

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

Wesley Araujo Barini (Mackenzie, Bolsista PIBIC/CNPq)

**ANÁLISE DE CURVAS DE LUZ DE AGNs UTILIZANDO ALGORITMOS BASEADOS
EM AUTOAPRENDIZAGEM**

São Paulo

2018

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

**ANÁLISE DE CURVAS DE LUZ DE AGNs UTILIZANDO ALGORITMOS BASEADOS
EM AUTOAPRENDIZAGEM**

Wesley Araujo Barini (Mackenzie, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: wesley_barinietec@outlook.com

Luiz Claudio Lima Botti (DAS/CEA/INPE, CRAAM, Orientador)

E-mail: luizquas@yahoo.com.br

Ricardo Bulcão Valente Ferrari (CRAAM, Co-orientador)

E-mail: rbferr@gmail.com

São Paulo

2018

ANÁLISE DE CURVAS DE LUZ DE AGNs UTILIZANDO ALGORITMOS BASEADOS EM AUTOAPRENDIZAGEM

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o estudo de AGNs com o intuito de fazer uma análise das curvas de luz destes objetos, utilizando o algoritmo genético para fazer modelagens das curvas de luz e a obtenção de diversos parâmetros físicos. Mais especificamente foi feito o estudo de um particular Quasar, 3C 273, baseado em curvas de luz obtidas do Radiobservatório de Michigan (UMRAO) em 4,8; 8,0; e 14,5 GHz.

Com dados das observações obtidos foi possível analisar o comportamento desta fonte desde a década de 1960 até 2012 quando o programa foi descontinuado. Estes dados foram utilizados na construção de um banco de dados e os resultados apresentados foram dispostos em curvas de luz, onde é possível observar a variabilidade complexa do objeto, assim como sua quase periodicidade. Da análise espectral dos últimos anos de observação, conclui-se que apesar de o Quasar se encontrar em período quiescente, apresenta um comportamento variável nas 3 frequências observadas.

ANALISYS OF LIGHT CURVES OF THE AGNs BASED ON A SELF-LEARNING SYSTEM THROUGH GENETIC ALGORITHM

ABSTRACT

The aim of this work is to study AGNs with the purpose of analyzing its light curves through a genetic algorithm. To model its light curves and obtain various physical parameters. More specifically, it was study a Quasar called 3C 273. The study was based on light curves obtained from the Michigan Radio Observatory (UMRAO) at 4.8; 8.0; and 14.5 GHz.

With data from the observations, it was possible to analyze the behavior of this source from the 1960's until 2012 when the program was ended. These data were used in the construction of a database which was later used in the presentation of the results. The results were arranged in light curves, where it is possible to observe the complex variability of the object, as well as its almost periodicity.

Lastly, with the spectral analysis of the last years of observation, it is concluded that although the Quasar is in the quiescent period, it presents a variable behavior in the 3 observed frequencies.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, aos meus orientadores Luiz Claudio Lima Botti e Ricardo Bulcão Valente Ferrari que sempre estiveram à disposição para me ajudar e orientar em cada passo realizado contribuindo muito para o meu desenvolvimento acadêmico.

Ao pessoal do Radiobservatório da Universidade de Michigan pelos dados cedidos para a realização deste trabalho.

Aos colegas e pesquisadores do Centro de Radioastronomia do Mackenzie (CRAM) que contribuíram muito transmitindo seus conhecimentos oriundos de suas áreas de atuação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela oportunidade e fomento durante o período de vigência do contrato junto à instituição.

À Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), pelo espaço e a infraestrutura ofertadas.

À Carol, por ajudar sempre em todos os trâmites burocráticos. Obrigado por tudo!

Finalmente, gostaria de agradecer ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais pela oportunidade cedida.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

IMAGENS

Figura 1 : Curva de Luz do 3C 273 em 22 GHz.....	10
Figura 2: Modelo Unificado dos Núcleos Galácticos Ativos.....	12
Figura 3: Imagem em VLBI do Quasar 3C 273.....	14
Figura 4: Imagem em VLBI do Quasar 3C 345.....	14
Figura 5: Imagem em VLBA do Jato e Núcleo do Quasar 3C 273.....	15
Figura 6: Imagem em VLBA do jato Quasar 3C 273 cujo código de cores indica as substâncias presentes no ambiente que ocorreu o jato.	15
Figura 7: Linhas de Absorção.....	16
Figura 8: Linhas de Emissão.....	16
Figura 9: Espectro e <i>Redshift</i> do Quasar 3C 273.....	17
Figura 10: Espectro eletromagnético médio do Quasar 3C 273.....	18
Figura 11: Enigma da Mochila.....	20
Figura 12: Fluxograma do Algoritmo genético.....	21
Figura 13: Antena do Radiobservatório de Universidade de Michigan.....	23
Figura 14: Curva de luz em 4.8 GHz.....	24
Figura 15: Curva de luz em 8GHz.....	25
Figura 16: Curva de luz em 14,5 GHz.....	26
Figura 17: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2006.	27
Figura 18: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2007.	28
Figura 19: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2008.	29
Figura 20: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2009.	30
Figura 21: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2010.	31
Figura 22: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2011.	32
Figura 23: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2012.	33

EQUAÇÕES

Equação 1: Equação para o <i>redshift</i>	11
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. O QUASAR 3C 273	10
3. O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO	16
4. METODOLOGIA.....	19
4.1. ALGORITMO GENÉTICO	19
4.1.1. O ENIGMA DA MOCHILA.....	19
4.1.2. CODIFICAÇÃO.....	21
4.2. BANCO DE DADOS	22
5. RESULTADOS	24
6. CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

A descoberta dos Quasares se deu no início da década de 60. Com tecnologia disponível na época já era possível identificar contrapartidas ópticas de fortes fontes de rádio. Apesar de seu extremo brilho, esses objetos tinham aparência estelar (PETERSON, 1997).

Os Quasares são uma subclasse dos Núcleos Galácticos Ativos (do Inglês Active Galactic Nucleus AGNs), os quais são caracterizados pela existência de fenômenos energéticos no núcleo ou região central de galáxias, cuja atividade não pode ser atribuída diretamente a estrelas (PETERSON, 1997).

Em 1962, ocorre uma das maiores descobertas devido à uma série de ocultações lunares do Quasar 3C 273. Medidas realizadas por Cyril Hazard e John Bolton durante uma das ocultações lunares usando o Rádio Telescópio Parkes, permitiu ao astrônomo holandês Maarten Schmidt identificar opticamente o objeto e obter seu espectro óptico usando o Telescópio Hale em Monte Palomar (KELLERMANN, 2013).

Schmidt em 1963, utilizando os dados das ocultações lunares do 3C 273 descobriu que as linhas espectrais destes objetos eram linhas de Balmer, mas deslocadas para o vermelho. Para o objeto em estudo, 3C 273, o desvio para o vermelho (*redshift*) foi de aproximadamente 0,158 indicando que este Quasar estava a cerca de 749 Mpc, colocando-o fora da Via Láctea e descartando a hipótese de “rádio-estrela”. Dois anos após a identificação do 3C 273, “redshifts” próximos a 2 foram relatados e valores maiores que 3 só foram observados após 1973 (KELLERMANN, 2013).

O termo “*quasi-stellar radio sources*” (rádio fontes quase estelares), posteriormente encurtado para “Quasares”, foi adotado para objetos com estas características estelares, mas com espectros diferentes das estrelas (PETERSON, 1997).

Os AGNs são os objetos mais distantes que se tem conhecimento. Possuem núcleo muito ativo em rádio, emitindo grande quantidade de radiação, a qual não são devidas à mecanismos que tem relação direta com a população estelar de sua galáxia. Quando comparados com galáxias ditas ‘normais’ apresentam elevada luminosidade, fato que às vezes dificulta a identificação da galáxia hospedeira.

O Modelo mais simples para um AGN consiste em um buraco negro supermassivo ($>10^9 M_{\odot}$) em seu centro e um disco de acreção em seu entorno. Este conjunto ejeta dois jatos relativísticos em direções opostas transversalmente ao plano do disco (Valtaoja, 1999). Ao redor

deste conjunto ocorre o acúmulo de gás e poeira em um formato toroide. A energia contida nestes jatos é gerada devido à queda de matéria do disco de acrecimento a qual é aquecida à altas temperaturas.

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 são relativamente fracos na região de ondas de rádios, mas o 3C 273 emite aproximadamente a mesma quantidade de energia em todo o espectro eletromagnético, desde rádio até raios gama (COURVOISIER et al., 1991). Sendo este objeto um dos AGNs melhor observado em todas as regiões do espectro.

Ainda a respeito dos Quasares, pode-se dizer que eles possuem excesso de emissão no ultravioleta, o que os torna objetos muito azuis. Ao procurar objetos de aparência estelar com índice de cor $U - B < 0,4$, grande parte dos objetos encontrados serão ótimos candidatos a Quasares, sendo necessário confirmar obtendo-se seus respectivos espectros (NETO, 2016).

As Distribuições Espectrais de Energia (SED) do 3C 273 apresentam variabilidade temporal em cada faixa de frequências, mostrando variação no seu brilho em determinados períodos (KELLERMANN, 2013). Esta característica é um elemento de grande importância no que diz respeito ao comportamento dos Quasares, bem como os processos físicos que ocorrem em seu interior.

Apesar de o Quasar 3C 273, localizado na constelação de Virgo estar à uma distância muito grande é o Quasar mais próximo da terra que se tem conhecimento. É importante destacar que o fato de existir AGNs com *redshifts* superiores ao desta fonte foi o que possibilitou estender a Lei de Hubble à altos *redshifts* e motivou o aumento das investigações por parte da comunidade científica, uma vez que tal descoberta também afetara a Teoria do Estado Estacionário (HOYLE, 1948).

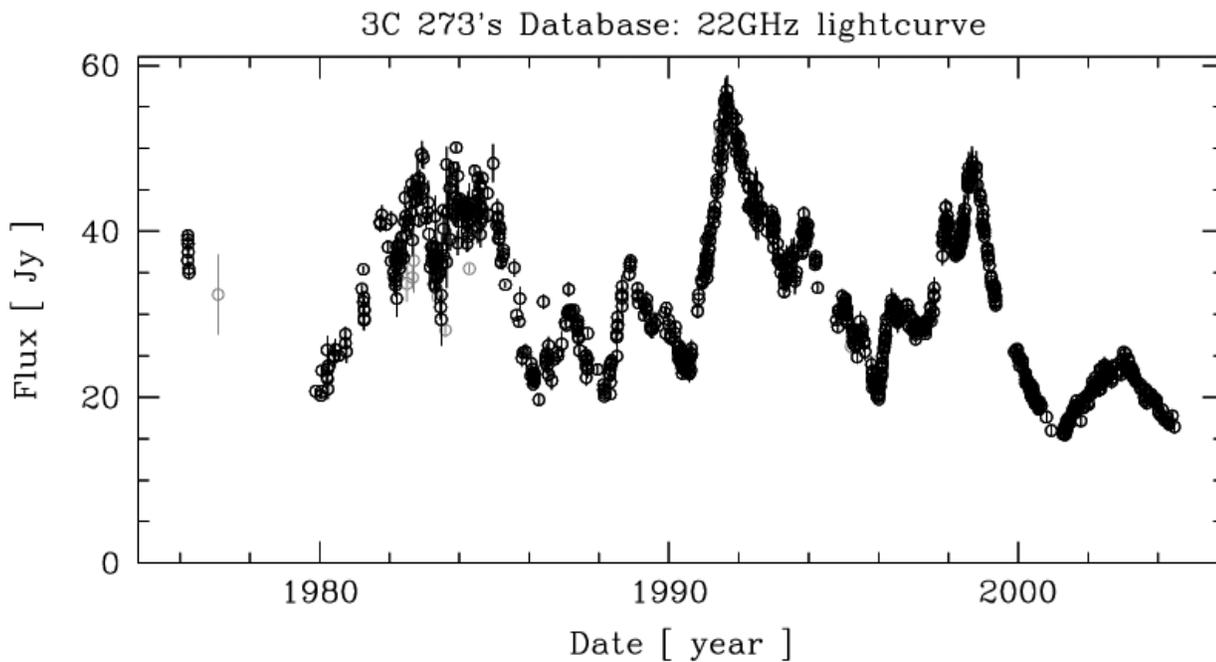
Este trabalho iniciado em agosto de 2017, tem como objetivo analisar uma curva de luz deste AGN utilizando algoritmos de auto-aprendizagem. Para realização deste trabalho, foi feita uma extensa revisão bibliográfica, em buscar de um embasamento teórico no que diz respeito aos Quasares, que pudesse contribuir para a compreensão do objeto em questão.

1. O QUASAR 3C 273

O Quasar 3C 273 encontra-se 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 o 3C 273 parece mais brilhante do que mil galáxias que contêm 100 bilhões de estrelas cada uma (COURVOISIER et al., 1991).

A variabilidade do Quasar 3C 273 tem sido estudada em toda a faixa do espectro eletromagnético, apresentando um comportamento bastante complexo, com evidências de variações quase periódicas em densidade de fluxo na faixa rádio do espectro. A amplitude da variabilidade nas explosões em rádio varia entre 20 (Jy) e 50 (Jy), dependendo da época e da frequência de observação. A figura 1 apresenta uma curva de luz do Quasar 3C 273 observada na frequência de 22 GHz.

Figura 1 : Curva de Luz do 3C 273 em 22 GHz



Fonte: (TÜRLER et al., 1999; SOLDI et al., 2008)

O 3C 273, foi classificado conforme o Terceiro Catálogo de Cambridge (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 $M= -26,9$ e sua distância é de aproximadamente 749 Mpc ($\sim 2,5$ bilhões de anos luz). Este Quasar está a tão grande distância, que em imagens ópticas parece com 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).

As linhas de emissão do Quasar 3C 273 foram identificadas em 1963, como sendo 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 determinar se um objeto está se afastando ou se aproximando do observador. O cálculo do *redshift* (z) é obtido pela relação entre o comprimento de onda observado (λ) e o comprimento de onda medido em laboratório (λ_0).

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \quad (1)$$

Equação 1: Equação para o *redshift*

Os altos *redshifts* dos Quasares que se têm conhecimento, podem indicar sua participação na expansão do universo, sendo estes as fontes mais distantes e brilhantes já detectadas. Para o objeto em questão cujo *redshift* é de $z=0,158$, conforme a Lei de Hubble, implica a fonte estar muito distante (SOARES, 2015).

O Quasar 3C 273 emite jatos com velocidades relativísticas, muito próximos à velocidade da luz, provavelmente, devidos à interação entre a matéria de seu disco de acréscimo e seu buraco negro central. Estes jatos produzem radiação em quase toda a faixa do espectro devido ao processo chamado de emissão sincrotrônica.

Os jatos emitidos pelos Quasares aparentam, muitas vezes, estar a uma velocidade superior a velocidade 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).

Intrinsicamente, os jatos emitidos pelos AGNs possuem duas componentes, no entanto, não somente no caso do 3C 273, mas nos Quasares em geral é muito comum o observador conseguir enxergar apenas um dos jatos, devido a efeitos relativísticos (Abrilhantamento Doppler).

Os conceitos físicos chaves no lançamento dos jatos, envolvem a opacidade do centro do Quasar próximo a base dos jatos ou disco de acreção, as ondas de choques que se propagam nos jatos e a dissipação de energia (ZENSUS, 2003).

O Quasar 3C 273 apresenta períodos “radio quiet” (“quieto” em rádio) e “radio loud” (“barulhento” em rádio). Quando em período “radio loud” é intenso emissor de energia 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. Devido a essas características deste Quasar, ele pode ser classificado como um Blazar (SOLDI et al, 2009). A Figura 2 representa as classificações de um AGN de acordo com a posição do observador (segundo o Modelo Unificado dos AGNs).

Figura 2: Modelo Unificado dos Núcleos Galácticos Ativos



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

A observação deste objeto pode ser feita através de radiotelescópios. A técnica chamada de interferometria de base muito longa (VLBI, do inglês Very Long Baseline Interferometry) possibilita a obtenção de mapas de rádio de altíssima resolução de diversas fontes de rádio. A rede VLBI oferece imagens em alta resolução de 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 (SOARES, 2015)

A rede VLBI, realiza o monitoramento de fontes de rádio compactas, em conjunto com diversos radio telescópios ao redor do mundo, mantendo sempre sua base de dados atualizadas, através da utilização de uma rede mundial de dados. Dentre as fontes compactas de rádio, as principais fontes estudadas são os AGNs, desta fonte é estudado, a sua estrutura bem como suas emissões, ou jatos, as quais não provêm de natureza térmica e suas variações são significativamente instáveis (ZENSUS, 2003).

Um outro programa de observação dos Quasares é o VLBA (do inglês Very Long Baseline Array), foi desenvolvido pelo Observatório Nacional de Astronomia (NRAO), o qual foi criado em 1956 e começou sua primeira observação completa em 1993 (NRAO, 2016).

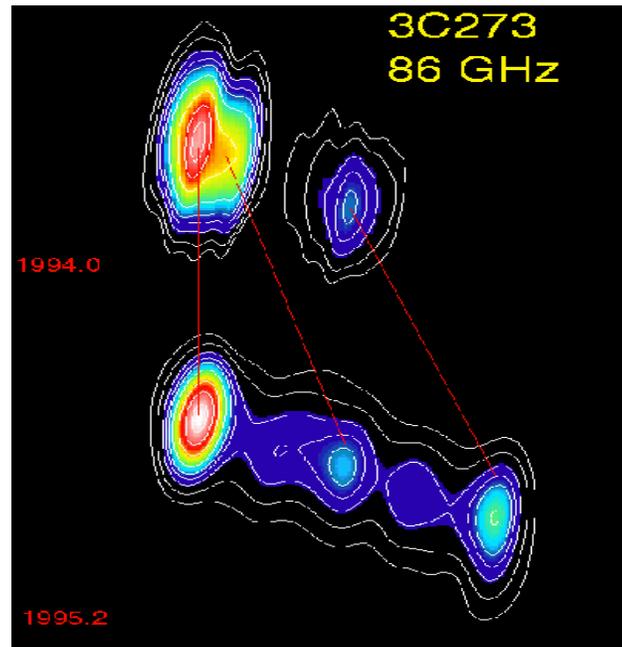
O VLBA é umas das mais poderosas câmeras de rádio, a qual permite os astrônomos enxergar o coração de galáxias, bem como seus buracos negros colossais. A utilização do VLBA é possibilita também os cientistas uma visão mais detalhada do que está ocorrendo em determinado objeto, como a composição dos gases próximos a buracos negros, a formação de novas estrelas e a expansão da explosão de supernovas após anos (NRAO, 2016).

As figuras de 3 a 6 são exemplos de mapas em VLBI e VLBA. A figura 3 mostra uma comparação entre anos de 1994 e 1995 do Quasar 3C 273, onde é possível ver uma componente se afastando de seu núcleo. Ao passo que a figura 4 exhibe uma componente do Quasar 3C 345 se deslocando com velocidade superluminal entre os anos de 1997 e 1999.

Já as figuras 5 e 6 apresentam mapas em VLBA, onde é possível ver o formato dos jatos do Quasar 3C 273 detalhadamente, o que possibilita uma análise diferente.

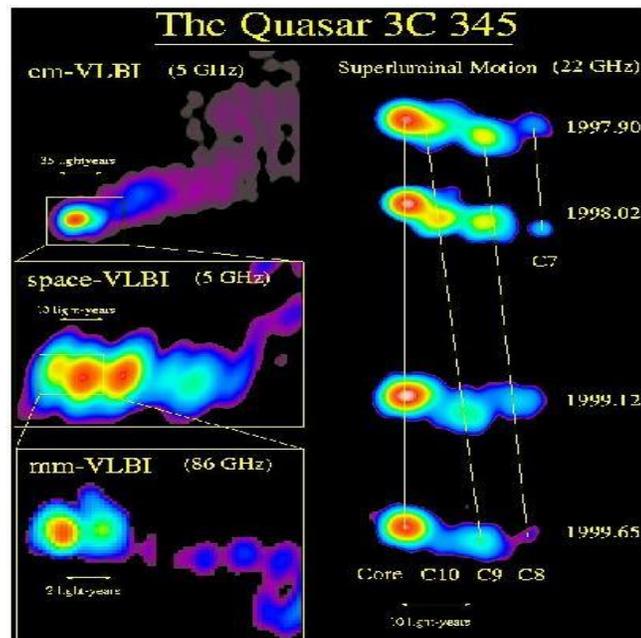
Estas imagens foram obtidas da galeria de imagens do Max-Planck-Institut für Radioastronomie e do National Radio Astronomy Observatory (NRAO).

Figura 3: Imagem em VLBI do Quasar 3C 273



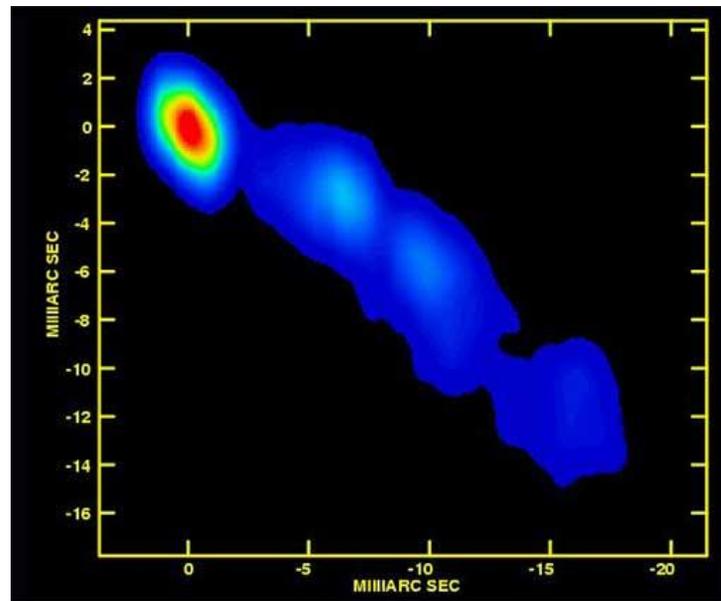
Fonte: http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/div/vlbi/gallery/Bilder_Text/3c273.94.html

Figura 4: Imagem em VLBI do Quasar 3C 345



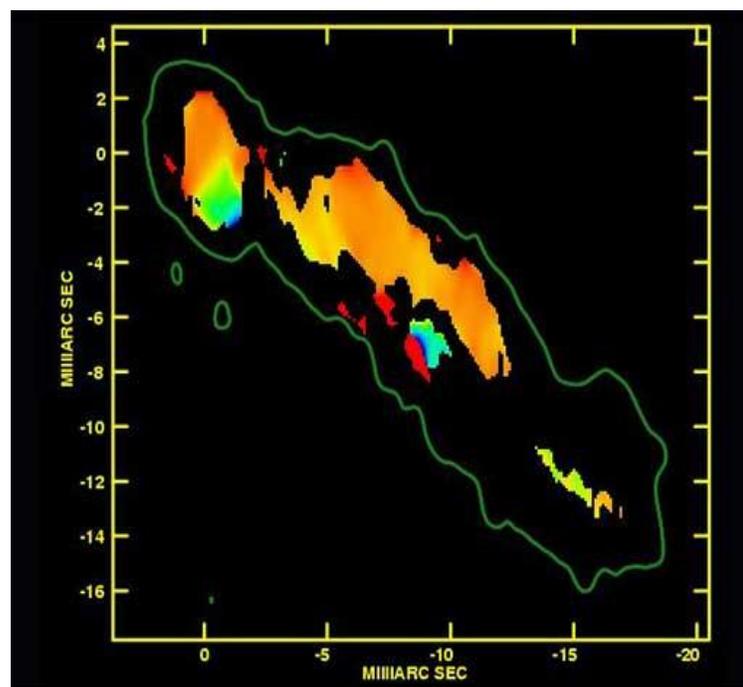
Fonte: http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/div/vlbi/gallery/Bilder_Text/3c345.html

Figura 5: Imagem em VLBA do Jato e Núcleo do Quasar 3C 273.



Fonte: <https://public.nrao.edu/news/vlba-observations-put-new-twist-on-quasar-jet-model/>

Figura 6: Imagem em VLBA do jato Quasar 3C 273 cujo código de cores indica as substâncias presentes no ambiente que ocorreu o jato.



Fonte: <https://public.nrao.edu/news/vlba-observations-put-new-twist-on-quasar-jet-model/>

2. O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

O espectro de radiação que vem de uma galáxia, apresenta três principais características: uma componente contínua, linhas de absorção e linhas de emissão. A componente contínua é constituída por fótons de todos os comprimentos de onda sendo sua intensidade função do comprimento de onda (COURVOISIER et al., 1991).

As linhas espectrais, são utilizadas para identificar átomos, moléculas ou elementos presentes em estrelas, galáxias ou nuvens de gás estelar. No espectro visível temos duas linhas espectrais, dentre elas, temos as linhas de emissão e absorção.

As linhas de absorção são marcas escuras sobrepostas em linhas contínuas, derivadas de absorções ocorridas nos específicos comprimentos de onda ao longo da linha de visão. Ao passo que as linhas de emissão são linhas coloridas, apresentadas normalmente em um fundo escuro, que correspondem ao comprimento de onda da luz emitida por determinado objeto.

As figuras a seguir ilustram as respectivas linhas:

Figura 7: Linhas de Absorção

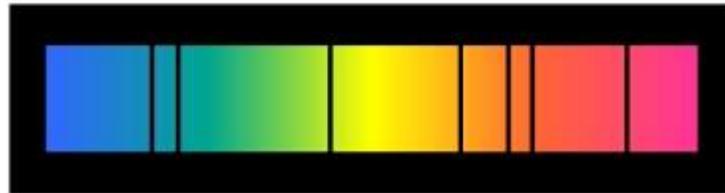


Figura 8: Linhas de Emissão



SAO (2018).

Nos comprimentos de onda correspondentes às linhas de absorção, a intensidade da radiação diminui significativamente em comparação com a da componente contínua. Quanto às linhas de emissão, no entanto, a intensidade da radiação aumenta consideravelmente. Estas linhas espectrais

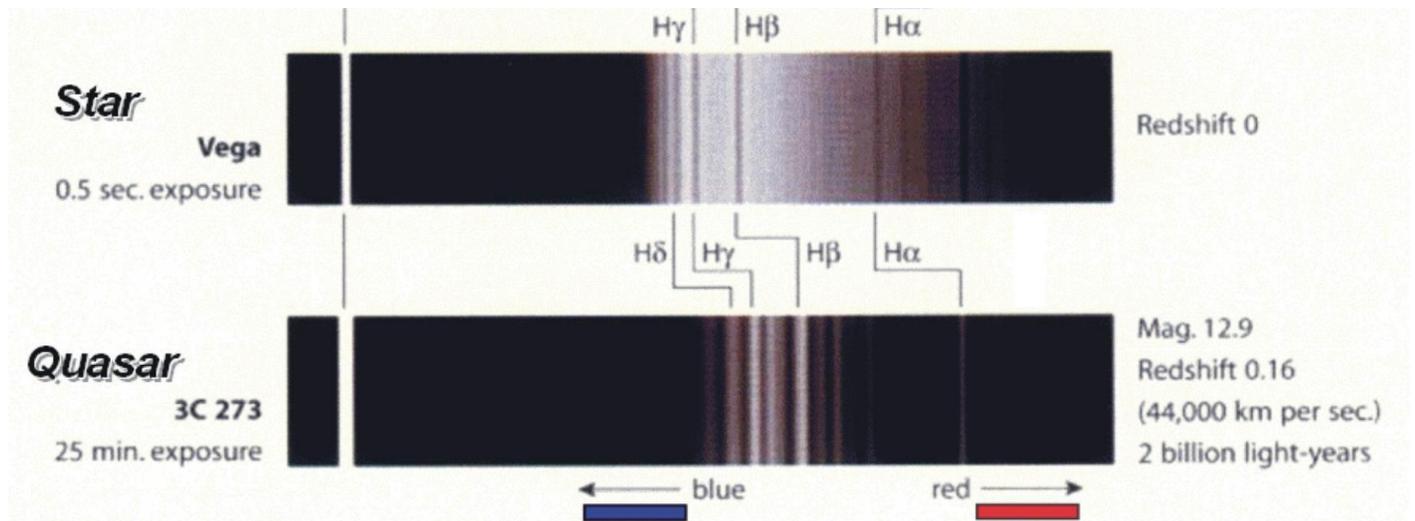
são devidas, por exemplo, à presença de gás interestelar que absorve a radiação da componente contínua, em um intervalo de comprimento de onda, para, em seguida, reemiti-la em comprimentos de onda específicos (SOARES, 2015).

O espectro de uma galáxia normal, é constituído principalmente por emissão contínua, cuja intensidade é máxima em comprimentos de onda visíveis. No entanto, a emissão contínua de AGNs, incluindo os Quasares, é muito intensa em toda a região espectral que vai de rádio a raios-gama (SOARES, 2015).

É possível afirmar que galáxias ditas 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 de nossa galáxia, porém de forma atenuada (SMIT, 1988).

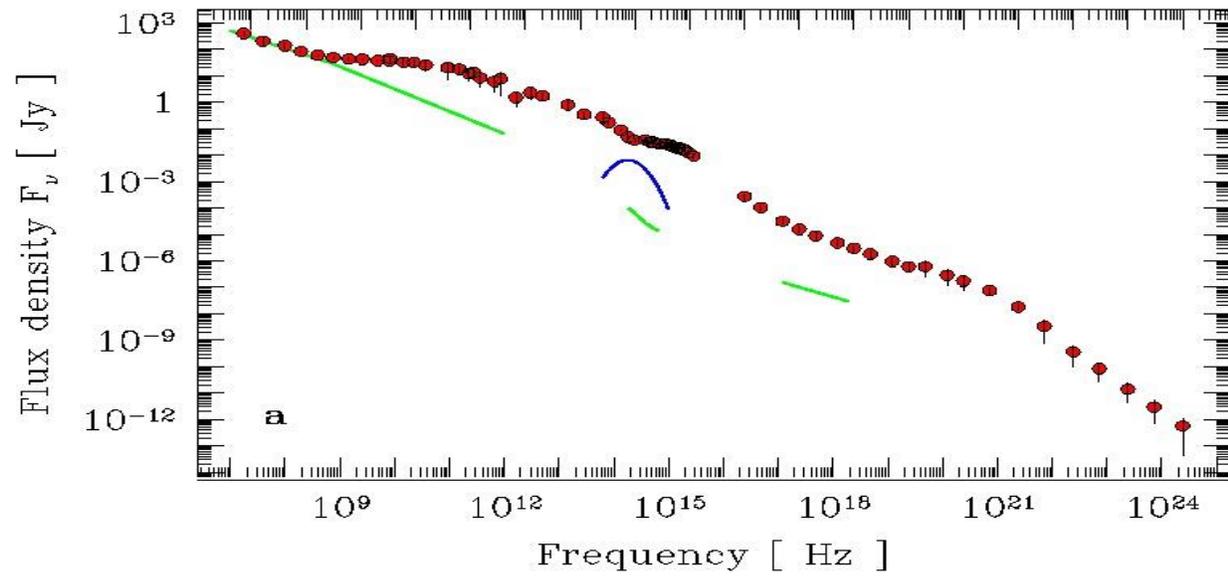
A figuras 9 e 10 ilustram espectros do Quasar 3C 273. Onde na figura 9 mostra uma comparação entre os espectros visíveis de Vega e do Quasar 3C 273 através do *redshift* deste objeto, como sendo um leve deslocamento das linhas espectrais.

Figura 9: Espectro e *Redshift* do Quasar 3C 273



KARGE (2018).

Figura 10: Espectro eletromagnético médio do Quasar 3C 273



Fonte: (Modificado de TÜRLER et al., 1999; SOLDI et al., 2008)

3. METODOLOGIA

3.1. ALGORITMO GENÉTICO

O algoritmo genético é um método computacional que pode ser utilizado na resolução de problemas de otimização ou na busca de informações, com intuito de entender de forma mais concisa determinado processo ou problema previamente conhecido (BEASLEY et al., 1993).

Este método computacional é baseado no processo de evolução biológica dos seres vivos. Segundo o naturalista britânico Charles Darwin (1809-1882) durante gerações populações evoluem de acordo com o processo de seleção natural, cujo o sobrevivente deste processo é considerado o mais adaptado ao seu meio ambiente e que posteriormente irá se reproduzir. Ademais os indivíduos oriundos desta reprodução terão suas características herdadas de seu ancestral, tal fato irá estabelecê-los em determinado conjunto ou população (DARWIN, 1859).

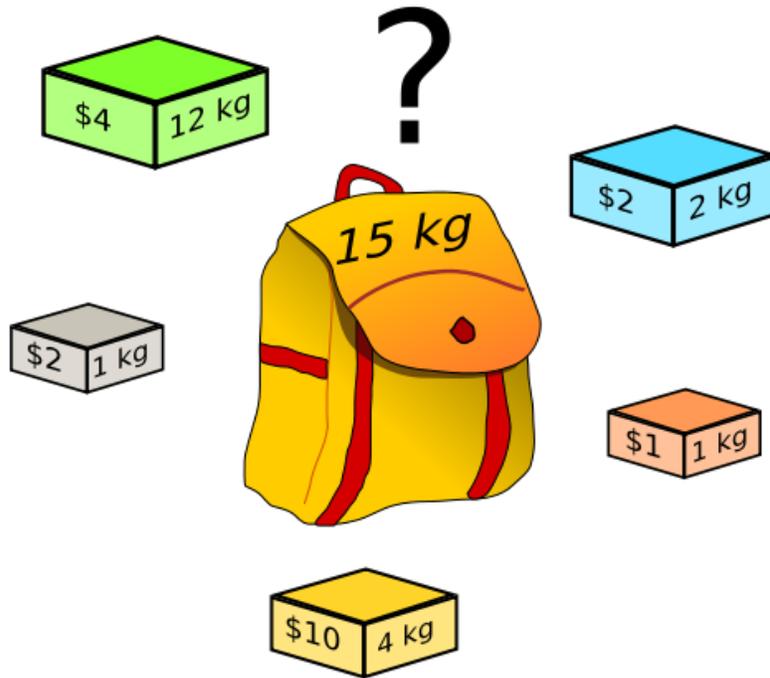
Os princípios básicos do algoritmo genético foram rigorosamente documentados por Holland (1975). Baseado na codificação computacional do processo de seleção natural este algoritmo é capaz de resolver problemas do mundo real, como por exemplo: Identificar os pesos máximos ou mínimos a serem implementados em estruturas de uma ponte, bem como as forças envolvidas; na indústria têxtil, pode ser utilizado para determinar o máximo ou mínimo desperdício de matéria-prima na confecção de vestimentas; na indústria automotiva pode ser implementado para minimizar as perdas em determinado processo de criação, bem como os custos máximos ou mínimos envolvidos neste processo (BEASLEY et al., 1993).

3.1.1. O ENIGMA DA MOCHILA

O enigma da mochila está dentre um dos 21 problemas NP- completos de Karp, 1972. É um problema clássico de otimização no qual existe infinitas soluções possíveis (NICOLLE, 2017).

O problema consiste em uma mochila que suporta 15 kg e 5 caixas com pesos e preços diferentes, o objetivo é preencher a mochila, respeitando seu peso máximo, com a maior quantidade de caixas possíveis pelo menor preço possível, como ilustrado na figura 11:

Figura 11: Enigma da Mochila.



Fonte: (NICOLLE, 2017).

É perceptível que existe diversas formas para se preencher a mochila, no entanto, quando o problema é restrito a um contexto de otimização, ou seja, em termos de peso máximo e menor custo, a solução se restringe à uma apenas. Desta forma, o algoritmo genético, pode ser implementado e atuar como uma ferramenta facilitadora do processo de solução, pois no caso de optar pelas soluções convencionais seria necessário a utilização de sistemas lineares e demandaria um esforço maior para sua resolução.

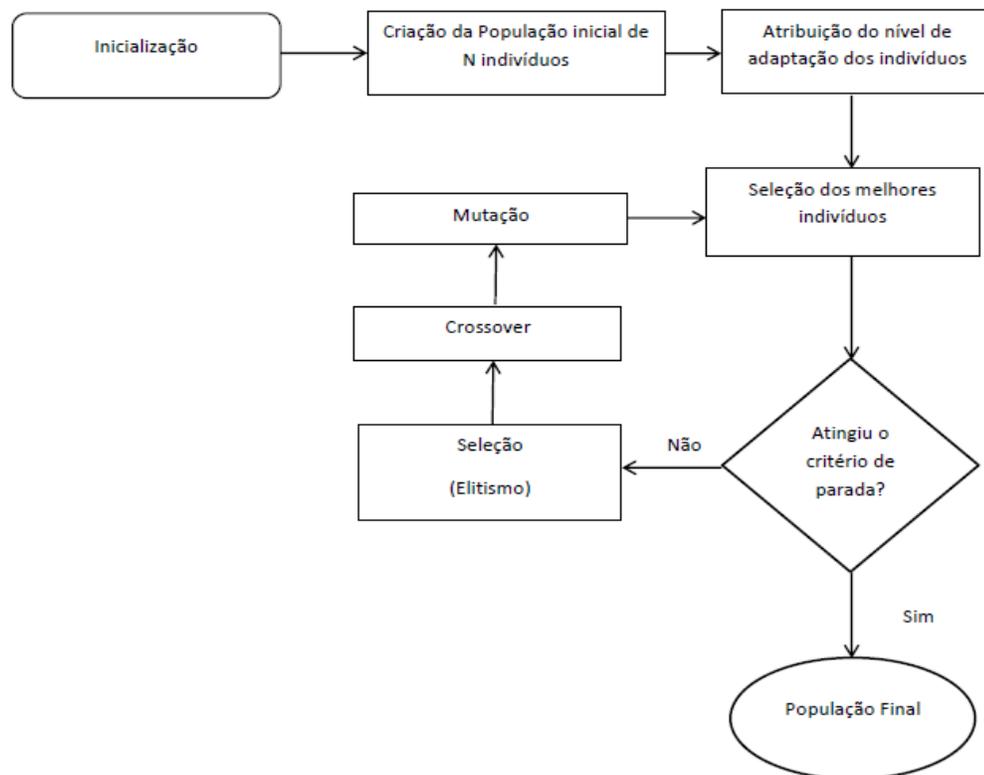
Contudo, o problema mencionado acima pode ser adaptado à diferentes contextos do dia-a-dia que possam exigir uma abordagem diferente à algébrica, sendo assim essencial a implementação do algoritmo em busca de possíveis soluções de forma mais eficiente.

3.1.2. CODIFICAÇÃO

A codificação do algoritmo genético é estruturada em uma analogia direta do comportamento da natureza. Nela é criada uma população de indivíduos randomicamente, onde cada indivíduo representa um conjunto de possíveis soluções de acordo com o problema que se deseja otimizar. Cada um destes indivíduos possuem uma determinada pontuação ou escore, a qual é definida de acordo com o quão bom o indivíduo é em relação aos demais. A partir disso, os indivíduos são ranqueados em detrimento de suas pontuações. Em seguida passarão por uma função aptidão onde os melhores terão oportunidade de cruzar seu material genético e formar novos indivíduos com suas características herdadas e os piores, ao menos que passem por um processo de mutação, serão menos propensos a tal reprodução (BEASLEY et al., 1993).

A figura 12 apresenta o fluxograma do funcionamento do algoritmo:

Figura 12: Fluxograma do Algoritmo genético.



A atual população proveniente da seleção dos melhores indivíduos da geração passada representa um novo conjunto de indivíduos com novos escores e que passarão por diversas interações até que os indivíduos possam convergir para uma população clímax, isto é, a solução do problema pré-definido (BEASLEY et al., 1993).

Para se estabelecer uma analogia entre o problema a ser otimizado e a estruturação computacional assume-se que tal fenômeno possa ser representado por um conjunto de parâmetros, como por exemplo, a densidade de fluxo do Quasar 3C 273 como sendo representada pelos indivíduos determinada população criada randomicamente. Assumindo isso, as densidades de fluxos do Quasar passariam pelas interações do algoritmo até que fossem encontradas, uma vez encontradas seriam criadas curvas de luz com dados provenientes do algoritmo e posteriormente sendo feita análise comparativa entre o algoritmo e os dados reais, esperando-se uma proximidade mais próxima da realidade possível.

3.2. BANCO DE DADOS

O banco de dados foi desenvolvido utilizando dados de observações disponibilizados pelo Radiobservatório da Universidade de Michigan (UMRAO), cuja antena é ilustrada na figura 13. A partir deles foram desenvolvidas as curvas de luz e os espectros apresentados entre as figuras 14 e 23. Para a construção das curvas de luz foi utilizado a linguagem Python.

O critério de seleção dos dados para a construção dos espectros dinâmicos consistiu em selecionar as observações ocorridas entre as datas mais próximas possíveis nas três frequências de observação, sendo estas respectivamente 4,8; 8 e 14,5 GHz e o software utilizado para sua construção foi o Microsoft Excel.

Com a construção dos espectros e das curvas de luz, procurou-se entender o comportamento do Quasar 3C 273 em relação ao tempo e as frequências de observação com uma maior periodicidade e uma compreensão consistente e prática sobre esta fonte, para que no futuro o algoritmo possa ser implementado de forma efetiva.

Figura 13: Antena do Radiobservatório de Universidade de Michigan



Fonte: <http://picssr.com/tags/umrao>.

4. RESULTADOS

As figuras 13, 14 e 15 mostram três curvas de luz do Quasar 3C 273, nelas é possível observar que o Quasar emite energia de maior intensidade nas frequências mais baixas e fluxos de menor intensidade nas frequências mais altas.

Figura 14: Curva de luz em 4.8 GHz.

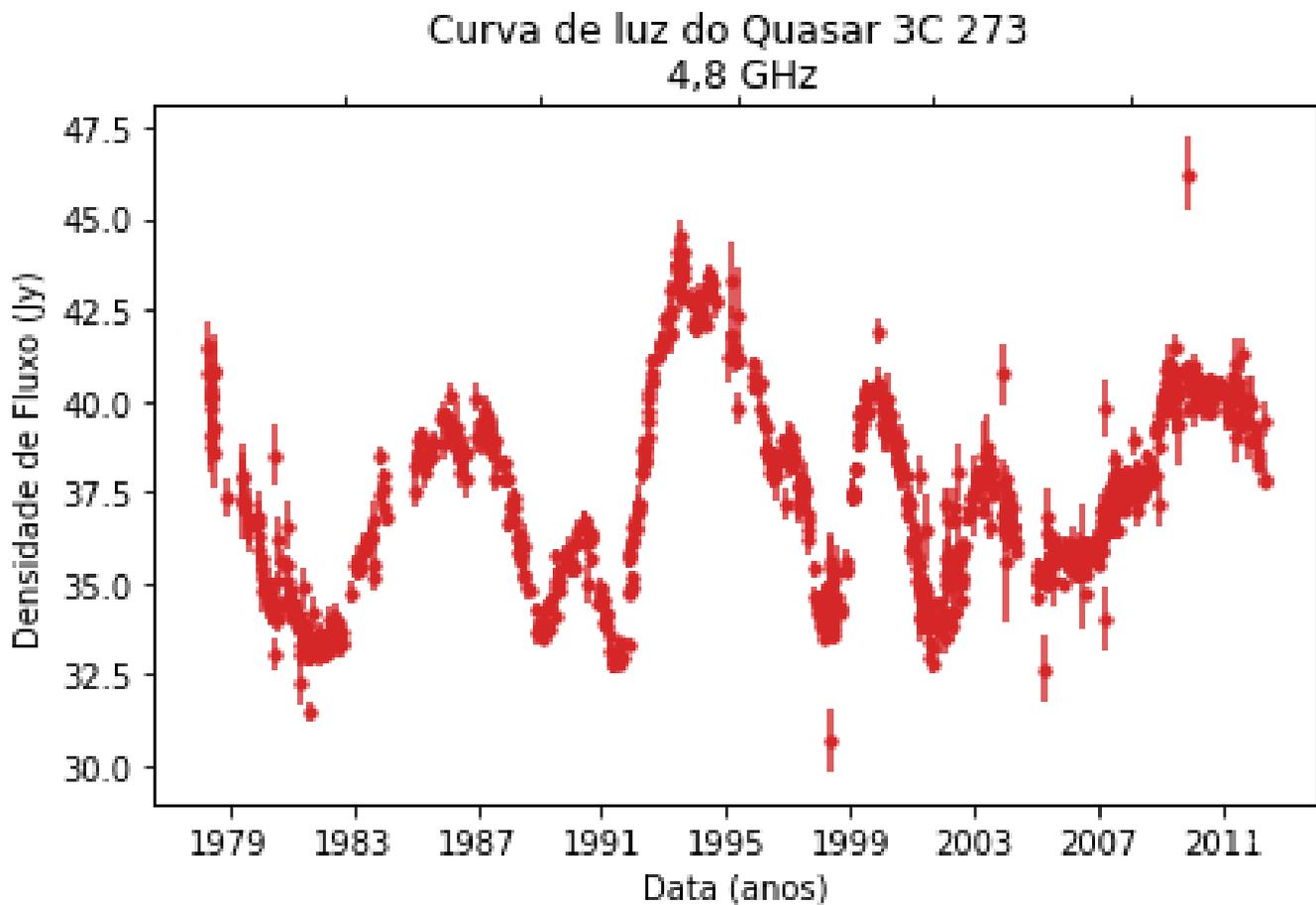


Figura 15: Curva de luz em 8GHz.

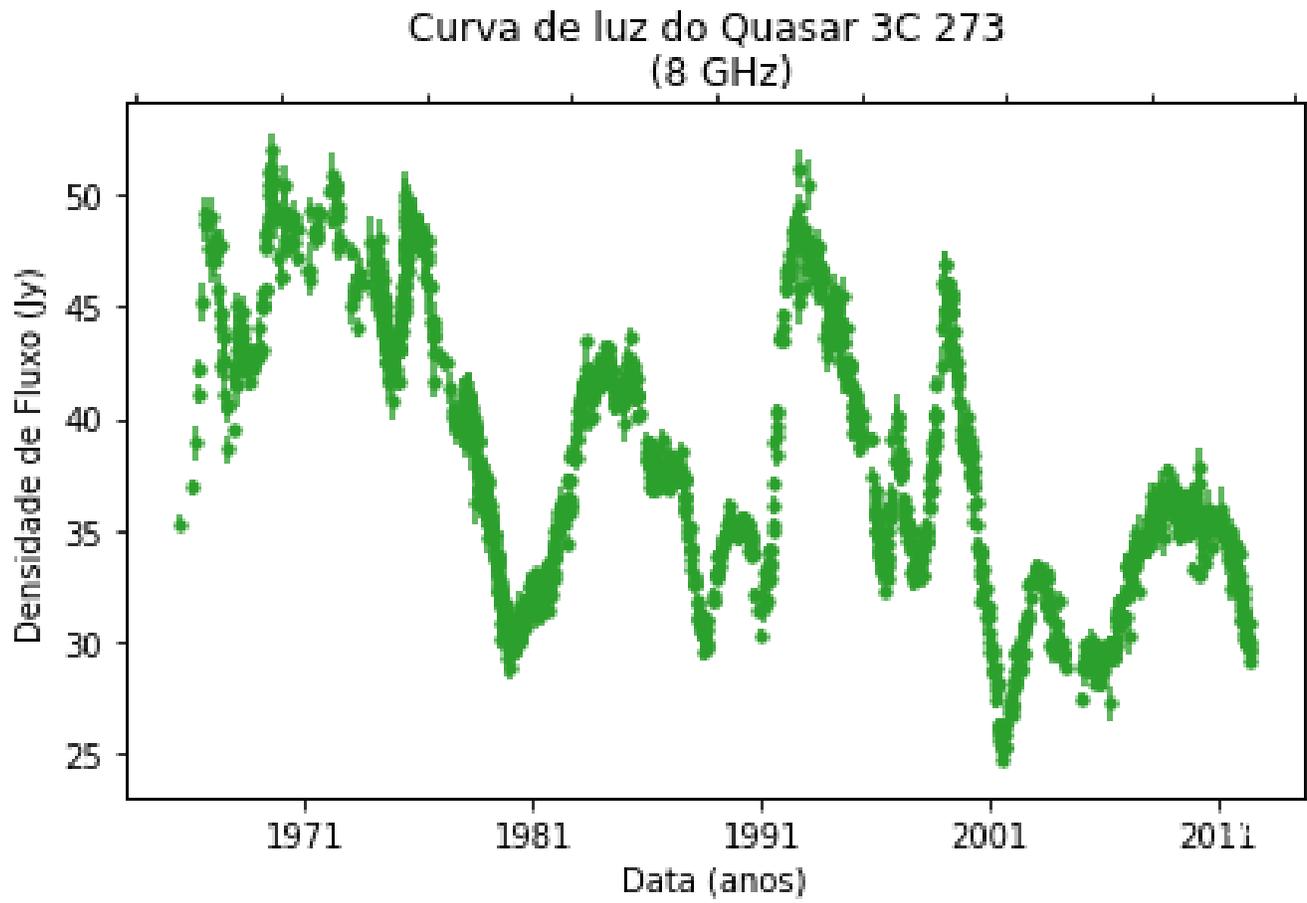
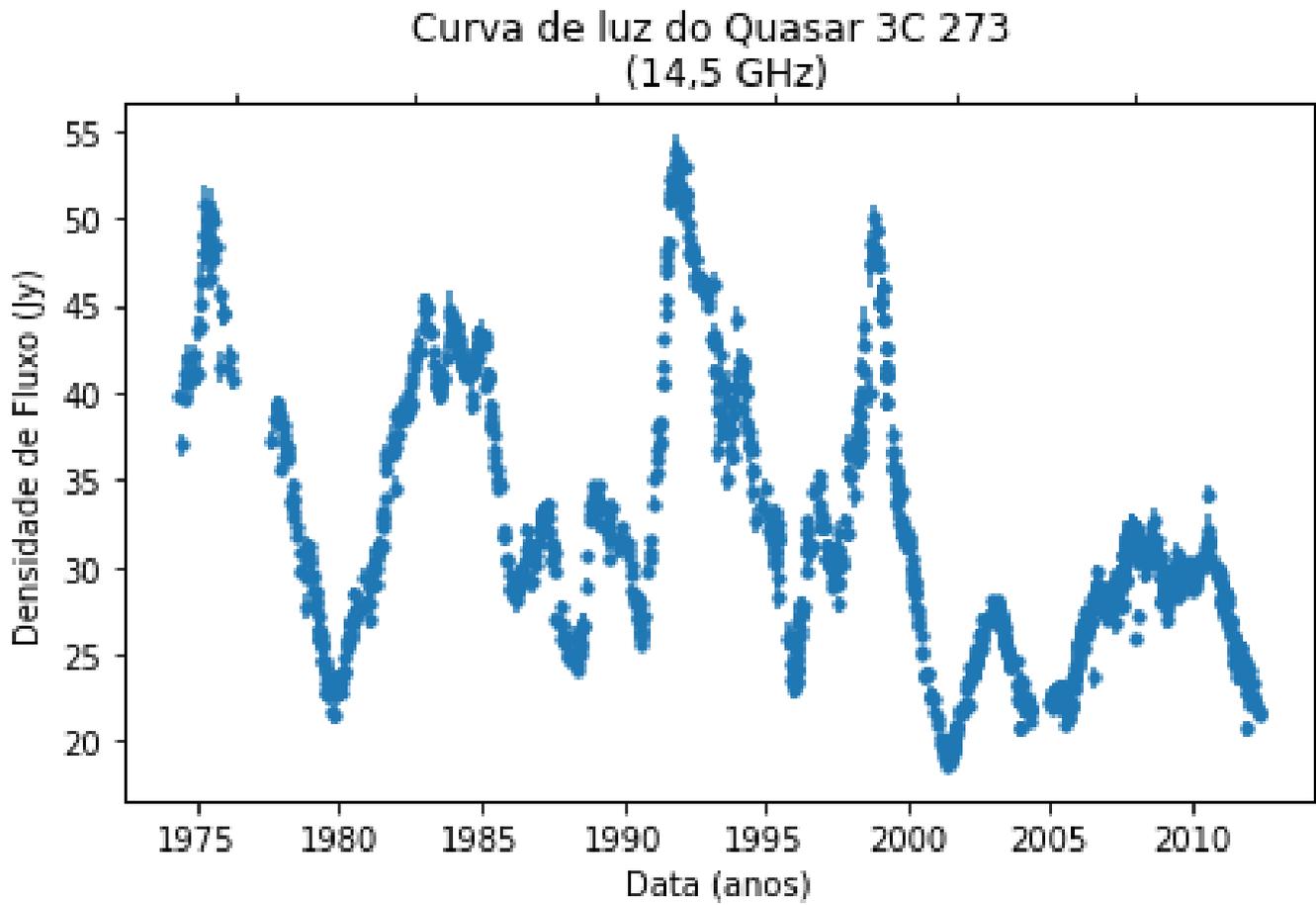


Figura 16: Curva de luz em 14,5 GHz.



As figuras 17, 18, 19, 20, 21, 22 e 23 apresentam espectros cujo os dados para sua elaboração foram selecionados nas datas mais próximas nas três frequências de observação.

Figura 17: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2006.



Para elaboração do espectro mostrado na figura 17, os dados selecionados foram das observações ocorridas nos meses de janeiro, abril, julho e dezembro nos dias 19/01/ 2006, 23/01/2006, 24/01/2006; 09/04/2006, 11/04/2006, 14/04/2006; 18/07/2006, 12/07/2006, 17/07/2006; 19/12/2006, 18/12/2006 e 12/12/2006 respectivamente em 4,8; 8 e 14,5 GHz.

Figura 18: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2007.



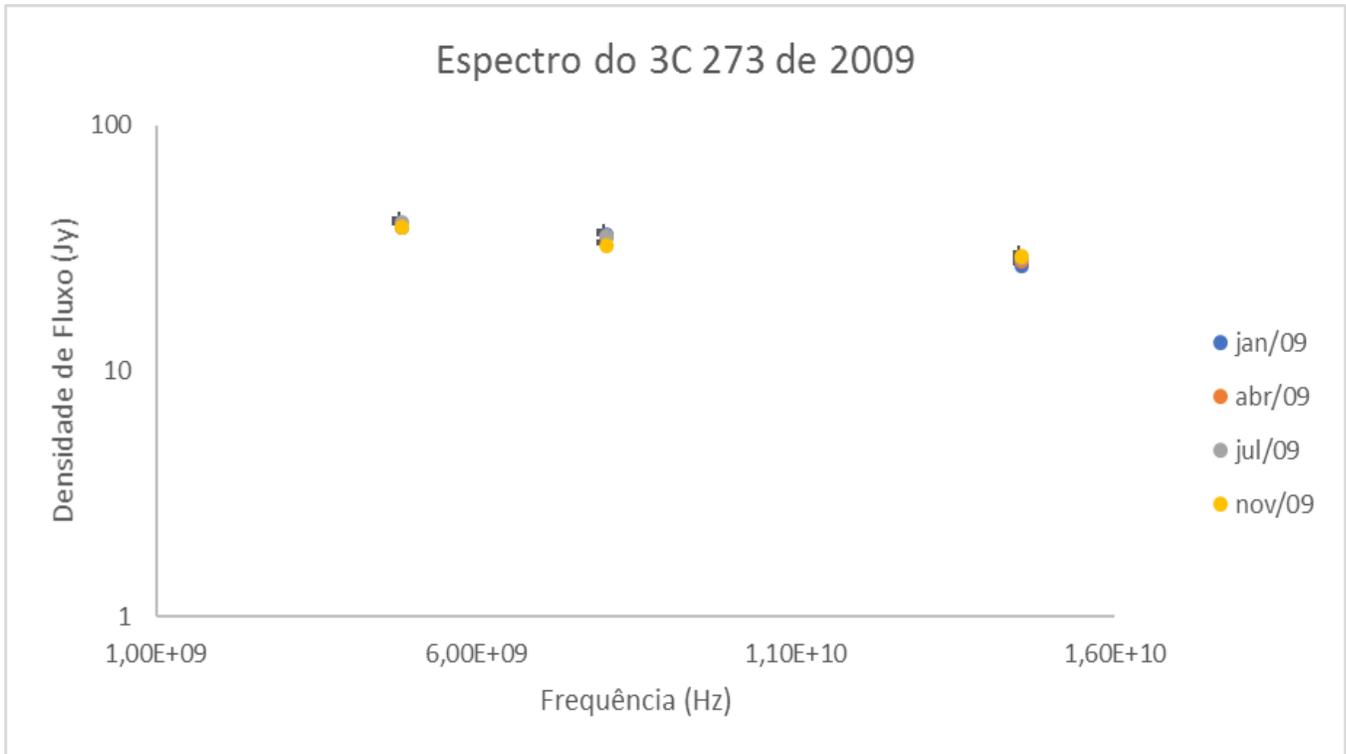
Para elaboração deste espectro mostrado na figura 18, os dados selecionados foram das observações ocorridas nos meses de março, julho e novembro nos dias 15/03/ 2007, 14/03/2007, 11/03/2007; 30/07/2007, 24/07/2007, 29/07/2007; 09/11/2007, 10/11/2007 e 15/11/2007 respectivamente em 4,8; 8 e 14,5 GHz.

Figura 19: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2008.



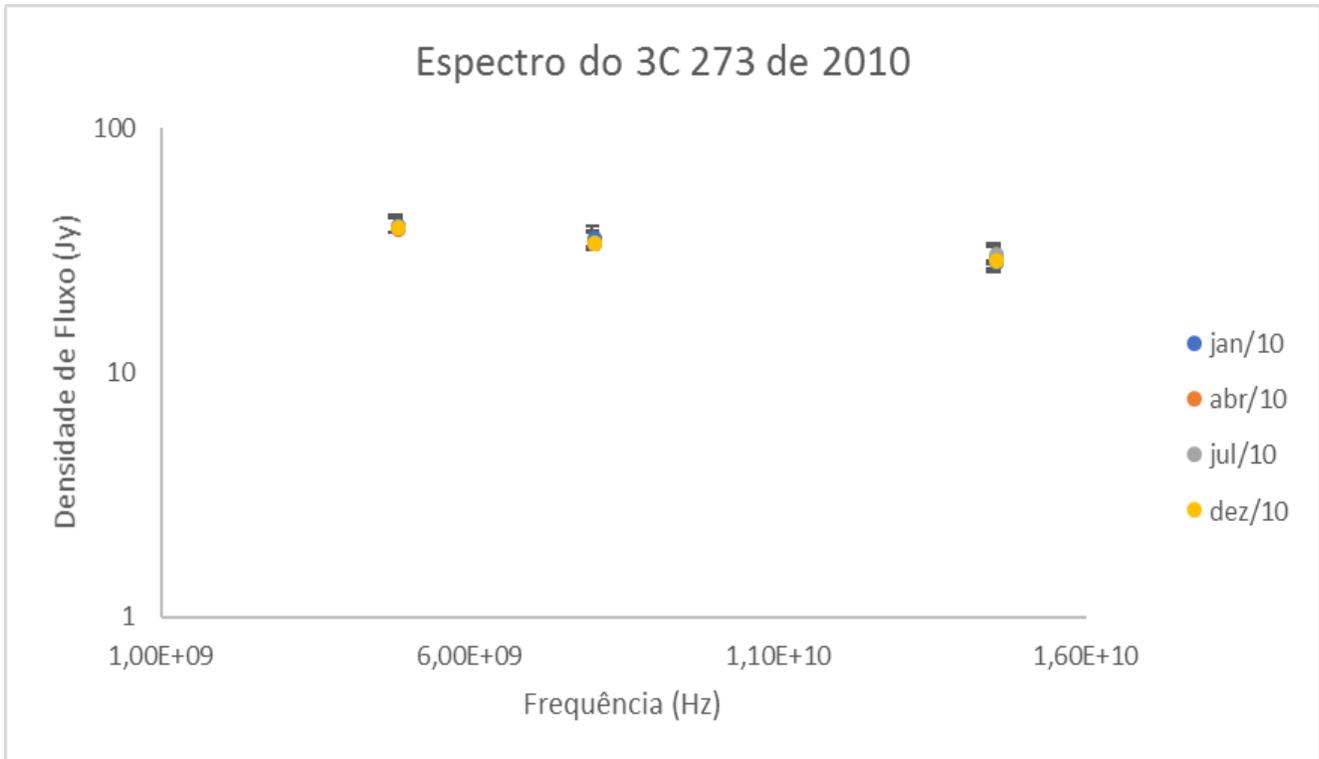
Para elaboração deste espectro mostrado na figura 19, os dados selecionados foram das observações ocorridas nos meses de janeiro, abril, julho e novembro nos dias 21/01/ 2008, 22/01/2008, 14/01/2008; 25/04/2008, 19/04/2008, 24/04/2008; 25/07/2008, 29/07/2008, 24/07/2008; 08/11/2008, 04/11/2008 e 07/11/2008 respectivamente em 4,8; 8 e 14,5 GHz.

Figura 20: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2009.



Para elaboração deste espectro mostrado na figura 20, os dados selecionados foram das observações ocorridas nos meses de janeiro, abril, julho e novembro nos dias 27/01/ 2009, 21/01/2009, 31/01/2009; 22/04/2009, 16/04/2009, 17/04/2009; 09/07/2009, 14/07/2009, 07/07/2009; 17/11/2009, 14/11/2009 e 11/11/2009 respectivamente em 4,8; 8 e 14,5 GHz.

Figura 21: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2010.



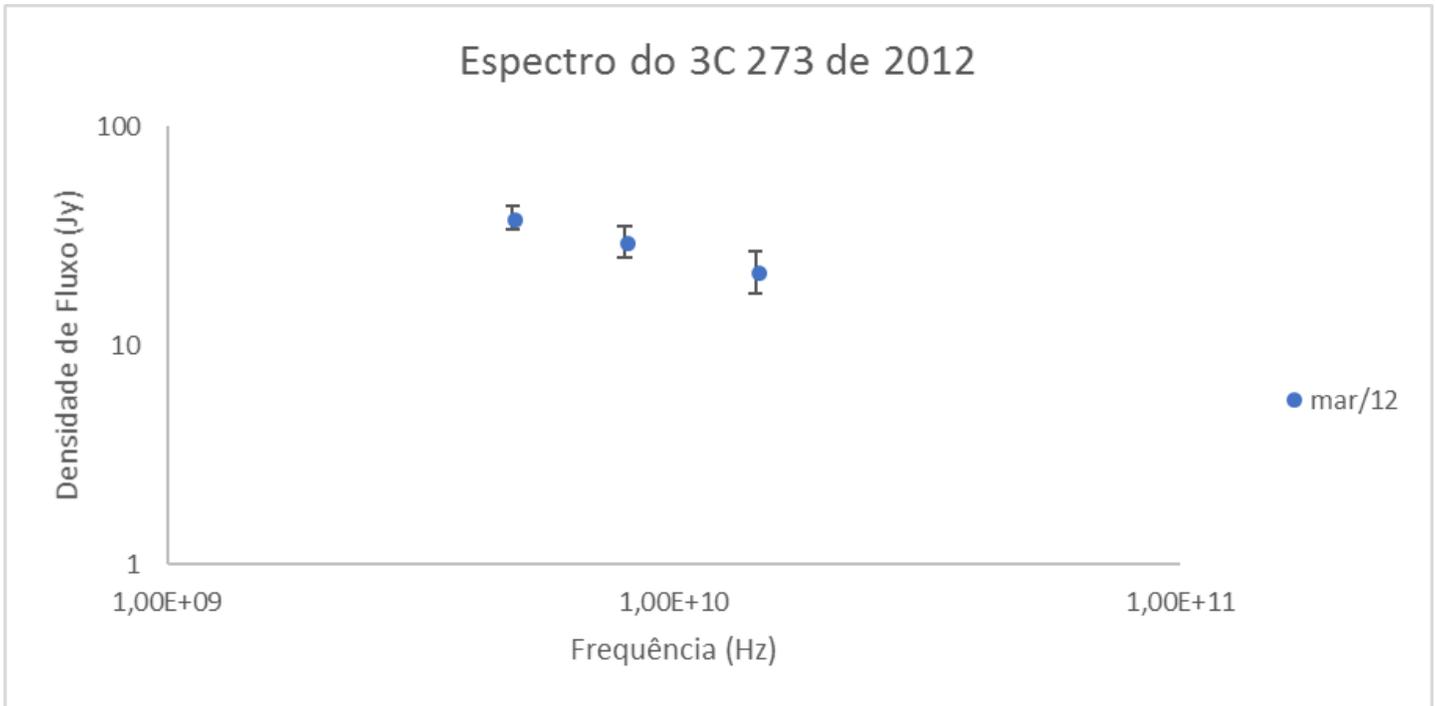
Para elaboração deste espectro mostrado na figura 21, os dados selecionados foram das observações ocorridas nos meses de janeiro, abril, julho e dezembro nos dias 06/01/ 2010, 15/01/2010, 03/01/2010; 16/04/2010, 15/04/2010, 20/04/2010; 09/07/2010, 14/07/2010, 10/07/2010; 17/12/2010, 16/12/2010 e 09/12/2010 respectivamente em 4,8; 8 e 14,5 GHz.

Figura 22: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2011.



Para elaboração deste espectro mostrado na figura 22, os dados selecionados foram das observações ocorridas nos meses de fevereiro, junho e novembro nos dias 12/02/ 2011, 11/02/2011, 18/02/2011; 15/06/2011, 15/06/2011, 07/06/2011; 16/11/2011, 18/11/2011 e 24/11/2011 respectivamente em 4,8; 8 e 14,5 GHz.

Figura 23: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2012.



Para elaboração deste espectro mostrado na figura 23, os dados selecionados foram das observações ocorridas no mês de março nos dias 07/03/ 2011, 19/03/2011, 14/03/2011 respectivamente em 4,8; 8 e 14,5 GHz.

5. CONCLUSÃO

Por meio deste projeto foi possível compreender o comportamento dos AGNs, bem como os fenômenos intrínsecos que os envolvem. Tarefa à qual foi realizado através de uma extensa revisão bibliográfica na busca por um embasamento sólido no que diz respeito especialmente aos Quasares.

Com o desenvolvimento dos espectros, percebeu-se que o Quasar 3C 273 diminui a intensidade de energia emitida com o aumento da frequência de observação. As figuras 17, 18, 19, 20, 21, 22 e 23 mostram claramente, com uma periodicidade de 6 anos, estas variações de energia emitidas em rádio pelo Quasar confirmando os conceitos previstos nas bibliografias.

As curvas de luz nas figuras 14, 15 e 16, demonstram uma variação da amplitude em função da frequência de observação. Elas também mostram que existe uma defasagem dos eventos em detrimento da frequência, isto é, os eventos ocorridos no Quasar são observados primeiro em frequências mais altas para posteriormente serem vistos nas frequências mais baixas.

Os Quasares são uma parte fundamental na Astrofísica e Cosmologia, uma vez que estes objetos têm um impacto profundo nas teorias de formação das galáxias, ao passo que também fomenta as investigações dos processos físicos existentes em buracos negros.

Ademais, com todos os mistérios que os envolvem foi possível refletir sobre um novo caminho para realizar as análises destes objetos. Através de um novo ponto de vista, o computacional, exclusivo e que ainda não havia sido implementado, tal fato desempenha um papel extremamente importante para a comunidade científica e estimula a busca por novos paradigmas.

Este trabalho proporcionou não somente conhecimento no que diz respeito a Astrofísica propriamente dita, mas também interdisciplinar uma vez que foi utilizado diferentes softwares na realização das análises aqui presentes contribuindo para o desenvolvimento acadêmico.

Por fim, o estudo dos Quasares mostrou o quão pequenos somos em relação ao universo. Suas dimensões colossais e os seus jatos mostram uma beleza singular a qual ainda há muitos mistérios a serem desvendados.

REFERÊNCIAS

BEASLEY, D. BULL, D. R. MARTIN, R. R. An Overview of Genetic Algorithms: Part 1, Fundamentals. University Computing, 1993.

COURVOISIER, T. J. L.; ROBSON, E. I. **II quasar 3C 273**. Le Scienze, edizione italiana di Scientific American, 1991

DARWIN, C. 1859. On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured races in the struggle for life. London: John Murray.

HOYLE, F. **A New Model for the Expanding Universe**. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 1948.

HOLLAND, J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. MIT Press, 1975.

KARGE, S. **Frankfurt Quasar Monitoring**. Disponível em: <<http://quasar.square7.ch/fqm/1226+023.html>>, 2018. Acesso em: 11 jul. 2018.

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

NETO G. B. L. **Astronomia Extragaláctica – Notas de aula**, Instituto de Astronomia e Astrofísica (IAG), 2016

NICOLLE, L. 2017. **Was Darwin a Great Computer Scientist?** Disponível em: <<https://blog.sicara.com/getting-started-genetic-algorithms-python-tutorial-81ffa1dd72f9>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

NRAO. **Very Long Baseline Array: VLBA**. Disponível em: <<http://public.nrao.edu/telescopes/vlba/>>, 2016. Acesso em: 11 jul. 2018.

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

SAO. **The SAO Encyclopedia of Astronomy: Spectral Line**. Disponível em: <<http://astronomy.swin.edu.au/cosmos/S/Spectral+Line>>. Acesso em: 17 jul. 2018.

SOARES, T. S. **Estudo do Blazar 3C 273 Utilizando o Rádio-Telescópio do Itapetinga**. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica, São Paulo, 2015.

SOLDI, S. TÜRLER, M. PALTANI, S., et al., 2008. **The multiwavelength variability of 3C 273**. Disponível em: <<http://isdc.unige.ch/3c273/>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

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.

SCHMIDT, M. **3C 273: A Star-Like Object with Large Red-Shift.**, v.197, p. 1040, mar. 1963.

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

TÜRLER, M.; PALTANI, S.; COURVOISIER, T. J. L., et al., 1999. **30 years of multi-wavelength observations of 3C 273**. Disponível em: < <http://isdc.unige.ch/3c273/> >. Acesso em: 20 jul. 2018.

VALTAOJA, E.; LÄHTEENMÄKI, A.; TERÄSRANTA, H.; LAINELA, M. **Doppler Boosting and Orientation Effects in BL Lacs and Other AGN.**, BL Lac Phenomenon, ASP Conference Series, Vol 159, 1999.

ZENSUS, A. J. **Radio Astronomy: VLBI**. Disponível em: <www.mpifr-bonn.mpg.de/research/vlbi>, 2003. Acesso em: 09 jul. 2018.