

ESTUDO DO BLAZAR 3C273 UTILIZANDO O RÁDIO-TELESCÓPIO DO ITAPETINGA

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

Taciana Soares Siqueira (Universidade Presbiteriana Mackenzie, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: siqueira.taciana@gmail.com

Luiz Claudio Lima Botti (CRAAM e DAS/CEA/INPE, Orientador)
E-mail: luizquas@yahoo.com.br

Julho de 2015

ESTUDO DO BLAZAR 3C273 UTILIZANDO O RÁDIO-TELESCÓPIO DO ITAPETINGA

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

Taciana Soares Siqueira (Universidade Presbiteriana Mackenzie, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: siqueira.taciana@gmail.com

Luiz Claudio Lima Botti (CRAAM e DAS/CEA/INPE, Orientador)
E-mail: luizquas@yahoo.com.br

Julho de 2015

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo o estudo do Quasar 3C 373 por meio de observações na grande antena do Itapetinga (Atibaia), nas frequências de 22 e 43 GHz, com o intuito de se conhecer a evolução do seu espectro. Este projeto faz um apanhado geral da evolução histórica tanto do conhecimento a respeito do 3C 273, bem como da análise de seu espectro. Com base nos dados do Observatório do Itapetinga, nas curvas de luz obtidas no radiotelescópio de Michigan (EUA) em 4,8, 8,0 e 14,5 GHz e de dados da literatura, foi possível montar o espectro do quasar e fazer uma análise dos resultados no que diz respeito à periodicidade na densidade de fluxo desse objeto.

STUDY OF THE BLAZAR 3C273 USING THE ITAPETINGA RADIO TELESCOPE

ABSTRACT

This work aims to study the Quasar 3C 373 through observations in the large antenna at Itapetinga (Atibaia), in the frequencies of 22 and 43 GHz, in order to understand the evolution of the spectrum. This project is an overview of the historical evolution of the 3C 273 knowledge and an analysis of its spectrum. Based on Itapetinga Observatory data, on the light curves obtained from the Michigan Radio Telescope (USA) in 4.8, 8.0 and 14.5 GHz and on literature data it was possible to set up the quasar spectrum and make an analysis of the results about the flux variations.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Imagens em VLBI obtidas em 86 GHz, revelando uma componente afastando-se núcleo de 3C 273.	3
2.2 Modelo Unificado dos Núcleos Galácticos Ativos.	4
2.3 Cobertura temporal de todas as observações do 3C 273 como uma função da frequência, com um código de cores representando a intensidade dos fluxos medidos. . . .	5
4.1 Rádio-Observatório do Itapetinga (ROI) em Atibaia.	7
4.2 Rádio-Observatório da Universidade de Michigan em Peach Mountain.	7
4.3 Observatório Compton de Raios Gama.	8
5.1 Curvas de luz em rádio.	9
5.2 Curvas de luz no milimétrico.	9
5.3 Curvas de luz em infravermelho, óptico e ultravioleta.	10
5.4 Curvas de luz em raios-X e raios-gama.	10
5.5 Curvas de luz do quasar 3C 273.	11
5.6 Espectros do 3C 273 – 1º semestre de 1988.	12
5.7 Espectros do 3C 273 – 2º semestre de 1988.	13
5.8 Espectros do 3C 273 – 1º semestre de 1991.	14
5.9 Espectros do 3C 273 – 2º semestre de 1991.	15
5.10 Espectro do quasar 3C 273 em agosto de 1991.	15

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. O quasar 3C 273	2
3. O espectro eletromagnético	3
4. Metodologia.....	5
5. Resultados e Discussão.....	8
6. Conclusões.....	17
7. Referências	18

1. INTRODUÇÃO

A descoberta dos quasares se deu ao final da década de 50. Com os instrumentos da época já era possível a identificação de contrapartidas óticas de fortes fontes de rádio. Apesar do extremo brilho, esses objetos tinham aparência estelar (PETERSON, 1997).

Os quasares são uma subclasse dos Núcleos Galácticos Ativos (AGN's), os quais são caracterizados pela existência de fenômenos energéticos no núcleo ou região central de galáxias, e cuja atividade não pode ser atribuída diretamente a estrelas (PETERSON, 1997).

O estudo dos AGN's é importante, pois trata-se de fenômenos físicos que ainda não são tão bem compreendidos, cujo entendimento pode levar a novas perspectivas a respeito da natureza desses objetos.

A maior descoberta ocorreu em 1962, com uma série de ocultações lunares do 3C 273. Medidas feitas por Cyril Hazard e John Bolton durante uma das ocultações usando o Rádio Telescópio Parkes, permitiu ao astrônomo holandês Maarten Schmidt (b. 1929) identificar óticamente o objeto e obter um espectro óptico usando o Telescópio Hale em Monte Palomar (KELLERMANN, 2013). Os espectros de emissão desse e de objetos similares foram interpretados em 1963 por Schmidt como tendo características físicas semelhantes àquelas encontradas em nuvens de gás ionizado.

O termo “quasi-stellar radio sources” (rádio fontes quase estelares), posteriormente encurtado para “quasares”, foi adotado para objetos desse tipo, apresentando espectros diferentes das estrelas, apesar de serem confundidos com elas (PETERSON, 1997).

O quasar 3C273 está a tão grande distância, que em imagens óticas aparece como um objeto estelar muito brilhante, cuja luz é proveniente de seu núcleo e é circundado por um halo de luminosidade tênue. É a sétima fonte mais poderosa no Catálogo 3C, com densidade de fluxo comparável ao quasar 3C 295 (KELLERMANN, 2013).

A descoberta dos quasares com seus amplos “redshifts” e alta luminosidade, bem como a possibilidade de estender a Lei de Hubble a altos “redshifts”, motivou o aumento das investigações. Dois anos após a identificação do 3C 273, “redshifts” próximos a 2 foram relatados. Valores maiores que 3 só foram observados após 1973 (KELLERMANN, 2013). E hoje, a pesquisa envolvendo quasares e AGN se tomou espaço em toda a comunidade astronômica.

Os quasares emitem radiação em quase todas as regiões do espectro eletromagnético: ondas de rádio, infravermelho, visível, ultravioleta, raios-X e raios gama. A maioria dos quasares é relativamente fraca na região de ondas de rádio, mas 3C 273 emite aproximadamente a mesma quantidade de energia em todo o espectro eletromagnético, desde o rádio até os raios gama (COURVOISIER; ROBINSON, 1991). Devido a isso, este objeto é um dos AGN's melhor observados em todas as energias.

As Distribuições Espectrais de Energia (SED) do 3C 273 apresentam variabilidade temporal em cada faixa de frequências, mostrando variação no seu brilho em períodos de meses (KELLERMANN, 2013). Esta característica é um elemento importante para a compreensão do comportamento dos quasares, bem como dos processos físicos que possivelmente ocorrem em seu interior.

O objetivo deste projeto, iniciado em setembro de 2014, consistiu em realizar pesquisas na literatura e em outros projetos acadêmicos, em busca de um embasamento teórico a respeito dos quasares que pudessem contribuir com a análise dos dados do 3C273.

As observações na antena do Itapetinga não foram realizadas devido à suspensão do funcionamento da mesma, por motivos de manutenção. Outras fontes de dados foram utilizadas para a montagem de gráficos e análise dos mesmos, permitindo o melhor entendimento das técnicas utilizadas e dos resultados encontrados.

Esta pesquisa utilizou dados do Rádio Observatório Astronômico de Michigan, que foi apoiado pela Universidade de Michigan e por uma série de concessões do National Science Foundation, mais recentemente AST-0607523.

2. O QUASAR 3C 273

O quasar 3C 273 se encontra a cerca de um quinto da distância que separa a Terra do limite do universo conhecido. De todos os objetos no cosmos, apenas alguns outros quasares o excedem em termos de energia emitida e de suas atividades: normalmente 3C 273 parece mais brilhante do que mil galáxias que contêm 100 bilhões de estrelas cada uma (COURVOISIER; ROBINSON, 1991).

Foi classificado conforme o Third Cambridge Catalog publicado em 1959, como a 273ª fonte, para observações em 158 MHz (PETERSON, 1997). Apresenta Magnitude aparente $m = 12,85$ e magnitude absoluta estimada $M = -26,9$ e sua distância é de aproximadamente 770 Mpc (2,5 bilhões de anos luz) (ASTRONOMIA..., 2008, p. 212).

As linhas de emissão do 3C 273 foram identificadas em 1963 como sendo as linhas do átomo de Hidrogênio deslocadas para o vermelho. Esse desvio para o vermelho (“redshift”) é devido ao Efeito Doppler, por meio do qual é possível detectar se um objeto se afasta ou se aproxima do observador. A relação entre o comprimento de onda observado (λ) e o comprimento de onda medido em laboratório (λ_0) é chamado de “redshift” (z), conforme a Fórmula 2.1:

$$z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0 \quad (2.1)$$

O “redshift” do 3C 273 é de 0,158, o que, conforme a Lei de Hubble, implica a fonte estar a uma distância enorme.

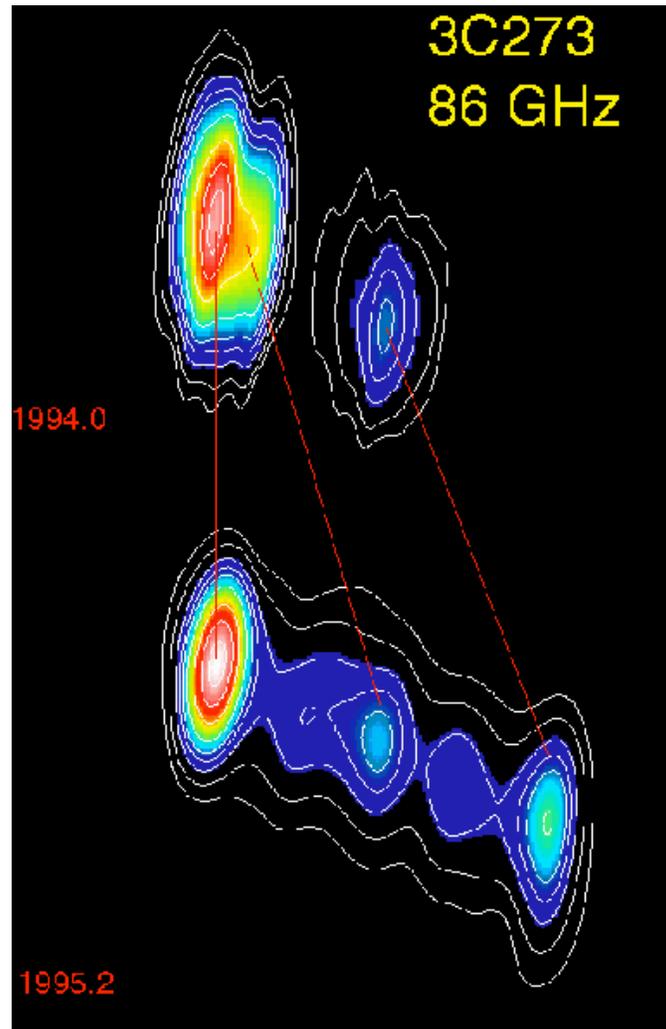
Os altos “redshifts” dos quasares estudados até hoje, podem indicar a sua participação na expansão do universo como os objetos mais distantes e brilhantes já detectados.

O quasar 3C 273 apresenta um jato formado, provavelmente, pela interação entre o buraco negro central e o disco de acreção. O jato de partículas, acelerados a velocidades próximas da luz, produz radiação em quase todos os comprimentos de onda, pelo processo chamado de emissão sincrotrônica.

Com a técnica chamada interferometria de base muito longa (VLBI, do Inglês Very Long Baseline Interferometry) é possível obter mapas de rádio de altíssima resolução. A rede de VLBI forneceu imagens em ondas de rádio de diversos quasares, revelando na maioria dos casos um núcleo compacto e jatos formados por uma sucessão de adensamentos que emitem radiação sincrotrônica.

A Figura 2.1 é um exemplo de imagem em VLBI, comparando os anos 1994 e 1995. É possível ver uma componente afastando-se do núcleo do quasar 3C 273. Essa imagem foi retirada da galeria de imagens do Max-Planck-Institut für Radioastronomie.

Figura 2.1 - Imagens em VLBI obtidas em 86 GHz, revelando uma componente afastando-se núcleo do quasar 3C 273.



Fonte: http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/div/vlbi/gallery/Bilder_Text/3c273.94.html.

3. O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

O espectro da radiação que vem de uma galáxia, como de qualquer objeto quente, pode apresentar três tipos diferentes de características: uma componente contínua, linhas de absorção e linhas de emissão. A componente contínua é constituída por fótons de todos os comprimentos de onda e sua intensidade é função do comprimento de onda (COURVOISIER; ROBINSON, 1991).

Nos comprimentos de onda correspondentes às linhas de absorção, a intensidade da radiação diminui significativamente em comparação com a da componente contínua. Estas linhas são devido à absorção da radiação de um comprimento de onda específico por um gás situado entre a fonte e o observador.

Quanto às linhas de emissão, no entanto, a intensidade de radiação aumenta consideravelmente. Estas linhas espectrais são devidas, por exemplo, à presença de gás interestelar que absorve a radiação da componente contínua, em um intervalo de comprimento de onda, para, em seguida, reemitir-la em comprimentos de onda específicos.

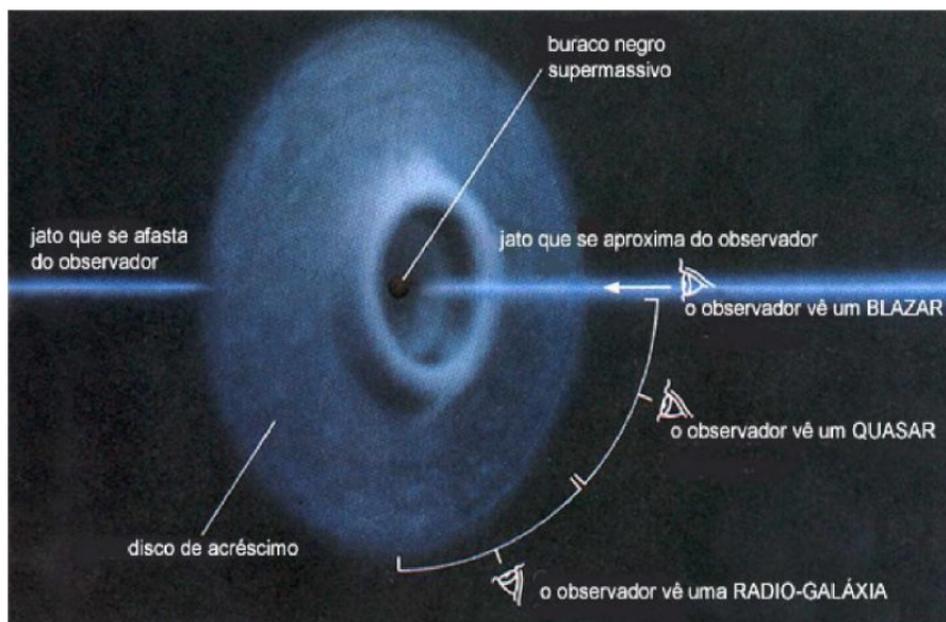
O espectro de uma galáxia normal, é constituído principalmente por emissão contínua, cuja intensidade é máxima em comprimentos de onda visíveis. Por outro lado, a emissão contínua de AGN's, incluindo os quasares, é muito intensa em toda a região espectral que vai do rádio a raios-gama.

É possível que galáxias normais já tenham sido mais ativas no passado, e sua atividade atual seja um resquício de um quasar quase morto ou adormecido. Os fenômenos observados nos quasares possivelmente ocorrem no centro da nossa galáxia, de forma atenuada (SMIT, 1988).

Os jatos gerados pelos quasares aparentam, muitas vezes, estar a velocidades superiores à da luz. Isso se deve ao fato de que a fonte de emissão pode estar se movendo em direção ao observador na Terra em velocidade relativística e a radiação observada se concentra em um feixe na direção do movimento, sendo intensificada (SMIT, 1988).

O quasar 3C 273 apresenta períodos “rádio quiet” (“quieto” em rádio) e “radio loud” (“barulhento” em rádio). Quando em período “radio-loud” é um intenso emissor nas frequências de rádio. Além disso, apresenta um fluxo altamente variável em todos os comprimentos de onda, e possui um jato com movimento aparente superluminal e polarização da emissão ótica. Devido a essas propriedades, esse objeto pode ser classificado como um blazar (Soldi et al, 2008). A Figura 2.2 representa as classificações de uma fonte, dependendo da posição do observador.

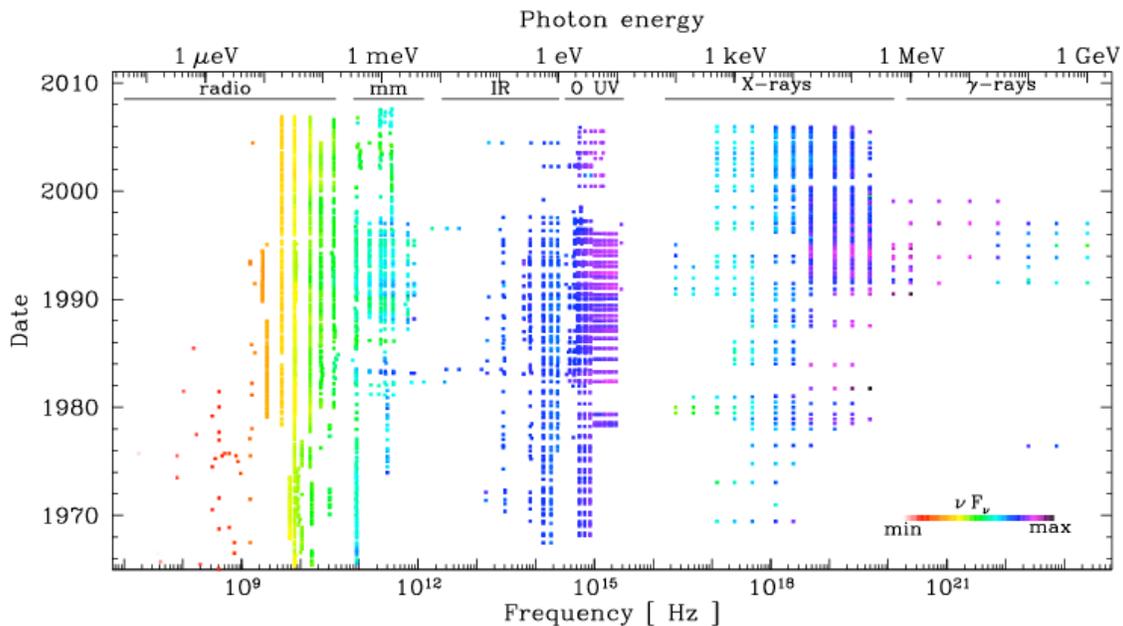
Figura 2.2 - Modelo Unificado dos Núcleos Galácticos Ativos (traduzido).



Fonte: <http://www.astropt.org/2013/04/21/blazar-markarian-421-com-atividade-recorde/>

A Figura 2.3 representa todas as observações contidas na base de dados on-line do quasar 3C 273, disponível no site <http://isdc.unige.ch/3c273/>. As cores representam a intensidade de fluxo em νF_ν , sendo as ondas de menor frequência as menos energéticas e as de maior frequência as mais energéticas.

Figura 2.3 - Cobertura temporal de todas as observações do 3C 273 como uma função da frequência, com um código de cores representando a intensidade dos fluxos medidos.



Fonte: Soldi et al (2009).

4. METODOLOGIA

O objetivo deste trabalho consistia, inicialmente, na obtenção e análise dos dados do Observatório de Itapetinga e do radiotelescópio de Michigan. Entretanto, as observações na antena do Itapetinga não foram realizadas devido à suspensão do funcionamento da mesma, por motivos de manutenção. Espera-se que até o final do ano a antena volte a funcionar.

Para a construção deste trabalho, preferiu-se, então, utilizar, além dos dados do radiotelescópio de Michigan, a base de dados on-line do 3C 273, a qual contém 70 curvas de luz desde frequências de rádio até raios gama, ao longo de aproximadamente 40 anos. O site foi criado em 1998 e, desde então, vem sendo atualizado a fim de prover a comunidade com a base de dados mais completa de um AGN (<http://isdc.unige.ch/3c273/>).

A fim de uma melhor compreensão da variabilidade espectral e temporal do 3C 273, foram elaborados dez gráficos. Os gráficos representados nas Figura 5.1 a 5.4 contêm as curvas de luz de nove frequências, cujo critério de seleção foi a maior quantidade de registros ao longo dos anos. As frequências plotadas foram: 4,80 GHz; 8,00 GHz; 22 GHz; 9,00E+13 Hz; 1,34E+14 Hz; 6,81E+14 Hz; 1,43E+15 Hz; 1,2E+19 Hz e 2,42E+22 Hz.

Para transposição da matriz de dados para planilhas foi necessária a elaboração de um programa em linguagem PHP (Hipertext Preprocessor), rodando em um servidor utilizado para processamento dos dados.

Para montagem dos gráficos foi utilizado o programa Microsoft Excel e o aplicativo web Plotly, disponível em <https://plot.ly/>.

A Figura 5.5 é um gráfico em três dimensões contendo as curvas de luz referentes às frequências retro citadas acrescentadas da frequência de 14,5 GHz. As Figuras 5.6 a 5.9 representam os espectros em escala logarítmica referentes às frequências 4,80 GHz; 8,00 GHz; 14,5 GHz; 22 GHz; 9,00E+13 Hz; 1,34E+14 Hz; 6,81E+14 Hz; 1,43E+15 Hz. Para a confecção dos espectros, foi realizada a média mensal de fluxo (vide Fórmula 4.1) para os anos de 1988 e 1991.

$$F_m = \frac{\sum(F_i/\sigma_i^2)}{\sum(1/\sigma_i^2)} \quad (4.1)$$

Sendo F_m o Fluxo médio mensal, F_i o fluxo de cada registro e σ_i^2 a variância de cada registro.

Os anos de 1988 e 1991 foram selecionados por terem apresentado períodos de “outburst”. Para melhor visualização dos espectros, os dados das frequências 1,2E+19 Hz e 2,42E+22 Hz. Não foi possível construir espectros para o ano de 1965, o qual teve um período de “outburst”, pois só constam dados de três frequências.

Na montagem dos gráficos em três dimensões não foi possível inserir a barra de erros para os valores de densidade de fluxo. De acordo com a base de dados utilizada, os erros não ultrapassam 15% do valor da densidade de fluxo.

A Figura 5.10 representa o espectro do quasar 3C 273, em escala logarítmica, para o mês de agosto de 1991, período em que houve um “outburst” e que possuía registro para frequências desde rádio até raios-gama.

Os equipamentos utilizados para obtenção dos dados foram as antenas dos Observatórios do Itapetinga, de Michigan e de Metsahövi.

A antena do Observatório do Itapetinga (Figura 4.1) tem diâmetro de 13,7 metros e opera nas frequências de 22 e 43 GHz. As cornetas para essas frequências são retangulares e os receptores tem 1 GHz de banda lateral dupla e temperatura de cerca de 300 K.

A antena do Observatório de Michigan nos Estados Unidos (Figura 4.2) tem 26 metros de diâmetro, operando nas frequências 4,8, 8,0 e 14,5 GHz. A observação é realizada através de um Software programado pelos técnicos da Universidade de Michigan.

A antena do Observatório de Metsahövi na Finlândia tem diâmetro de 14 metros, operando nas frequências de 22 e 37 GHz.

Os dados em raios-X e raios-gama foram obtidos por meio do Compton Gamma Ray Observatory (Figura 4.3). O Compton tem quatro instrumentos que cobrem seis décadas do espectro eletromagnético, a partir de 30 keV a 30 GeV. Os instrumentos são o Burst And Transient Source Experiment (BATSE), o Oriented Scintillation Spectrometer Experiment (OSSE), o Imaging Compton Telescope (COMPTEL) e o Energetic Gamma Ray Experiment Telescope (EGRET).

Figura 4.1 – Rádio-Observatório do Itapetinga (ROI) em Atibaia.



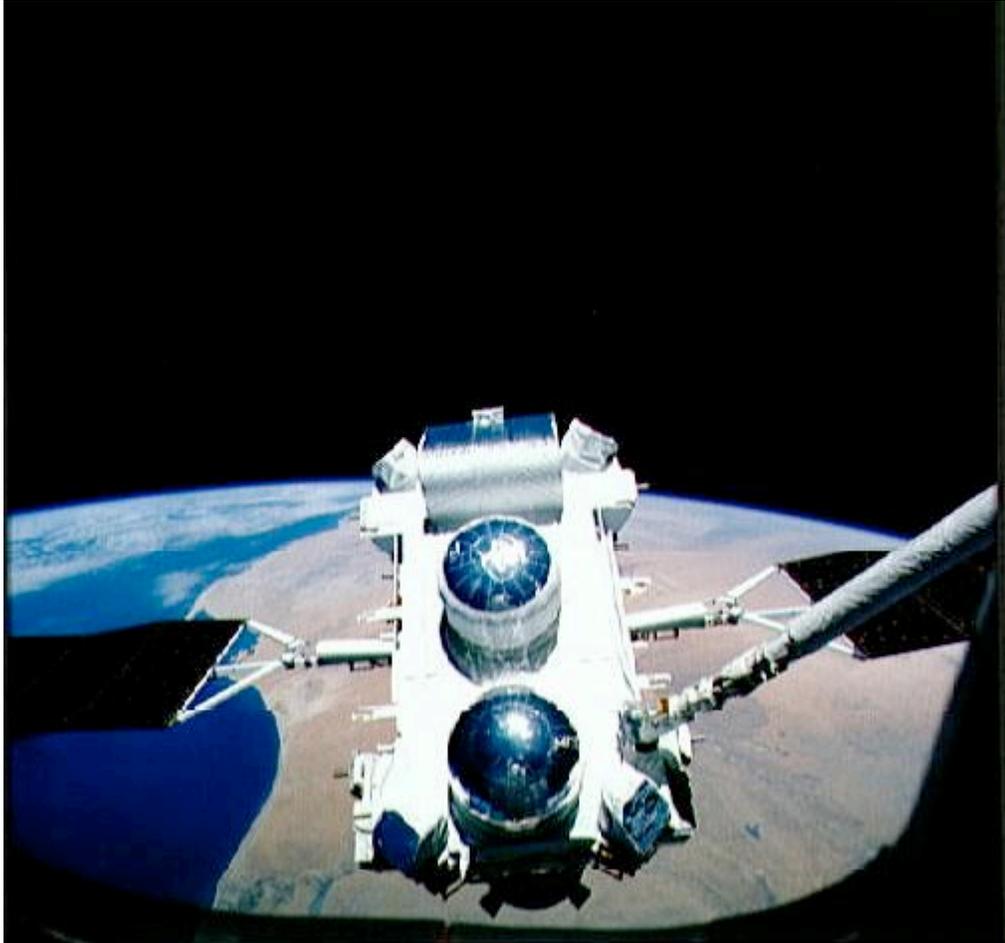
Fonte: http://www.das.inpe.br/ciaa/cd/HTML/pesquisa/9_3_1.htm

Figura 4.2 – Rádio-Observatório da Universidade de Michigan em Peach Mountain



Fonte: <http://astronomy.snjr.net/blog/?cat=6>

Figura 4.3 - Observatório Compton Gamma Ray



Fonte: http://www.mpe.mpg.de/34995/Compton_GRO

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio das Figuras 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 é possível observar que o quasar 3C 273 emite densidades de fluxo de maior intensidade nas frequências mais baixas e fluxos de menor intensidade nas frequências mais altas. Tal característica confirma uma propriedade deste quasar, de ser um potente emissor em rádio.

Figura 5.1 – Curvas de luz em rádio (4,8, 8,0 e 22 GHz). As barras verticais indicam a margem de erro de cada observação.

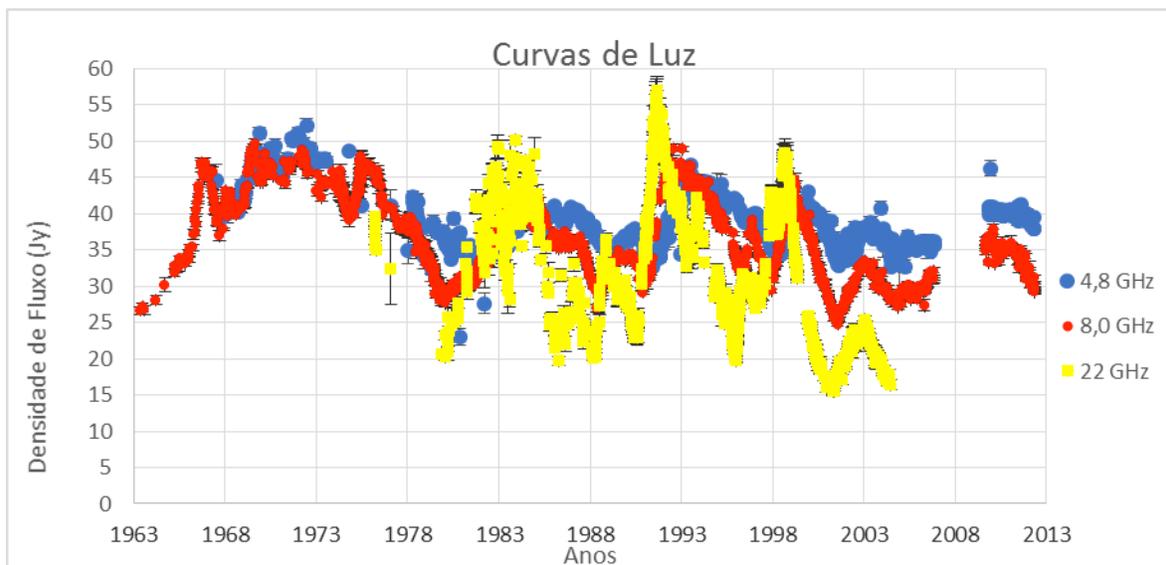


Figura 5.2 – Curvas de luz no milimétrico (9,00E+13 Hz). As barras verticais indicam a margem de erro de cada observação.

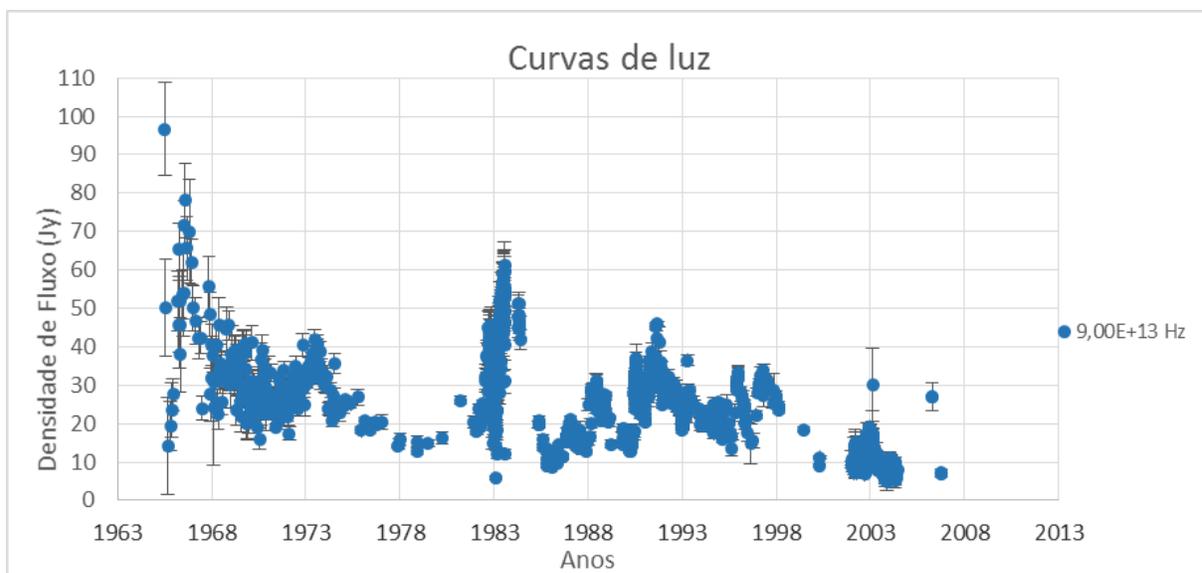


Figura 5.3 – Curvas de luz em infravermelho, óptico e ultravioleta ($1,34\text{E}+14$ Hz, $6,81\text{E}+14$ Hz e $1,43\text{E}+15$ Hz, respectivamente). As barras verticais indicam a margem de erro de cada observação.

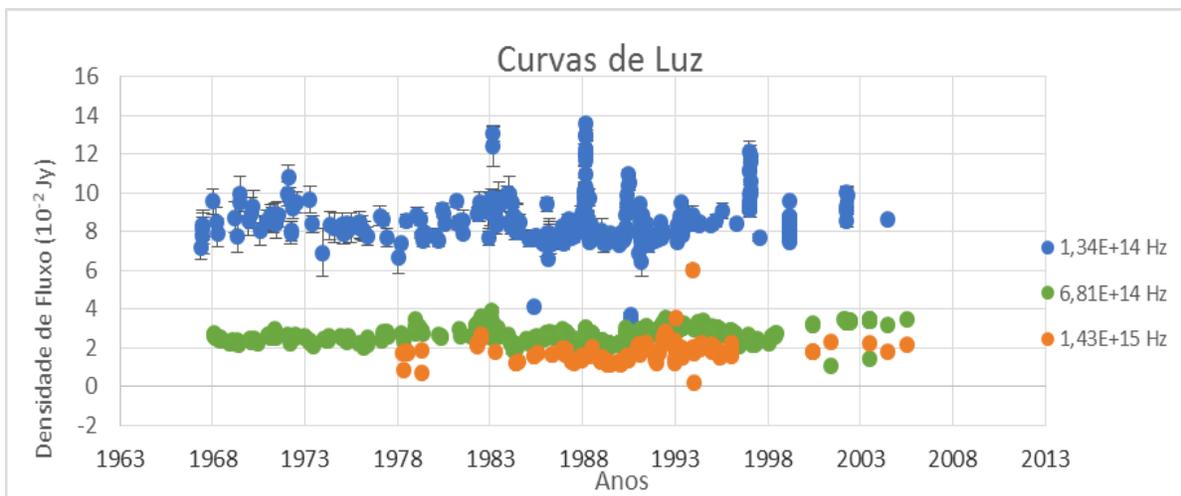
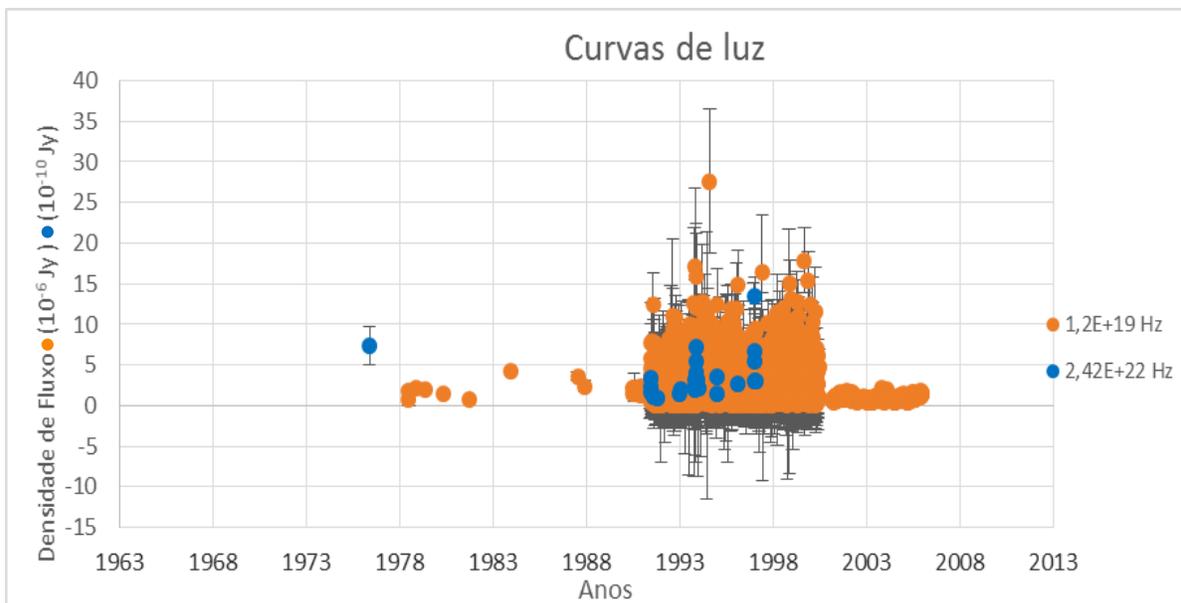


Figura 5.4 - Curvas de luz em raios-X e raios-gama (frequências $1,2\text{E}+19$ Hz e $2,42\text{E}+22$ Hz, respectivamente). As barras verticais indicam a margem de erro de cada observação.



A amplitude e as escalas de tempo das variações do 3C 273 dependem da frequência e apresenta tendências que podem ter relação com os processos físicos que ocorrem no interior da fonte.

O aumento da amplitude das variações quando se parte de rádio para comprimentos de onda milimétricos ($9,00E+13$ Hz), por exemplo, pode significar a superposição da radiação sincrotrônica das ondas de choque que se propagam ao longo do jato (Soldi et al., 2009).

Figura 5.5 – Curvas de luz de 3C 273

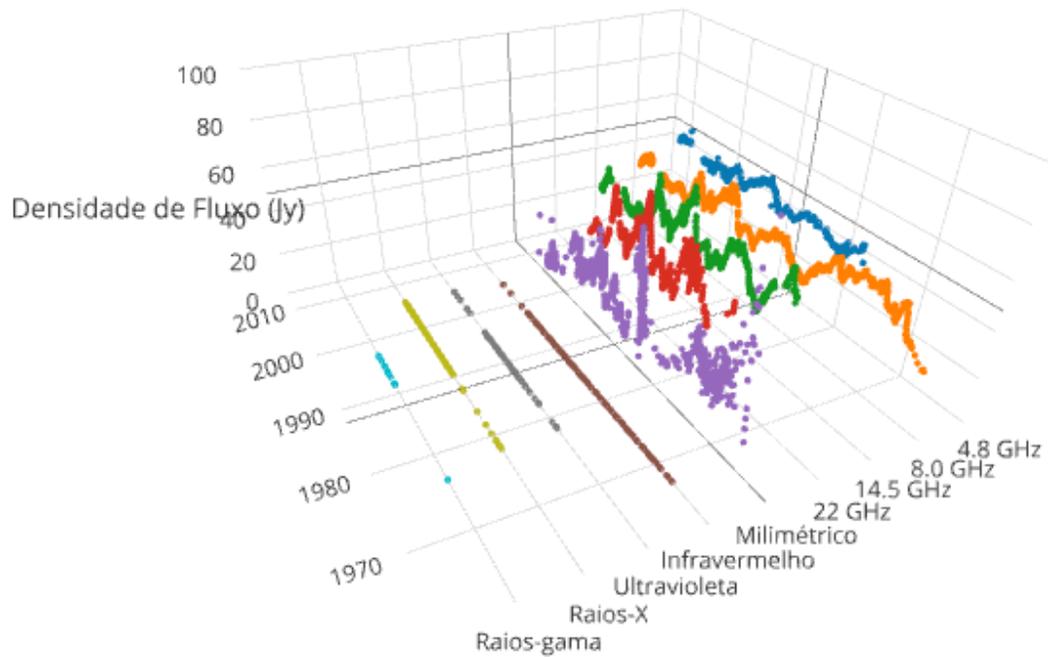


Figura 5.6 – Espectros do 3C 273 – 1º semestre de 1988

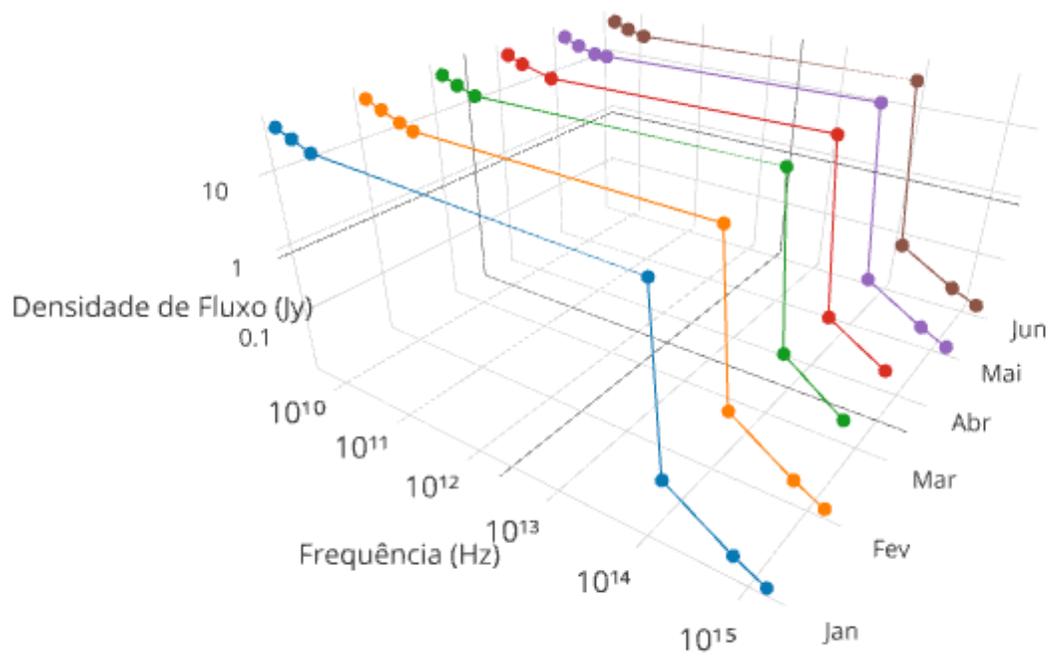


Figura 5.7 – Espectros do 3C 273 – 2º semestre de 1988

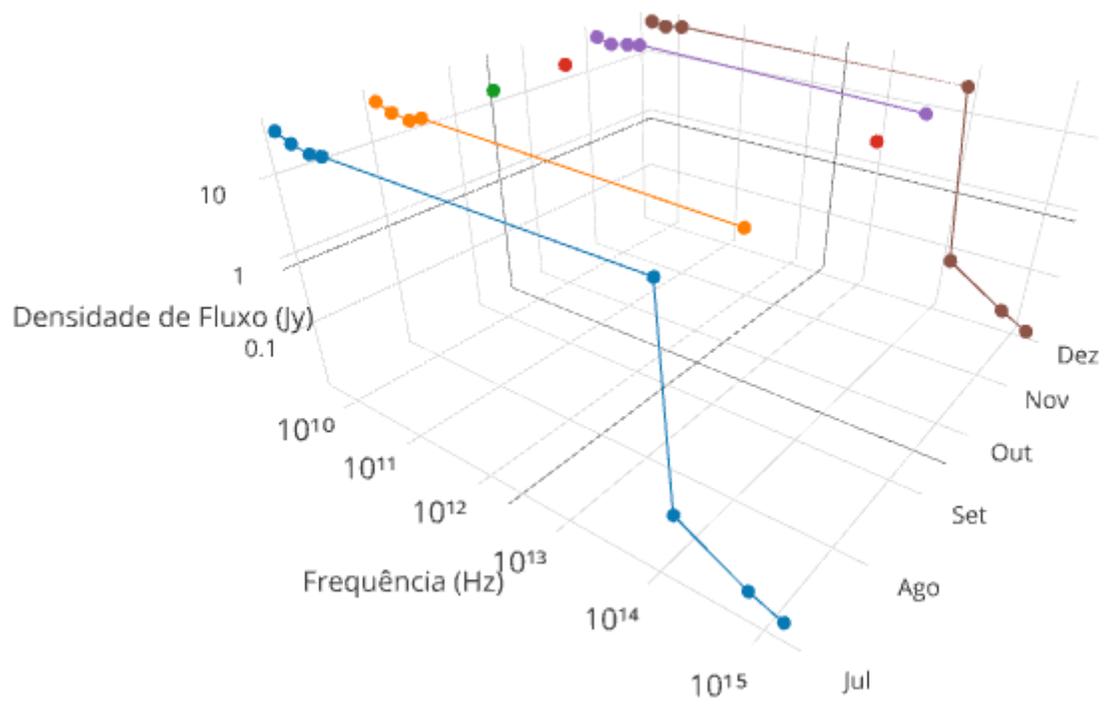


Figura 5.8 – Espectros do 3C 273 – 1º semestre de 1991

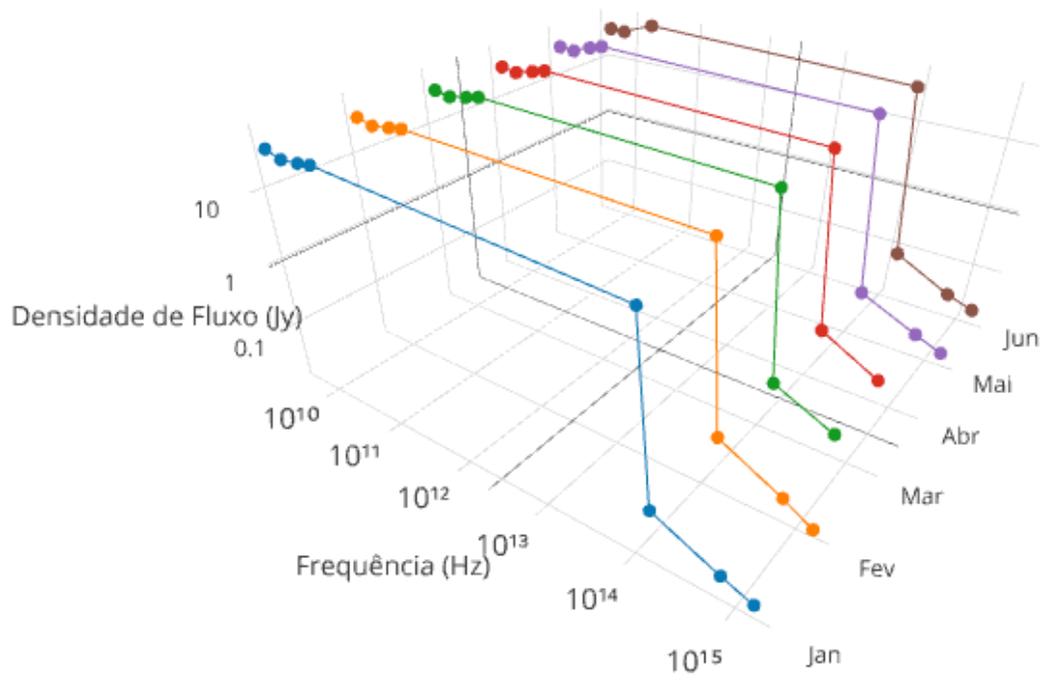


Figura 5.9 – Espectros do 3C 273 – 2º semestre de 1991

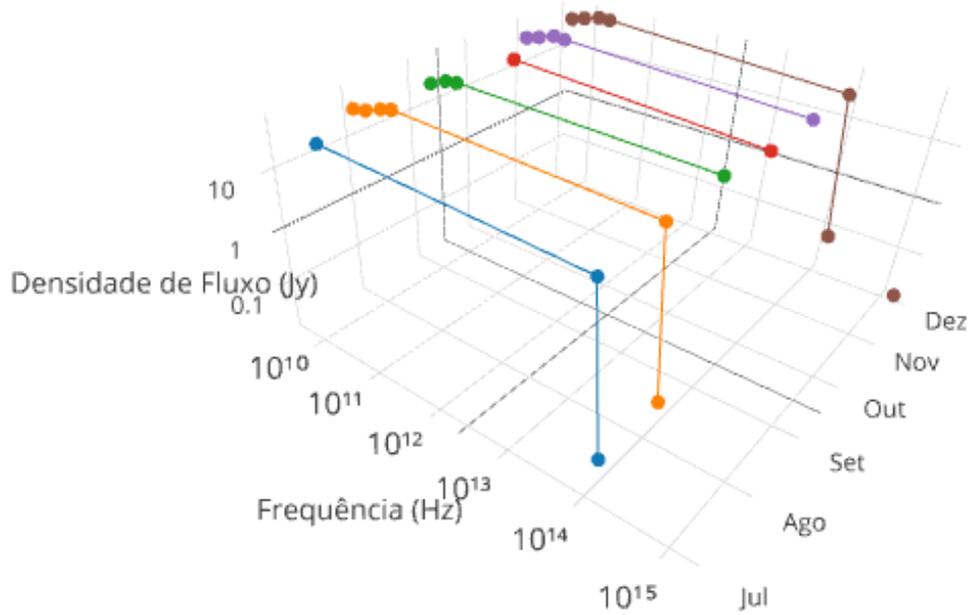
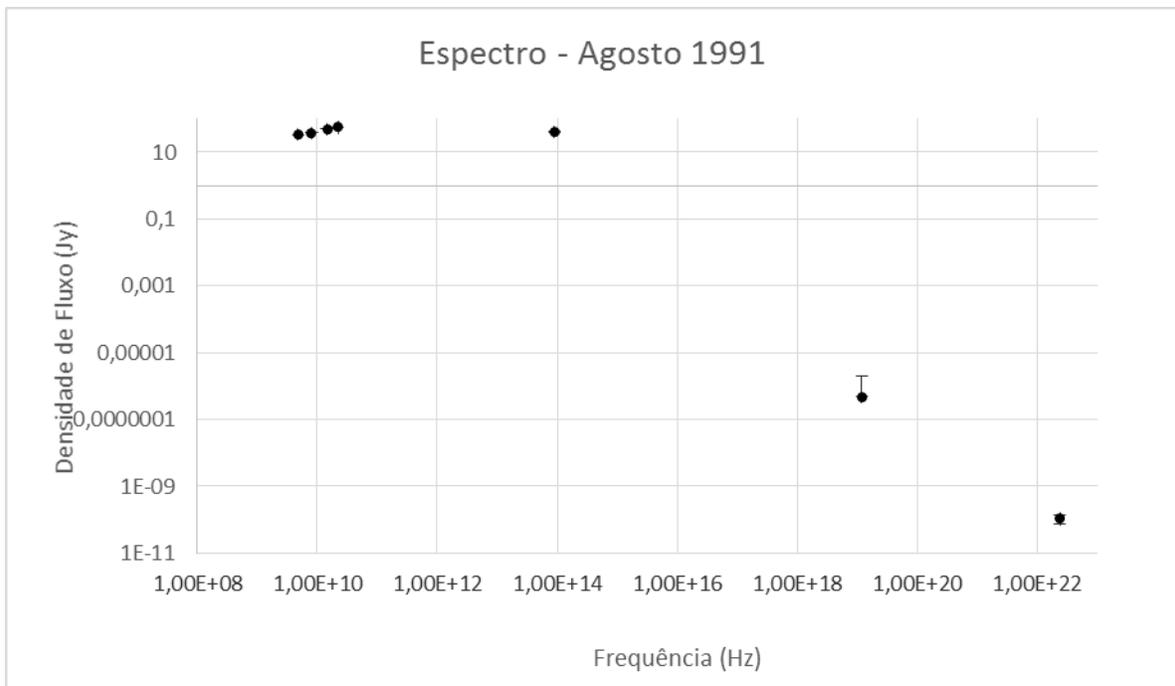


Figura 5.10 – Espectro do quasar 3C 273 em agosto de 1991



Houve registro de um “outburst” em rádio no ano de 1966, monitorado pela antena da Universidade de Michigan nas frequências de 8 GHz e 16,2 GHz (DENT, 1968). Esse aumento na densidade de fluxo pode ser observado nos dados compilados neste trabalho.

De acordo com os dados analisados, a densidade de fluxo em 8 GHz teve seu pico em setembro de 1966, com o valor de $46,94 \pm 0,75$ Jy, sendo ultrapassado somente em 1969, onde atingiu um novo pico em agosto, com valor de $49,66 \pm 0,69$ Jy.

Na Figura 5.1, é possível observar um pico em 22 GHz entre os anos 1988 e 1993. Conforme dados obtidos, esse pico ocorreu em agosto de 1991, atingindo o valor de $56,94 \pm 1,86$ Jy. Também foi registrado aumento de densidade de fluxo em 43 GHz em maio de 1991 (BOTTI, 1994). Em 1988 houve outro “outburst” registrado em 22 GHz e 43 GHz (dezembro e setembro, respectivamente) (BOTTI, 1994). Os “outbursts” de 1988 e 1991 tiveram aproximadamente o mesmo tempo de atraso entre as duas frequências observadas. Isso significa que a luz da fonte percorreu a mesma distância nos dois períodos (BOTTI, 1994).

Como confirmam Courvoisier e Robinson (1991), observações realizadas em 1988 e 1989 em várias frequências também registraram mudanças rápidas na densidade de fluxo. As imagens geradas em VLBI, mostraram uma componente do jato tinha se afastado a uma certa distância do núcleo. A partir das imagens, os pesquisadores obtiveram a velocidade aparente da componente e, em seguida, o tempo de sua expulsão do núcleo: o resultado é que ele apareceu no período durante o qual 3C 273 emitia pulsos de radiação no visível e infravermelho. Dessa forma, parece que a atividade violenta está intimamente ligada ao nascimento de jatos (COURVOISIER; ROBINSON, 1991).

Para a análise dos dados em raios-X e raios-gama, o volume de dados das bases utilizadas são insuficientes para se identificar um padrão. Por isso, a busca de estudos anteriores se fez necessária.

Segundo Soldi et al. (2009), existem diferentes propriedades na variabilidade dos raios-X quando abaixo e acima de 20 keV e isso parece estar relacionado a duas componentes de emissão: uma gerada por Comptonização não-térmica e outra gerada pelo processo Compton inverso. O efeito Compton corresponde ao ganho ou perda de energia de um fóton quando este interage com a matéria (PETRUCCI, 2008). Quando o fóton perde energia, o processo é chamado de Compton e quando o fóton ganha energia, de um elétron não estacionário, por exemplo, o processo se chama Compton inverso. A Comptonização não-térmica é o caso em que o fóton perde energia para elétrons que não apresentam uma temperatura inicial.

Essa variabilidade observada em raios-X parece continuar até raios-gama, mesmo acima de 100 MeV (Soldi et al.). Informações obtidas por meio do Imaging Compton Telescope (COMPTEL) e do Energetic Gamma Ray Experiment Telescope (EGRET) permitiram a detecção de um estado de atividade em raios-gama entre dezembro de 1996 e janeiro de 1997. Foi observada uma variação no fluxo, permanecendo no valor máximo já detectado, durante duas semanas. Esse “outburst”, no entanto, foi detectado apenas em energias acima de 100 MeV. Isso pode ser consequência do processo Compton inverso em fótons do disco de acreção (COLLMAR et al., 2000).

Vários programas de monitorização em vários comprimentos de onda estão em curso para acompanhar a evolução do 3C 273. Foi detectado em setembro de 2009 um aumento da emissão em raios-gama e quase simultaneamente houve aumento da emissão

em 15 GHz. Variações em raios-gama, em ótico e rádio parecem estar intimamente relacionadas, o que pode significar que a mesma distribuição de elétrons seja responsável pela emissão nessas faixas de frequência (CHATTERJEE et al., 2009).

6. CONCLUSÕES

Por meio deste projeto, foi possível compreender que o estudo de variabilidade do quasar 3C 273 é um trabalho que necessita de um amplo embasamento na busca por propriedades e padrões que possam contribuir com a melhor compreensão dos fenômenos que permeiam esse universo distante.

Quasares e AGNs são parte fundamental da Astrofísica e Cosmologia. A identificação desses objetos tem um profundo impacto nas teorias de formação das galáxias, bem como motiva as investigações dos processos físicos que ocorrem nos buracos negros.

A estrutura e dinâmica dos quasares são, em muitos aspectos, um mistério. Os astrônomos ainda buscam compreender que tipo de configuração produz o componente sincrotrônico, o infravermelho e os raios-X, bem como a relação entre esses componentes e os mecanismos de alimentação e crescimento do sistema.

É necessário um maior aprofundamento e aprimoramento dos modelos e técnicas aqui utilizados para análise de dados, a fim de se ter uma ideia mais clara da relação entre os processos de emissão envolvidos.

Nosso conhecimento do quasar está longe de ser completo, mas esperamos que as campanhas de observação prolongadas e novos avanços teóricos continuem a fornecer pistas, permitindo a composição de uma imagem global.

7. REFERÊNCIAS

Botti, L. C. L. **A new violent activity in 3C 273**. Astronomy with Millimeter and Submillimeter Wave Interferometry, IAU Colloquium 140, ASP Conference Series, Vol. 59, 1994, M. Ishiguro and J. Welch, Eds., p.50.

Chatterjee et al. **Multi-waveband variability of eight blazars in the first year of observations with Fermi**. Department of Astronomy at Yale University, 2009.

Collmar et al. **A large high-energy gamma-ray flare from the blazar 3C 273**. Astronomy and Astrophysics. 354, 513–521, 2000.

Courvoisier, T. J.-L.; Robson, E. I. **Il quasar 3C 273**. Le Scienze, edizione italiana di Scientific American, 1991.

Dent, W. A. **The 1966-1967 radio outburst in 3C 273**. *The Astrophysical Journal*. Vol 153, July 1968.

Friça, A. C. S.; Pino, E. D.; Sodré Jr., L.; Pereira, V. J-. **Astronomia: Uma Visão Geral do Universo**. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

Kellermann, K. I.; **The discovery of quasars**. Bulletin of the Astronomical Society of India, 41, 1-17, 2013.

Peterson, B.P.; **An Introduction to Active Galactic Nuclei**. Cambridge University Press, 1997. 256 p.

Petrucci, P.O. **Models of comptonization**. Memorie della Società Astronomica Italiana, v.79, p.118, 2008.

Smit, J. **Rádio-Astronomia: noções**. Editora Érica, São Paulo, 1988.

Soldi S.; Beckmann V.; Türler M. **The variability of the quasar 3C 273: a radio to gamma-ray view**. Fermi Symposium, Washington, D.C., Nov. 2-5, 2009.