

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO ESPECTRAL DE RADIOFONTES  
EXTRAGALÁCTICAS**

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

**Márcio Ribeiro Gastaldi (Mackenzie, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: marciogastaldi@ig.com.br**

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

**Maio de 2003**

## ÍNDICE

<b>1 - AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>3</b>
<b>2 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>3</b>
<b>3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>3</b>
3.1 - EVENTOS EM RADIOFONTES .....	3
3.2 - COMPOSIÇÃO DAS CURVAS DE DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO .....	5
3.3 - FATORES DE CORREÇÃO.....	6
3.4 - ESTRUTURA DAS RADIOFONTES.....	8
<b>4 - METODOLOGIA .....</b>	<b>8</b>
4.1 - MODELO ADOTADO PARA OS PARÂMETROS COLETADOS E CALCULADOS.....	8
<b>5 - RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>11</b>
5.1 - APRESENTAÇÃO DAS FONTES .....	11
5.2 - PROCESSAMENTO DOS DADOS E PARÂMETROS OBTIDOS.....	12
A tabela 5.2.9b mostra os parâmetros calculados.....	19
<b>6 - CONCLUSÕES.....</b>	<b>31</b>
<b>7 - TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>32</b>
<b>8 - CURSOS EM ANDAMENTO .....</b>	<b>32</b>
<b>9 – SEMINÁRIOS APRESENTADOS.....</b>	<b>32</b>
<b>10 – ANEXO – ESPECTROS DAS 25 RADIOFONTES .....</b>	<b>33</b>
<b>11 – REFERÊNCIAS .....</b>	<b>180</b>

## 1 - AGRADECIMENTOS

Desejamos expressar nossa gratidão ao programa PIBIC/CNPq que tornou possível a realização deste trabalho.

## 2 - INTRODUÇÃO

No primeiro ano de desenvolvimento deste trabalho, foi formado um banco de dados em rádio-freqüências composto por informações referentes à 25 radiofontes observáveis nos hemisférios Norte e Sul. Foram catalogados valores de densidade de fluxo (Jy) para cada uma das freqüências estudadas, a saber: 4.8, 8.0 e 14.5 GHz (rádio-observatório de Michigan, nos EUA); 37 e 90 GHz (rádio-observatório de Metsähovi, na Finlândia); 90 e 230 GHz (rádio-observatório do SEST, no Chile); 37 GHz (rádio-observatório da CRIMEA, na Rússia).

Foram obtidos a partir desse banco de dados gráficos de DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (de 1965 a 2000), os quais mostram a variação no nível de energia emitida a partir de cada radiofonte.

O presente trabalho, como continuação, analisa as variações de fluxo e o tempo de evolução dos eventos. O objetivo é um estudo quantitativo do tempo de evolução de um evento em radiofontes extragalácticas, relacionando-o com suas propriedades físicas. São estimadas, ainda, curvas para a descrição da potência emitida a partir de uma radiofonte com base no modelo da radiação sincrotrônica e assumindo espectros do tipo lei de potência para a parte opticamente fina do espectro.

## 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1 - EVENTOS EM RADIOFONTES

O termo *evento* será aqui definido como causa de variação (aumento) da densidade de fluxo (Jy) de uma radiofonte.

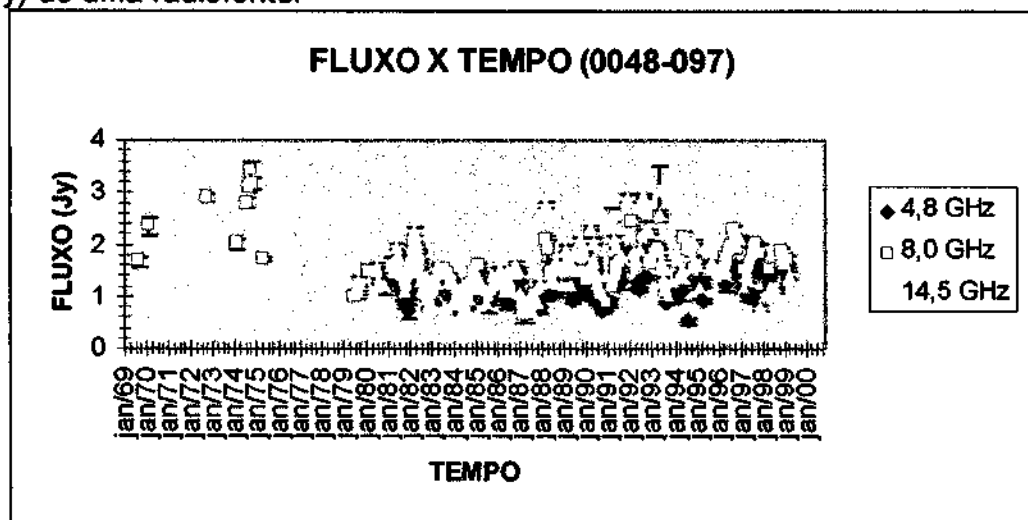


Figura 3.1.1: Exemplo de gráfico de DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO. Chamamos de evento às elevações no nível de fluxo.

Na região observada do espectro predominam as emissões sincrotrônicas. Considerando o modelo caracterizado por um buraco negro supermassivo rodeado por um disco de acreção, um evento se daria a cada agregação de matéria à região do jato, onde predominam campos magnéticos de intensidade elevada:

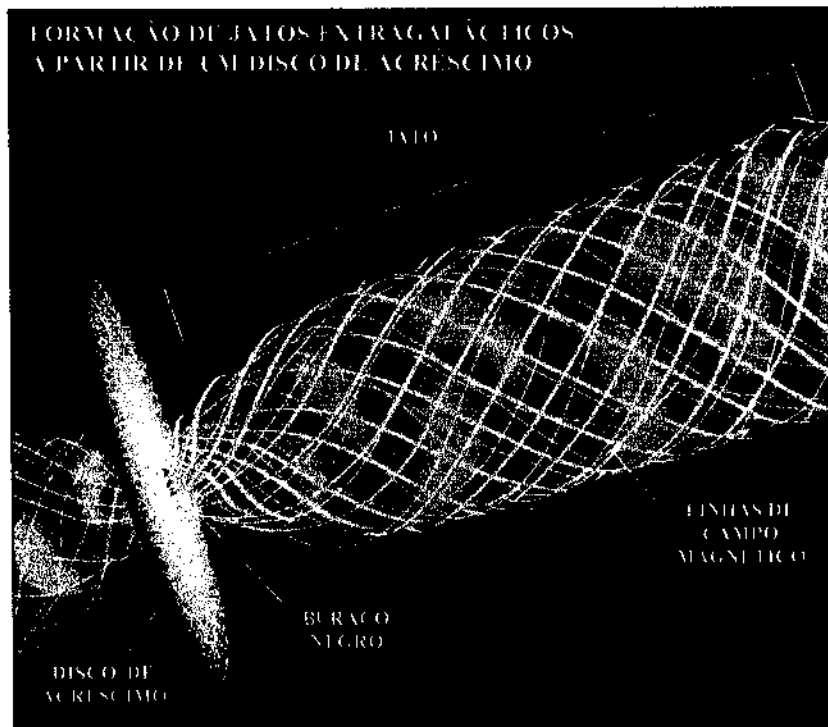


Figura 3.1.2: Formação de jatos extragalácticos a partir de um buraco negro circundado por um disco de acreção. Devido a instabilidades, a matéria presente nas regiões centrais chega à região dos intensos campos magnéticos dando origem à radiação sincrotrônica.

Uma outra possível causa para o aumento da densidade de fluxo é o aumento da densidade das linhas de fluxo magnético em estreitamentos que podem ocorrer em algum ponto do jato:

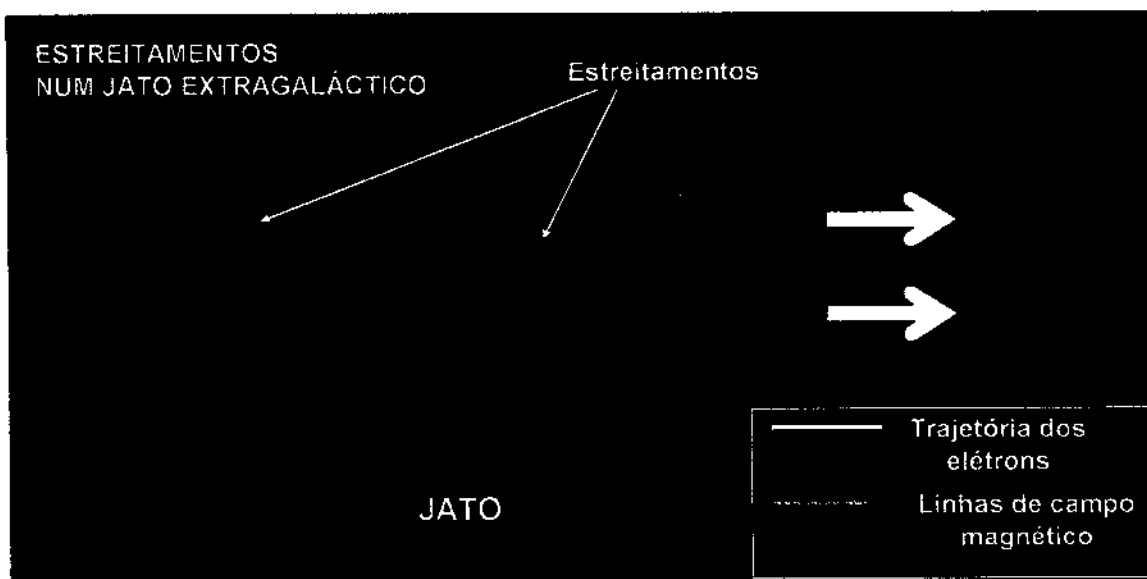


Figura 3.1.3: Estreitamentos em jatos extragalácticos aumentam o nível de radiação sincrotrônica emitida devido à maior concentração de linhas de campo magnético.

A partir da ocorrência de um evento, nota-se uma elevação progressiva da densidade de fluxo até atingir um valor máximo, voltando, logo após, a valores mais baixos até a ocorrência de um outro evento.

O tempo de elevação da densidade de fluxo será chamado *tempo de crescimento* ( $t_c$ ), enquanto o tempo em que nota-se o decréscimo da densidade de fluxo após a ocorrência do máximo será chamado de *tempo de decréscimo* ( $t_d$ ):

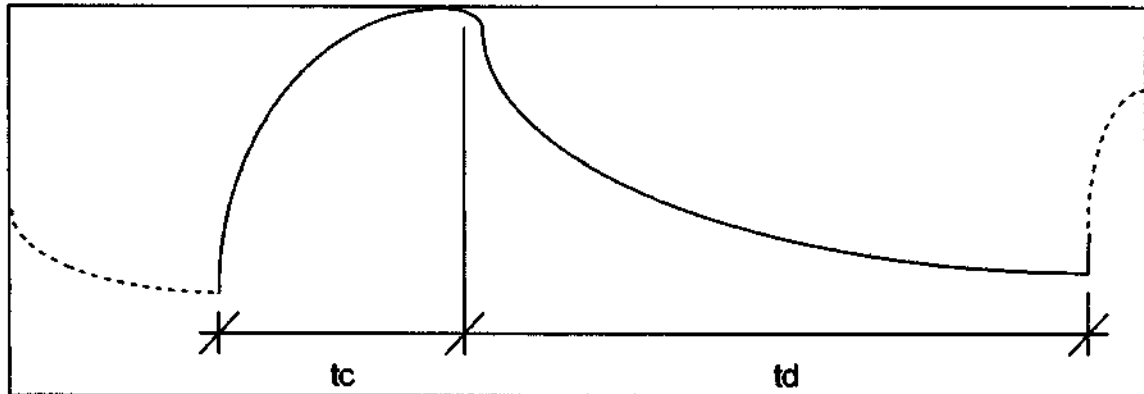


Figura 3.1.4: Tempo de crescimento ( $t_c$ ) e tempo de decréscimo ( $t_d$ ) num gráfico DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO.

### 3.2 - COMPOSIÇÃO DAS CURVAS DE DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO

Um evento pode ser dividido em 5 etapas distintas:

1. Densidade de fluxo mínima;
2. Tempo de crescimento;
3. Densidade de fluxo máxima;
4. Tempo de decréscimo;
5. Densidade de fluxo mínima.

onde o valor do item 5 seria aproximadamente igual ao do item 1.

Na prática o que ocorre é uma sucessão de eventos, o que torna impossível observar um único evento em toda a sua evolução. O que é observado é uma superposição dos eventos isolados como mostrado na figura 3.2.1.



Figura 3.2.1: Eventos sucessivos. A curva amarela mostra o efeito da superposição dos eventos 1, 2 e 3.

Esse fato dá origem a padrões como:

- Componentes de variabilidade curta: Baseiam-se na sucessão de eventos como mostrado acima e têm origem na não uniformidade de agregação de matéria às regiões do jato ou no aumento da densidade das linhas de campo magnético na região do jato. Podem apresentar períodos de meses, semanas, dias e até mesmo horas.
- Componentes de variabilidade longa: Podem apresentar períodos de variabilidade de meses, anos ou décadas com as mesmas causas apontadas acima.

O presente estudo baseia-se nas componentes de variabilidade curta, com a finalidade de determinar intervalos ou extremos nos padrões de comportamento das radiofontes.

### 3.3 - FATORES DE CORREÇÃO

Devido à distância, quasares e objetos BL Lacertae apresentam alto redshift. Logo, sua alta velocidade de afastamento deve ser levada em consideração quando o tempo relacionado a um evento é uma variável no estudo do fenômeno.

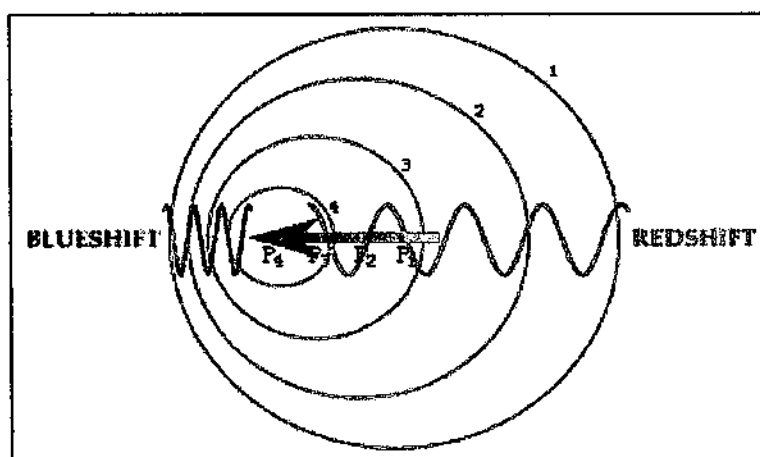


Figura 3.3.1: Efeito Doppler cosmológico. Na figura ao lado, a fonte emissora move-se de P1 para P4. A frequência percebida aumenta da zona 1 para a zona 4.

Considerando a transformação de Lorentz para o tempo:

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad \text{Equação 3.3.1}$$

T = intervalo de tempo medido por um observador se movendo relativamente ao fenômeno

T<sub>0</sub> = intervalo de tempo medido por um observador estático relativamente ao fenômeno

v = velocidade do observador

c = velocidade da luz

Por outro lado, a definição para o redshift (z) relativístico mostra que

$$z = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} - 1 \quad \text{Equação 3.3.2}$$

Uma maneira útil de rescrever a relação acima é:

$$\frac{v}{c} = \frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1} \quad \text{Equação 3.3.3}$$

Das equações 3.3.1 e 3.3.3, vem

$$\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = 2 \frac{z+1}{(z+1)^2 + 1} \quad \text{Equação 3.3.4}$$

e a equação 3.3.1 fica:

$$T = \frac{T_0 [(z+1)^2 + 1]}{2(z+1)} \quad \text{Equação 3.3.5}$$

$$\text{ou} \quad T_0 = 2T \frac{z+1}{[(z+1)^2 + 1]} \quad \text{Equação 3.3.6}$$

onde

T<sub>0</sub> = intervalo de tempo medido por um observador estático relativamente ao fenômeno

T = intervalo de tempo medido por um observador se movendo relativamente ao fenômeno

z = redshift

### 3.4 - ESTRUTURA DAS RADIOFONTES

Como mostra a figura 3.4.1, pode-se dividir a estrutura da radiofonte em duas componentes principais: núcleo e jato. Da parte mais externa do jato em direção ao núcleo (componente B) temos as componentes  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ . Logo, o jato é composto pelas componentes A e o núcleo é a componente B.

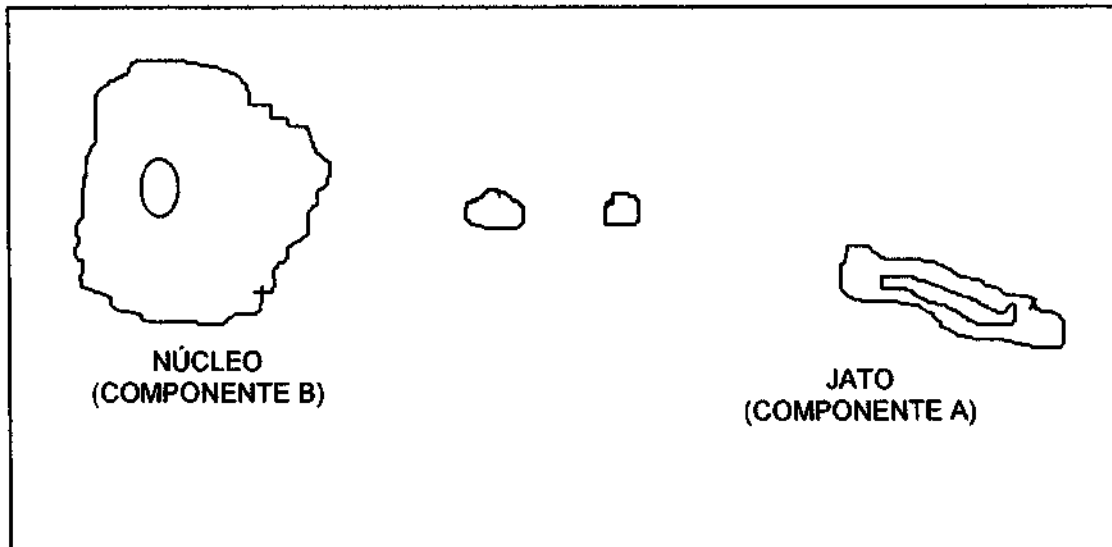


Figura 3.4.1: Esquema mostrando a estrutura de uma radiofonte segundo as suas partes.

## 4 - METODOLOGIA

A partir dos gráficos DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO obtidos em etapa anterior, determinar os parâmetros:

1. densidade de fluxo inicial (imediatamente anterior à ocorrência de um evento);
2. tempo de crescimento ou decréscimo da densidade de fluxo a partir do estabelecimento do item 1;
3. densidade de fluxo máxima ou mínima atingida;
4. tempo de decréscimo ou crescimento da densidade de fluxo após o máximo ou mínimo atingido;
5. densidade de fluxo mínima ou máxima atingida;
6. Aplicação do fator de correção relativístico ao tempo de crescimento e de decréscimo;
7. Determinação do raio de variabilidade e da temperatura de brilhaça.
8. Traçado de curvas para os gráficos de densidade de fluxo X frequência obedecendo uma lei de potência:  $F = F_0 v^{-\alpha}$ .

### 4.1 - MODELO ADOTADO PARA OS PARÂMETROS COLETADOS E CALCULADOS

Dado o modelo de gráfico DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO da figura 4.1.1,





Figura 4.1.1: Modelo de gráfico DENSIDADE DE FLUXO (ordenadas) X TEMPO (abcissas). A diferença no preenchimento das linhas refere-se à representação de frequências diferentes.

obtem-se a seguinte tabela:

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	T1,2	S3	TS3	T2,3	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8											
8											
14,5											

Tabela 4.1.1: Modelo adotado na análise dos dados para a disposição dos parâmetros coletados e calculados.

- A primeira coluna (F) mostra, em GHz, a frequência estudada;
- A segunda coluna (S1) mostra a densidade de fluxo inicial. Pode ser um mínimo ou um máximo;
- A terceira coluna (TS1) mostra a data em que ocorre S1.
- A quarta coluna (S2) mostra um segundo nível de densidade de fluxo. Este valor é escolhido tendo em vista a máxima variação em crescimento ou decréscimo;
- A quinta coluna (TS2) mostra a data em que ocorre S2;
- A sexta coluna ( $\Delta_{1,2}$ ) refere-se à taxa S2/S1;
- A sétima coluna (T1,2) mostra o tempo (meses) decorrido entre S1 e S2. Esse intervalo de tempo é corrigido para um referencial estático em relação à radiofonte. O fator de correção é dado pela equação 3.3.6;
- A oitava coluna (S3) mostra uma terceira densidade de fluxo. Seu valor é dado pela máxima variação a partir de S2. Se S2 é um ponto de máximo, então S3 é um ponto de mínimo e vice-versa.
- A nona coluna (TS3) mostra a data em que ocorre S3.
- A décima coluna (T2,3) mostra o tempo (meses) decorrido entre S2 e S3. Esse intervalo de tempo é corrigido para um referencial estático em relação à radiofonte. O fator de correção é dado pela equação 3.3.6;
- A décima primeira coluna ( $\Delta_{2,3}$ ) refere-se à taxa S3/S2;
- A décima segunda coluna (Toc%) mostra a relação percentual entre o tempo de crescimento e o tempo total do evento estudado.

Usando o tempo de crescimento dos eventos e o aumento no nível de energia emitida a partir dos parâmetros acima, são calculados o raio de variabilidade (pc), o tamanho angular das fontes (milissegundos de arco) e a temperatura de brilho da seguinte maneira:

$$\tau_{\text{var}} \approx (1+z)^{-1} \frac{\Delta S_{\text{max}}}{\Delta S} \Delta t$$

Equação 4.1.1

z é o redshift ( adimensional );

$\Delta S_{\text{max}}$  é o crescimento do fluxo ( medido em jansky );

$\Delta S$  é a referência no nível de fluxo ( em jansky );

$\Delta t$  é o tempo decorrido no crescimento do evento ( em segundos )

$$r_{\text{var}} = c \tau_{\text{var}} \quad \text{Equação 4.1.2}$$

$c$  é a velocidade da luz ( em m/s )

$$\theta_{\text{var}} = \frac{2r_{\text{var}}}{D} (1+z)^2 = 2r_{\text{var}} (1+z)^2 \frac{H}{cz} \quad \text{Equação 4.1.3}$$

$D$  é a distância da radiofonte;  
 $H$  é a constante de Hubble ( 73 km/sMpc )

$$T_B \approx \frac{2c^2 S_\nu}{\pi k \nu^2 \theta_{\text{var}}^2} \quad \text{Equação 4.1.4}$$

$S_\nu$  é o fluxo atingido ( jansky );  
 $\nu$  é a frequência ( em hertz )

Numa tabela, os parâmetros mais importantes:

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau_{\text{var}}$ (s)	r(m)	r(pc)	$\theta_{\text{var}}$ (rad)	$\theta_{\text{var}}$ (miliarcsec)	Tb (K)
4,8							
8							
14,5							

- A primeira coluna mostra a frequência estudada, em GHz;
- A segunda coluna mostra o tempo decorrido durante a elevação da densidade de fluxo. É o intervalo descrito na tabela anterior na sexta ou décima primeira coluna, dependendo de qual das colunas descreve o tempo de elevação.
- A terceira coluna mostra o parâmetro descrito pela equação 4.1.1.
- A quarta e a quinta colunas mostram o raio de variabilidade em metros e em parsecs, respectivamente.
- A sexta e sétima colunas mostram o tamanho angular da fonte em radianos e em milissegundos de arco, respectivamente.
- A oitava coluna mostra a temperatura de brilhaça em graus kelvin.

Para a obtenção das curvas que ilustram o comportamento da fonte em diferentes frequências (espectros) foi adotado um comportamento do tipo lei de potência onde

$$F \propto \nu^{-\alpha} \quad \text{Equação 4.1.5}$$

logo, para duas frequências distintas, temos:

$$\frac{\nu_1^{-\alpha}}{\nu_2^{-\alpha}} = \frac{F_1}{F_2} \quad \text{Equação 4.1.6}$$

$$\alpha = - \frac{\ln \frac{F_1}{F_2}}{\ln \frac{V_1}{V_2}}$$

Equação 4.1.7

As equações acima mostram os passos no cálculo do índice espectral,  $\alpha$ , e o critério usado no traçado das curvas dos gráficos expostos no anexo.

## 5 - RESULTADOS E ANÁLISES

### 5.1 - APRESENTAÇÃO DAS FONTES

A tabela 5.1 mostra a lista das fontes estudadas. A coluna 1 mostra o nome da radiofonte de acordo com suas coordenadas (ascensão reta e declinação); a coluna 2 dá o nome, quando existente, pelo qual a radiofonte é conhecida em outros catálogos; a coluna 3 mostra o tipo de AGN estudada; a coluna 4 mostra, quando disponível, a magnitude visual e a coluna 5 dá o redshift, quando disponível.

Fonte	Outro nome	Tipo	Magnitude Visual	Redshift
0003-066	-	BL Lac	-	0,347
0007+106	III ZW2	QSO	-	0,089
0016+731	-	-	-	1,781
0022+638	3C 10	-	-	-
0040+517	3C 20	-	-	0,174
0048-097	PKS, OB-080	BL Lac	16, 6-17,3	1,000
0059+581	-	-	-	-
0106+013	OC 012	QSO	-	2,107
0108+388	-	-	-	0,669
0109+224	-	BL Lac	17,2	0,000...
0127+233	3C 43	-	-	1,459
0134+375	3C 48	-	-	0,367
0153+744	-	-	-	2,338
0202+149	-	-	-	0,833
0212+735	-	-	-	2,367
0215+015	ODO 26, PKS	-	15,7-19,5	1,649
0218+357	-	-	-	0,685
0219+428	3C 66 A	-	15,15-15,5	0,444
0220+427	3C 66 B	-	-	0,021
0234+285	CTD 20	QSO	-	1,207
0300+470	OE 400, 4C47.08	-	18	0,475
0306+102	OE 110, PKS	-	-	0,863
0315+416	3C 83.1	-	-	0,025
0333+321	NRAO 140	QSO	-	1,263
0521-365	PKS	-	14-16	0,0553

Tabela 5.1.1: Apresentação das radiofontes.

## 5.2 - PROCESSAMENTO DOS DADOS E PARÂMETROS OBTIDOS

Segue uma lista das 25 radiofontes acima referidas estudadas segundo o tempo de evolução e a magnitude dos eventos ocorridos seguindo o metodologia descrita na seção 4.

0003-066

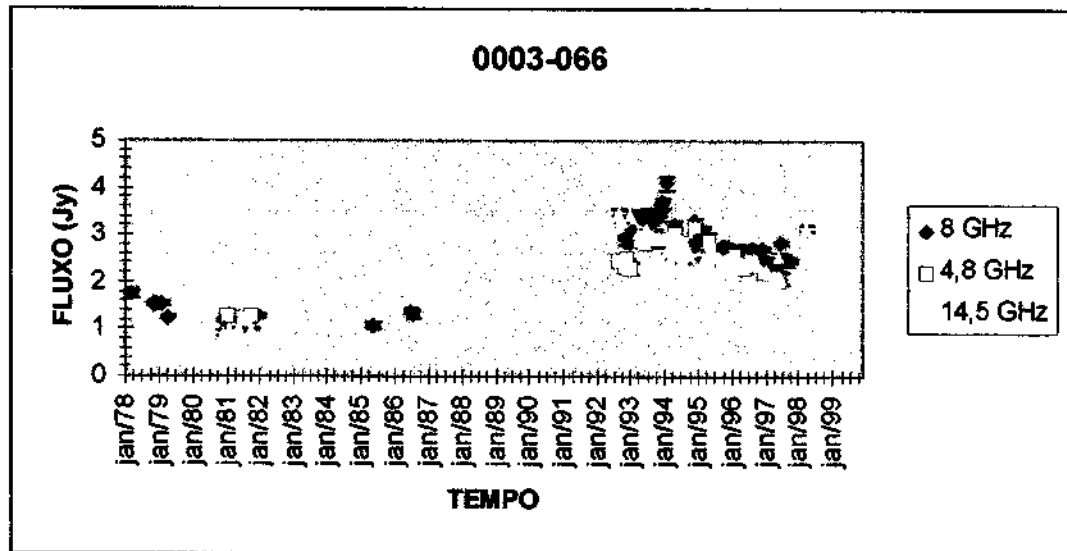


Gráfico 5.2.1: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

Como pode ser observado no gráfico 5.2.1 o intervalo que vai de 1978 a 2000 mostra o estágio final de decréscimo de um evento anterior, o tempo de crescimento ( a partir de 1981) e o início do tempo de decréscimo da densidade de fluxo ( a partir de 1994). Para o tempo de elevação da densidade de fluxo tem-se:

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	T	T <sub>1,2</sub>
4,8	1,21	jul/81	3,19	dez/94	2,64	161	154,11
8	1,07	mai/85	4,09	fev/94	3,82	105	100,51
14,5	0,89	abr/81	3,49	set/92	3,92	137	131,14

Tabela 5.2.1a: Elevação da densidade de fluxo de S1 a S2.

A maior variação foi apresentada pela componente em 14,5 GHz, e a menor, pela componente em 4,8 GHz. A componente em 8,0 GHz apresentou o menor período de variação enquanto o maior foi apresentado pela componente em 4,8 GHz.

A tabela 5.2.1b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (miliarcsec)	T <sub>b</sub> (K)
4,8	161	8,17E+08	2E+17	7,941	2,021E-08	4,168	1,407E+10
8	105	7,72E+08	2E+17	7,509	1,911E-08	3,941	7,265E+09
14,5	137	1,03E+09	3E+17	10,051	2,558E-08	5,276	1,053E+09

Tabela 5.2.1b: Parâmetros calculados.

0007+106

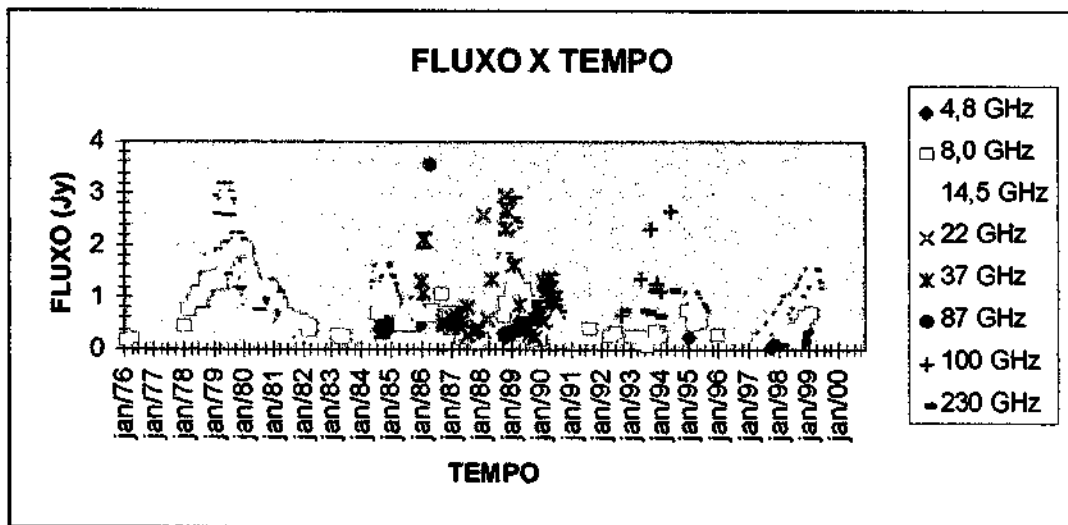


Gráfico 5.2.2: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

No intervalo de tempo de jan/1987 a jan/1998, conforme o gráfico 5.2.2 e a tabela 5.2.2a, nota-se a evolução de uma componente de variabilidade longa. A maior taxa de variação apresentada no período de crescimento foi em 8,0 GHz. A maior variação do período de decréscimo foi apresentada pela componente em 14,5 GHz. O período de crescimento variou de 7%, em 4,8 GHz a 21%, em 14,5 GHz.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	T1,2	S3	TS3	T2,3	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	0,22	nov/88	0,8	jun/89	3,64	6,97	0,05	out/97	99,64	0,06	6,54
8	0,12	dez/87	1,4	fev/89	11,67	13,95	0,04	ago/93	53,80	0,03	20,59
14,5	0,34	dez/87	2,71	fev/89	7,97	13,95	0,17	jun/93	51,81	0,06	21,21

Tabela 5.2.2a: Elevação da densidade de fluxo de S1 a S2 e decréscimo até S3.

0016+731

De set/85 a abr/91 nota-se, de acordo com o gráfico 5.2.3, a evolução de uma componente de variabilidade longa. No período de crescimento a componente em 14,5 GHz apresentou a maior variação. A componente em 4,8 GHz apresentou a menor variação do período. No período de decréscimo, a maior variação foi apresentada pela componente em 8,0 GHz.

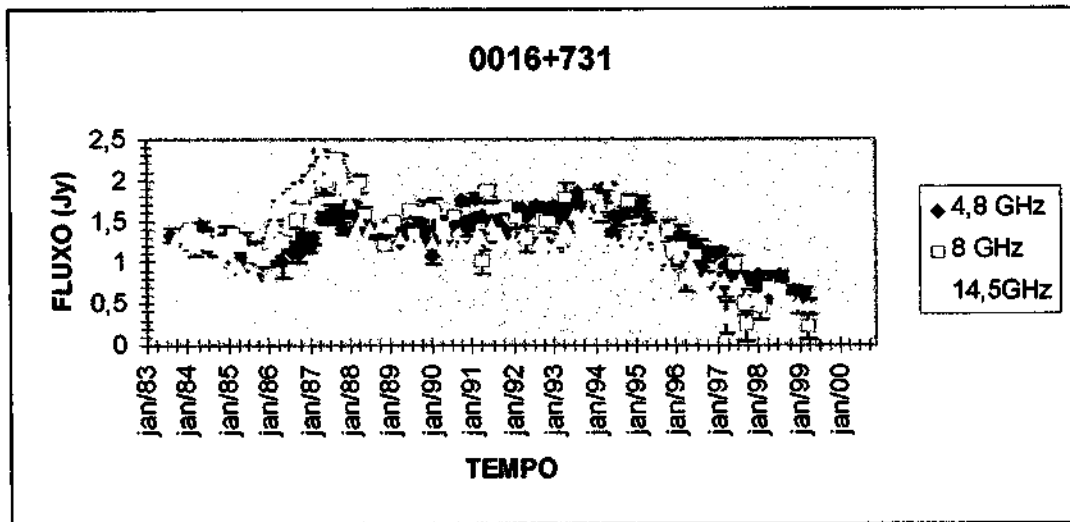


Gráfico 5.2.3: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	T1,2	S3	TS3	T2,3	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	0,99	nov/85	1,65	mar/88	1,67	17,83	1,07	jan/90	14,01	0,65	56,00
8	1,01	dez/85	2,27	set/87	2,25	13,37	1,01	abr/91	27,38	0,44	32,81
14,5	0,82	set/85	2,37	abr/87	2,89	12,10	1,17	jul/90	24,84	0,49	32,76

Tabela 5.2.3a: Elevação da densidade de fluxo de S1 a S2 e decréscimo até S3.

A tabela 5.2.3b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (milliarcsec)	Tb (K)
4,8	31	3,815E+07	1E+16	0,371	7,839E-10	0,162	1,510E+13
8	15	1,702E+07	5E+15	0,166	3,498E-10	0,072	2,852E+13
14,5	13	1,603E+07	5E+15	0,156	3,295E-10	0,068	8,498E+12

Tabela 5.2.3b: Parâmetros calculados.

0022+638 (3C 10)

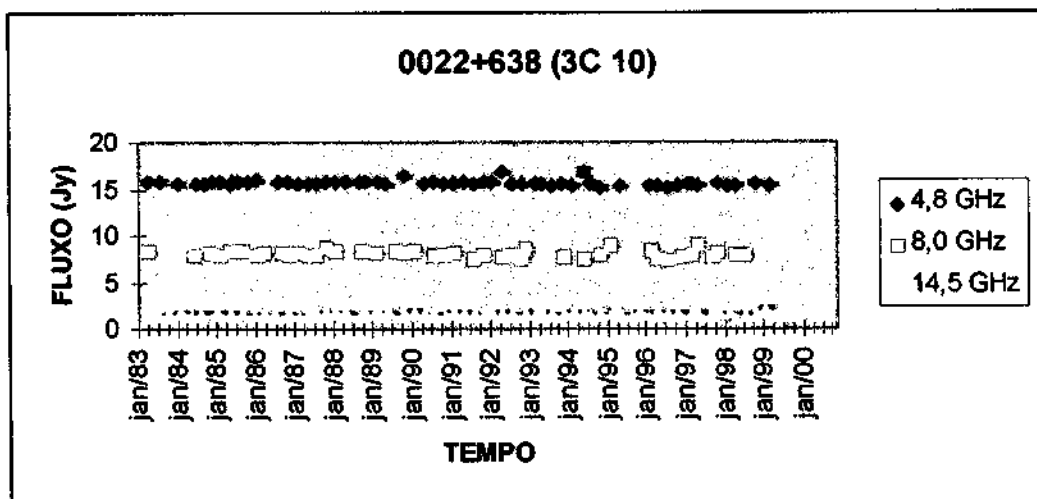


Gráfico 5.2.4: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

Segundo o gráfico 5.2.4 não há variações de longo período. Esta radiofonte apresenta suas curvas de densidade de fluxo praticamente planas no intervalo de tempo estudado.

0040+517 (3C 20)

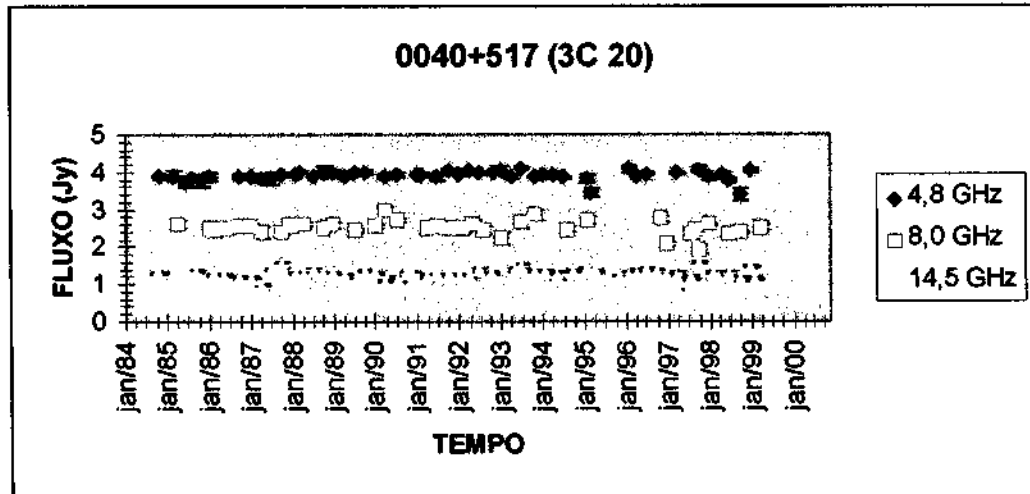


Gráfico 5.2.5: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

De acordo com os índices  $\Delta_{1,2}$  e  $\Delta_{2,3}$  da tabela 5.2.5 a componente em 4,8 GHz apresentou maior variação no seu período de crescimento. A menor variação no período de crescimento foi apresentada pela componente em 14,5 GHz. No período de decréscimo, a maior variação foi apresentada pela componente em 8,0 GHz e a menor, pela componente em 4,8 GHz. A porcentagem do tempo de crescimento do evento sobre o período total de evolução ficou entre 17% e 26%, como mostra a coluna *Toc%*.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	T1,2	S3	TS3	T2,3	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	3,47	mar/95	4,07	fev/96	1,17	10,86	3,38	out/98	31,59	0,83	25,58
8	2,25	jan/93	2,85	nov/93	1,27	9,87	1,93	out/97	46,40	0,68	17,54
14,5	0,97	abr/87	1,52	out/87	1,57	5,92	1,08	abr/90	29,62	0,71	16,67

Tabela 5.2.5a: Elevação da densidade de fluxo de S1 a S2 e decréscimo até S3.

A tabela 5.2.5b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (miliarcsec)	Tb (K)
4,8	11	2,849E+07	9E+15	0,277	1,068E-09	0,220	6,432E+12
8	10	2,797E+07	8E+15	0,272	1,048E-09	0,216	1,778E+12
14,5	6	2,076E+07	6E+15	0,202	7,780E-10	0,160	5,240E+11

Tabela 5.2.5b: Parâmetros calculados.

0043-097 (PKS, OB-080)

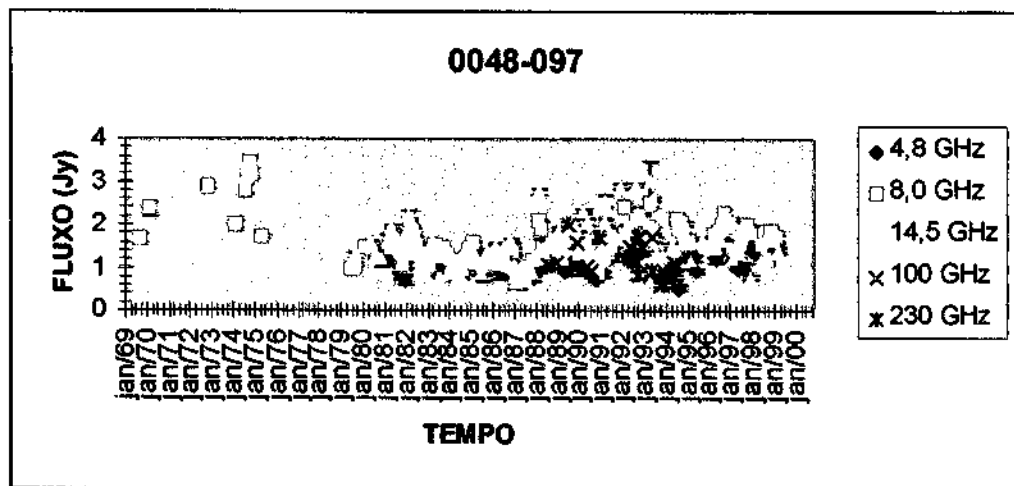


Gráfico 5.2.6: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

Como mostra o gráfico 5.2.6, para a componente em 8,0 GHz foi considerado o decréscimo da densidade de fluxo a partir de 1974, atingindo o mínimo em 1987. Para as outras componentes foi considerado o decréscimo a partir de 1980. A maior variação no período de decréscimo deve-se à componente em 4,8 GHz e a menor, à componente em 8,0 GHz. As maiores variações de densidade de fluxo no período de crescimento foram apresentadas por: 14,5 GHz, 8,0 GHz e 4,8 GHz, nesta ordem.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	T1,2	S3	TS3	T2,3	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	1,38	ago/80	0,53	set/94	0,38	135,20	1,58	dez/96	21,60	2,98	13,78
8	3,43	out/74	0,66	mar/87	0,19	44,80	2,51	mai/93	60,00	3,80	57,25
14,5	2,25	mar/82	0,7	jun/84	0,31	21,60	3,04	mai/93	66,40	4,34	75,45

Tabela 5.2.6a: Decréscimo da densidade de fluxo de S1 a S2 e crescimento até S3.

A tabela 5.2.6b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (milliarcsec)	Tb (K)
4,8	27	1,043E+08	3E+16	1,014	1,974E-09	0,407	7,302E+11
8	75	3,697E+08	1E+17	3,594	6,996E-09	1,443	3,515E+10
14,5	239	1,345E+09	4E+17	13,078	2,546E-08	5,251	9,787E+08

Tabela 5.2.6b: Parâmetros calculados.



0059+581

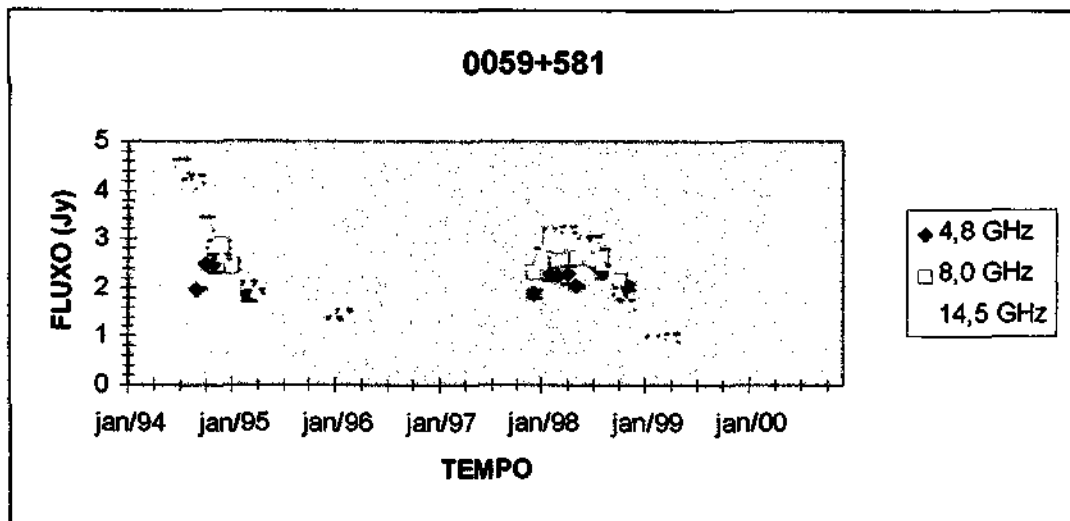


Gráfico 5.2.7: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

Foi estudada a variação de 1994 a 1998. De acordo com o gráfico 5.2.7 há um decréscimo na densidade de fluxo de 1994 a 1997 e um crescimento até 1998. A componente em 14,5 GHz apresentou as maiores variações registradas nos períodos de decréscimo e crescimento, como mostra a tabela 5.2.7. O período de crescimento percentual (Toc%) no intervalo de tempo estudado foi maior para a componente 14,5 GHz (60%) e menor para 8,0 GHz (10%).

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	T1,2	S3	TS3	T2,3	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	2,5	out/94	1,84	dez/97	0,74	38,00	2,33	ago/98	8,00	1,27	17,39
8	2,84	dez/94	2,32	dez/97	0,82	36,00	2,94	abr/98	4,00	1,27	10,00
14,5	4,49	jul/94	1,35	jan/96	0,30	18,00	3,19	abr/98	27,00	2,36	60,00

Tabela 5.2.7: Decréscimo da densidade de fluxo de S1 a S2 e crescimento até S3.

0106+013 (OC 012)

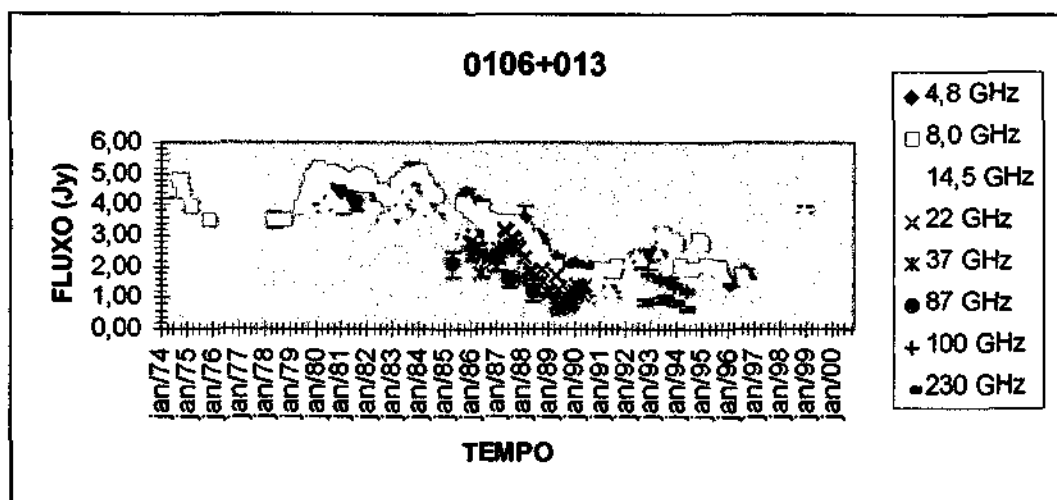


Gráfico 5.2.8: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

O evento estudado se estende de jan/81 a jan/91. Há uma queda acentuada a partir de 1983 até 1990. O período de crescimento do evento apresentou uma porcentagem de 13% (14,5 GHz) a 27% (4,8 GHz). No período de crescimento, as maiores variações da densidade de fluxo foram apresentadas pelas componentes 4,8 GHz e 14,5 GHz, com mesmo índice de variação  $\Delta 1,2$ , como mostra a tabela 5.2.8. No período de decréscimo as componentes que apresentaram maior variação, em ordem decrescente, foram: 14,5 GHz, 8,0 GHz e 4,8 GHz.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta 1,2$	T1,2	S3	TS3	T2,3	$\Delta 2,3$	Toc%
4,8	3,9	fev/81	5,15	set/83	1,32	18,08	1,83	out/90	49,58	0,36	26,72
8	4,18	nov/82	5,09	fev/84	1,22	8,75	1,5	dez/90	47,83	0,29	15,46
14,5	3,34	set/82	4,42	out/83	1,32	7,58	0,95	jul/90	47,25	0,21	13,83

Tabela 5.2.8a: Elevação da densidade de fluxo de S1 a S2 e decréscimo até S3.

A tabela 5.2.8b mostra os parâmetros calculados.

F	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (miliarcsec)	Tb (K)
4,8	31	9,190E+06	3E+15	0,089	1,992E-10	0,041	2,338E+14
8	15	3,688E+06	1E+15	0,036	7,994E-11	0,016	5,460E+14
14,5	13	2,331E+06	7E+14	0,023	5,053E-11	0,010	3,612E+14

Tabela 5.2.8b: Parâmetros calculados.

0108+388

De acordo com o gráfico 5.2.9 a componente em 8,0 GHz apresenta maior amplitude de variabilidade. A tabela 5.2.9 mostra os parâmetros coletados para a maior variação em 4,8 GHz e 8,0 GHz. A componente em 14,5 GHz é praticamente plana no período estudado.

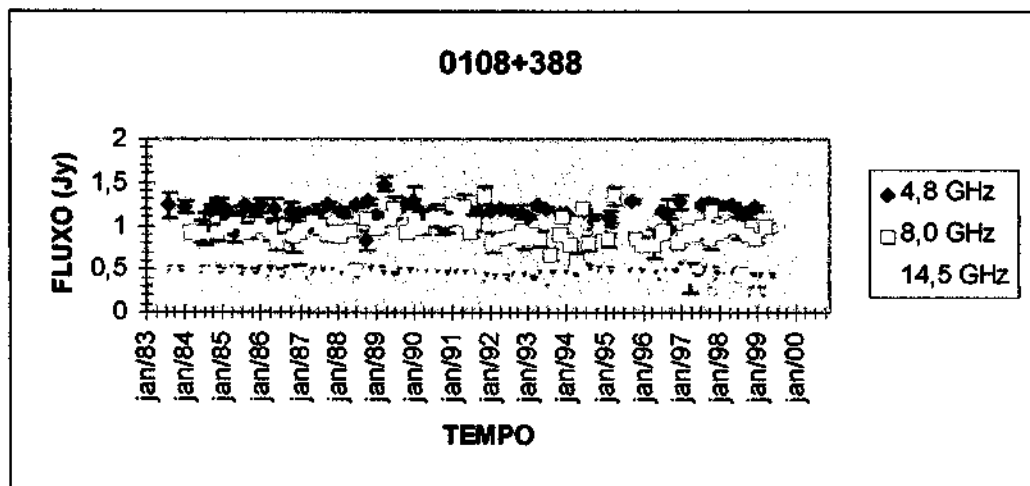


Gráfico 5.2.9: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta 1,2$	T1,2	S3	TS3	T2,3	$\Delta 2,3$	Toc%
4,8	0,83	out/88	1,48	abr/89	1,78	5,29	0,96	out/96	79,36	0,65	6,25
8	0,48	jul/88	1,34	nov/91	2,79	35,27	0,6	abr/94	27,33	0,45	56,34

Tabela 5.2.9a: Elevação da densidade de fluxo de S1 a S2 e decréscimo até S3. A componente em 14,5 GHz é praticamente plana.

A tabela 5.2.9b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (milliarcsec)	Tb (K)
4,8	6	1,662E+07	5E+15	0,162	2,190E-10	0,045	5,559E+13
8	40	1,734E+08	5E+16	1,686	7,921E-09	1,634	1,464E+10

Tabela 5.2.9b: Parâmetros calculados.

0109+224 (3C 48)

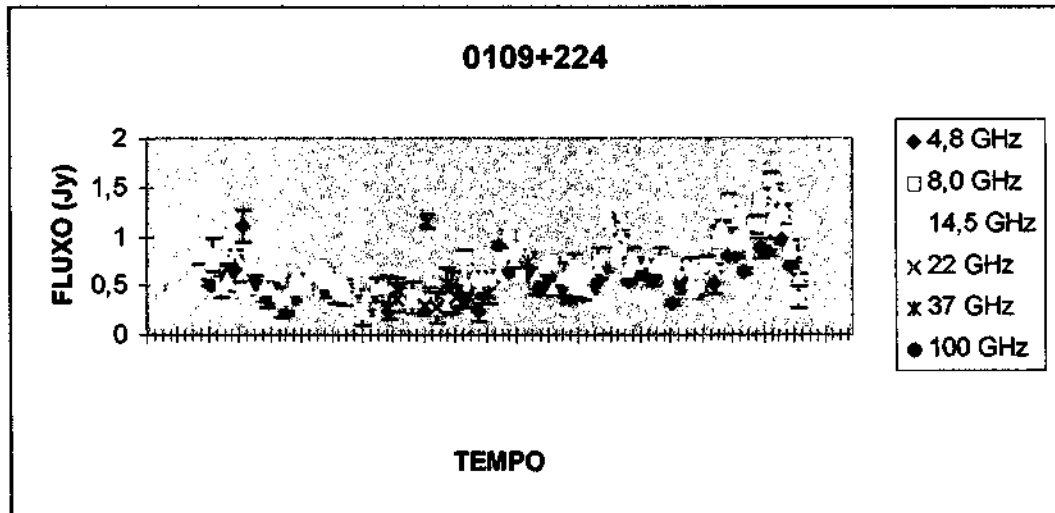


Gráfico 5.2.10: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

Foi estudada a variação entre fev/95 a mar/99 mostrada no gráfico 5.2.10. De modo geral, há um crescimento da densidade de fluxo de fev/95 a set/98. As maiores taxas foram apresentadas pelas componentes em 4,8 GHz e 14,5 GHz nesse período. Os tempos de decréscimo foram maiores que os tempos de crescimento para todas as frequências, variando de 63% a 94%, como mostra a coluna *Toc%*. As maiores variações no período de decréscimo foram apresentadas pelas componentes 8,0 GHz e 14,5 GHz.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	T <sub>1,2</sub>	S3	TS3	T <sub>2,3</sub>	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	0,33	fev/95	0,96	set/98	2,91	43,00	0,7	dez/98	3,00	0,73	93,48
8	1,07	set/96	1,58	abr/98	1,48	19,00	0,39	mar/99	11,00	0,25	63,33
14,5	0,53	out/95	1,5	jun/98	2,83	32,00	0,59	mar/99	9,00	0,39	78,05

Tabela 5.2.10: Elevação da densidade de fluxo de S1 a S2 e decréscimo até S3.

0127+233 (3C 43)

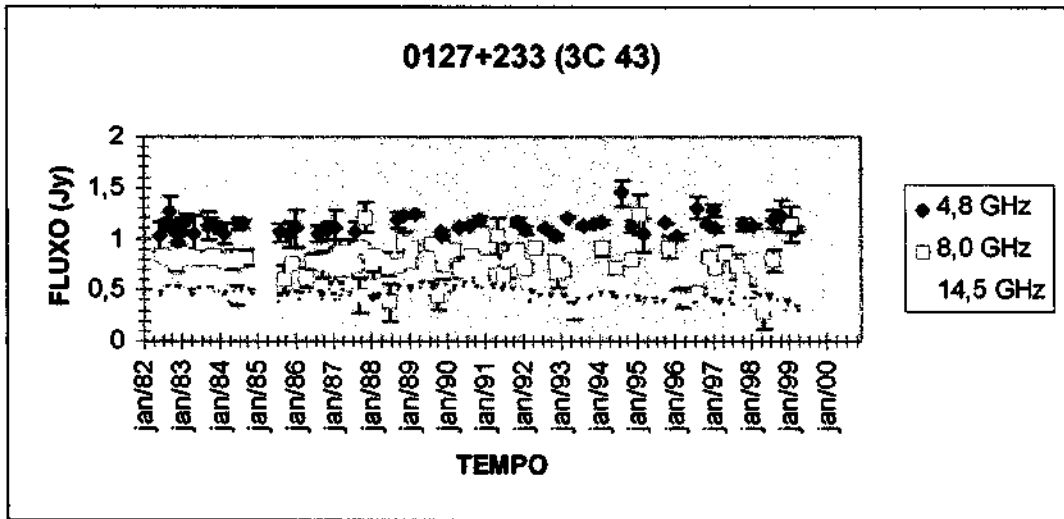


Gráfico 5.2.11: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

Como mostra a tabela 5.2.11, as maiores variações no período estudado foram apresentadas pela componente em 8,0 GHz. No período de crescimento, a componente em 4,8 GHz apresentou a segunda maior variação. Durante o período de decréscimo, a componente em 14,5 GHz apresentou a segunda maior variação. A coluna *Toc%* mostra um tempo de crescimento maior do que o tempo de decréscimo para a variação estudada. No entanto, nota-se através do gráfico 5.2.11 que as variações totais em cada componente são formadas por diversos eventos sucessivos isolados onde predominam tempos de crescimento menores que tempos de decréscimo.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	T1,2	S3	TS3	T2,3	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	0,98	dez/82	1,45	ago/94	1,48	97,71	1,02	fev/96	12,56	0,70	88,61
8	0,38	jul/88	1,24	fev/95	3,26	55,14	0,29	mai/98	27,22	0,23	66,95
14,5	0,39	fev/84	0,56	ago/90	1,44	54,44	0,3	mai/93	23,03	0,54	70,27

Tabela 5.2.11a: Elevação da densidade de fluxo de S1 a S2 e decréscimo até S3.

A tabela 5.2.11b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (milliarcsec)	Tb (K)
4,8	92	1,435E+08	4E+16	1,395	2,814E-09	0,580	3,299E+11
8	79	2,717E+08	8E+16	2,642	5,328E-09	1,099	2,994E+10
14,5	54	8,173E+07	2E+16	0,795	1,603E-09	0,331	4,549E+10

Tabela 5.2.11b: Parâmetros calculados.

0134+375 (3C48)

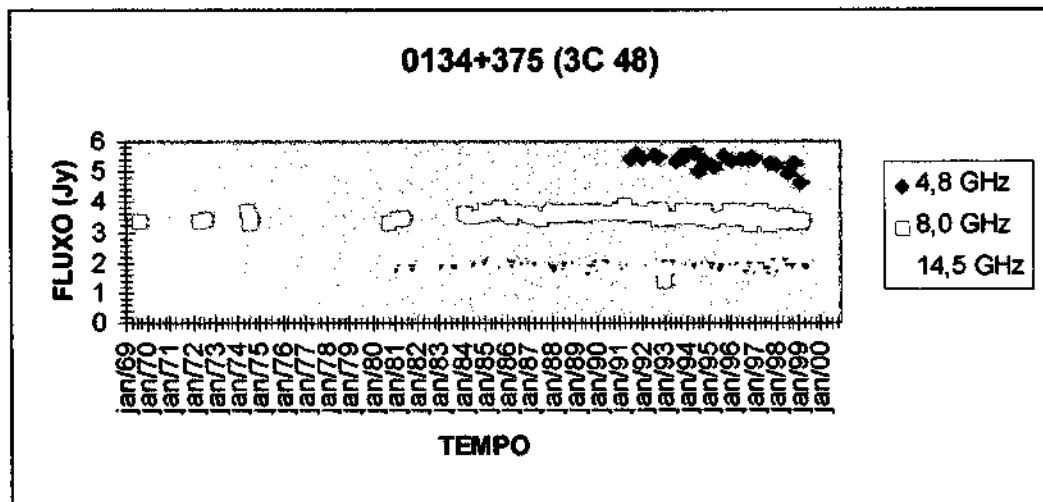


Gráfico 5.2.12: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

De acordo com o gráfico 5.2.12 as componentes em 8,0 GHz e 14,5 GHz são praticamente planas, não exibindo componentes de variabilidade longa. Os dados em 4,8 GHz exibem variabilidade a partir de meados de 1991 (S1). Há um decréscimo até meados de 1993 (S2). De 1993 a janeiro de 1997 (S3) há um crescimento da densidade de fluxo como mostrado na tabela 5.2.12.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	To1	S3	TS3	To2	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	5,58	nov/91	4,99	ago/94	0,89	31,45	5,51	out/95	13,34	1,10	29,79

Tabela 5.2.12a: Decréscimo da densidade de fluxo de S1 a S2 e crescimento até S3. As componentes em 8,0 GHz e 14,5 GHz são praticamente planas.

A tabela 5.2.12b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (miliarcsec)	Tb (K)
4,8	14	2,93E+07	9E+15	0,285	7,062E-10	0,146	1,990E+13

Tabela 5.2.12b: Parâmetros calculados.

0153+744

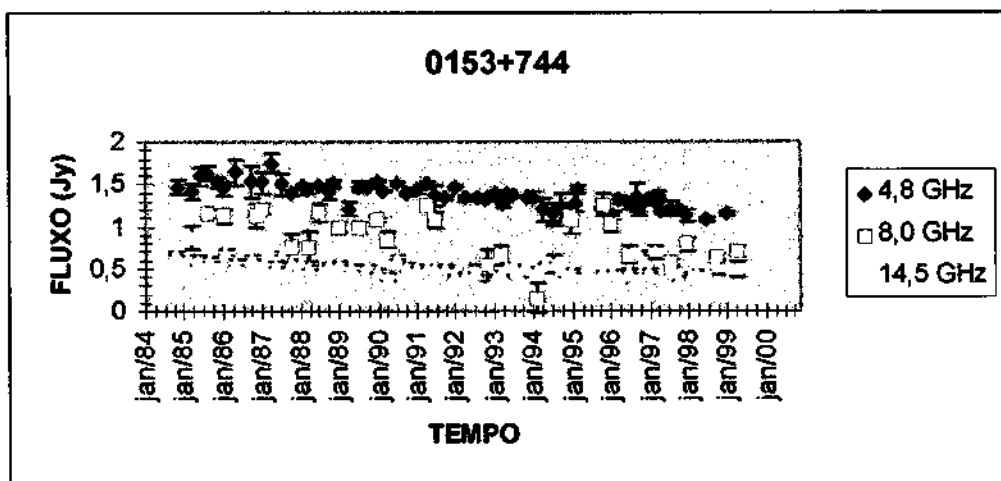


Gráfico 5.2.13: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

De acordo com o gráfico 5.2.13, a componente em 4,8 GHz apresenta o padrão de decréscimo mais acentuado. A componente em 8,0 GHz apresenta a maior amplitude de variabilidade. A componente em 14,5 GHz apresenta um padrão de decréscimo. As componentes em 4,8 GHz e 14,5 GHz apresentam as menores amplitudes de variabilidade. Foi escolhido o período de jan/94 a meados de 98 que corresponde à maior variação da densidade de fluxo em 8,0 GHz como mostram os índices  $\Delta_{1,2}$  e  $\Delta_{2,3}$  da tabela 5.2.13.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	To1	S3	TS3	To2	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	1,15	jul/94	1,43	mar/95	1,24	4,40	1,08	jul/98	21,99	0,76	16,67
8	0,15	fev/94	1,25	nov/95	8,33	11,55	0,56	ago/97	11,55	0,45	50,00
14,5	0,4	abr/96	0,7	mar/97	1,75	6,05	0,37	out/97	3,85	0,53	61,11

Tabela 5.2.13a: Elevação da densidade de fluxo de S1 a S2 e decréscimo até S3. A componente em 8,0 GHz apresenta a maior amplitude de variabilidade.

A tabela 5.2.13b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (millarcsec)	Tb (K)
4,8	8	7,725E+06	2E+15	0,075	1,742E-10	0,036	8,490E+13
8	21	1,359E+08	4E+16	1,321	3,064E-09	0,632	9,126E+10
14,5	11	1,495E+07	4E+15	0,145	3,371E-10	0,070	1,286E+12

Tabela 5.2.13b: Parâmetros calculados.

0202+149

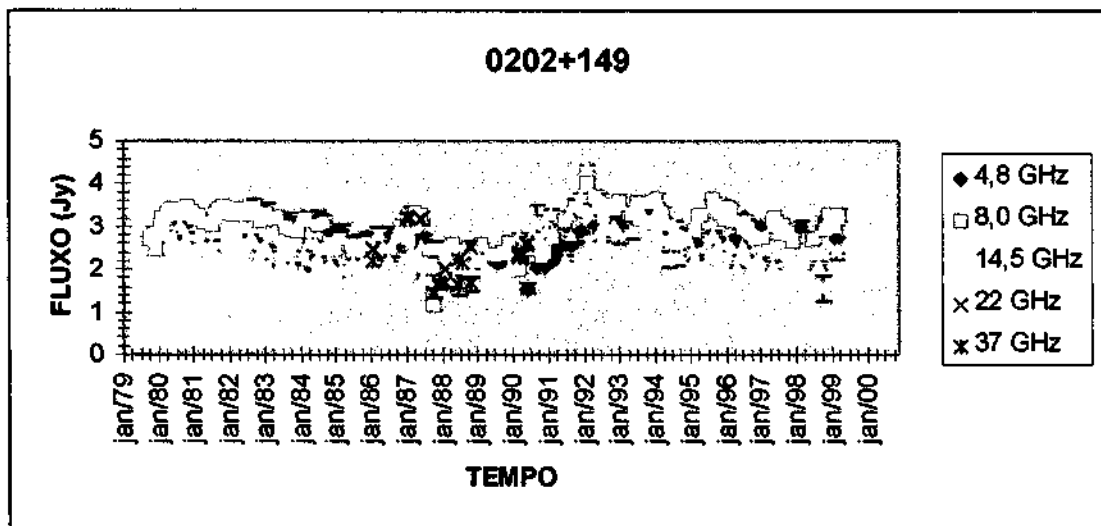


Gráfico 5.2.14: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

Foi estudado o evento de maior amplitude de variabilidade compreendido entre meados de 1987 e o início de 1999. Como mostram os índices  $\Delta_{1,2}$  e  $\Delta_{2,3}$  da tabela 5.2.14, a componente em 8,0 GHz apresentou a maior amplitude de variabilidade no período de crescimento, enquanto a componente em 14,5 GHz apresentou a maior amplitude de variabilidade no período de decréscimo. A componente em 4,8 GHz apresentou os menores índices de crescimento e decréscimo. Como mostram as colunas TS1 e TS3, o maior período de variabilidade foi apresentado pela componente em 14,5 GHz,

seguida pela componente de 8,0 GHz. O menor período de variabilidade foi apresentado pela componente em 4,8 GHz.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	To1	S3	TS3	To2	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	1,56	jun/90	3,39	fev/92	2,17	16,82	2,66	set/94	26,07	0,78	39,22
8	1,19	out/87	4,03	fev/92	3,39	43,72	2,63	set/94	26,07	0,65	62,65
14,5	1,72	set/87	4,37	fev/92	2,54	44,56	1,58	out/98	67,27	0,36	39,85

Tabela 5.2.14a: Elevação da densidade de fluxo de S1 a S2 e decréscimo até S3.

A tabela 5.2.14b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (miliarcsec)	Tb (K)
4,8	20	6,146E+07	2E+16	0,598	1,173E-09	0,242	4,439E+12
8	56	2,682E+08	8E+16	2,607	5,118E-09	1,056	1,055E+11
14,5	55	1,976E+08	6E+16	1,921	3,771E-09	0,778	6,412E+10

Tabela 5.2.14b: Parâmetros calculados.

0212+735

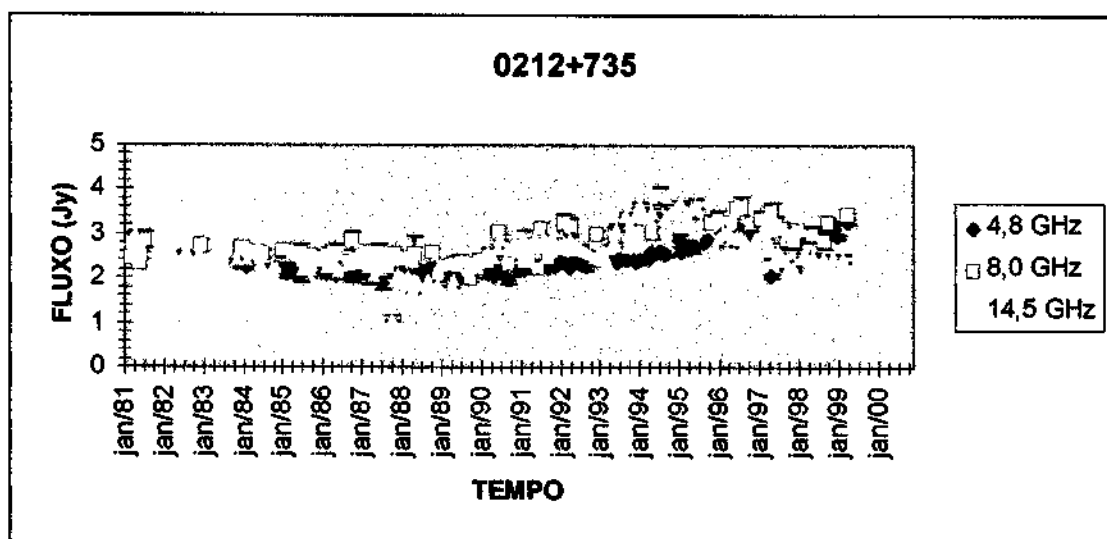


Gráfico 5.2.15: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

O evento estudado se estende de meados de 1986 ao final de 1997. Como mostra a coluna Toc% da tabela 5.2.15 os períodos de crescimento são maiores que os períodos de decréscimo. A componente em 14,5 GHz apresenta os maiores índices de variabilidade  $\Delta_{1,2}$  e  $\Delta_{2,3}$ . Os índices de variabilidade são iguais para as frequências 4,8 GHz e 8,0 GHz no período de crescimento. O menor índice de variabilidade no período de decréscimo foi apresentado pela componente em 8,0 GHz. O maior período de variabilidade foi apresentado pela componente em 8,0 GHz.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	To1	S3	TS3	To2	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	1,89	jul/87	3,17	jun/96	1,68	58,41	2,06	mai/97	6,00	0,65	90,68
8	2,16	jun/86	3,63	ago/96	1,68	60,04	2,84	dez/97	8,73	0,78	87,30
14,5	1,08	out/87	3,87	jul/94	3,58	44,21	2,22	out/97	21,29	0,57	67,50

Tabela 5.2.15a: Elevação da densidade de fluxo de S1 a S2 e decréscimo até S3.

A tabela 5.2.15b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (miliarcsec)	Tb (K)
4,8	108	1,39E+08	4E+16	1,355753	3,1601E-09	0,652	5,718E+11
8	122	1,58E+08	5E+16	1,534519	3,5768E-09	0,738	1,9451E+11
14,5	80	2,21E+08	7E+16	2,14554	5,001E-09	1,032	3,2289E+10

Tabela 5.2.1b: Parâmetros calculados.

0215+015 (ODO 26, PKS)

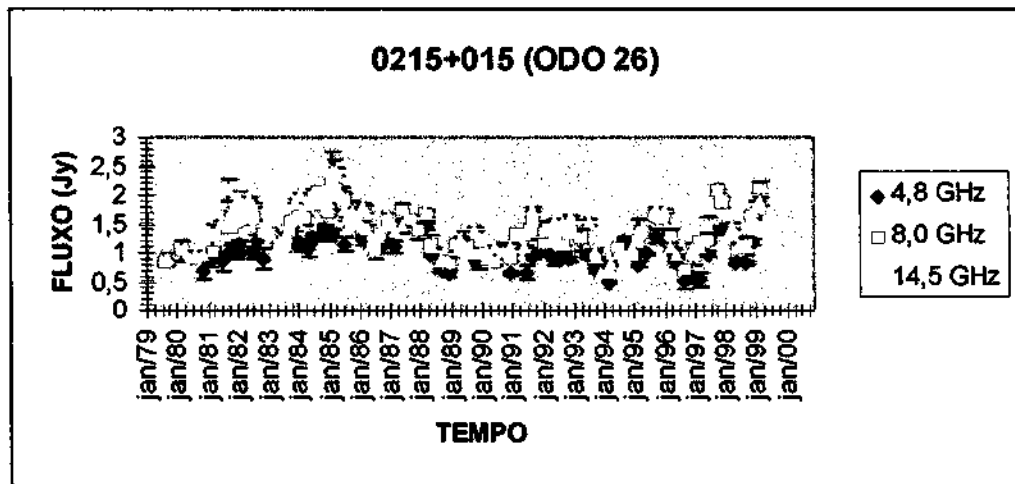


Gráfico 5.2.16: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

O evento estudado estende-se de 1979 até o final de 1996. Segundo a tabela 5.2.16, a componente em 14,5 GHz apresenta a maior amplitude de variabilidade nos períodos de crescimento e decréscimo, seguida da componente em 8,0 GHz e 4,8 GHz, nesta ordem. A componente em 8,0 GHz apresenta o maior período e a menor porcentagem de tempo de crescimento, como indicado na coluna *Toc%*.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	To1	S3	TS3	To2	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	0,7	nov/80	1,49	jul/87	2,13	52,87	0,49	mar/94	52,87	0,33	50,00
8	0,83	ago/79	2,2	fev/85	2,65	43,61	0,7	set/96	91,86	0,32	32,20
14,5	0,89	set/79	2,41	fev/85	2,71	42,95	0,65	dez/93	70,05	0,27	38,01

Tabela 5.2.16a: Elevação da densidade de fluxo de S1 a S2 e decréscimo até S3.

A tabela 5.2.16b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (miliarcsec)	Tb (K)
4,8	80	1,666E+08	5E+16	1,620	3,355E-09	0,692	2,385E+11
8	66	1,712E+08	5E+16	1,664	3,447E-09	0,711	1,270E+11
14,5	65	1,722E+08	5E+16	1,674	3,468E-09	0,715	4,182E+10

Tabela 5.2.16b: Parâmetros calculados.



0218+357

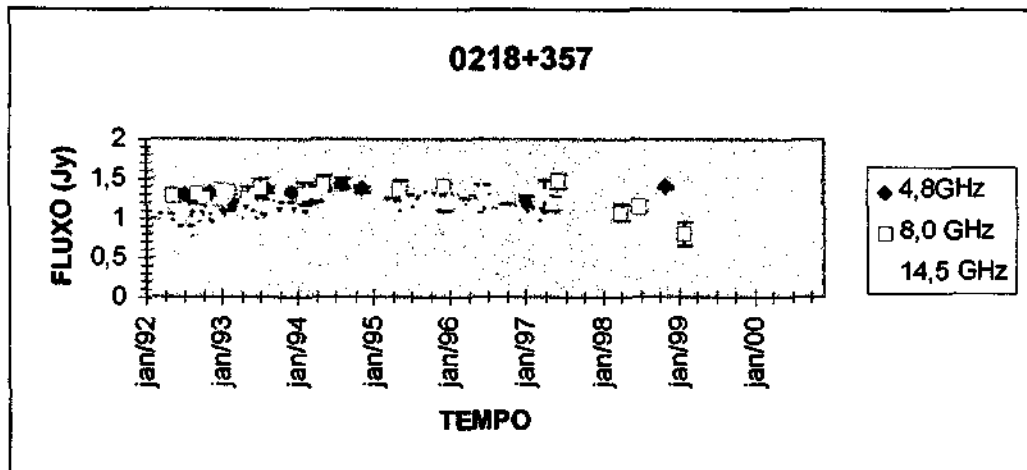


Gráfico 5.2.17: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

De acordo com o gráfico 5.2.17 há uma elevação da densidade de fluxo nas três freqüências de 1993 a 1994 e uma queda até 1997. Não se pode notar a presença de eventos isolados no período estudado. A componente em 14,5 GHz apresentou a maior variação. No período de crescimento, a componente em 4,8 GHz apresentou a menor variação. No período de decréscimo, a componente em 8,0 GHz apresentou a menor variação. O tempo de crescimento variou de 37% a 43% do tempo total.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	T1,2	S3	TS3	T2,3	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	1,15	mar/93	1,43	ago/94	1,24	14,92	1,21	jan/97	25,46	0,85	36,96
8	1,14	ago/93	1,46	mai/94	1,28	7,90	1,35	mai/95	10,53	0,92	42,86
14,5	0,84	ju/92	1,38	mai/94	1,64	19,31	1,02	jan/97	28,09	0,74	40,74

Tabela 5.2.17a: Elevação da densidade de fluxo de S1 a S2 e decréscimo até S3.

A tabela 5.2.17b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (miliarcsec)	Tb (K)
4,8	17	3,252E+07	1E+16	0,316	6,377E-10	0,132	6,334E+12
8	9	1,773E+07	5E+15	0,172	3,477E-10	0,072	8,277E+12
14,5	22	5,560E+07	2E+16	0,541	1,090E-09	0,225	2,422E+11

Tabela 5.2.17b: Parâmetros calculados.

0219+428 (3C 66 A)

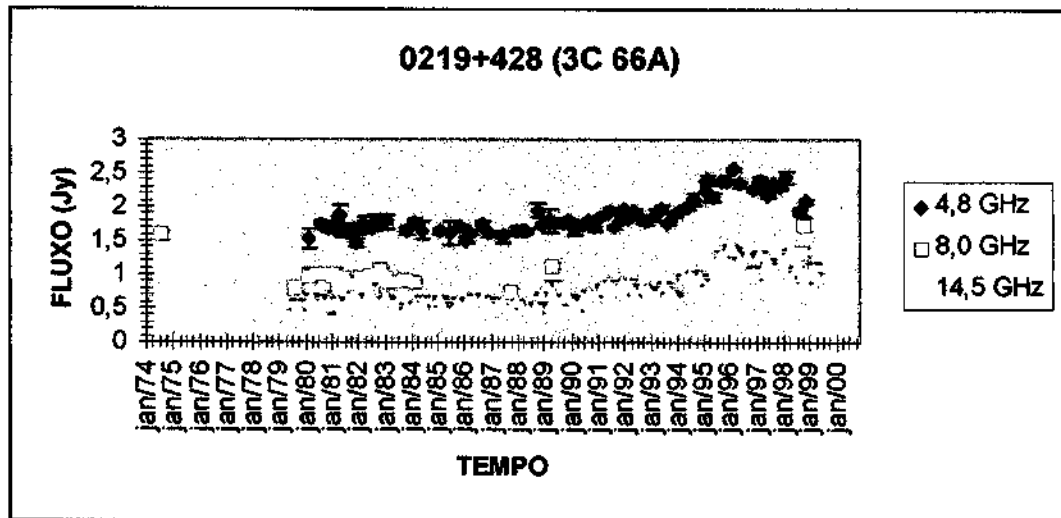


Gráfico 5.2.18: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

A componente A da radiofonte refere-se ao jato, como mostrado na seção 3.4. Foi estudado um evento entre 1992 e 1999. A componente em 14,5 GHz apresentou maior amplitude de variabilidade no período de crescimento, seguida pelas componentes de 8,0 GHz e 4,8 GHz, nesta ordem. No período de decréscimo a componente em 8,0 GHz apresentou a maior amplitude de variabilidade, seguida das componentes em 14,5 GHz e 4,8 GHz. A duração do evento, em ordem decrescente foi: 8,0 GHz, 14,5 GHz e 4,8 GHz.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	To1	S3	TS3	To2	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	1,15	mar/93	1,43	ago/94	1,24	15,91	1,21	jan/97	27,15	0,85	36,96
8	1,14	ago/93	1,46	mai/94	1,28	8,42	0,8	fev/99	53,36	0,55	13,64
14,5	0,84	jul/92	1,46	mai/94	1,74	20,59	1,02	jan/97	29,96	0,70	40,74

Tabela 5.2.18: Elevação da densidade de fluxo de S1 a S2 e decréscimo até S3.

0220+427 (3C 66 B)

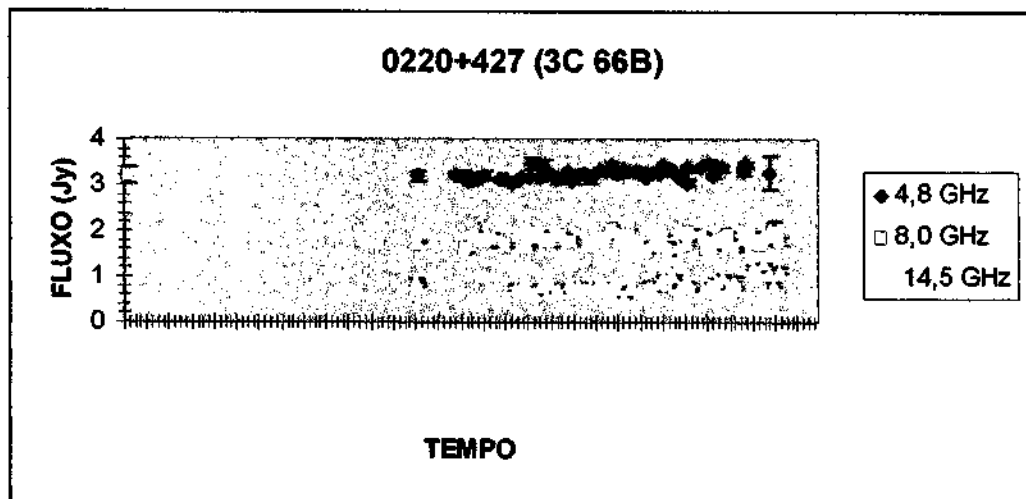


Gráfico 5.2.19: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

Esta componente se refere ao núcleo da radiofonte, como mostrado na seção 3.4. De acordo com a tabela 5.1.1, nota-se que a componente A apresenta maior redshift que a componente B. O gráfico 5.2.19 exibe curvas de densidade de fluxo em 4,8 GHz e 14,5 GHz com baixa variabilidade. A componente em 8,0 GHz mostra uma queda acentuada na densidade de fluxo a partir de março de 1970 até o início de 1983, quando começa a exibir a mesma tendência das componentes em 4,8 GHz e 14,5 GHz. A tabela 5.2.19 mostra a variação apresentada pela componente em 8,0 GHz.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	To
8	3,23	mar/70	1,63	abr/85	0,50	180,96

Tabela 5.2.19: Decréscimo da densidade de fluxo em 8,0 GHz de S1 para S2.

0234+285 (CTD 20)

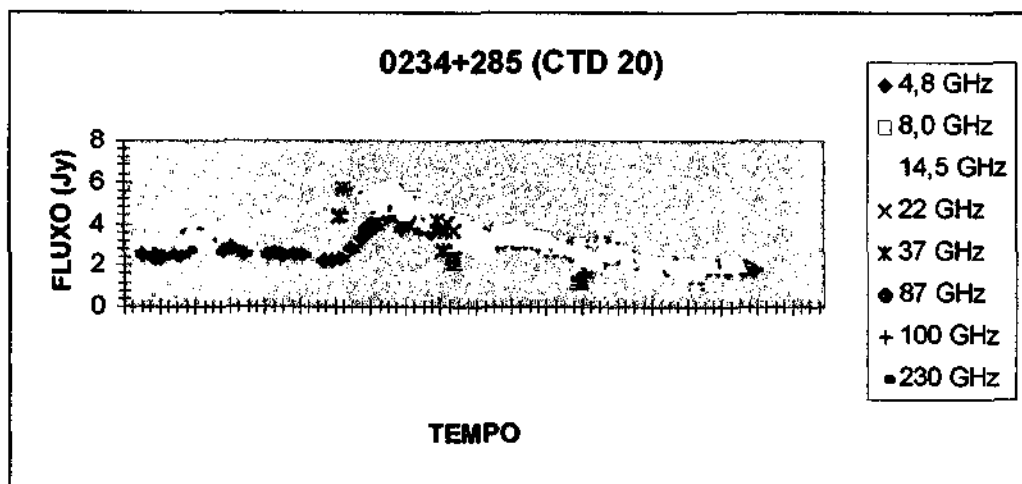


Gráfico 5.2.20: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

Como não há dados disponíveis nas três frequências entre meados de 1983 e 1987, quando verifica-se um mínimo em 4,8 GHz, serão considerados como início do evento os dados disponíveis até 1984 para fins de comparação. De acordo com a tabela 5.2.20, a componente em 8,0 GHz apresenta maior amplitude de variabilidade no período de crescimento. As componentes em 4,8 GHz e 14,5 GHz têm mesma amplitude de variabilidade. No período de decréscimo a componente em 14,5 GHz apresenta maior amplitude de variabilidade, seguida das componentes em 8,0 GHz e 4,8 GHz, nesta ordem.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	To1	S3	TS3	To2	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	2,68	nov/83	4,74	set/88	1,77	43,61	1,73	set/98	90,22	0,36	32,58
8	2,99	set/82	5,84	set/88	1,95	54,13	1,66	jun/97	78,94	0,28	40,68
14,5	3,24	abr/83	5,73	ago/88	1,77	48,12	1,05	aabr/97	78,19	0,18	38,10

Tabela 5.2.20a: Elevação da densidade de fluxo de S1 a S2 e decréscimo até S3.

A tabela 5.2.20b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (miliarcsec)	Tb (K)
4,8	58	1,205E+08	4E+16	1,171	2,300E-09	0,475	1,613E+12
8	72	1,652E+08	5E+16	1,606	3,154E-09	0,650	4,025E+11
14,5	64	1,329E+08	4E+16	1,292	2,538E-09	0,524	1,856E+11

Tabela 5.2.20b: Parâmetros calculados.

0300+470 (OE 400 ou 4C 47.03)

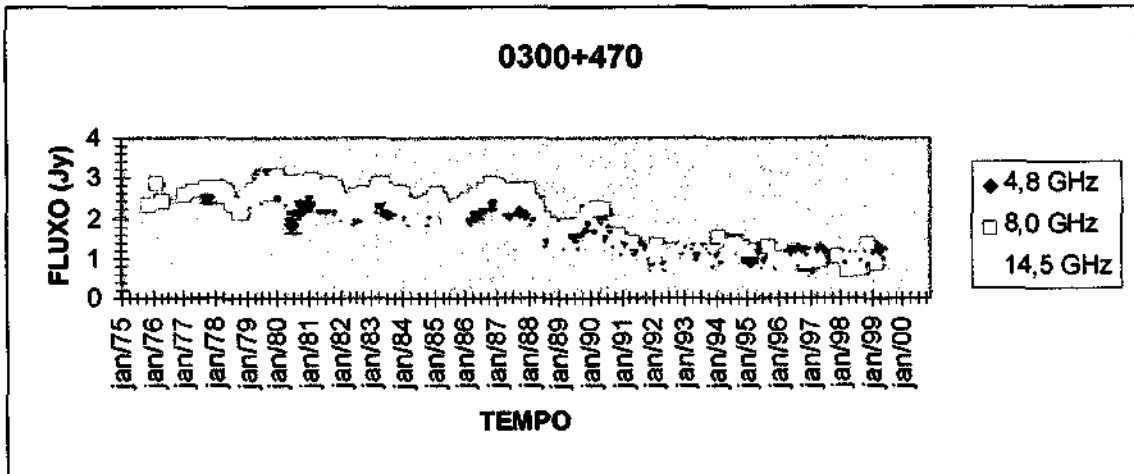


Gráfico 5.2.21: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

Esta radiofonte foi estudada segundo a variação da densidade de fluxo no período de decréscimo. A componente em 8,0 GHz apresentou maior amplitude de variabilidade, seguida das componentes 14,5 GHz e 4,8 GHz, nesta ordem.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	T <sub>1,2</sub>
4,8	2,54	out/77	0,83	mai/98	0,33	116,12
8	3,06	jan/80	0,71	abr/98	0,23	203,44
14,5	3,05	jul/79	0,77	mar/92	0,25	141,20

Tabela 5.2.21: Decréscimo da densidade de fluxo de S1 para S2.

0306+102 (OE 110, PKS)

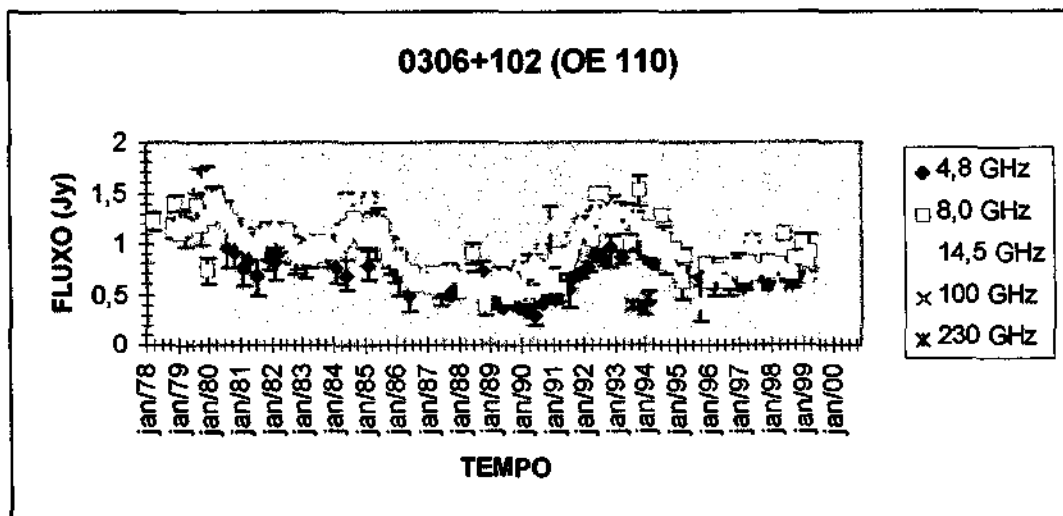


Gráfico 5.2.22: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

Foi estudada a variação de 1980 a 1994. Como mostra a tabela 5.2.22, há um decréscimo da densidade de fluxo de 1980 a 1989. De 1989 a 1994 há um crescimento da densidade de fluxo. No período de decréscimo, a componente em 4,8 GHz apresentou maior amplitude de variabilidade. No período de crescimento, a componente em 8,0 GHz apresentou maior amplitude de variabilidade.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	T1,2	S3	TS3	T2,3	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	1,03	nov/81	0,29	jun/90	0,28	85,84	0,99	set/93	32,50	3,41	27,46
8	1,48	abr/80	0,52	fev/88	0,35	78,34	1,52	nov/93	57,51	2,92	42,33
14,5	1,65	dez/79	0,53	jun/88	0,32	85,84	1,37	dez/92	45,00	2,58	34,39

Tabela 5.2.22a: Decréscimo da densidade de fluxo de S1 para S2 e crescimento até S3.

A tabela 5.2.22b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (miliarcsec)	Tb (K)
4,8	103	4,892E+08	1E+17	4,756	9,309E-09	1,920	2,058E+10
8	94	3,823E+08	1E+17	3,717	7,275E-09	1,501	1,969E+10
14,5	103	3,704E+08	1E+17	3,601	7,049E-09	1,454	5,754E+09

Tabela 5.2.22b: Parâmetros calculados.

0315+416 (3C 83.1)

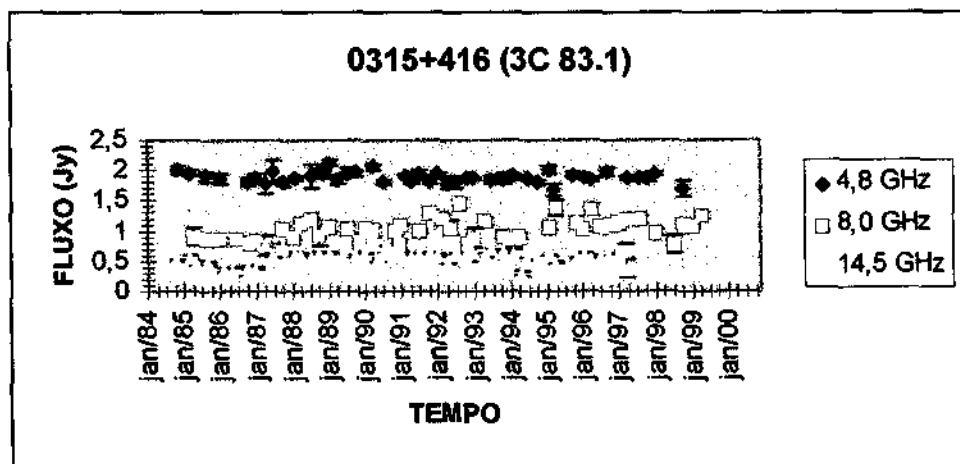


Gráfico 5.2.23: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

A tabela 5.2.23 mostra os dados referentes às maiores variações para cada frequência. O período da variação para cada frequência é diferente. De 1984 a 2000 a componente em 8,0 GHz apresenta maior variabilidade.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	T1,2	S3	TS3	T2,3	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	1,77	abr/87	2,12	jan/89	1,20	20,99	1,68	mar/95	73,98	0,79	22,11
8	0,75	dez/90	1,46	ago/92	1,95	19,99	0,76	nov/92	3,00	0,52	86,96
14,5	0,33	mai/86	0,84	abr/90	2,55	46,99	0,29	mai/94	48,99	0,35	48,96

Tabela 5.2.23a: Crescimento da densidade de fluxo de S1 para S2 e decréscimo até S3.

A tabela 5.2.23b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (milliarcsec)	Tb (K)
4,8	21	6,361E+07	2E+16	0,618	1,265E-08	2,609	2,387E+10
8	20	9,845E+07	3E+16	0,957	1,958E-08	4,038	2,611E+09
14,5	47	3,025E+08	9E+16	2,941	6,016E-08	12,408	4,844E+07

Tabela 5.2.23b: Parâmetros calculados.

0333+321 (NRAO 140)

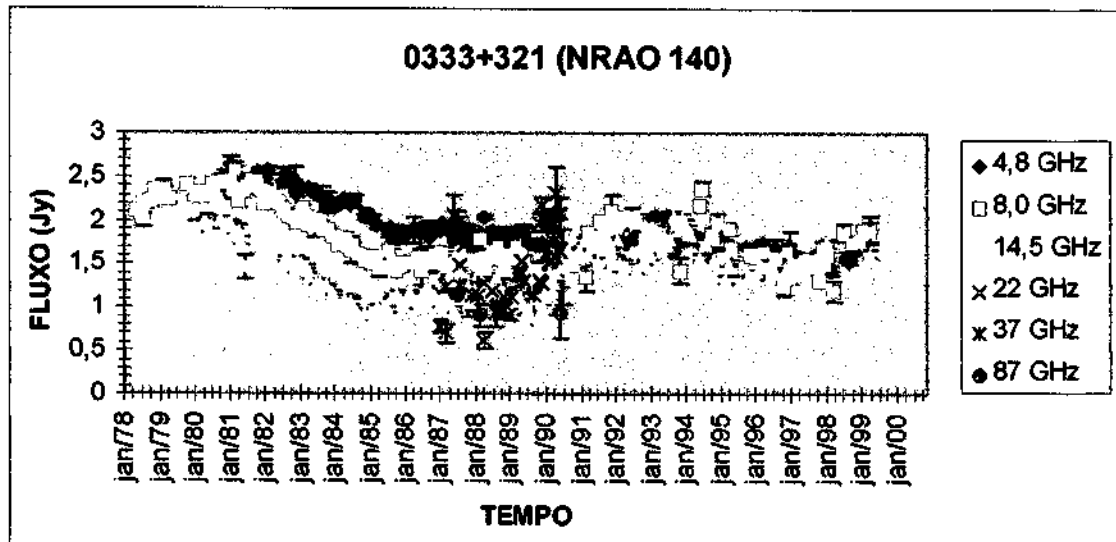


Gráfico 5.2.24: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

A máxima variação da densidade de fluxo ocorre entre 1980 e 1994. Como mostra a tabela 5.2.24, o período de decréscimo estende-se de 1980 a 1990. De 1990 a 1994 há um crescimento na densidade de fluxo. Observando as colunas  $\Delta 1,2$  e  $\Delta 2,3$ , nota-se que a componente em 4,8 GHz apresenta a menor variação no período de decréscimo e de crescimento. A componente em 14,5 GHz apresenta a maior variação nos períodos de decréscimo e de crescimento.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta 1,2$	T1,2	S3	TS3	T2,3	$\Delta 2,3$	Toc%
4,8	2,63	jan/81	1,48	dez/90	0,56	96,86	2,07	jul/93	22,92	1,40	19,14
8	2,56	mar/81	1,05	nov/87	0,41	59,15	2,37	jul/94	59,15	2,26	50,00
14,5	2,3	set/80	0,86	jun/89	0,37	77,64	2,07	set/93	37,71	2,41	32,69

Tabela 5.2.24a: Decréscimo da densidade de fluxo de S1 para S2 e crescimento até S3.

A tabela 5.2.24.b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (milliarcsec)	Tb (K)
4,8	131	2,099E+08	6E+16	2,040	4,026E-09	0,830	2,300E+11
8	80	2,068E+08	6E+16	2,011	3,968E-09	0,818	1,032E+11
14,5	105	2,895E+08	9E+16	2,814	5,554E-09	1,146	1,400E+10

Tabela 5.2.24b: Parâmetros calculados.

0521-365 (PKS)

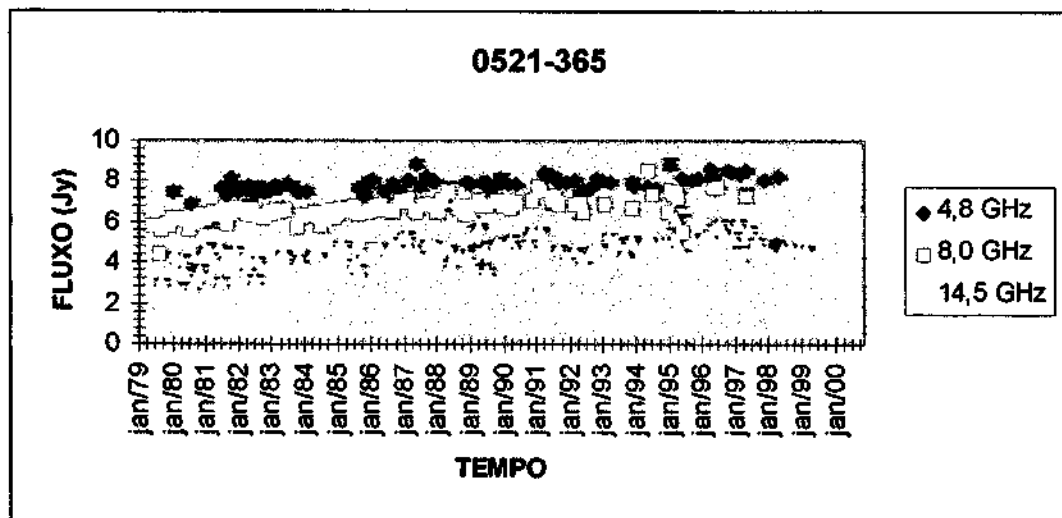


Gráfico 5.2.25: DENSIDADE DE FLUXO X TEMPO (MICHIGAN).

A componente em 14,5 GHz apresenta a maior variabilidade. Foram estudadas, para cada frequência, as maiores variações. As variações não são simultâneas nas três frequências, como mostra a tabela 5.2.25. No período de crescimento da densidade de fluxo, a componente em 8,0 GHz apresentou a maior variação. A menor variação no período de crescimento foi apresentada pela componente em 4,8 GHz. A maior variação no período de decréscimo foi apresentada pela componente em 4,8 GHz e a menor foi a apresentada pela componente em 8,0 GHz.

F	S1	TS1	S2	TS2	$\Delta_{1,2}$	T1,2	S3	TS3	T2,3	$\Delta_{2,3}$	Toc%
4,8	6,89	ago/80	8,87	jun/87	1,29	81,88	4,92	abr/98	130,81	0,55	38,50
8	4,58	fev/86	8,53	jun/94	1,86	99,86	5,48	jun/95	1,00	0,64	99,01
14,5	3,63	set/85	6,52	nov/85	1,80	2,00	3,97	jun/88	30,96	0,61	6,06

Tabela 5.2.25a: Crescimento da densidade de fluxo de S1 para S2 e decréscimo até S3. As variações não são simultâneas para as três frequências.

A tabela 5.2.25b mostra os parâmetros calculados.

F (GHz)	tempo (meses)	$\tau$ var (s)	r(m)	r(pc)	$\theta$ var (rad)	$\theta$ var (miliarcsec)	Tb (K)
4,8	27	4,894E+07	1E+16	0,476	9,263E-10	0,191	4,346E+12
8	75	2,194E+08	7E+16	2,133	4,152E-09	0,856	9,423E+10
14,5	239	7,455E+08	2E+17	7,248	1,411E-08	2,911	2,169E+09

Tabela 5.2.25b: Parâmetros calculados.

## 6 - CONCLUSÕES

A partir das curvas de densidade de fluxo foi estudada a evolução temporal de 25 radiofontes. Foi observado que a elevação da densidade de fluxo num intervalo de tempo pode ser composta pela superposição de eventos isolados e sucessivos. Para os intervalos de tempo de máxima variação foram coletados os seguintes parâmetros: *Densidade de fluxo inicial (S1); tempo decorrido entre S1 e S2 (T1,2); densidade de fluxo intermediária (S2); tempo decorrido entre S2 e S3 (T2,3) e densidade de fluxo final*

(S3). Os intervalos de tempo  $T_{1,2}$  e  $T_{2,3}$  foram corrigidos para um referencial estático em relação à radiofonte à partir da relação entre redshift e dilatação temporal. A partir desses dados foram calculados: *Taxa de variação entre S1 e S2 ( $\Delta_{1,2}$ ), taxa de variação entre S2 e S3 ( $\Delta_{2,3}$ ), a porcentagem do tempo de crescimento em relação ao tempo total (Toc%), o tamanho linear (raio) e angular correspondente ao crescimento da densidade de fluxo e a temperatura de brilhancia.* Foi concluído que para eventos isolados o tempo de crescimento é maior que o tempo de decréscimo, o que geralmente não pode ser percebido quando ocorrem eventos sucessivos no intervalo de tempo considerado. A temperatura de brilhancia calculada apresentou a média de  $10^{12}$  kelvin, o que se enquadra nos padrões previstos pelos modelos estudados. Foram traçadas curvas para os espectros tendo como referência um comportamento baseado em uma lei de potência.

## **7 - TRABALHOS FUTUROS**

Serão coletados dados em um número maior de frequências como raios-X, raios gama, infravermelho próximo e distante, ultravioleta e óptico para as fontes já estudadas. A partir desses dados será feito um estudo mais completo dos espectros e das propriedades físicas das fontes com a possibilidade de estimativa de parâmetros como a frequência de máxima emissão, frequência de quebra, valor do campo magnético na região de emissão e o traçado de curvas abrangendo todas as frequências.

## **8 - CURSOS EM ANDAMENTO**

- **ALEMÃO – BÁSICO – segundo ano - ESCOLA DE LÍNGUAS MILLENNIUM**
- **FRANCÊS – BÁSICO – segundo ano - ESCOLA DE LÍNGUAS MILLENNIUM**
- **INTRODUÇÃO À FÍSICA DE PLASMAS – Centro de Radioastronomia e Astrofísica Mackenzie.**

## **9 – SEMINÁRIOS APRESENTADOS**

- **Julho de 2002 – REUNIÃO DA SOCIEDADE ASTRONÔMICA BRASILEIRA – Florianópolis**
- **05-02-03 – TRANSFORMADA DE FOURRIER E TRANSFORMADA WAVELET**
- **06-02-03 – CONSEQÜÊNCIA DO REALCE DE LUMINOSIDADE EM JATOS RELATIVÍSTICOS**
- **11-02-03 – RADIAÇÃO DOS ELÉTRONS RELATIVÍSTICOS EM CAMPOS MAGNÉTICOS ( RADIAÇÃO SINCROTRÔNICA OU BREMSTRAHLUNG MAGNÉTICO )**
- **25-02-03 – OS LIMITES DO FATOR DOPPLER; CONTINUAÇÃO DA DEDUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA RADIAÇÃO POR ELÉTRONS RELATIVÍSTICOS NUM CAMPO MAGNÉTICO**
- **06-03-03 – DIVERGENTE, GRADIENTE E ROTACIONAL**
- **13-03-03 – TRANSFORMAÇÃO DO FLUXO**
- **18-03-03 – SATELITES QUE VASCULHAM O CÉU EM RAIOS-X**



- 24-03-03 – ESTUDANDO A INTEGRAL DE FASE; INTERPRETAÇÃO DE ESPECTROS DE RADIOFONTES DISCRETAS; REALCE DA LUMINOSIDADE A PARTIR DO MOVIMENTO RELATIVÍSTICO
- 02-04-03 – O ESPECTRO EM RAIOS-X DE ALGUNS BL LAC; FUNÇÕES DE LUMINOSIDADE OBSERVADAS PARA A COMPONENTE DO JATO; ESPECTROS DE ENERGIA

## 10 – ANEXO – ESPECTROS DAS 25 RADIOFONTES

Nesta seção são apresentados os espectros das 25 radiofontes. Para fins de visualização, uma mesma fonte apresentará diferentes espectros, cada um correspondendo a uma época diferente. Isso é indicado no título de cada gráfico. As curvas traçadas obedecem o comportamento descrito na seção 4.

