura 4.10 e Tabelas A.4 e A.5). Durante os dois dias em que essas fontes foram observadas o tempo apresentou-se bom, exceto em algumas horas do dia 28 em que o céu ficou encoberto. Nas Figuras 4.8, 4.9 e 4.10 são vis

tas flutuações na temperatura da antena, talvez relacionadas com algum problema atmosférico, ou acompanhamento da própria antena, sendo o último mais provável. Na Figura 4.11 e Tabela A.6 é feita a média ponderada entre as temperaturas de antena das cornetas com polarização vertical e horizontal, tanto para CenA quanto para a fonte calibradora.

Em abril de 1982 esta radiogaláxia foi observada durante dezoito dias; naquela época o radiômetro utilizado não era o mesmo que se vinha utilizando, mas sim um que era normalmente utilizado para observações solares. Os resultados podem ser vistos nas Figuras 4.12, 4.13 e 4.14 e Tabelas A.8 e A.9; na Figura 4.14 é apresentado o fluxo relativo, que é a razão entre a densidade de fluxo de Cen A e a densidade de fluxo de Virgo A, tanto em 22 GHz quanto em 44 GHz. Como pode ser visto nestas figuras, Cen A apresentou-se variável, mas os dados obtidos não foram bons devido a problemas com o apontamento da antena e com o receptor. Devido a isto não se pode dizer com confiabilidade que os comportamentos desta radiofonte, tanto em 22 GHz quanto em 44 GHz, traduzem o que realmente ocorreu neste objeto.

Para confirmar a suposta variabilidade em abril, Cen A foi observada em novembro de 1982 durante um período de sete dias, em 22 GHz. Mas durante esse período apresentou-se praticamente estável, com exceção do dia oito em que teve sua densidade de fluxo aumentada, como pode ser visto na Figura 4.7 e Tabela A.13. O radiômetro utilizado nesta ocasião é o que normalmente se utiliza em todas as observações de quasares, sendo bem mais estável do que o utilizado em abril.

Durante o período em que foi estudada (2 anos e 4 meses), Cen A foi a que mais estável se apresentou das fontes pesquisadas. Este comportamento contrasta com o de alguns anos atrás em que se apresentou extremamente variável, com explosões de longo período e de curto período, que se repetiram quase periodicamente. Isto pode ser verificado na Figura 4.16, onde são apresentadas as variações desta fonte desde 1974. A Figura 4.15 e a Tabela A.3 mostram seu comportamento estável durante o período de 1980 a 1982.

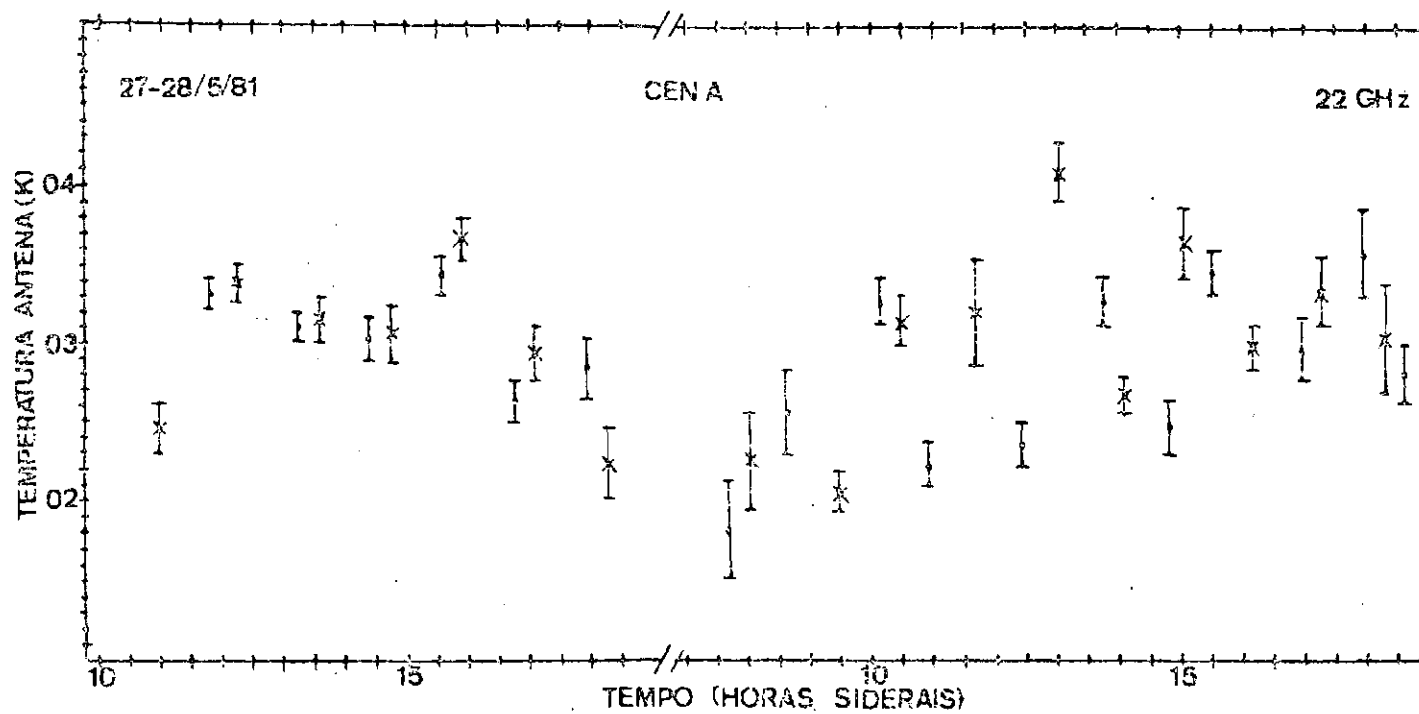


Fig. 4.8 - Centaurus A ao longo do tempo.

As cruces representam as temperaturas de antena obtidas com a corneta vertical, e os pontos representam as temperaturas obtidas com a corneta horizontal.

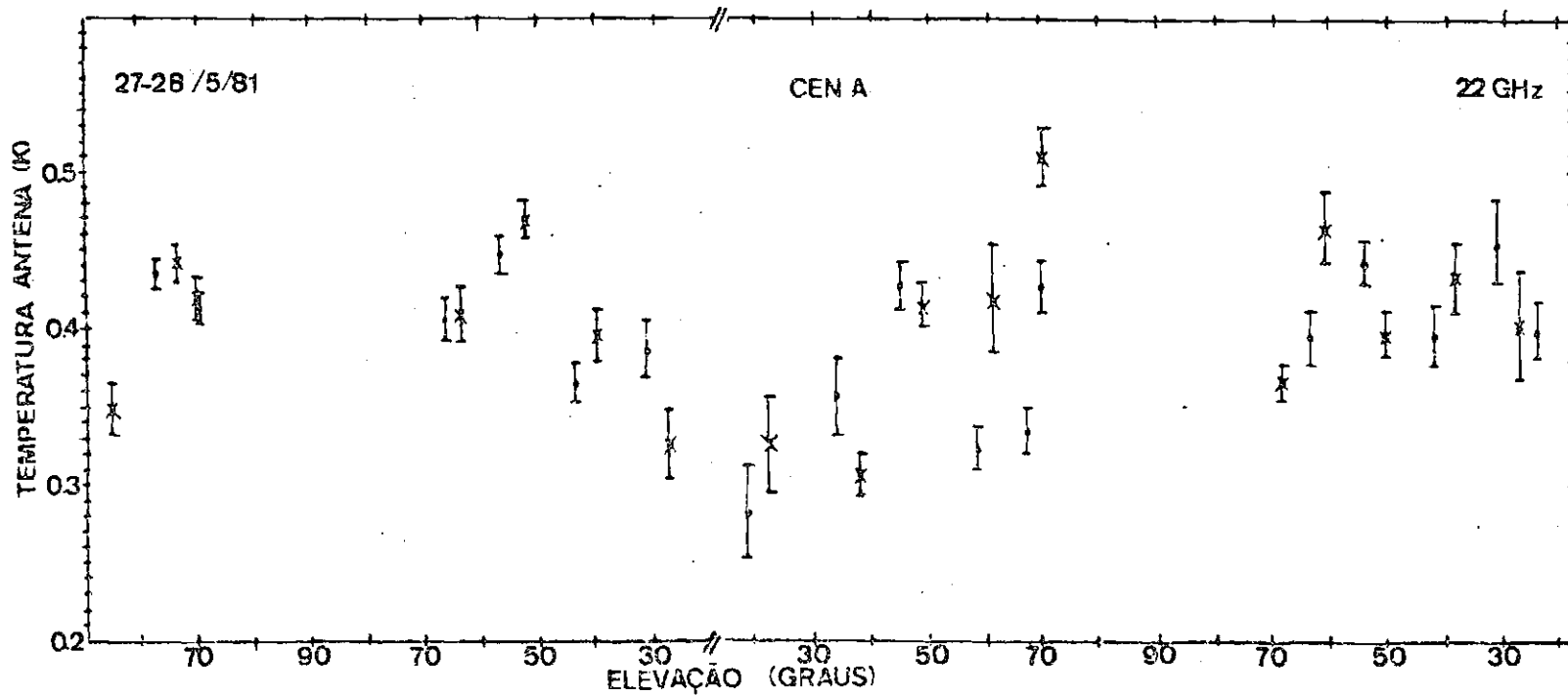


Fig. 4.9 - Temperatura de antena de Cen A em relação à elevação da fonte.

As cruzes representam as temperaturas de antena obtidas com a corneta que recebe o vetor de polarização vertical, e os pontos representam aquelas obtidas com a que recebe o vetor de polarização horizontal.

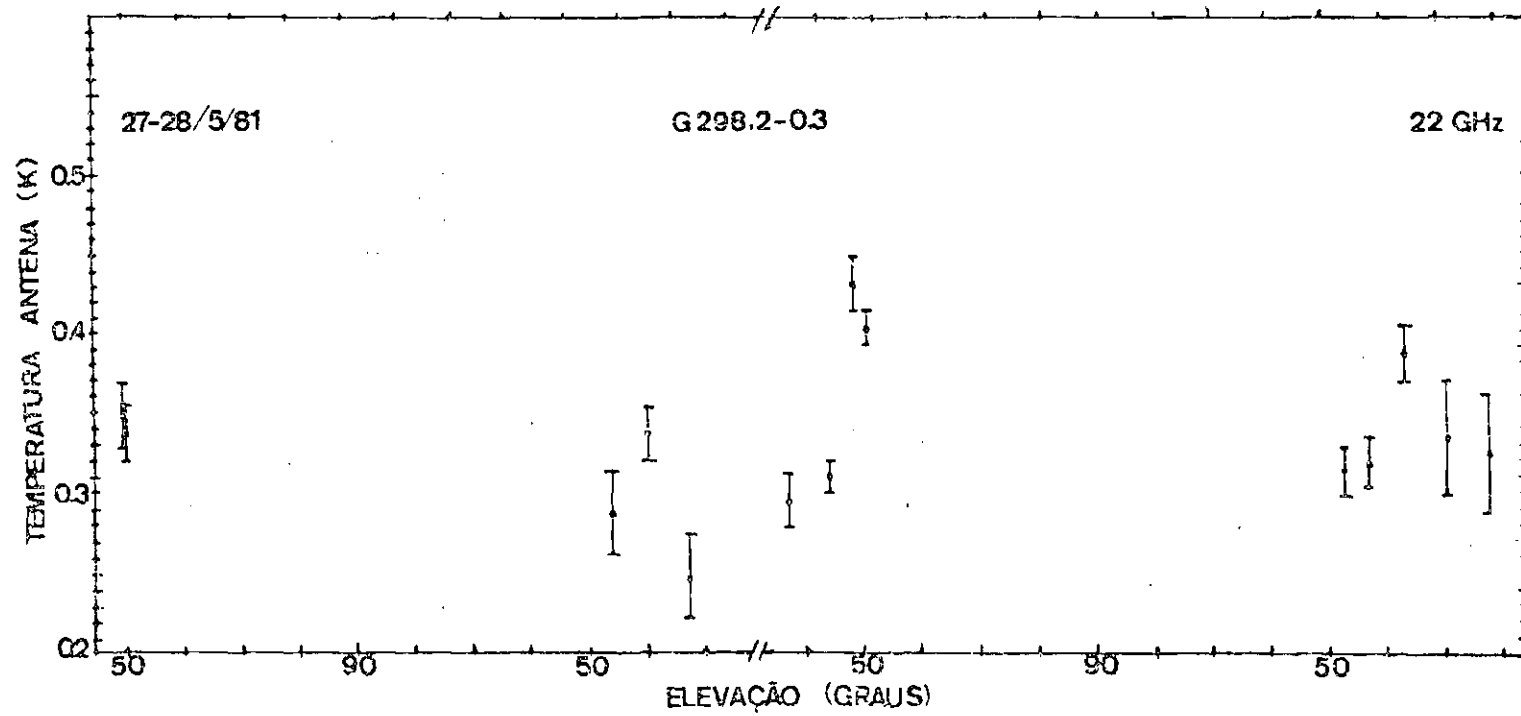


Fig. 4.10 - Temperatura de antena da região HII G 298.2-0.3 em função da elevação.



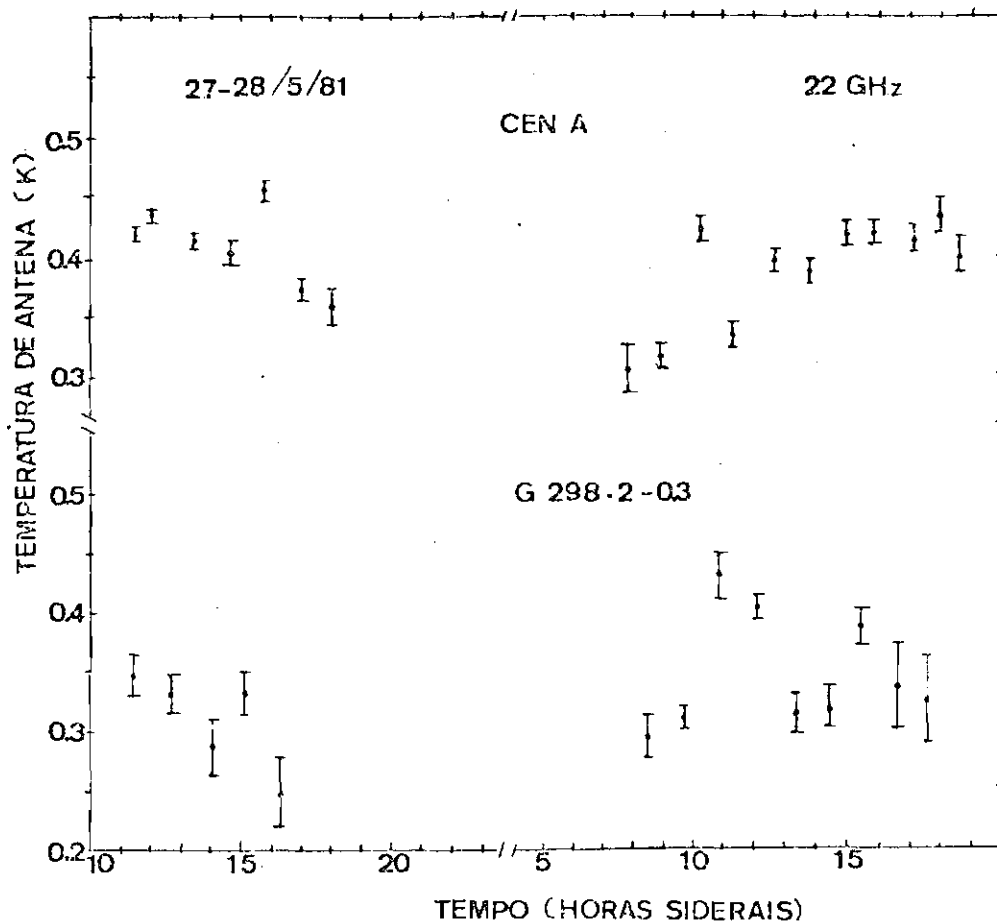


Fig. 4.11 - Média ponderada entre as temperaturas de antena obtidas pelas cornetas que recebem vetor de polarização vertical e horizontal.

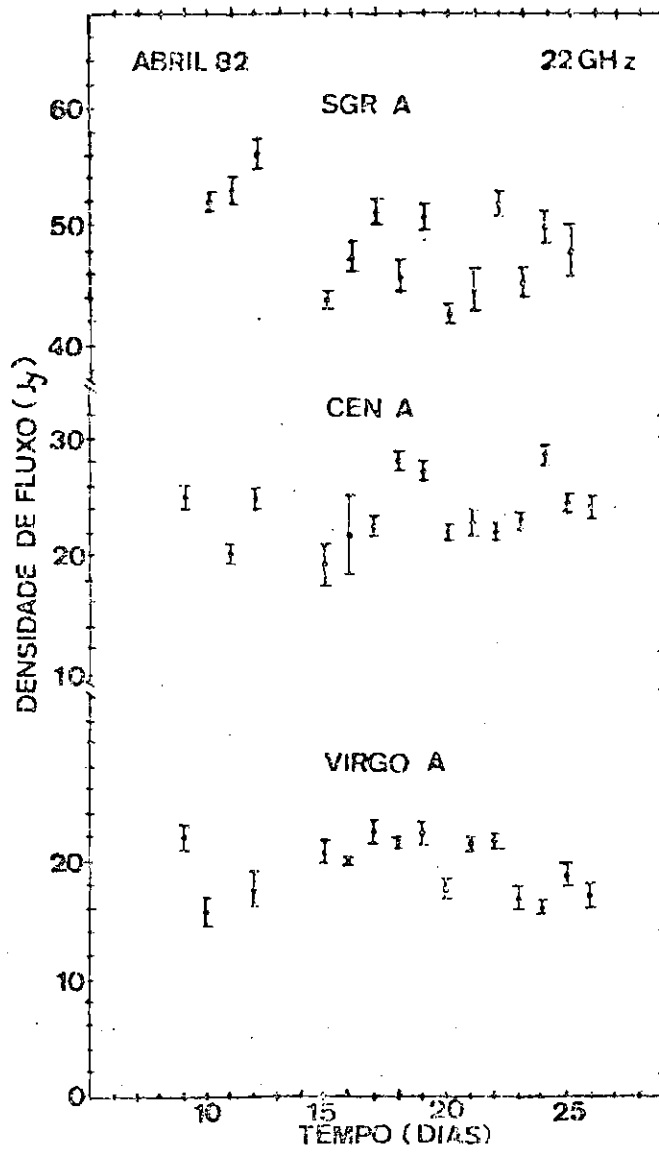


Fig. 4.12 - Densidades de fluxo de Sgr e Cen A ao longo do tempo, em relação à densidade de fluxo de Virgo A.

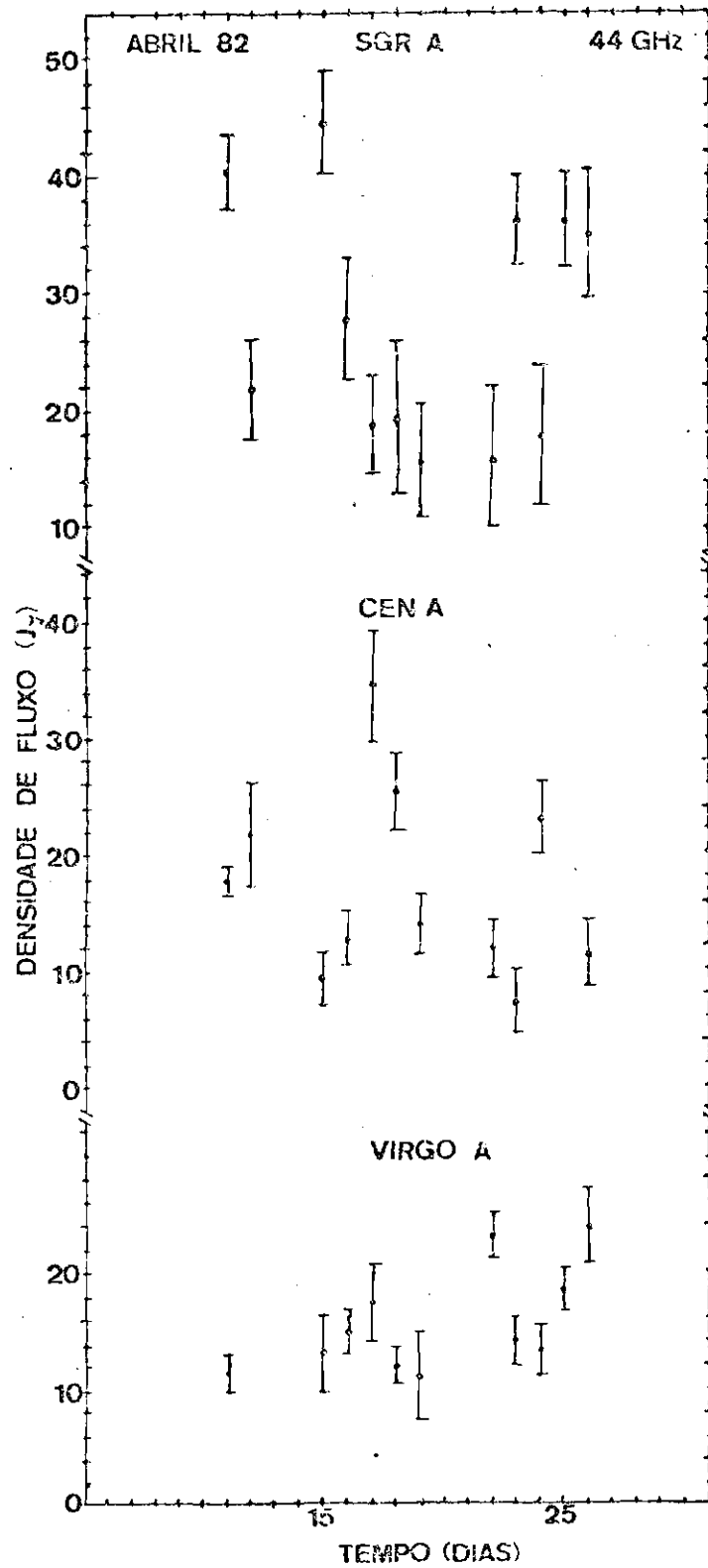


Fig. 4.13 - Densidades de fluxo de Sgr A e Cen A, em 44 GHz, ao longo do tempo.

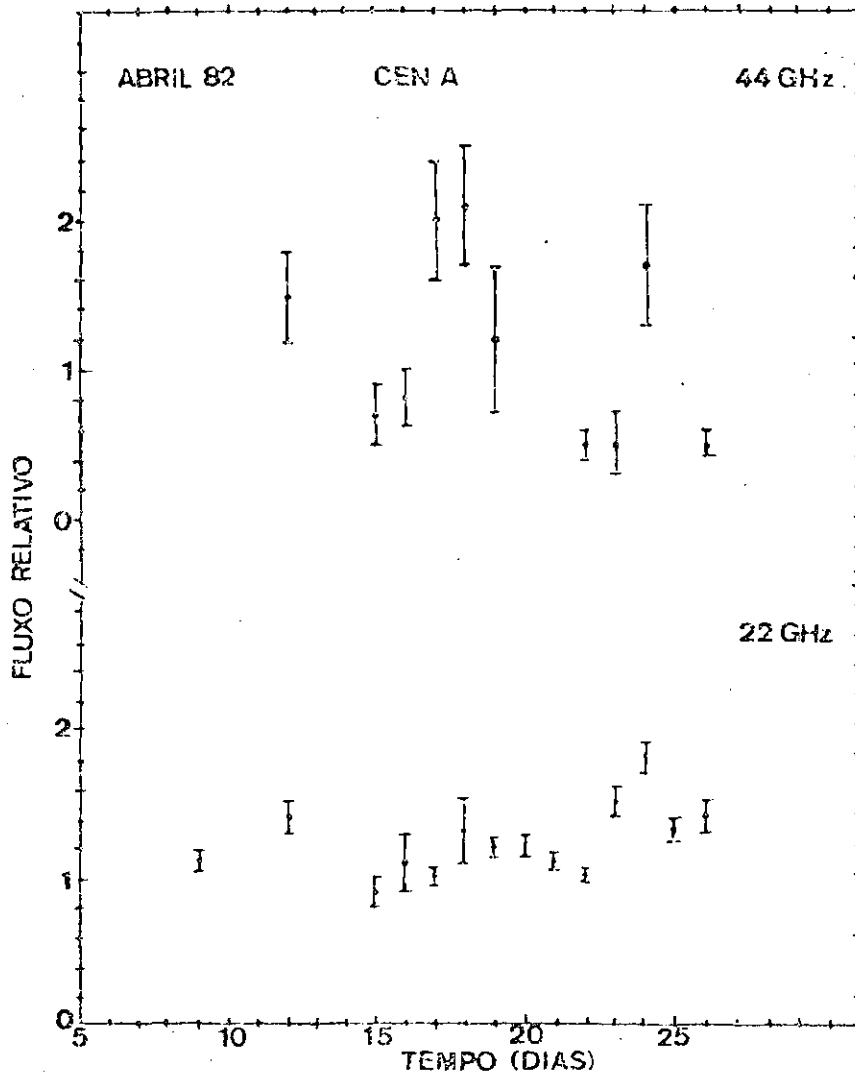


Fig. 4.14 - Fluxo relativo entre Cen A e Virgo A em 22 GHz e 44 GHz

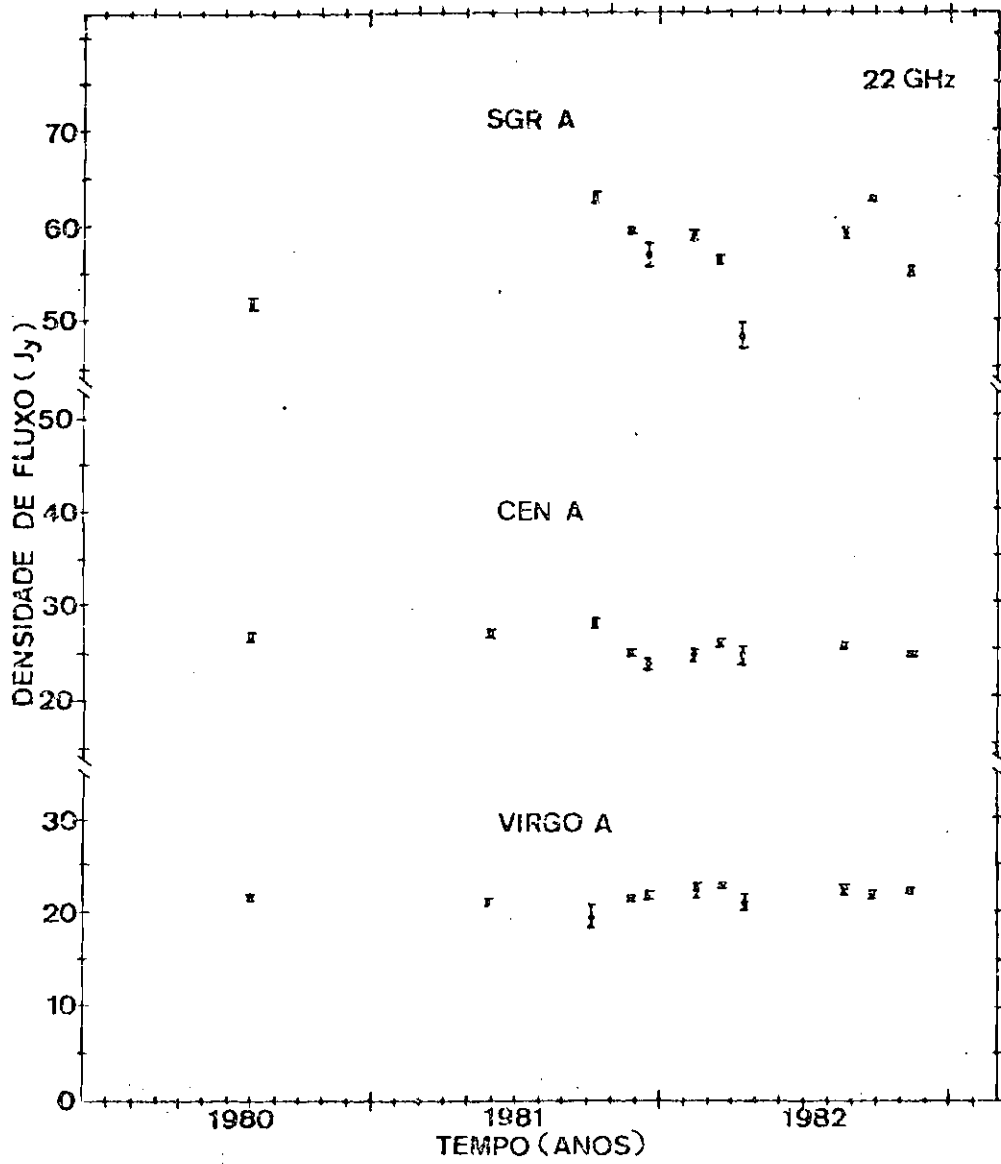


Fig. 4.15 - Densidades de fluxo ao longo do tempo durante dois anos e meio de observações.

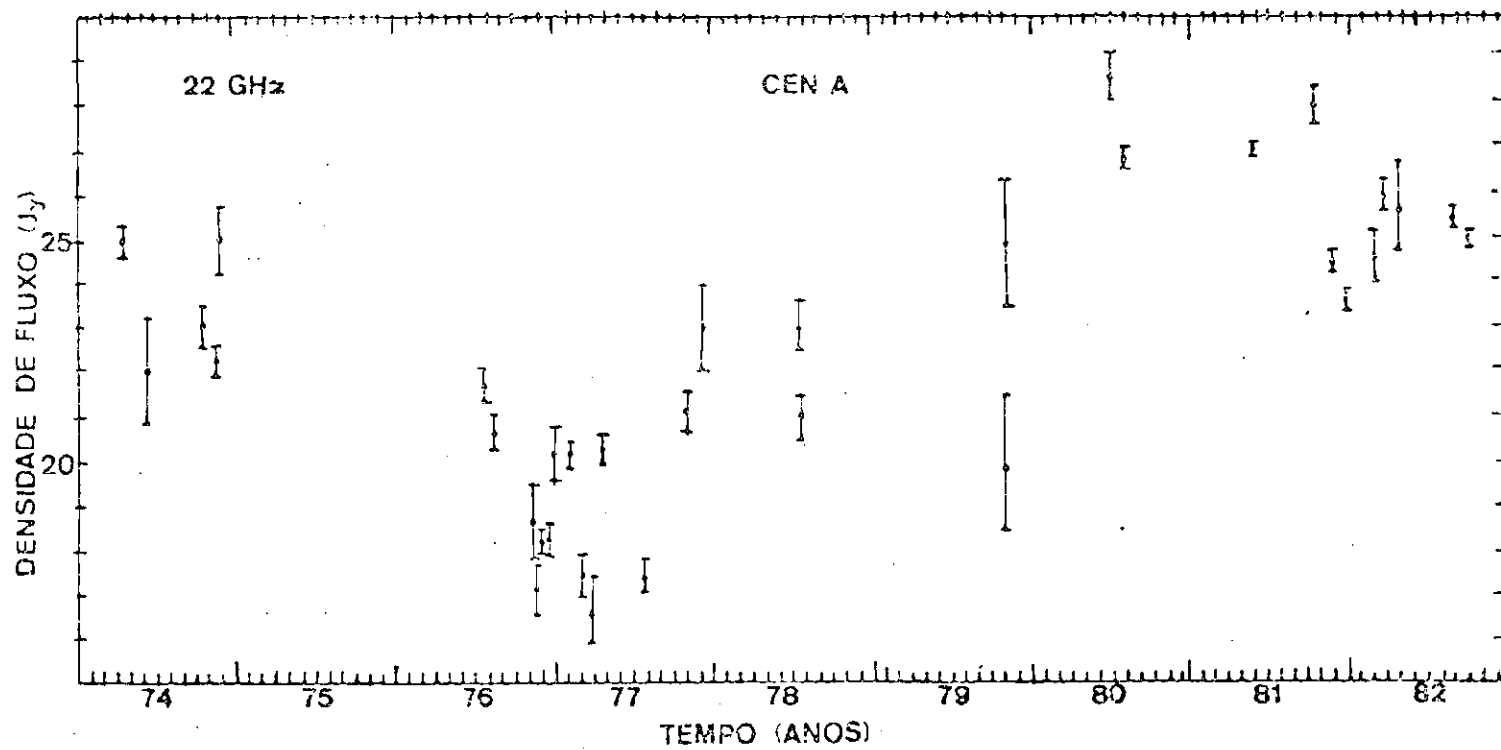


Fig. 4.16 - Densidade de fluxo de Cen A ao longo de vários anos de observações no radioobservatório do Itapetinga.

#### 4.5 - SGR A

O centro de nossa galáxia não apresentou variabilidade maior que 10% durante o período de julho a agosto de 1980, como pode ser visto na Figura 4.1.

Em abril de 1982 foram feitas observações diárias desta radiofonte tanto em 22 GHz quanto em 44 GHz, tendo havido alguma correlação entre essas duas frequências; contudo, devido aos problemas de apontamento e do receptor (radiômetro solar), os resultados neste período não são de todo confiáveis (Figuras 4.12, 4.13, 4.17 e Tabelas A.8 e A.9). Neste período esta fonte também foi observada em raios -X por um grupo de Berkeley, mas não se obtiveram resultados.

Em setembro de 1982 esta radiogaláxia foi observada com o receptor normal e os resultados foram mais confiáveis, tendo esta fonte se conservado praticamente constante em 22 GHz. (Figura 4.3 e Tabela A.11). Em 44 GHz foi observada também em setembro e os resultados estão na Figura 4.4 e Tabela A.12. Nesta ocasião não foi registrada variabilidade desta radiofonte.

Sgr A apresentou variabilidade de longo período, tendo até certa periodicidade, como visto na Figura 4.15 e Tabela A.3. Desta figura pode-se observar que esta fonte apresentou periodicidade de aproximadamente 4 a 7 meses, o que implica um raio da região emissora, dado pela Equação 2.17, de 0,10 pc a 0,18 pc. Considerando uma variabilidade de 7 meses pode-se estimar um campo magnético de aproximadamente  $10^{-7}$  gauss (Rees, 1967). Riegler et alii (1981) mostraram em suas observações, uma redução na emissão da região do Centro Galáctico de 511 KeV, o que implica que uma fração significativa do fluxo de originou de uma ou mais fontes compactas de tamanho  $10^{18}$  cm, ou seja 0,32 pc. Em termos de dimensão, os resultados estão aproximadamente compatíveis nestas duas faixas de frequências.

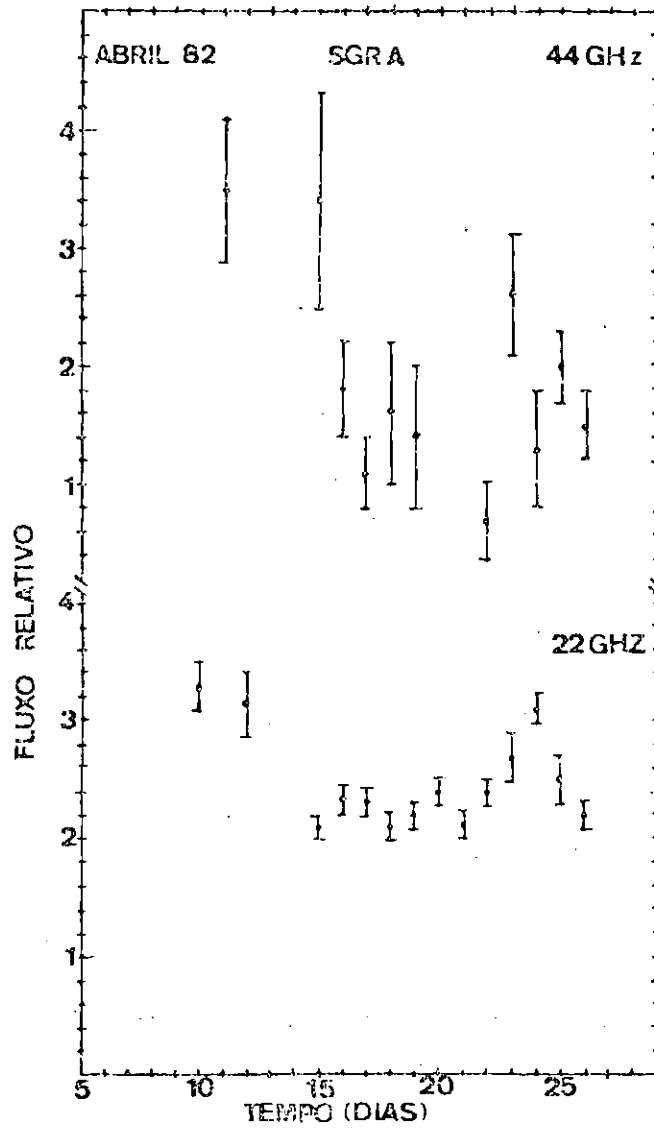


Fig. 4.17 - Fluxo relativo entre Sgr A e Virgo A em 22 e 44 GHz.



## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÃO

Durante o período de pesquisa, entre julho de 1980 e novembro de 1982, as radiofontes Cen A, Sgr A, OV 236 e 3C 273 foram estudadas tanto em 22 GHz quanto em 44 GHz.

Tinha-se por objetivo detectar variabilidades tanto de curto quanto de longos períodos. Com este objetivo, as radiofontes acima foram estudadas nas 2 frequências, tendo a maior parte das observações sido feita em 22 GHz, devido a problemas com o receptor de 44 GHz. Mesmo assim várias observações foram realizadas nesta última frequência.

Em relação às fontes calibradoras Virgo A e G 298.2-0.3, as radiofontes Sgr A, 3C 273 e OV 236 apresentaram variabilidade de longo período em 22 GHz. Cen A, nesta frequência, apresentou-se estável, quando comparada às fontes calibradoras. Mesmo assim, quando comparada a anos anteriores quando foi pesquisada no radioobservatório do Itapetinga, apresentou-se com certa variabilidade (Figura 4.16). Esse comportamento de longo período apresentado por essas radiofontes pode ser mais bem explicado por modelos que envolvam expansão não relativística de uma nuvem de elétrons relativísticos que, inicialmente, é opticamente opaca. Devido a esta expansão ocorre um decréscimo na energia dos elétrons e no campo magnético, e a nuvem torna-se opticamente fina. Essas observações fornecem períodos de variabilidade em torno de 1 ano, o que implica dimensões em torno de 1 pc ou menores. Consequentemente isto implica a criação de um fluxo grande partículas relativísticas em períodos curtos de tempo, bem como um nível de emissão rádio muito alto em um volume muito pequeno da fonte.

Variabilidades de curto período são difíceis de ser detectadas, mas diversas observações para tentar detectá-las foram feitas tanto em 22 GHz quanto em 44 GHz. Não se pode dizer, com absoluta con

fiança, que as radiofontes pesquisadas apresentaram variabilidade de curto período, sendo necessário futuramente fazer mais observações com radiômetros mais estáveis e em outras frequências. Poder-se-ão então confirmar ou não as variabilidades de curto período encontradas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMOWICZ, M.A.; NOBILI, L. Are there black holes in quasars? *Nature*, 300(5892):506-507, Dec. 1982.
- ALLEN, R.J.; BARRET, A.H.; CROWTHER, P.P. Observations of the radio sources 3C 84, 3C 273 and 3C 279 at short centimeter wavelengths. *The Astrophysical Journal*, 151(1):43-52, Jan. 1968.
- ANDREW, B.H.; KRAUS, J.D. Radio sources with flat spectra. *The Astrophysical Journal*, 159(1):L45-L49, Jan. 1970.
- ANDREW, B.H.; MACLEOD, J.M.; HARVEY, G.A.; MEDD, W.J.A. Ten-year study of extragalactic variable sources at centimeter. *The Astrophysical Journal*, 83(8):863-899, Aug. 1978.
- BALICK, B.; BROWN, R.L. Intense sub-arcsecond structure in the galactic center. *The Astrophysical Journal*, 194(2):265-270, Dec. 1974.
- BEALL, J.H. An upper limit for the total energy of relativistic particles contained in the early stages of supernova explosions. *The Astrophysical Journal*, 230(3):713-716, June 1979.
- BEALL, J.H.; ROSE, W.K.; GRAF, W.; PRICE, K.M.; DENT, W.A.; HOBBS, R.W.; CONKLIN, E.K.; ULICH, B.L.; DENNIS, B.R.; CRANNELL, C.J.; DOLAN, J.F.; FROST, K.J.; ORWIG, L.E. Radio and X-ray variability of the nucleus of Centaurus A (NGC 5128). *The Astrophysical Journal*, 219(3):836-844, Feb. 1978.
- BECKLIN, E.E.; FROGEL, J.A.; KLEINMANN, D.E.; NEUGEBAUER, G.; NEY, E. P.; STRECKER, D.W. Infrared observations of the core of Centaurus A, NGC 5128. *The Astrophysical Journal*, 170(1):L15-L19, Nov. 1971.
- BECKLIN, E.E.; MATTHEWS, K.; NEUGEBAUER, G.; WILLNER, S.P. Infrared observations of the galactic center. I. Nature of the compact sources. *The Astrophysical Journal*, 219(1):121-128, Jan. 1978.

- BIGNAMI, G.F.; BENNETT, K.; BUCCHERI, R.; CARAVEO, P.A.; HERMSEN, W.; KANBACH, G.; LICHTI, G.G.; MASNON, J.L.; MAYER-HASSELWANDER, H.A.; PAUL, J.A.; SACCO, B.; SCARSI, L.; SWANENBURG, B.N.; WILLS, R.D. 3C 273 revisited: confirmation by cos-B of high energy gamma-ray emission. *Astronomy and Astrophysics*, 93(1):71-75, Jan. 1981.
- BLANDFORD, R.D. Accretion disc electrodynamics. A model for double radio sources. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 176(3):465-481, Sept. 1976.
- BROTEN, N.W.; LOCKE, J.L.; LEGG, T.H.; MCLEISH, C.W.; RICHARDS, R.S.; CHISHOLM, R.M.; GUSH, H.P.; YEN, J.L.; GALT, J.A. Observations of quasars using interferometer baselines up to 3,074 km. *Nature*, 215(5096):38, July 1967.
- BROWN, R.L.; JOHNSTON, K.J.; BRIGGS, F.H.; WOLFE, A.M.; NEFF, S.G.; WALKER, R.C. The variable radio structure of 3C 446. *Astrophysical Letters*, 21(3/4):105-110, Mar. 1981.
- BURBIDGE, G.; BURBIDGE, M. *Quasi-stellar objects*. San Francisco, W.H. Freeman and Company, 1967. 235 p.
- CANNON, R.D.; PENSTON, M.V. Optical variation of 3C 446. *Nature*, 214(5083):256-257, Apr. 1967.
- CHRISTIANSEN, W.A.; SCOTT, J.S. Formation of double radio source structures and superluminal expansion. *The Astrophysical Journal*, 216(1):L1-L6, Aug. 1977.
- CLARK, B.G.; COHEN, M.H.; JAUNCEY, D.L. Angular size of 3C 273B. *The Astrophysical Journal*, 149(3):L151-L152, Sept. 1967.
- COCKE, W.J.; PACHOLCZYK, A.G. Ripple radiation and the low-frequency variability of extragalactic compact sources. *The Astrophysical Journal*, 226:26-31, Nov. 1978.
- DAVIS, R.D.; WALSH, D.; BROWNE, K.W.A.; EDWARDS, M.R.; HOBLE, R.G. Transient radio source near the galactic centre. *Nature*, 261(5561):476-478, June 1976.

- DENNIS, B.R.; BEALL, J.H.; CUTLER, E.P.; CRANNELL, C.J.; DOLAN, J.G.; FROST, K.J.; ORWIG, L.E. Detection of high-energy X-rays from the center region. *The Astrophysical Journal*, 236(2):L49-L53, Mar. 1980.
- DENT, W.A. Quasi-stellar sources: variation in the radio emission of 3C 273. *Science*, 149(3676):1458-1459, June 1965.
- DENT, W.A.; BALONEK, T.J. A dramatic radio outburst in the quasar 1921-29. *Nature*, 283(5749):747-748, Feb. 1980.
- DENT, W.A.; KAPITZKY, J.E. Variations of extragalactic sources at 7,9 GHz. *The Astronomical Journal*, 81(12):1053-1068, Dec. 1976.
- DENT, W.A.; KAPITZKY, J.E.; KOJOIAN, G. 15,5 GHz flux-density measurements of variable radio sources. *The Astronomical Journal*, 79(11):1232-1241, Nov. 1974.
- DOWNES, D.; MARTIN, A.H.M. Compact radio sources in the galactic nucleus. *Nature*, 233(5314):112-114, Sept. 1971.
- EFANOV, V.A.; MOISEEV, I.G.; NESTEROV, N.S.; SHAKHOVSKOY, N.M. Rapid fluctuations of radio flux and polarisation in quasar 3C 273. *Nature*, 269(5629):493-494, Oct. 1977.
- EKERS, R.D.; GOSS, W.M.; SCHWARZ, U.J.; DOWNES, D.; ROGSTAD, D. A full synthesis map of SGR.A at 5 GHz. *Astronomy and Astrophysics*, 43(1):159-166, Aug. 1975.
- ELIAS, J.H.; ENNIS, D.J.; GEZARY, D.Y.; HAUSER, M.G.; HOUCK, J.R.; LO, K.Y.; MATTHEWS, K.; NADEAU, D.; NEUGEBAUER, G.; WERNER, M.W.; WESTBROOK, W.E. 1millimeter continuum observations of extragalactic objects. *The Astrophysical Journal*, 220(1):25-41, Feb. 1978.
- ELLIOT, J.L.; SHAPIRO, S.L. On the variability of the compact nonthermal sources. *The Astrophysical Journal*, 192(1):L3-16, Aug. 1974.
- EPSTEIN, E.E.; LANDAU, R.; RATHER, J.D.G. Extragalactic radio sources: rapid variability at 90 GHz. *The Astronomical Journal*, 85(11):1427-1433, Nov. 1980.

- EYLES, C.J.; SKINNER, G.K.; WILLMORE, A.P.; ROSEMBERG, R.D. X-ray outburst from the direction of the galactic centre. *Nature*, 257(5524):291-293, Sept. 1975.
- FEIGELSON, E.D.; SCHREIER, E.J.; DELVAILLE, J.P.; GIACCONI, R.; GRINDLAY, J.E.; LIGHTMAN, A.P. The X-ray structure of Centaurus A. *The Astrophysical Journal*, 251(1):31-51, Dec. 1981.
- FOGARTY, W.G.; EPSTEIN, E.E.; MONTGOMERY, J.W.; DWORETSKY, M.M. Radio sources: 3,3 mm flux and variability measurements. *The Astronomical Journal*, 76(6):537-543, Aug. 1971.
- FOGARTY, W.G.; SCHUCH, N.J. Non-variable 13,5 mm flux in the strong millimetre component of Centaurus A. *Nature*, 254(5495):124-125, Mar. 1975.
- GILMORE, G. Is PKS 1921-29 a quasar with correlated radio and optical variations? *Nature*, 287(5783):612-613, Oct. 1980.
- GOPAL - KRISHNA; SWARUP, G. The radio source Sagittarius A. *Astrophysical Letters*, 17(1):45-47, Feb. 1976.
- GOPAL - KRISHNA; SWARUP, G.; SARMA, N.V.G.; JOSHI, M.N. Occultation of SGR. A. *Nature*, 239(5367):91-93, Sept. 1972.
- GRINDLAY, J.E.; HELMKEN, H.F.; BROWN, R.H.; DAVIS, J.; ALLEN, L.R. Evidence for the detection of gamma rays from CEN A at  $E_{\gamma} \geq 3 \times 10^{11}$  eV. *The Astrophysical Journal*, 197(1):L9-L12, Apr. 1975.
- HINE, R.G.; SCHEUR, P.A.G. Radio variability in the nuclei of double radio galaxies and quasars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 193(1):285-293, Oct. 1980.
- HOBBS, R.W.; DENT, W.A. 90 GHz flux-density measurements of variable radio sources. *Astronomical Journal*, 82(4):257-261, Apr. 1977.
- HUNTER, J.H.; LÜ, P.K. Optical variations in quasars. *Nature*, 223(5210):1045-1046, Sept. 1969.
- JONES, T.W. The radio source Sagittarius A west: thermal or nonthermal? *Astrophysical Letters*, 14(1):47-50, May 1973.

- JONES, T.W.; O'Dell, S.L.; STEIN, W.A. Physics of compact nonthermal sources. I. Theory of radiation process. *The Astrophysical Journal*, 188(2):353-368, Mar. 1974a.
- JONES, R.W.; O'Dell, S.L.; STEIN, W.A. Physics of compact nonthermal sources. II. Determination of physical parameters. *The Astrophysical Journal*, 192(2):261-278, Sept. 1974b.
- JONES, T.W.; RUDNICK, L.; OWEN, F.N.; PUSCHELL, J.J.; ENNIS, D.J.; WERNER, M.W. The broad-band spectra and variability of compact nonthermal sources. *The Astrophysical Journal*, 243(1):97-107, Jan. 1981.
- KAUFMANN, P.; BEALL, J.H. On the slowly varying flux component from the nucleus of CEN A (NGC 5128). *Astronomy and Astrophysics*, 82(11):170-171, Feb. 1980.
- KAUFMANN, P.; DOS SANTOS, P.M.; RAFFAELLI, J.C.; SCALISE, E. Possible fast variability of the nucleus of CEN A at 13,5 mm. *Nature*, 269(5626):311-313, Sept. 1977.
- KAUFMANN, P.; RAFFAELLI, J.C. On the possible detection of giant quasi-periodic burts in the nucleus of Centaurus A at mm-wavelengths. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Short Communication*, 187(1):23P-28P, Apr. 1979.
- KAUFMANN, P.; STRAUSS, F.M.; COE, M.J.; CARPENTER, G.F. Millimeter-wave and X-ray observations of a CEN A flare. *Astronomy and Astrophysics*, 100(1):189-190, July 1981.
- KELLERMANN, K.I. Detection of a strong and possibly variable compact millimeter wave component in Centaurus A. *The Astrophysical Journal*, 194(3):L135-L137, Dec. 1974.
- KELLERMANN, K.I.; PAULINY-TOTH, I.I.K. Variable radio sources. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 6:417-448, 1968.
- KELLOGG, E.; GURSKY, H.; MURRAY, S.; TANANBAUM, H.; GIACCONI, R. X-ray sources near the galactic center observed by Uhuru. *The Astrophysical Journal*, 169(3):L99-L103, Nov. 1971.

- KESTEVEN, M.J.L.; BRIDLE, A.H.; BRANDIE, G.W. Variability of extragalactic sources at 2,7 GHz. I. Results of a 2-yr monitoring program. *The Astronomical Journal*, 81(11):919-932, Nov. 1976.
- KINMAN, T.D. Optical variations in 3C 345. *Nature*, 224(5219):565, Nov. 1969.
- KINMAN, T.D.; LAMLA, E.; CIURLA, T.; KARLAN, E.; WIRTANEN, C.A. The variability of the optical brightness and polarization of the quasi-stellar radio source 3C 345. *The Astrophysical Journal*, 152(2):357-374, May 1968.
- KLEIN, M.J. Flux-density measurements of selected radio sources relative to Cassiopeia A at 21.84 GHz. *The Astronomical Journal*, 79(2):139-143, Feb. 1974.
- KLEINMANN, D.E.; WRIGHT, E.L. 10-micron observations of southern hemisphere galaxies. *The Astrophysical Journal*, 191(1):L19-L20, July 1974.
- KONIGL, A. Flux variations in relativistically expanding spherical radio sources. *The Astrophysical Journal*, 225(3):732-737, Nov. 1978.
- KUNKEL, W.E.; BRADT, H.V. Identification of the nucleus of NGC 5128. *The Astrophysical Journal*, 170(1):L7-L10, Nov. 1971.
- LAWRENCE, A.; PYE, J.; ELVIS, M.S. Ariel V sky survey: X-ray variability of NGC 5128. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 181(3):93P-99P, Dec. 1977.
- LINDEN-BELL, D. Galactic nuclei as collapsed old quasars. *Nature*, 223(5207):690-694, Aug. 1969.
- LYNDEN-BELL, D.; REES, M.J. On quasars, dust and the galactic centre. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 152(4):461-475, June 1971.
- LOVELACE, R.V.E. Dynamo model of double radio sources. *Nature*, 262(5570):649-652, Aug. 1976.



- MANWELL, T.; SIMON, M. Application of a random event quasar model to the optical variability of 3C 273. *The Astronomical Journal*, 73(6):407-411, Aug. 1968.
- MARSCHER, A.P. Relativistic blast-wave model for the rapid flux variations of A0 0235+164 and other compact radio sources. *The Astrophysical Journal*, 224(3):816-825, Sept. 1978a.
- MARSCHER, A.P. Interaction between emission-line filaments and highly energetic explosions in QSOs. *The Astrophysical Journal*, 225(3):725-731, Nov. 1978b.
- MORRISON, P. Are quasi-stellar radio sources giant pulsars? *The Astrophysical Journal*, 157(2):L73-L76, Aug. 1969.
- MUSHOTZKY, R.F.; BAITY, W.A.; WHEATON, W.A.; PETERSON, L.E. UCSD OSO-7 observations of the hard X-ray spectrum and variability of Centaurus A. *The Astrophysical Journal*, 206(1):L45-L48, May 1976.
- MUSHOTZKY, R.F.; SERLEMITSOS, P.J.; BECKER, R.H.; BOLDT, E.A.; HOLT, S.S. The X-ray emitting galaxy Centaurus A. *The Astrophysical Journal*, 220(3):790-797, Mar. 1978.
- O'DELL, S.L.; PUSCHELL, J.J.; STEIN, W.A.; WARNER, J.W.; ULRICH, M.H. The spectral-flux distribution (0.36-3.5 $\mu$ m) of nonstellar light from the broad-line radio galaxies 3C 227 and 3C 82. *The Astrophysical Journal*, 219(3):818-821, Feb. 1978.
- OKE, J.B. Spectrophotometric observations of rapid variability in 3C 279 and 3C 446. *The Astrophysical Journal*, 147(3):901-907, Mar. 1967.
- OORT, J.H. The galactic center. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 15:295-362, 1977.
- PACHOLCZYK, A.G. *Procesos no térmicos en fuentes galácticas y extragalácticas*. Barcelona, Editorial Reverté, 1979. 283 p.
- PACHOLCZYK, A.G.; SCOTT, J.S. Physics of compact radio sources. I. Particle acceleration and flux variations. *The Astrophysical Journal*, 210(2):311-320, Dec. 1976.

- PEARSON, T.J.; UNWIN, S.C.; COHEN, M.H.; LINGFIELD, R.P.; READHEAD, C.S.; SEIELSTAD, G.A.; SIMON, R.S.; WALKER, R.C. Superluminal expansion of quasar 3C 273. *Nature*, 290(5805):365-368, Apr. 1981.
- PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRÜMPER, J.; VOGES, W.; LEWIN, W.; KENDZIORRA, E.; STAUBERT, R. High-energy X-ray observations of extragalactic objects. *Astronomy and Astrophysics*, 94(2):234-237, Feb. 1981.
- PRICE, K.M.; STULL, M.A. High resolution observations of the radio galaxy NGC 5128 at 10,7 GHz. *Nature*, 245(145):83-85, Oct. 1973.
- PRIMINI, F.A.; COOKE, B.A.; DOBSON, C.A.; HOWE, S.K.; SCHEEPMAKER, A.; WHEATON, W.A.; LEWIN, W.H.G.; BAITY, W.A.; GEUBER, D.E.; MATTESON, J.L.; PETERSON, L.E. HEAD 1 observations of high-energy X-rays from 3C 273. *Nature*, 278(5701), Mar. 1979.
- PRINGLE, J.E.; REES, M.J.; RACHOLCZYK, A.G. Accretion onto massive black holes. *Astronomy and Astrophysics*, 29(2):179-184, Aug. 1973.
- REES, M.F. Studies in radio source structure. I. A relativistically expanding model for variable quasi-stellar radio sources. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 135(4):345-360, June 1967.
- RIEGLER, G.R.; LING, J.C.; MAHONEY, W.A.; WHEATON, W.A.; WILLET, J.B.; JACOBSON, A.S.; PRINCE, T.A. Variable positron annihilation radiation from galactic center region. *The Astrophysical Journal*, 248(1):L13-L16, Aug. 1981.
- RUDNICK, L.; JONES, T.W. Compact radio sources: The dependence of variability and polarization on spectral shape. *The Astrophysical Journal*, 255(1):39-47, Apr. 1982.
- SANDAGE, A. Intensity variations of quasi-stellar sources in optical  $\lambda$ . *The Astrophysical Journal*, 144(3):1234-1238, June, 1966.
- SHIELDS, G.A.; WHEELER, J.L. Sustenance of a black hole in a galactic nucleus. *The Astrophysical Journal*, 222(2):667-674, June 1978.

- SKINNER, G.K. The galactic centre. *Proceedings of the Royal Society of London*, SERIES A 336(1726):345-355, June 1979.
- TATEYAMA, C.E. *Mapas no contínuo de rádio em 22 GHz da região do Centro Galáctico, Carina e Centaurus A*. Dissertação de Mestrado em Radioastronomia. Rio de Janeiro, ON, 1982.
- TERREL, J. Size limits on fluctuating astronomical sources. *The Astrophysical Journal*, 213(3):L93-L97, May 1977.
- TUCKER, W.; KELLOGG, E.; GURSKY, H.; GIACCONI, R.; JANANBAUM, H. X-ray observations of NGC 5128 (Centaurus A) from UHURU. *The Astrophysical Journal*, 180(3):715-724, Mar. 1973.
- VAN DER LAAN, H. A model for variable extragalactic radio sources. *Nature*, 211(5054):1131-1133, Sept. 1966.
- VILA, S.C. Variable quasars as pulsating accretion disks. *The Astrophysical Journal*, 234(2):636-640, Dec. 1979.
- WALSH, I.R.; WHITE, N.F. 2.2-Micron mapping of the nuclear region of NGC 5128. (Centaurus A). *The Observatory*, 102:78-81, June 1982.
- WAYPLER, E.J. Photoelectric observations of 3C 446. *The Astrophysical Journal*, 148(2):L101-L106, May 1967.
- WATSON, M.G.; WELLINGLE, R.; GRINDLAY, J.E.; HERTZ, P. An X-ray study of the Galactic Center. *The Astrophysical Journal*, 250(1):142-154, Nov. 1981.
- WEBBER, J.C.; DENOYER, L.K.; YANG, K.S.; SWENSON JR., G.W. Observations of variable radio sources at 18-cm wavelength. *The Astronomical Journal*, 81(12):1069-1077, Dec. 1976.



APÊNDICE A

TABELAS DAS RADIOFONTES

TABELA A.1

COORDENADAS DAS RADIOFONTES

Radiofonte	Ascensão Reta (1950,0) (h m s)			Declinação (1950,0) (o ' '' )		
OV 236	19	21	41,5	-29	20	19,0
3C 273	12	26	33,2	02	19	43,0
Cen A	13	22	31,6	-42	45	30,0
Sgr A	17	42	26,0	-28	58	12,0
Virgo A	12	28	17,5	12	40	02,4
G 298.2-03	12	07	24,0	-62	33	18,0

TABELA A.2

DENSIDADES DO FLUXO E ÉPOCA DE OBSERVAÇÃO DAS RADIOFONTES,  
EM 22 GHz, DURANTE 2 ANOS E MEIO

Radiofontes	Época de Observação	Densidade do Fluxo (Jy)
3C 273	Jul./1980	25,0 ± 0,2
	Out./1981	42,4 ± 1,3
	Nov./1981	40,8 ± 0,1
	Dez./1981	38,1 ± 0,4
	Fev./1982	35,1 ± 0,8
	Mar./1982	38,2 ± 0,1
	Ago./1982	35,7 ± 0,3
	Set./1982	43,6 ± 0,1
	Nov./1982	46,4 ± 0,1
OV 236	Jul./1980	15,8 ± 0,3
	Mai./1981	06,3 ± 1,1
	Out./1981	08,5 ± 0,3
	Nov./1981	08,9 ± 0,4
	Dez./1981	09,8 ± 0,6
	Fev./1982	09,4 ± 0,9
	Mar./1982	10,8 ± 0,2
	Ago./1982	11,6 ± 0,3
	Set./1982	14,1 ± 0,1

(continua)

Tabela A.2 - Continuação

Radiofontes	Época de Observação	Densidade do Fluxo (Jy)
Cen A	Jul./1980	26,9 ± 0,3
	Mai./1981	27,0 ± 0,2
	Out./1981	28,0 ± 0,5
	Nov./1981	24,6 ± 0,3
	Dez./1981	23,7 ± 0,5
	Fev./1982	24,9 ± 0,7
	Mar./1982	26,0 ± 0,4
	Abr./1982	25,0 ± 1,6
	Ago./1982	25,6 ± 0,3
	Nov./1982	24,9 ± 0,3
Sgr A	Jul./1980	51,8 ± 0,5
	Out./1981	62,7 ± 0,7
	Nov./1981	59,2 ± 0,2
	Dez./1981	56,9 ± 1,3
	Fev./1982	58,8 ± 0,9
	Mar./1982	56,3 ± 0,3
	Abr./1982	48,1 ± 1,2
	Ago./1982	59,0 ± 0,6
	Set./1982	62,7 ± 0,3
	Nov./1982	54,6 ± 0,6

(continua)

Tabela A.2 - Conclusão

Radiofontes	Época de Observação	Densidade de Fluxo (Jy)
G 298.2-0.3	Jul./1980	18,9 ± 0,3
	Mai./1980	22,4 ± 0,3
	Out./1981	25,5 ± 1,1
	Nov./1981	19,8 ± 0,5
	Mar./1982	20,1 ± 0,4
	Ago./1982	19,6 ± 0,5



TABELA A.3

TEMPERATURA DE ANTENA E ELEVAÇÃO DE CENTAURUS A E G 298.2-03  
EM 22 GHz PARA OS DIAS 27 E 28 DE MAIO DE 1981

Radiofonte: Centaurus A

Polarização Horizontal		Polarização Vertical	
Temperatura de Antena (Kelvin)	Elevação (°)	Temperatura de Antena (Kelvin)	Elevação (°)
0,43 ± 0,01	62,35	0,35 ± 0,02	54,30
0,41 ± 0,01	70,00	0,44 ± 0,01	65,75
0,40 ± 0,01	56,50	0,42 ± 0,01	69,95
0,44 ± 0,01	56,65	0,41 ± 0,02	63,95
0,36 ± 0,01	43,90	0,47 ± 0,01	52,80
0,38 ± 0,02	31,50	0,39 ± 0,02	40,10
0,28 ± 0,03	18,60	0,32 ± 0,02	27,60
0,35 ± 0,03	33,85	0,32 ± 0,03	22,45
0,43 ± 0,01	45,45	0,30 ± 0,01	37,60
0,32 ± 0,01	55,85	0,41 ± 0,02	48,95
0,33 ± 0,01	67,05	0,42 ± 0,03	61,20
0,42 ± 0,02	69,55	0,51 ± 0,02	69,75
0,39 ± 0,02	63,50	0,36 ± 0,01	68,30
0,44 ± 0,01	53,80	0,46 ± 0,02	60,65

(continua)

Tabela A.3 - Continuação

Polarização Horizontal		Polarização Vertical	
Temperatura de Antena (Kelvin)	Elevação ( ° )	Temperatura de Antena (Kelvin)	Elevação ( ° )
0,39 ± 0,02	41,60	0,40 ± 0,01	50,40
0,45 ± 0,03	30,90	0,43 ± 0,02	38,15
0,40 ± 0,02	23,55	0,40 ± 0,03	27,05
Radiofonte: G 298.2-0,3			
Polarização Vertical			
Temperatura de antena (Kelvin)		Elevação ( ° )	
0,35 ± 0,02		49,60	
0,34 ± 0,02		50,00	
0,29 ± 0,02		45,95	
0,34 ± 0,02		40,25	
0,25 ± 0,03		32,85	
0,29 ± 0,02		36,85	
0,31 ± 0,01		43,90	
0,43 ± 0,02		48,25	
0,40 ± 0,01		50,30	
0,31 ± 0,01		48,40	

(Continua)

Tabela A.3 - Conclusão

Polarização Vertical	
Temperatura de antena (Kelvin)	Élevação ( $^{\circ}$ )
0,32 $\pm$ 0,02	44,00
0,38 $\pm$ 0,02	38,15
0,33 $\pm$ 0,03	30,85
0,32 $\pm$ 0,04	23,95

TABELA A.4

TEMPERATURA DE ANTENA E HORA SIDERAL EM 22 GHz PARA

OS DIAS 27 E 28 DE MAIO de 1981

Radiofonte: Centaurus A.

Polarização Horizontal		Polarização Vertical	
Temperatura de (Kelvin)	Hora sideral (h)	Temperatura de (Kelvin)	Hora Sideral (h)
0,43 ± 0,01	11,84	0,35 ± 0,02	11,00
0,41 ± 0,01	13,27	0,44 ± 0,01	12,27
0,40 ± 0,01	14,41	0,42 ± 0,01	13,64
0,44 ± 0,01	15,56	0,41 ± 0,02	14,76
0,36 ± 0,01	16,77	0,47 ± 0,01	15,95
0,38 ± 0,02	17,91	0,39 ± 0,02	17,13
0,28 ± 0,03	07,69	0,32 ± 0,02	18,27
0,35 ± 0,03	08,62	0,32 ± 0,03	08,05
0,43 ± 0,01	10,15	0,30 ± 0,01	09,44
0,32 ± 0,01	10,93	0,41 ± 0,02	10,49
0,33 ± 0,01	12,45	0,42 ± 0,03	11,68
0,42 ± 0,02	13,77	0,51 ± 0,02	13,06
0,39 ± 0,02	14,82	0,36 ± 0,01	4,11
0,44 ± 0,01	15,52	0,46 ± 0,02	15,14
0,39 ± 0,02	16,98	0,40 ± 0,01	16,18
0,45 ± 0,03	17,97	0,43 ± 0,02	17,30
0,40 ± 0,02	18,64	0,40 ± 0,03	18,31

(Continua)

Tabela A.4 - Conclusão

Radiofonte: G 298.2-03

Polarização Vertical	
Temperatura de antena	Hora Sideral
0,35 ± 0,02	11,37
0,34 ± 0,02	12,66
0,29 ± 0,02	14,02
0,34 ± 0,02	15,14
0,25 ± 0,03	16,32
0,29 ± 0,08	08,57
0,31 ± 0,01	09,79
0,43 ± 0,02	10,92
0,40 ± 0,01	12,09
0,31 ± 0,01	13,42
0,32 ± 0,02	14,47
0,38 ± 0,02	15,51
0,33 ± 0,03	16,64
0,32 ± 0,04	17,64

TABELA A.5

MÉDIA PONDERADA ENTRE AS TEMPERATURAS DE ANTENA DAS  
CORNETAS VERTICAL E HORIZONTAL E HORA SIDERAL MÉDIA,  
EM 22 GHz, NOS DIAS 27 E 28 DE MAIO DE 1981

Temperatura de antena ( Kevin )	Hora Sideral (h)
0,42 ± 0,01	11,53
0,41 ± 0,01	13,45
0,40 ± 0,01	14,58
0,45 ± 0,01	15,75
0,37 ± 0,01	16,95
0,36 ± 0,01	18,09
0,30 ± 0,02	07,87
0,30 ± 0,01	09,03
0,42 ± 0,01	10,32
0,34 ± 0,01	11,31
0,39 ± 0,01	12,75
0,39 ± 0,01	13,94
0,42 ± 0,01	14,98
0,42 ± 0,01	15,85
0,41 ± 0,01	17,14
0,43 ± 0,02	18,14
0,40 ± 0,02	18,64

TABELA A.6

DENSIDADES DE FLUXO E HORA SIDERAL DE 3C 273 e VIRGO A  
EM 22 GHz

Radiofonte: 3C 273

Período (dia, mês e ano)	Densidade de Fluxo (Jy)	Hora sideral (h , m)
13/03/82	37,86 ± 0,89	12 35
	39,88 ± 0,95	12 50
	43,56 ± 1,52	13 04
	33,30 ± 0,57	13 18
	37,73 ± 1,20	13 32
	36,78 ± 0,82	13 47
14/03/82	42,35 ± 1,14	12 12
	37,10 ± 1,02	12 26
	39,76 ± 0,76	13 15
	41,53 ± 1,14	13 29
	41,21 ± 0,89	14 34
	37,16 ± 0,76	14 48
15/03/82	37,54 ± 1,58	13 15
	41,28 ± 1,14	13 28

(Continua)

Tabela A.6 - Conclusão

Radiofonte: Virgo A

Período (dia, mês e ano)	Densidade de Fluxo (Jy)	Hora sideral (h , m)
13/03/82	$22,66 \pm 0,95$	11 42
	$21,52 \pm 0,63$	11 55
	$23,55 \pm 1,01$	13 44
14/03/82	$20,64 \pm 1,01$	13 45
	$20,64 \pm 0,82$	13 58
15/03/82	$19,50 \pm 1,14$	13 57



TABELA A.7

DENSIDADES DE FLUXO OBTIDAS EM ABRIL DE 1982 NA  
RADIOFREQUÊNCIA DE 22 GHz

Radiofonte: Sgr A

Data (dia e mês)	Densidade de Fluxo (Jy)
10/04	52,1 ± 0,9
11/04	53,1 ± 1,1
12/04	56,1 ± 1,2
15/04	43,9 ± 0,8
16/04	47,5 ± 1,5
17/04	51,3 ± 1,1
18/04	45,7 ± 1,5
19/04	50,8 ± 1,1
20/04	42,7 ± 0,9
21/04	44,7 ± 1,9
22/04	51,8 ± 1,1
23/04	45,3 ± 1,2
24/04	50,0 ± 1,6
25/04	47,7 ± 2,2
26/04	38,4 ± 0,7

(Continua)

Tabela A.7 - Continuação

Radiofonte: Cen A

Data (dia e mês)	Densidade de Fluxo (Jy)
09/04	24,9 ± 0,9
11/04	20,3 ± 0,8
12/04	25,0 ± 0,9
15/04	19,5 ± 1,7
16/04	21,8 ± 3,3
17/04	22,7 ± 0,7
18/04	28,3 ± 0,7
19/04	27,3 ± 0,9
20/04	22,0 ± 0,7
21/04	22,9 ± 1,0
22/04	22,2 ± 0,7
23/04	25,1 ± 0,7
24/04	28,7 ± 0,9
25/04	24,7 ± 0,9
26/04	24,3 ± 1,1

(Continua)

Tabela A.7 - Conclusão:

Radiofonte: Virgo A

Data (dia e mês)	Densidade de Fluxo (Jy)
09/04	22,3 ± 0,9
10/04	15,9 ± 1,1
12/04	17,8 ± 1,6
15/04	20,9 ± 0,9
16/04	20,2 ± 0,4
17/04	22,5 ± 0,9
18/04	21,8 ± 0,6
19/04	22,5 ± 0,9
20/04	17,8 ± 0,8
21/04	21,5 ± 0,6
22/04	21,8 ± 0,7
23/04	16,9 ± 0,9
24/04	16,1 ± 0,6
25/04	19,1 ± 0,9
26/04	17,2 ± 0,9

TABELA A.8

DENSIDADES DE FLUXO EM 44 GHz OBTIDAS EM ABRIL DE 1982

Data (dia e mês)	Densidade de Fluxo (Jy)	Radiofonte
11/04	40,4 ± 3,2	Sgr A
15/04	44,7 ± 4,5	"
16/04	27,8 ± 5,0	"
17/04	18,7 ± 4,3	"
18/04	19,3 ± 6,7	"
19/04	15,6 ± 4,8	"
22/04	15,8 ± 6,1	"
23/04	36,2 ± 3,5	"
24/03	17,8 ± 5,9	"
25/04	36,2 ± 4,3	"
26/04	34,9 ± 5,6	"
11/04	12,6 ± 1,5	Cen A
12/04	21,7 ± 4,3	"
15/04	09,3 ± 2,2	"
16/04	12,8 ± 2,4	"
17/04	34,5 ± 4,8	"
18/04	24,4 ± 3,0	"
19/04	13,9 ± 2,6	"
22/04	11,9 ± 2,4	"
23/04	07,2 ± 2,8	"

(continua)

Tabela A.8 - Conclusão

Data (dia e mês)	Densidade de Fluxo (Jy)	Radiofonte
24/04	23,0 ± 3,2	Cen A
26/04	11,3 ± 2,8	"
11/04	11,5 ± 1,7	Virgo A
15/04	13,2 ± 3,2	"
16/04	1,50 ± 1,9	"
17/04	17,7 ± 3,2	"
18/04	11,9 ± 1,7	"
19/04	11,3 ± 3,7	"
22/04	23,2 ± 1,9	"
23/04	13,9 ± 2,6	"
24/04	13,4 ± 2,2	"
25/04	18,4 ± 1,9	"
26/04	23,9 ± 3,2	"

TABELA A.9

DENSIDADES DE FLUXO E HORA SIDERAL DE 3C 273, EM 22 GHz,  
OBTIDAS ENTRE 21 E 29 DE SETEMBRO DE 1982

Densidade de Fluxo (Jy)	Hora Sideral (h)
42,6 ± 0,5	09,1
44,8 ± 0,4	12,2
44,5 ± 0,5	11,7
48,4 ± 0,5	13,1
37,4 ± 0,8	15,5
36,2 ± 0,5	16,6
43,5 ± 0,5	08,7
47,1 ± 1,0	10,4
50,1 ± 0,8	11,8
48,1 ± 0,7	12,8
41,5 ± 0,5	08,8
39,7 ± 0,9	10,1
42,5 ± 0,5	11,8
43,3 ± 0,7	12,8
41,7 ± 0,5	09,0
41,9 ± 0,6	10,3
44,6 ± 0,4	11,6
47,2 ± 0,4	12,6
45,9 ± 0,7	13,6
36,4 ± 0,9	16,7

(continua)

Tabela A.9 - Conclusão

Densidade de Fluxo (Jy)	Hora Sideral (h)
42,7 ± 0,5	09,0
43,9 ± 0,4	10,1
45,3 ± 1,3	11,3
44,2 ± 0,3	12,7
37,1 ± 0,8	16,3
43,5 ± 1,1	09,2
48,5 ± 1,2	10,5
46,0 ± 0,0	11,7
47,2 ± 0,7	12,7
40,2 ± 0,5	16,4
48,2 ± 1,1	10,5
45,7 ± 1,1	12,1
41,7 ± 0,9	09,5
45,4 ± 1,5	10,7
50,1 ± 0,8	12,7
42,1 ± 1,5	17,0
46,8 ± 1,0	09,8
50,9 ± 0,6	12,1
45,9 ± 0,9	12,6

TABELA A.10

DENSIDADES DE FLUXO EM 22 GHz OBTIDAS EM SETEMBRO DE 1982

Data (dia)	Densidade de Fluxo (Jy)	Radiofonte
20	13,1 ± 0,4	OV 236
21	14,3 ± 0,5	"
22	14,6 ± 0,2	"
23	12,9 ± 0,5	"
24	15,1 ± 0,4	"
25	14,5 ± 0,4	"
26	15,5 ± 0,5	"
27	14,8 ± 0,5	"
28	13,5 ± 0,4	"
29	11,8 ± 0,5	"
21	21, ± 0,3	Sgr A
22	22,6 ± 0,3	"
23	21,3 ± 0,2	"
24	20,9 ± 0,3	"
25	22,0 ± 0,5	"
26	22,6 ± 0,3	"
27	24,9 ± 0,8	"
28	22,3 ± 0,5	"
29	21,6 ± 0,5	"

(continua)



Tabela A.10 - Conclusão

Data (dia)	Densidade de Fluxo (Jy)	Radiofonte
21	21,0 ± 0,3	Virgo A
22	22,6 ± 0,3	"
23	21,3 ± 0,2	"
24	20,9 ± 0,3	"
25	22,0 ± 0,5	"
26	22,6 ± 0,3	"
27	24,9 ± 0,8	"
28	22,3 ± 0,5	"
29	21,6 ± 0,5	"

TABELA A.11

DENSIDADES DE FLUXO EM 44 GHz OBTIDAS EM SETEMBRO DE 1982

Data (dia)	Densidade de Fluxo (Jy)	Radiofonte
22	113,6 ± 1,0	Júpiter
23	113,5 ± 1,0	"
24	113,1 ± 1,1	"
25	112,7 ± 2,2	"
26	112,4 ± 2,2	"
27	112,1 ± 4,1	"
28	111,7 ± 1,1	"
21	26,1 ± 1,4	3C 273
22	25,4 ± 1,0	"
24	23,9 ± 1,3	"
25	24,2 ± 1,1	"
26	19,9 ± 1,1	"
27	30,7 ± 1,1	"
28	25,6 ± 0,9	"
20	18,2 ± 0,6	Sgr A
22	22,0 ± 1,0	"
23	23,0 ± 1,0	"
24	18,9 ± 0,8	"
25	20,2 ± 0,9	"
26	17,5 ± 0,4	"
27	21,6 ± 1,3	"

(continua)

Tabela A.11 - Conclusão

Data (dia)	Densidade de Fluxo (Jy)	Radiofonte
28	22,1 ± 1,1	Sgr A
20	09,8 ± 1,0	OV 236
22	06,9 ± 1,1	"
23	08,7 ± 0,9	"
24	08,0 ± 0,9	"
25	08,7 ± 0,8	"

TABELA A.12

DENSIDADES DE FLUXO EM 22 GHz OBTIDAS EM NOVEMBRO DE 1982

Data (dia)	Hora Sideral	Densidade de Fluxo	Radiofonte
05	10,8	46,7 ± 0,3	3C 273
05	11,9	47,3 ± 0,4	"
05	12,9	45,6 ± 0,4	"
06	12,1	46,0 ± 0,4	"
06	13,3	45,5 ± 0,5	"
07	10,3	45,8 ± 0,4	"
07	11,5	49,4 ± 0,6	"
08	09,8	45,7 ± 0,5	"
08	10,8	47,0 ± 0,6	"
08	12,1	46,9 ± 0,6	"
09	10,1	45,8 ± 0,5	"
09	11,3	46,0 ± 0,5	"
09	11,8	47,1 ± 0,5	"
10	09,7	44,6 ± 0,7	"
10	10,6	44,9 ± 0,4	"
10	12,1	48,0 ± 0,5	"
05	10,4	20,1 ± 0,5	Virgo A
05	11,4	22,0 ± 0,3	"
05	12,4	19,9 ± 0,3	"
06	11,6	22,8 ± 0,9	"
06	12,8	19,6 ± 0,5	"

(continua)

Tabela A.12 - Conclusão

Data (dia)	Hora Sideral	Densidade de Fluxo	Radiofonte
07	11,1	24,1 ± 0,6	Virgo A
07	12,1	22,5 ± 0,6	"
08	10,5	23,3 ± 0,4	"
08	11,6	22,0 ± 0,4	"
08	13,2	19,4 ± 0,4	"
09	10,5	23,7 ± 0,6	"
09	11,5	22,0 ± 0,6	"
09	13,2	20,2 ± 0,6	"
10	10,4	21,5 ± 0,5	"
10	11,6	22,6 ± 0,4	"
10	13,1	19,1 ± 0,6	"
06	.....	24,3 ± 0,4	Cen A
07	.....	24,8 ± 0,5	"
08	12,6	26,2 ± 0,7	"
08	14,2	28,0 ± 0,8	"
09	12,6	24,0 ± 0,4	"
09	13,7	25,6 ± 0,7	"
10	12,6	25,6 ± 0,9	"
10	13,7	23,5 ± 0,5	"