

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

Wesley Araujo Barini (Mackenzie, Bolsista PIBIC/CNPq/CRAAM)

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

São Paulo

2019

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

**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

2019

ANÁLISE DE CURVAS DE LUZ DE AGNs UTILIZANDO ALGORITMOS EVOLUTIVOS

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 evolutivo para fazer modelagens das curvas de luz, e a obtenção de 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 e Metsähovi em 37 GHz.

Com os dados das observações obtidos, foi possível analisar o comportamento e a variabilidade complexa da fonte em função do tempo. Estes dados foram utilizados na construção de um banco de dados, de um programa de cálculo de médias das densidades de fluxo mensais e na modelagem de curva de luz utilizando um algoritmo evolutivo. Os resultados apresentados foram dispostos em curvas de luz, onde foi possível observar a variabilidade do objeto, assim como sua quase periodicidade. A análise espectral dos últimos anos de observação mostra que apesar do quasar 3C 273 se encontrar em período quiescente entre os anos de 2000 a 2012, ou seja, de baixa atividade, este apresenta um comportamento variável em 4,8, 8,0, 14,5 GHz. Apesar das correlações apresentadas a partir do cálculo da média mensal na “calculadora” desenvolvida, os eventos ocorridos nas diferentes frequências analisadas demonstram uma boa correlação, o que seria um bom indicativo da similaridade destes eventos.

Por fim, é apresentado a curva de luz fornecida pelo algoritmo. A curva obtida, possui bom ajuste aos eventos observados. O que demonstra a funcionalidade e o nível de parametrização atingido pela modelagem.

ANALISYS OF AGN's LIGHT CURVES BASED ON AN EVOLUTIONARY ALGORITHM

ABSTRACT

This work aims to study AGNs with the purpose of analyzing its light curves through an evolutionary algorithm in order to model its light curves and obtain physical parameters. More specifically, it was studied a quasar named 3C 273. This work was based on data collected from the Michigan Radio Observatory (UMRAO) at 4.8; 8.0; and 14.5 GHz and Metsähovi Radio Observatory at 37 GHz.

The database created with the observations provided analysis of the complex behavior of this source as a function of time. Also, it was used to create a weighted average calculator of flux density and in modeling the light curves throughout the evolutionary algorithm. The data were displayed in light curves, in which, shows variability as well as frequency in events. Furthermore, the results achieved with this job were divided into three parts which are presented in this work, initiating by dynamics spectrum going to correlation between observed events and ending up at light curve modelled by the algorithm.

In short, with the spectral analysis of the last years of observation, it was concluded that although the quasar is in the quiescent period between 2000 and 2012, it presents a variable behavior in the 3 observed frequencies, the calculations showed that the observed events have an acceptable correlation and the light curve provided by the algorithm shows that the model has a great adjustment when compared to the real data. And, it presents a good performance in modeling the light curves.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar a força necessária para a realização deste trabalho e sabedoria para enfrentar os desafios a mim propostos.

A Universidade Presbiteriana Mackenzie, por proporcionar sua estrutura acolhedora para a realização deste trabalho acadêmico.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e CNPq, por acreditar em meu potencial e me contemplar com a bolsa de estudos, promovendo o incentivo à pesquisa, produção e disseminação de conhecimento.

Ao meu orientador, por ter sempre acreditado em meu potencial e transmitido, durante todo o período de realização deste trabalho, um pouco de seu vasto conhecimento e experiência.

Ao meu Co Orientador, por estar ao meu lado em todos os momentos de dificuldade e por sempre esclarecer todas as dúvidas, inclusive em momentos esporádicos. Obrigado por ceder seu precioso tempo.

À minha família, amigos e a minha namorada, por me incentivar, acreditar em meu potencial e sempre me ajudar mesmo com simples atitudes, porém que fizeram uma enorme diferença em cada decisão tomada.

Ao companheiro, amigo e grande professor doutor Roberto Vitoriano pelas contribuições muito frutíferas à realização deste trabalho, pois sem ele não teria adquirido grande parte do conhecimento que tenho hoje.

E enfim, ao Radiobservatório da Universidade de Michigan (UMRAO) pelos dados concedidos, pois sem eles, não seria possível a realização deste trabalho.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

IMAGENS

Figura 1 : Curva de Luz do 3C 273 em 22 GHz.....	11
Figura 2: Modelo Unificado dos Núcleos Galácticos Ativos.....	13
Figura 3: Imagem em VLBI do Quasar 3C 273.....	15
Figura 4: Imagem em VLBI do Quasar 3C 345.....	15
Figura 5: Imagem em VLBA do Jato e Núcleo do Quasar 3C 273.....	16
Figura 6: Imagem em VLBA do jato Quasar 3C 273 cujo código de cores indica as substâncias presentes no ambiente que ocorreu o jato.	16
Figura 7: Linhas de Absorção.....	17
Figura 8: Linhas de Emissão.....	17
Figura 9: Espectro e <i>Redshift</i> do Quasar 3C 273.....	18
Figura 10: Espectro médio do Quasar 3C 273.....	19
Figura 11: Enigma da Mochila.....	21
Figura 12: Fluxograma do Algoritmo Genético.....	22
Figura 13: Antena do Radiobservatório de Universidade de Michigan.....	27
Figura 14: Radiobservatório de Metsähovi.....	27
Figura 15: Curva de luz em rádio 4.8 GHz.....	28
Figura 16: Curva de luz em rádio 8GHz.....	29
Figura 17: Curva de luz em rádio 14,5 GHz.....	29
Figura 18: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2006.....	30
Figura 19: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2007.....	31
Figura 20: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2008.....	32
Figura 21: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2009.....	33
Figura 22: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2010.....	34
Figura 23: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2011.....	35
Figura 24: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2012.....	36
Figura 25: Calculadora de densidade de fluxo média.....	37
Figura 26: Correlação de densidades de fluxo em 8,0 e 14,5 GHz.....	38
Figura 27: Correlação das densidades de fluxo em 4,8 e 14,5 GHz.....	38

Figura 28: Histórico de densidades de fluxo média	39
Figura 29: Curva de Luz Modelada pelo Algoritmo Evolutivo (Metsähovi 37GHz)	40
Figura 30: Curva de Luz Modelada pelo Algoritmo Evolutivo.....	41
Figura 31: Curva de Luz Média Modelada pelo Algoritmo Evolutivo (UMRAO 4,8 GHz)	42
Figura 32: Curva de Luz Total Modelada pelo Algoritmo Evolutivo (UMRAO 4,8 GHz)	42
Figura 33: Curva de Luz Total Modelada pelo Algoritmo Evolutivo com Resolução Reduzida (UMRAO 4,8 GHz)	43
Figura 34: Curva de Luz Média Modelada pelo Algoritmo Evolutivo (UMRAO 8,0 GHz)	43
Figura 35: Curva de Luz Média Modelada pelo Algoritmo Evolutivo (UMRAO 14,5 GHz)	44
Figura 36: Modelagem de Onda Plana para Calibração	44

EQUAÇÕES

Equação 1: Equação para o <i>redshift</i>	12
Equação 2: Variação da temperatura de brilhância	24
Equação 3: Máxima amplitude de pico	24
Equação 4: Fator Doppler.....	25
Equação 5: Fator de Lorentz.....	25
Equação 6: Angulo de visada	25

TABELAS

Tabela 1: Classificação por nível de correlação	39
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. O QUASAR 3C 273	11
3. O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO	17
4. METODOLOGIA.....	20
4.1. ALGORITMO GENÉTICO	20
4.1.1. O ENIGMA DA MOCHILA.....	20
4.2. CODIFICAÇÃO	22
4.2.1. ALGORITMO EVOLUTIVO.....	23
4.3. BANCO DE DADOS	26
5. RESULTADOS	28
6. CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS	47

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, ocorreu 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 quasar 3C 273 descobriu que as linhas espectrais deste objeto 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 de distância, colocando-o fora da Via Láctea e descartando a hipótese de “rádio-estrela” (SCHMIDT, 1963). 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 é devido 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 toroidal. A energia contida nestes jatos é gerada devido à queda de matéria do disco de acréscimo em direção ao buraco negro.

Os Quasares emitem radiação em quase todas as faixas do espectro eletromagnético: 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 mais bem observados em todas as regiões do espectro. (COURVOISIER et al., 1991).

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, mostrando variação no seu brilho em determinados períodos (KELLERMANN, 2013). Esta característica do 3C 273 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 do Quasar 3C 273, localizado na constelação de Virgem 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).

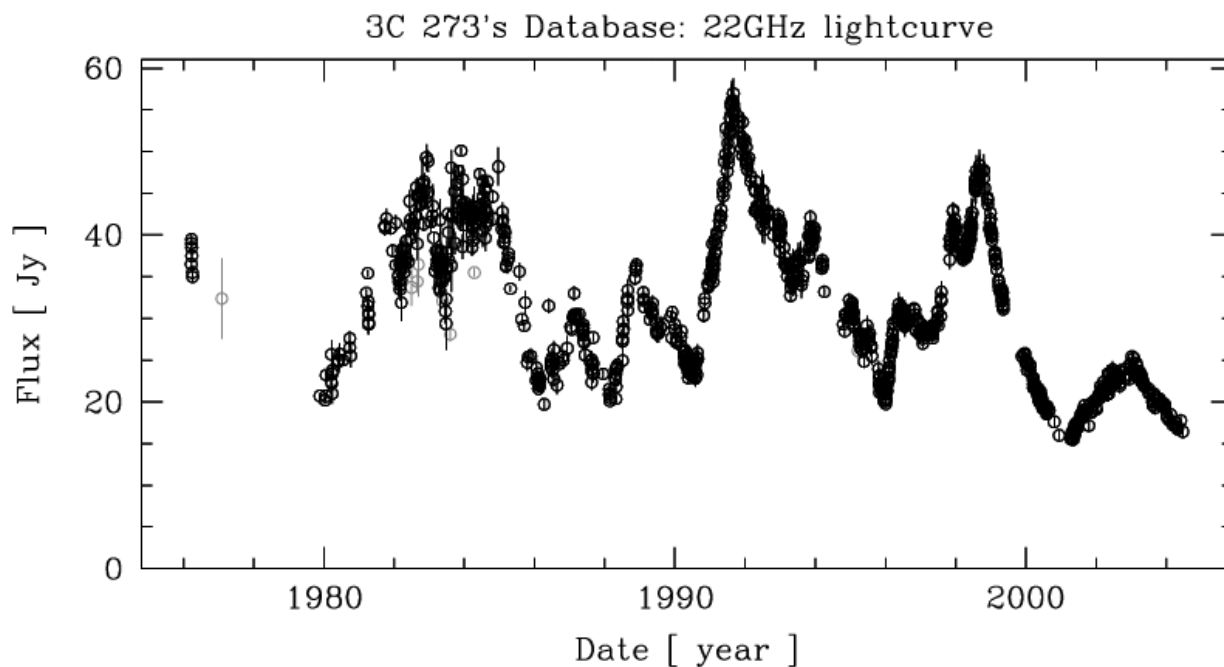
Este trabalho iniciado em agosto de 2017, tem como objetivo analisar a curva de luz deste AGN em 4,8, 8,0, 14,5 e 37 GHz utilizando algoritmos evolutivos. Para realização deste trabalho, foi feita uma extensa revisão bibliográfica, em busca de um embasamento teórico no que diz respeito aos Quasares, que pudesse contribuir para a compreensão do objeto em questão.

2. 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 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 na densidade de fluxo na faixa rádio do espectro. A 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 (~ 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 fora de nossa galáxia (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 não térmico chamado de radiação 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 poder estar se movendo em direção ao observador na Terra em velocidade relativística e a radiação observada se concentrar 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).

O conceito físico chave no “lançamento” dos jatos, envolve a opacidade do centro do Quasar próximo a base destes o 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 cujas componentes apresentam 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/>

Em rádio, 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 em rádio. A rede de 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 de VLBI, realiza o monitoramento de fontes 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 rádio compactas, as principais fontes estudadas são os AGNs, 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), que foi desenvolvido pelo Observatório Nacional de Astronomia (NRAO), que foi criado em 1956 e começou sua primeira observação completa em 1993 (NRAO).

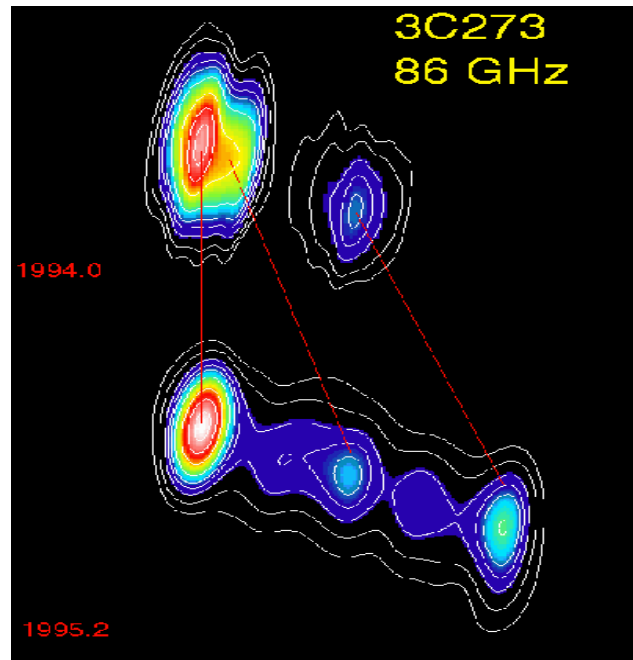
O VLBA é um dos mais poderosos instrumentos em rádio, o qual permite os astrônomos enxergar o coração de galáxias, bem como seus buracos negros colossais. A utilização do VLBA é possibilita também os cientistas uma visão mais detalhada do que está ocorrendo em determinado objeto, como a composição dos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

As figuras de 3 a 6 são exemplos de mapas em VLBI e VLBA. A figura 3 mostra uma comparação entre os 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 exibe 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.

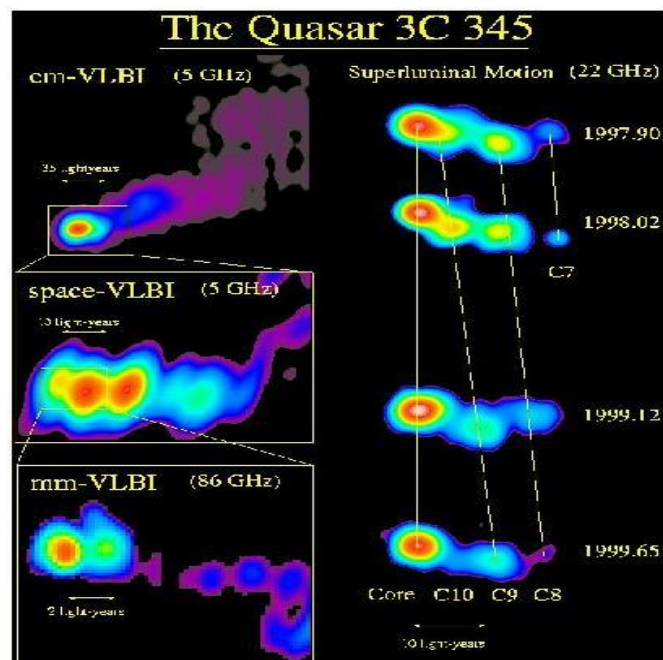
Estas imagens foram obtidas da galeria de imagens do Max-Planck-Institut für Radioastronomie e do National Radio Astronomy Observatory (NRAO).

Figura 3: Imagem em VLBI do Quasar 3C 273



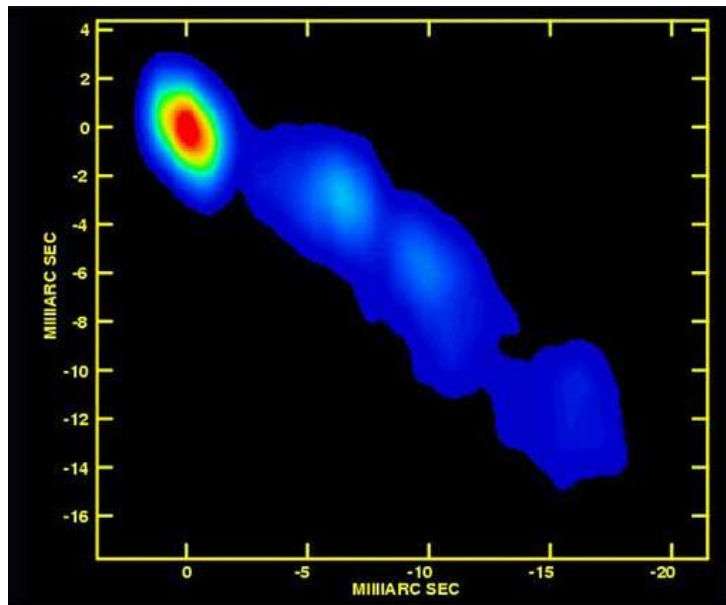
Fonte: http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/div/vlbi/gallery/Bilder_Text/3c273.94.html

Figura 4: Imagem em VLBI do Quasar 3C 345



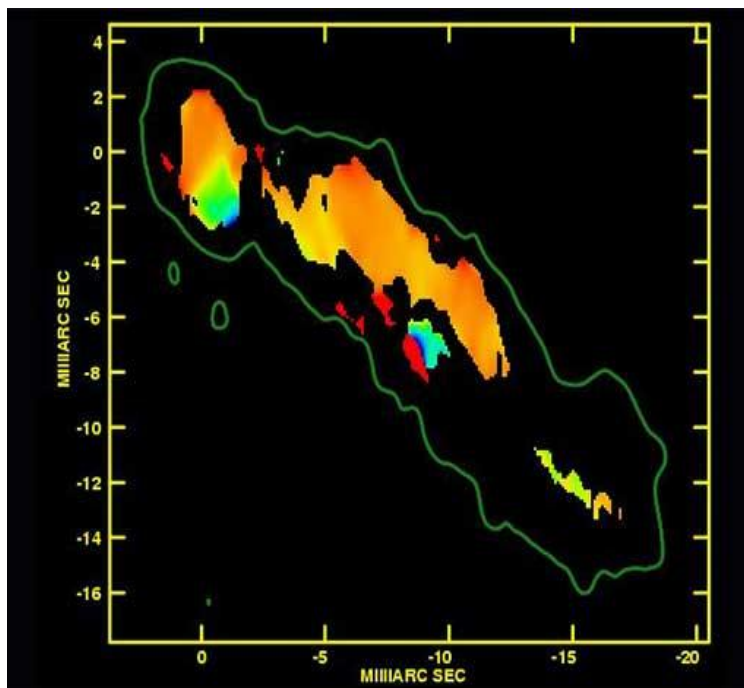
Fonte: http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/div/vlbi/gallery/Bilder_Text/3c345.html

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/>

3. 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 visada. 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

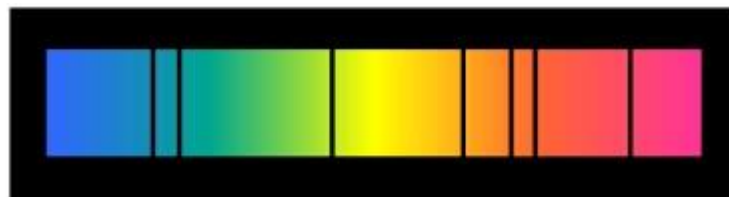


Figura 8: Linhas de Emissão



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

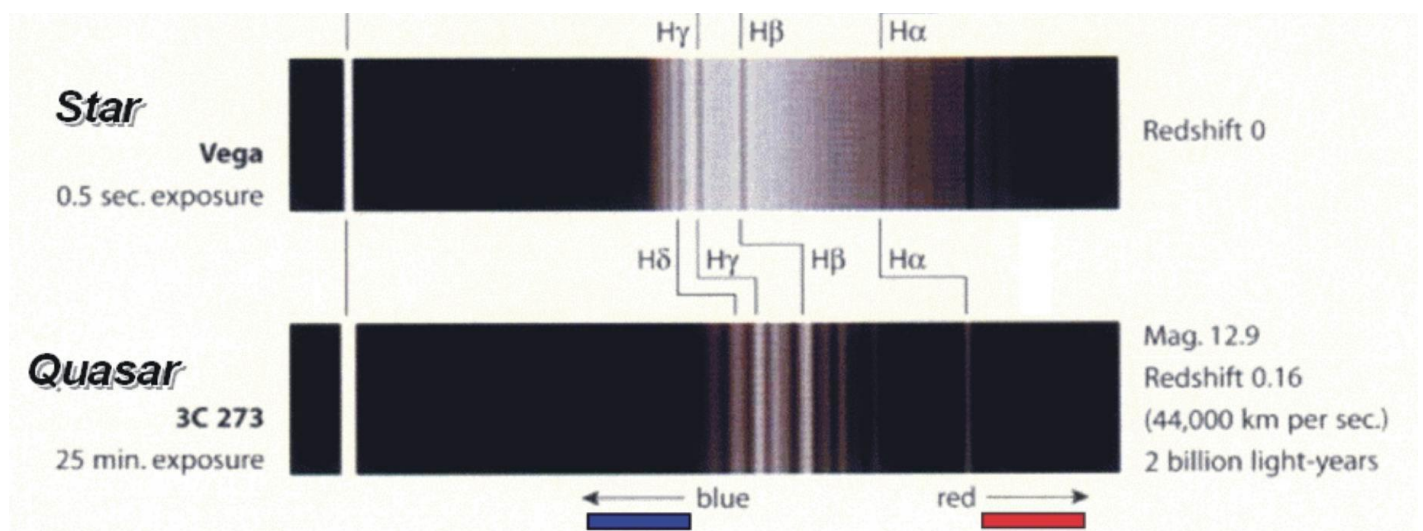
emissão, no entanto, a intensidade da radiação aumenta consideravelmente. Estas linhas espectrais são devidas, por exemplo, à presença de gás interestelar que absorve a radiação da componente contínua, em um intervalo de comprimento de onda, para, em seguida, reemiti-la em comprimentos de onda específicos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

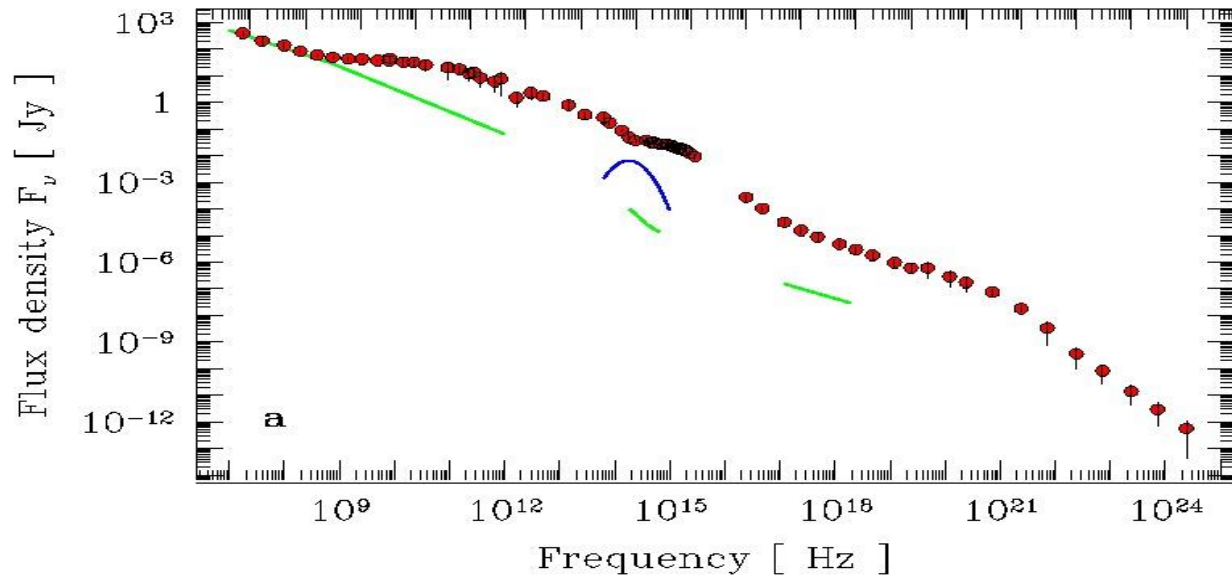
A figuras 9 e 10 ilustram espectros do Quasar 3C 273. Onde na figura 9 mostra uma comparação entre os espectros visíveis do Quasar 3C 273 através do *redshift* deste objeto, como sendo um leve deslocamento das linhas espectrais. E a figura 10 mostra a variação da densidade de fluxo em função da frequência.

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



KARGE (2018).

Figura 10: Espectro médio do Quasar 3C 273



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

4. METODOLOGIA

4.1. 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 um 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 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).

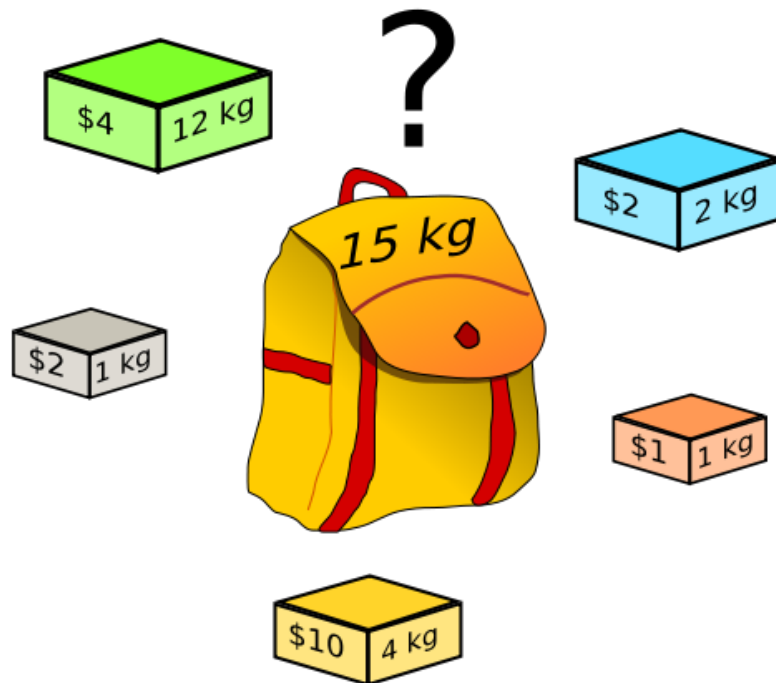
Os princípios básicos do algoritmo genético foram rigorosamente documentados por Holland (1975). Baseado na codificação computacional do processo de seleção natural este algoritmo é capaz de resolver problemas do mundo real, como por exemplo: Identificar os pesos máximos ou mínimos a serem implementados 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).

4.1.1. 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).

Existem diversas variações nas quais este enigma possa ser apresentado, mas para exemplificação didática pode-se imaginar uma mochila que suporta 15 kg e 5 caixas com pesos e custos diferentes, pensando no aspecto quantitativo, cujo 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).

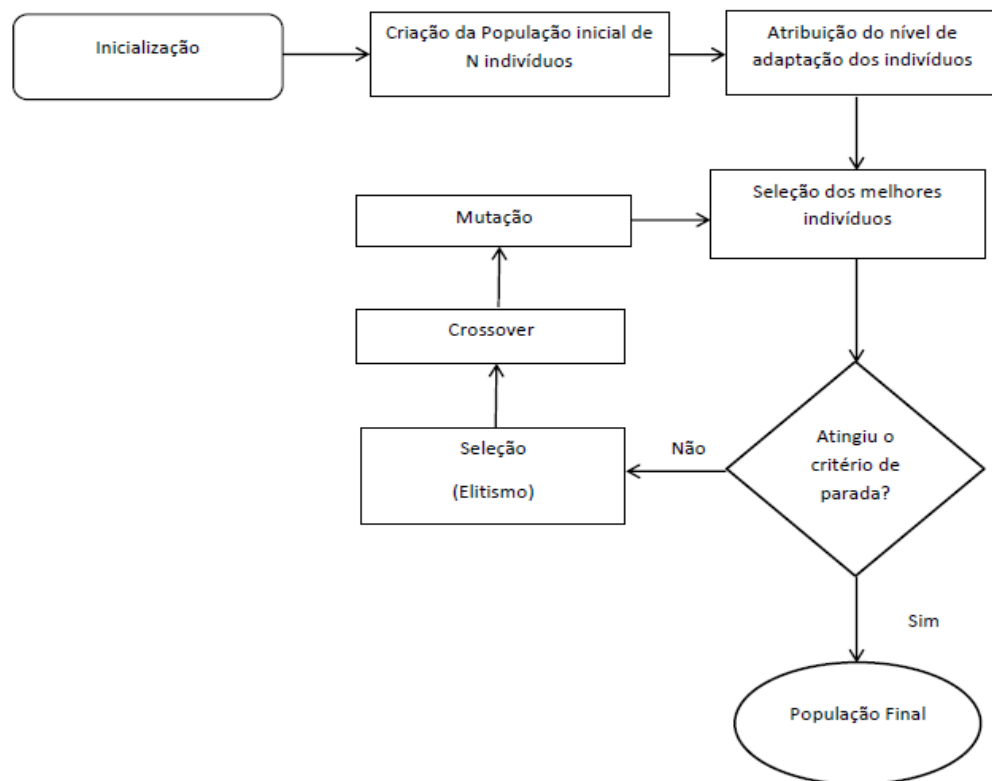
Tendo em vista o cenário acima descrito, percebe-se que existem diversas combinações para a resolução do enigma. Todavia, este cenário está inserido em um contexto de otimização, isto é, em termos de peso máximo e menor custo, a solução se restringe à uma apenas. Desta forma, o algoritmo genético pode ser implementado e atuar como uma ferramenta facilitadora do processo de solução. Entretanto, um outro caminho à solução seria através da utilização de sistemas lineares, o que demandaria um esforço manual exaustivo.

Tendo como base a aplicabilidade do algoritmo em um contexto restrito, vale ressaltar que a abordagem didática acima pode ser encontrada em diferentes contextos e realidades do dia-a-dia que demandem otimização utilizando eficazmente a automatização de processos resolutivos.

4.2. 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 possui 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, ou seja, 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 de determinada população criada randomicamente. Em seguida, 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, com o objetivo de validar o modelo.

4.2.1. ALGORITMO EVOLUTIVO

O algoritmo evolutivo segue o mesmo princípio do algoritmo genético, sendo assim utiliza operadores genéticos para obtenção de parâmetros da mesma maneira.

Por se tratar de uma versão mais simplificada do algoritmo genético, possui algumas vantagens, das quais, para a aplicação deste trabalho são essenciais, tais como: necessidade de utilização de um modelo, utilização de parâmetros do modelo, recuperação de valores conhecidos, a não obrigatoriedade de mutação dos cromossomos e a determinação de valores não observados dentro de um intervalo Vitoriano R. P(2019).

Como todos os AGNs brilhantes em rádio possuem jatos relativísticos emitindo radiação sincrotrônica, esses jatos podem ser modelados por 2 parâmetros intrínsecos, o fator de Lorentz (Γ), o qual descreve a velocidade do fluxo do jato e o ângulo de visada (θ), que é o ângulo entre o eixo do jato e a linha de visada do observador. Esses parâmetros podem ser calculados se o fator Doppler (D) e a velocidade aparente $\beta_{app} = v/c$ são conhecidas. As velocidades β_{app} podem ser encontradas nas observações em VLBI (HOVATTA et al., 2009a).

Um método para calcular o fator Doppler usando VLBI (HOVATTA et al., 2009a) é pela densidade de fluxo estimada pela decomposição em “outbursts” exponenciais pelo cálculo da escala de tempo de variabilidade de cada “outburst”. Com a aquisição e estimativa de $\Delta S_{m\acute{a}x}$ que é a variação da densidade de fluxo e os tempos de subida τ_{obs} , a temperatura de brilhância pode ser

estimada $T_{obs} \propto T_{int}$, onde T_{obs} é a temperatura calculada e T_{int} é a temperatura de brilho intrínseca.

Com a utilização de VLBI é possível observar diretamente a temperatura de brilho da fonte $T_{b, obs}$. Isto pode ser comparado com a temperatura de brilho intrínseca da fonte $T_{b, int}$, em que é frequentemente assumido como temperatura de brilho de equipartição $T_{b, eq}$ (READHEAD, 1994; LÄHTENMÄKI et al.; 1999). O excesso da $T_{b, obs}$ é interpretado como causa do efeito Doppler. Este método também exige observações em várias épocas, decorrente de uma evolução temporal.

Com esse ajuste, pode-se obter os parâmetros necessários para calcular as variações de temperatura de brilho da fonte como mostra a equação 2:

$$T_{b, var} = 1,548 \times 10^{-32} \frac{\Delta S_{m\acute{a}x} d^2 L}{v^2 \tau^2 (1+z)}, \quad (2)$$

Equação 2: Variação da temperatura de brilho

onde v é a frequência observada em GHz, z é o “redshift”, d_L é a distância de luminosidade em metros e $\Delta S_{m\acute{a}x}$ e τ são definidos pela equação 3:

$$\Delta S(t) = \begin{cases} \Delta S_{m\acute{a}x} e^{(t - t_{m\acute{a}x})/\tau}, & t < t_{m\acute{a}x} \\ \Delta S_{m\acute{a}x} e^{(t_{m\acute{a}x} - t)/1,3\tau}, & t > t_{m\acute{a}x} \end{cases}, \quad (3)$$

Equação 3: Máxima amplitude de pico

onde $\Delta S_{m\acute{a}x}$ é a máxima amplitude de pico em Jy, $t_{m\acute{a}x}$ é a época do pico e τ é o tempo de duração do pico VALTAOJA, E. et al. (1999) e LÄHTEENMÄKI et al. (1999). Utiliza-se para esse cálculo os valores de $H_0 = 72 \text{ kms}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, $\Omega_m = 0,27$ e $\Omega_\Lambda = 0,73$ para uma fonte homogeneamente esférica.

O fator Doppler pode ser ligeiramente calculado pela equação 4:

$$D_{VAR} = \left[\frac{T_{b,var}}{T_{b,int}} \right]^{1/3}, \quad (4)$$

Equação 4: Fator Doppler

onde a temperatura de brilhância sugerida é $T_{b,int} = 5 \times 10^{10} \text{ K}$ (READHEAD, 1994).

Comparando-se o fator Doppler com a velocidade superluminal β_{app} da componente obtida em VLBI, pode calcular o fator de Lorentz Γ_{var} e os ângulos de visada θ , utilizando-se as equações 5 e 6 respectivamente (HOVATTA et al., 2009a).

$$\Gamma_{var} = \frac{\beta_{app}^2 D_{VAR}^2 + 1}{2D_{VAR}} \quad (5)$$

Equação 5: Fator de Lorentz

$$\theta_{var} = \arctang \frac{2\beta_{app}}{\beta_{app}^2 D_{VAR}^2 - 1} \quad (6)$$

Equação 6: Angulo de visada

A próxima etapa após a obtenção dos parâmetros necessários para modelagem, consiste em incluí-los no algoritmo, portanto, primeiramente define-se o número de gerações, que por exemplo pode ser 200, sendo estas o número de interações do código ou o número de gerações que sofrerão “crossover”, em seguida o número de cromossomos que serão utilizados para gerar o fenótipo, com base no objetivo, sendo estes cromossomos representados pelas explosões ou “outbursts”, em seguida define-se o número de parâmetros do modelo, que podem ser 3 mais uma densidade de fluxo quiescente e por fim o número de doadores para “elitização” normalmente 5% da população total Vitoriano, R. P. (2019).

No que diz respeito a validação do modelo, foi desenvolvido um teste utilizando uma onda plana, a qual o algoritmo foi calibrado e em seguida utilizou-se o banco de dados para modelagem.

4.3. BANCO DE DADOS

O banco de dados foi desenvolvido utilizando dados de observações disponibilizadas pelo Radiobservatório da Universidade de Michigan (UMRAO) e o Radiobservatório de Metsähovi, ambos ilustrados nas imagens a seguir. A partir deles foram plotadas as curvas de luz e os espectros apresentados entre as figuras 15 e 24. Para a construção das curvas de luz foi utilizado a linguagem de programação e o ambiente 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.

Os dados obtidos pela Universidade de Michigan, foram à princípio, dispostos de forma dispersa, isto é, um mês de observação possuía diversos elementos para cada dia daquele mês em questão. Diante disso, foi desenvolvido um programa inédito em linguagem C exclusivo para este tipo de quasar, para efetuar o cálculo da média mensal de densidade de fluxo, levando-se em consideração, o desvio individual de cada medida efetuada durante sua série histórica.

Uma vez calculada as médias mensais, os dados obtidos no programa, como média de densidade de fluxo, variância e desvio foram exportados para o ambiente Excel e em seguida utilizados para checar a correlação entre as densidades de fluxo em diferentes frequências e na plotagem de curvas de luz médias.

Em seguida, elaborou-se a construção dos espectros e curvas de luz, com o intuito de entender a variabilidade do Quasar 3C 273 em relação ao tempo e a frequência de observação.

Por fim, as curvas apresentadas nas figuras 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 e 36, foram modeladas através do algoritmo evolutivo desenvolvido, cujos dados utilizados são do Radiobservatório de Metsähovi e também da Universidade de Michigan (UMRAO).

As imagens de curvas de luz fornecida pelo algoritmo estão dispostas entre as figuras 29 e 35. Nestas imagens, em sua maioria, são apresentadas duas curvas principais, as quais correspondem à observada e a total, ou modelada pelo algoritmo. Já a figura 36 dispõe a calibração do modelo feita por uma onda plana. Na figura 30, além da curva total e observada, é apresentado a curva central que consiste em uma curva de densidade de fluxo quiescente que gera um offset nas demais, bem como também apresentado no modelo de calibração.

Figura 13: Antena do Radiobservatório de Universidade de Michigan



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

Figura 14: Radiobservatório de Metsähovi



Fonte: https://www.google.com/search?q=radio+observatorio+de+mets%C3%A4hovin+radio-observatorio&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiN_8DdirPjAhVpHbkGHVurD0QQ_AUIESgC&biw=1366&bih=625#imgrc=eB9tasXgVNGFRM:

5. RESULTADOS

As figuras 15, 16 e 17 mostram três curvas de luz do Quasar 3C 273, nestas 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 15: Curva de luz em rádio 4.8 GHz.

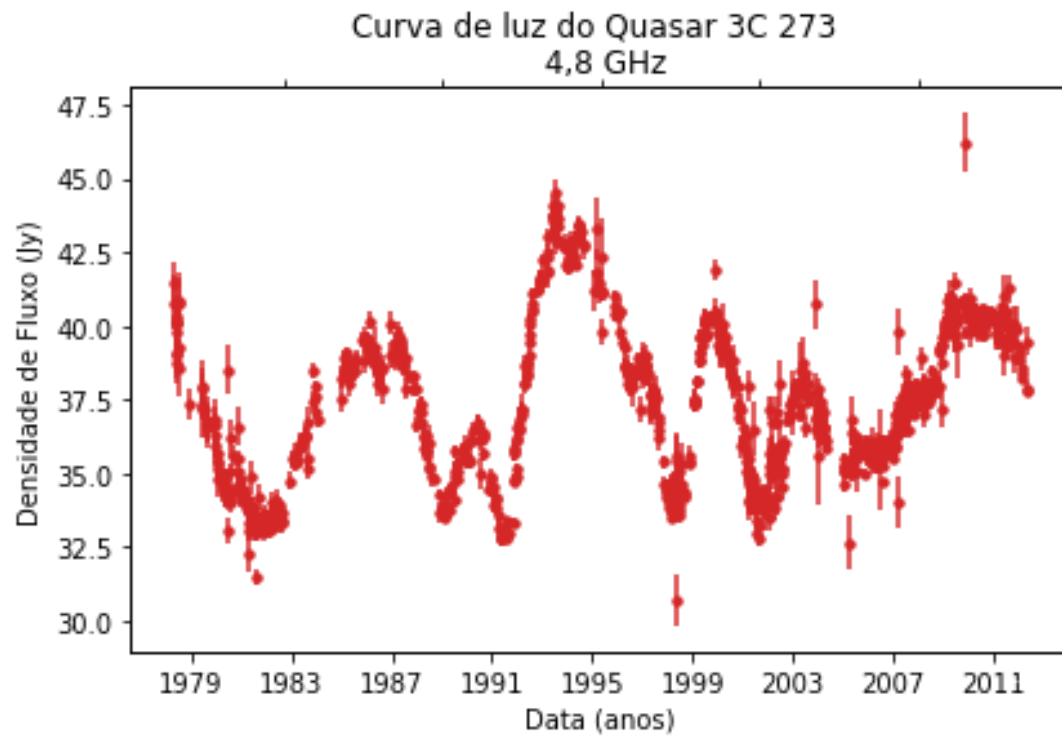


Figura 16: Curva de luz em rádio 8GHz.

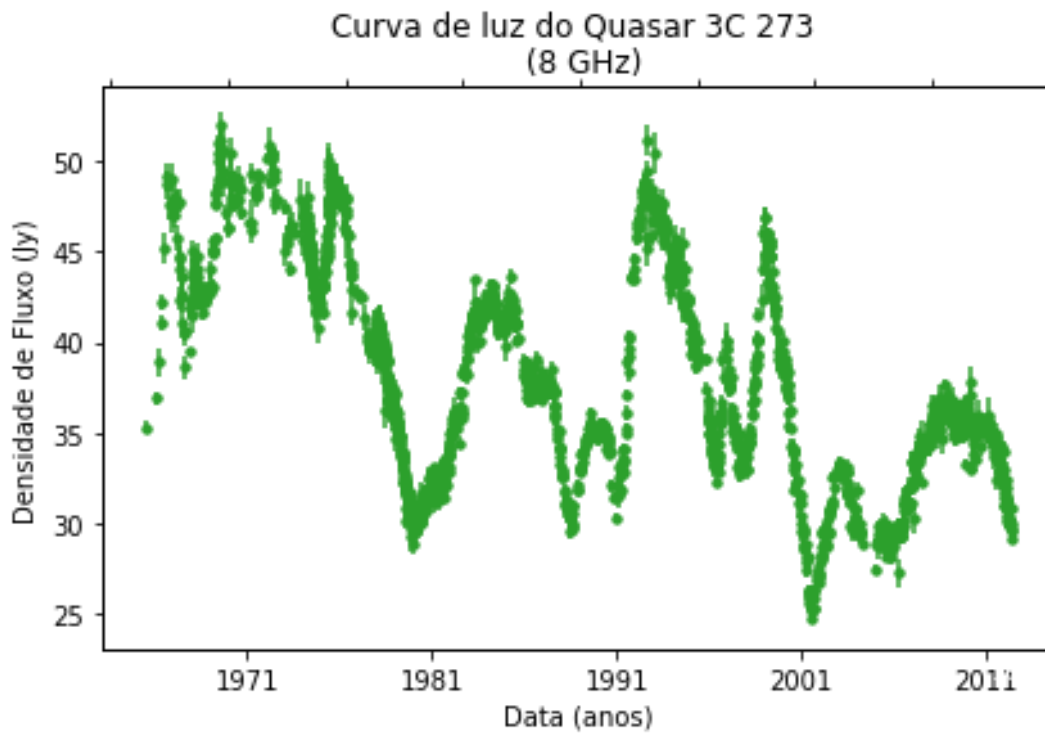
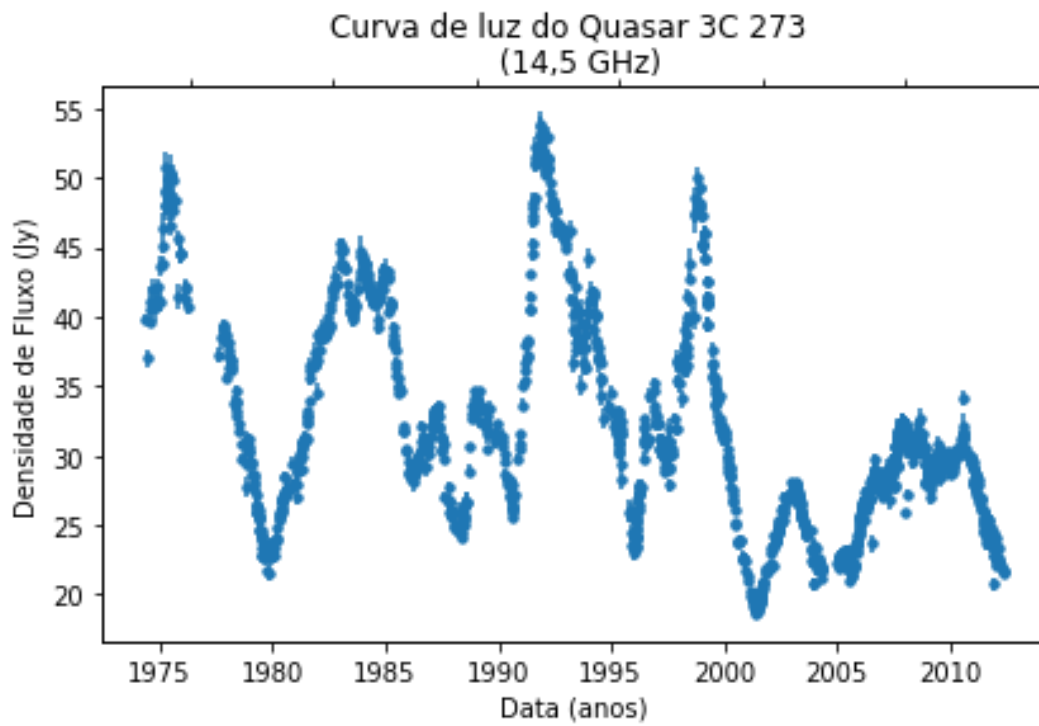


Figura 17: Curva de luz em rádio 14,5 GHz.



As figuras 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24 apresentam espectros cujos dados para sua elaboração foram selecionados nas datas mais próximas nas três frequências de observação.

Figura 18: 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 18, 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 19: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2007.



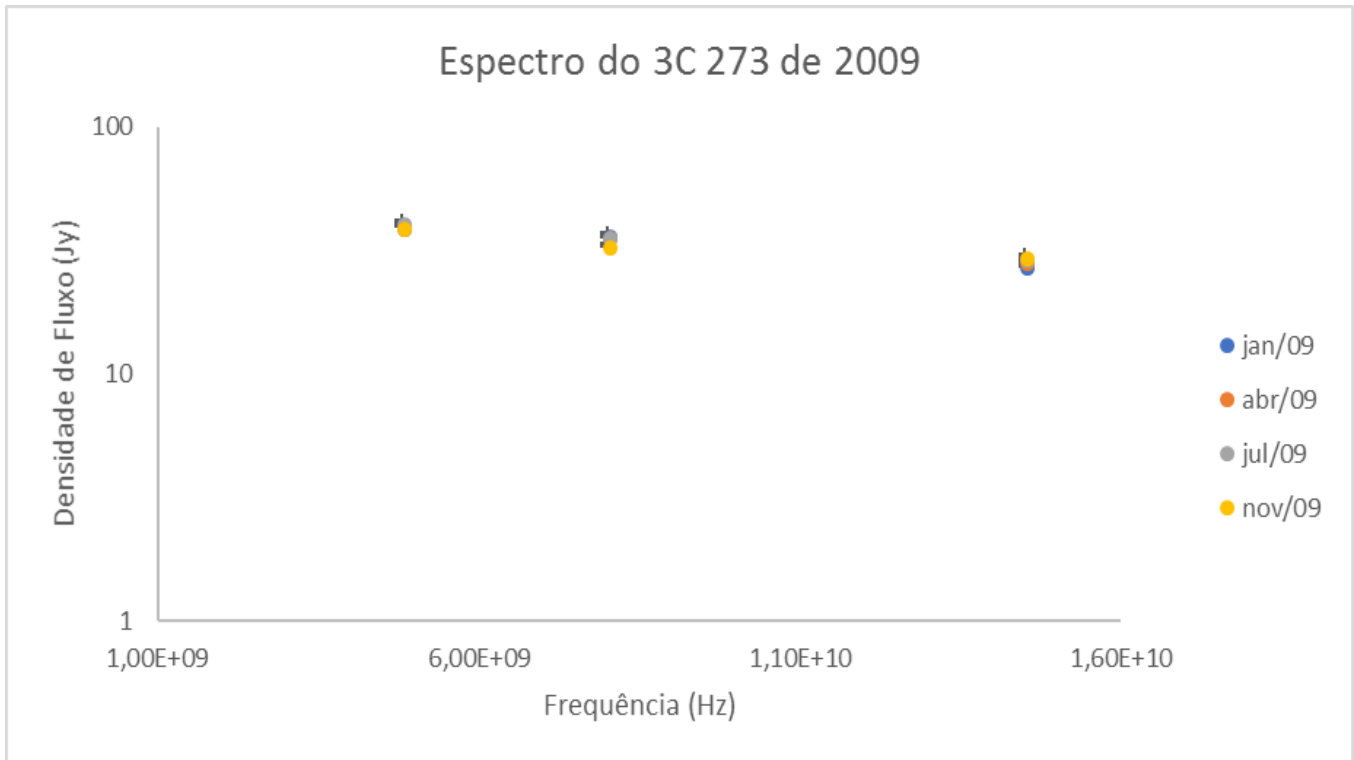
Para elaboração deste espectro mostrado na figura 19, os dados selecionados foram das observações ocorridas nos meses de março, julho e novembro nos dias 15/03/ 2007, 14/03/2007, 11/03/2007; 30/07/2007, 24/07/2007, 29/07/2007; 09/11/2007, 10/11/2007 e 15/11/2007 respectivamente em 4,8; 8 e 14,5 GHz.

Figura 20: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2008.



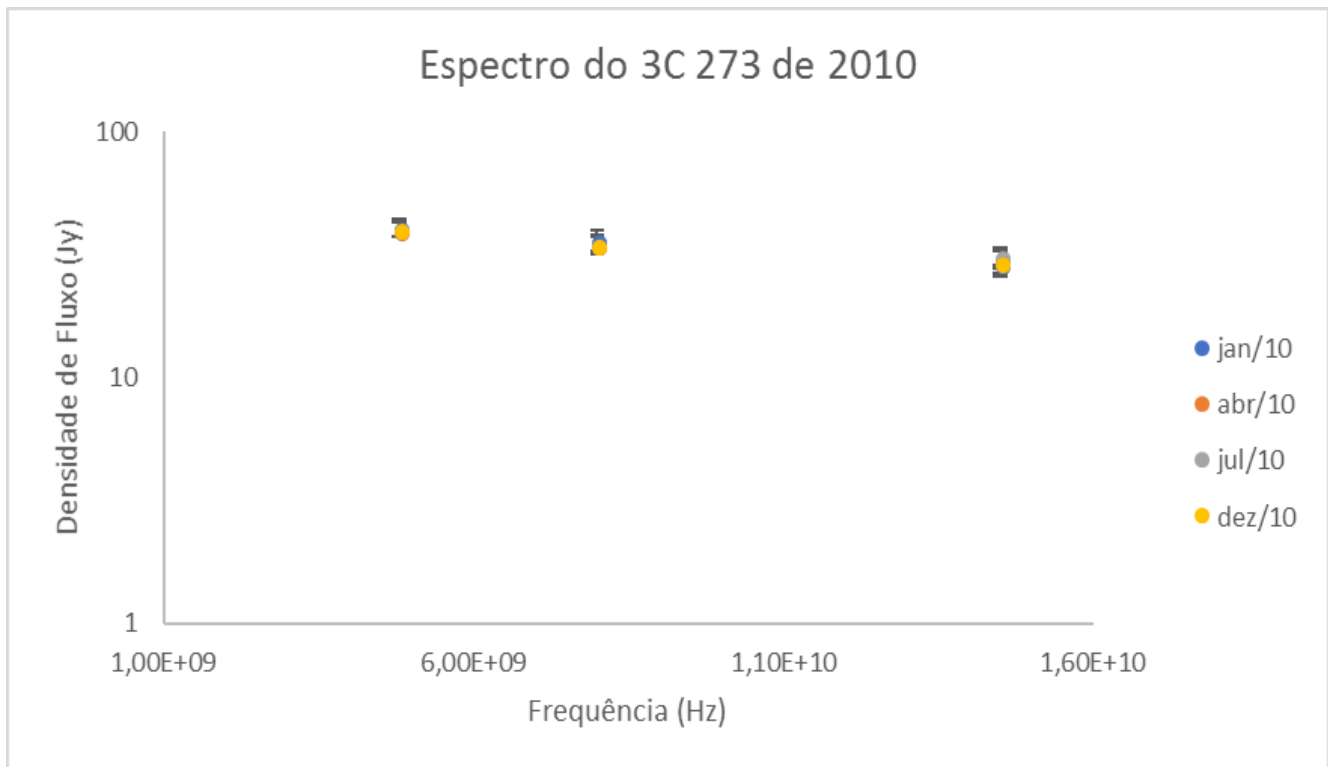
Para elaboração deste espectro mostrado na figura 20, os dados selecionados foram das observações ocorridas nos meses de janeiro, abril, julho e novembro nos dias 21/01/ 2008, 22/01/2008, 14/01/2008; 25/04/2008, 19/04/2008, 24/04/2008; 25/07/2008, 29/07/2008, 24/07/2008; 08/11/2008, 04/11/2008 e 07/11/2008 respectivamente em 4,8; 8 e 14,5 GHz.

Figura 21: Espectro do 3C 273 nas frequências de 4,8; 8 e 14,5 GHz do ano de 2009.



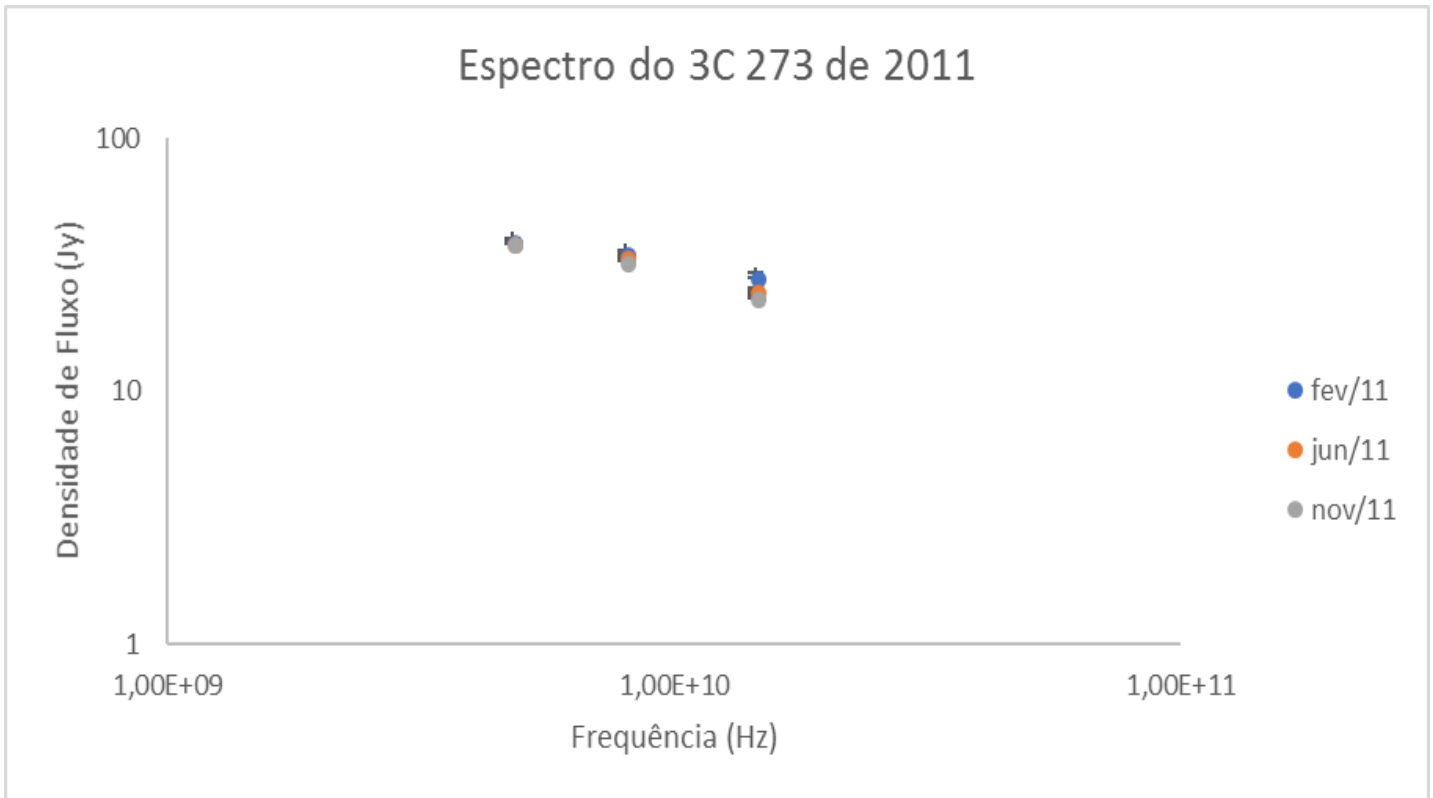
Para elaboração deste espectro mostrado na figura 21, os dados selecionados foram das observações ocorridas nos meses de janeiro, abril, julho e novembro nos dias 27/01/ 2009, 21/01/2009, 31/01/2009; 22/04/2009, 16/04/2009, 17/04/2009; 09/07/2009, 14/07/2009, 07/07/2009; 17/11/2009, 14/11/2009 e 11/11/2009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

Figura 22: 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 22, 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 23: 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 23, 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 24: 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 24, 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.

Figura 25: Calculadora de densidade de fluxo média

```
Densidade de Fluxo media do Quasar 3C273
Por.: Wesley Araujo Barini

Digite o numero de Densidades de Fluxo do conjunto e confirme com enter: 3
Digite a Densidade de Fluxo 1 do conjunto e confirme com enter: 21.66
Digite o desvio 1 do conjunto e confirme com enter: 0.20
Digite a Densidade de Fluxo 2 do conjunto e confirme com enter: 21.81
Digite o desvio 2 do conjunto e confirme com enter: 0.45
Digite a Densidade de Fluxo 3 do conjunto e confirme com enter: 21.59
Digite o desvio 3 do conjunto e confirme com enter: 0.44

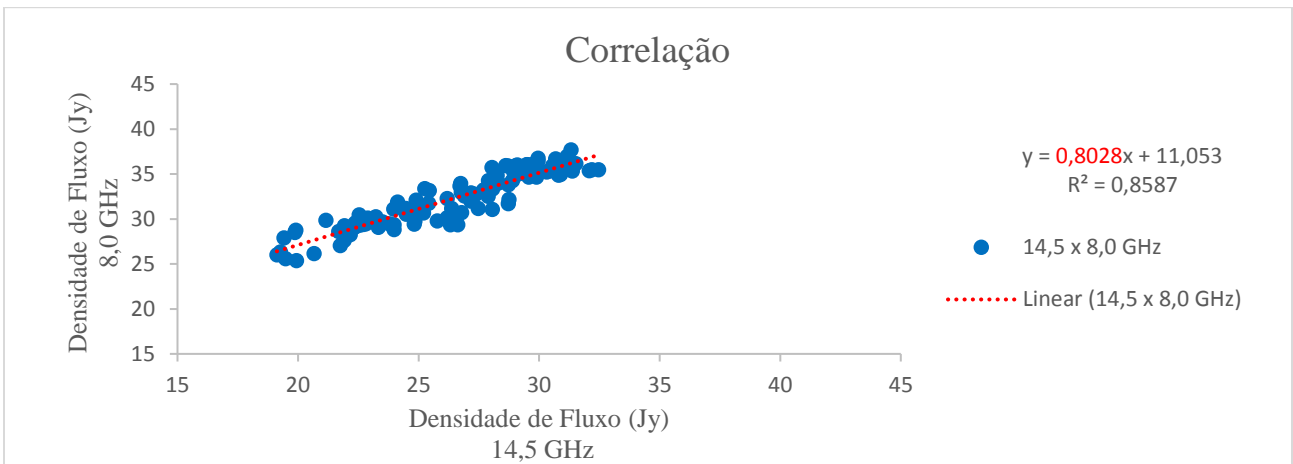
A densidade de Fluxo Media do conjunto = 21.670801

A variancia media do conjunto = 0.028487

O erro medio do conjunto = 0.168781
```

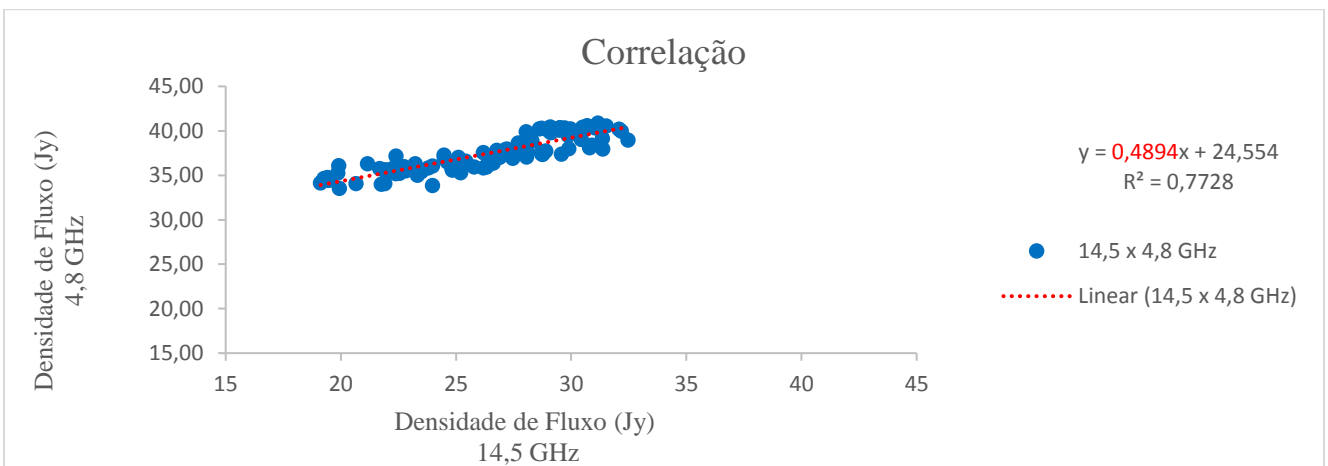
Na figura 25 é apresentada a calculadora desenvolvida em linguagem C para se efetuar os cálculos de densidade de fluxo média para o quasar 3C 273. O usuário primeiramente deve fornecer a quantidade de amostras observadas no mês a ser analisado, a seguir deverá ser fornecido a densidade de fluxo seguida do desvio, por fim o programa exibirá a densidade de fluxo média do mês, seguida da variância e o desvio médio das medidas.

Figura 26: Correlação de densidades de fluxo em 8,0 e 14,5 GHz



A figura 26 apresenta a correlação entre as densidades de fluxo com base nas médias mensais nas frequências de 8,0 e 14,5 GHz calculadas no programa desenvolvido. Este gráfico mostra que nestas duas frequências de observação existe uma correlação de 80% o que confirma a semelhança dos eventos observados em diferentes frequências e datas.

Figura 27: Correlação das densidades de fluxo em 4,8 e 14,5 GHz



A figura 27 apresenta a correlação entre as densidades de fluxo com base nas médias mensais nas frequências de 4,8 e 14,5 GHz calculadas no programa desenvolvido. Este gráfico mostra que nestas duas frequências de observação existe uma correlação de 49% o que também confirma a semelhança dos eventos observados em diferentes frequências e datas.

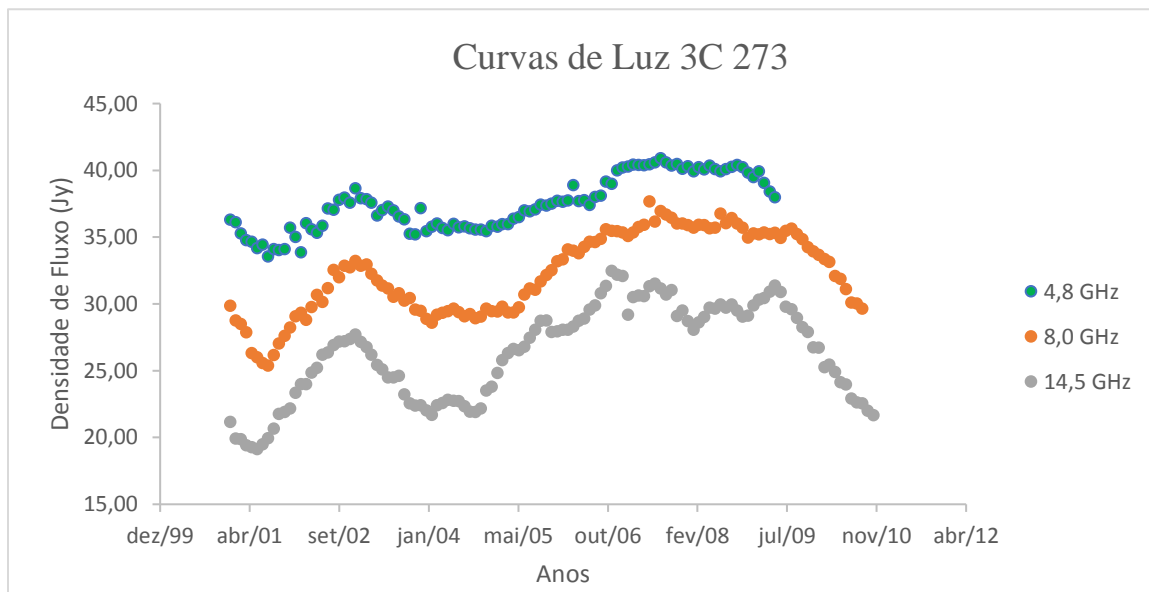
Tabela 1: Classificação por nível de correlação

Correlação	Nível de Correlação
0,90 a 1,00 ou (-0,90 a -1,00)	Muito alta
0,70 a 0,90 ou (-0,70 a -0,90)	Alta
0,50 a 0,70 ou (-0,50 a -0,70)	Moderada
0,30 a 0,50 ou (-0,30 a -0,50)	Baixa
0,00 a 0,30 ou (0,00 a -0,30)	Desprezível

Adaptado de Hinkle (2003).

Segundo a tabela 1 apresentada, o nível de correlação entre estes dados pode ser classificado como alta para a figura 26 e baixa para a figura 27. Mas, deve-se considerar que na frequência de 4,8 GHz foram utilizados menos pontos, quando comparados à 8,0 e 14,5 GHz, devido à falta de observação entre os anos de 2001 a 2012.

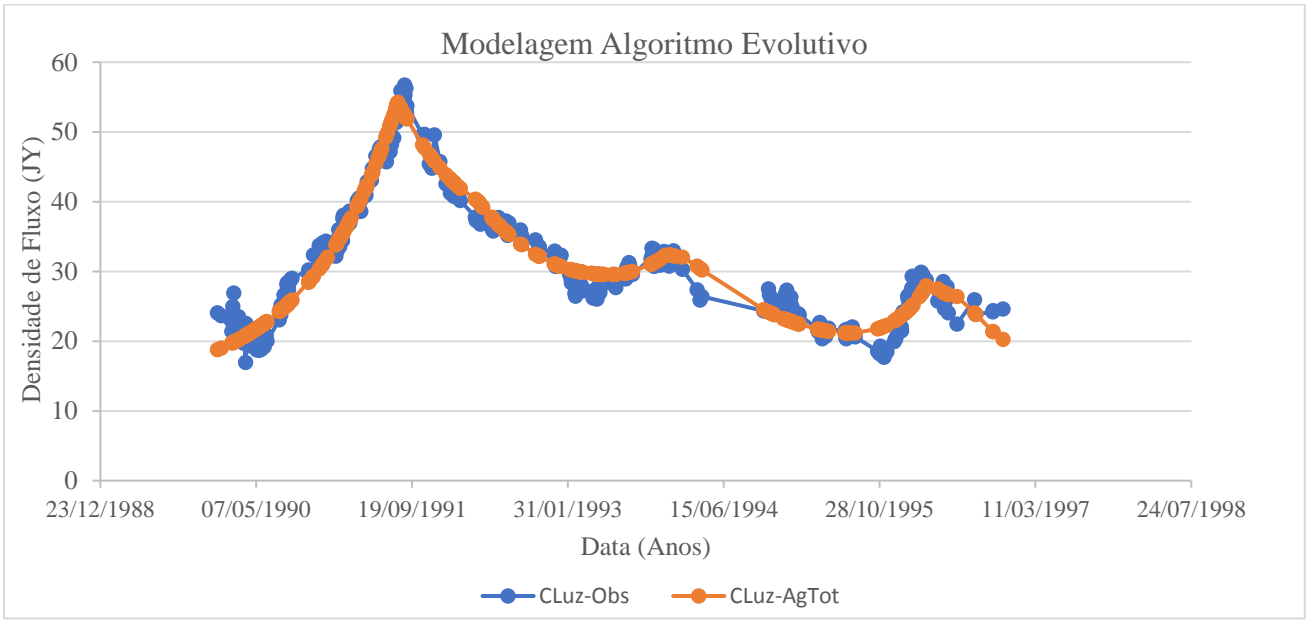
Figura 28: Histórico de densidades de fluxo média



A figura 28 mostra as densidades de fluxo médias entre o período de 2000 e 2010, calculadas a partir da calculadora desenvolvida. Quando comparada com as figuras 15, 16 e 17 observa-se que

a utilização do método das médias o gráfico fica mais amigável e melhor apresentável, sem distorcer o conteúdo das curvas de luz geradas pelos dados inicialmente desordenados.

Figura 29: Curva de Luz Modelada pelo Algoritmo Evolutivo (Metsähovi 37GHz)



A figura 29 apresenta a modelagem feita pelo algoritmo evolutivo, utilizando os dados do Radiobservatório de Metsähovi na frequência de 37 GHz entre os anos de 1990 a 1996. O gráfico apresentado mostra uma boa aproximação entre o modelo feito pelo algoritmo e a curva contendo os dados reais. Já na figura 30 são apresentados os mesmos dados da figura 29, porém contendo a densidade de fluxo quiescente.

Figura 30: Curva de Luz Modelada pelo Algoritmo Evolutivo

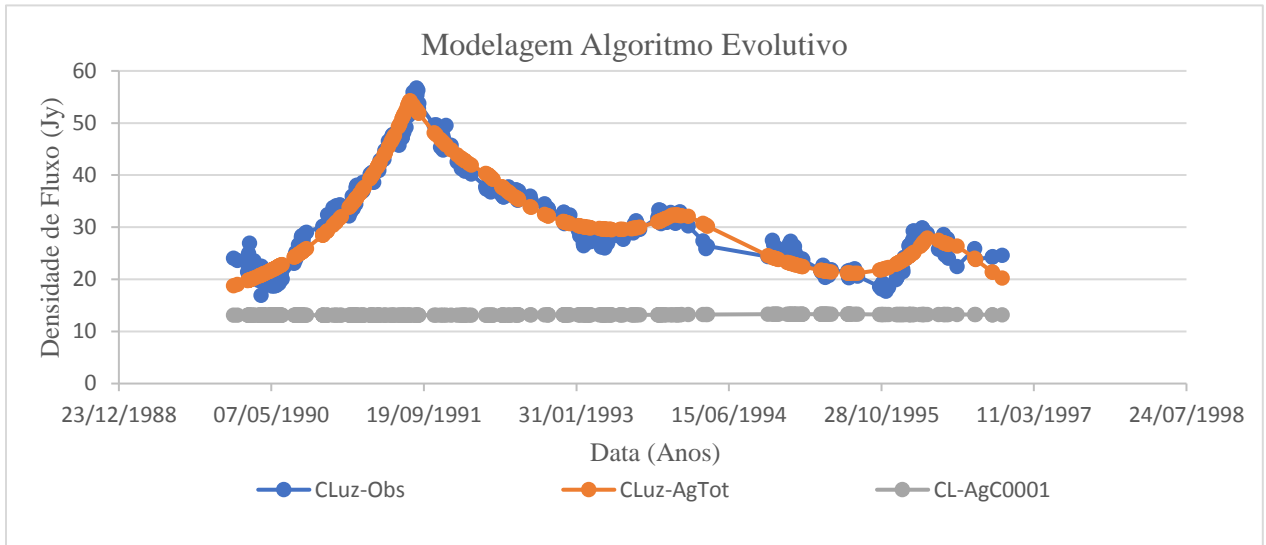
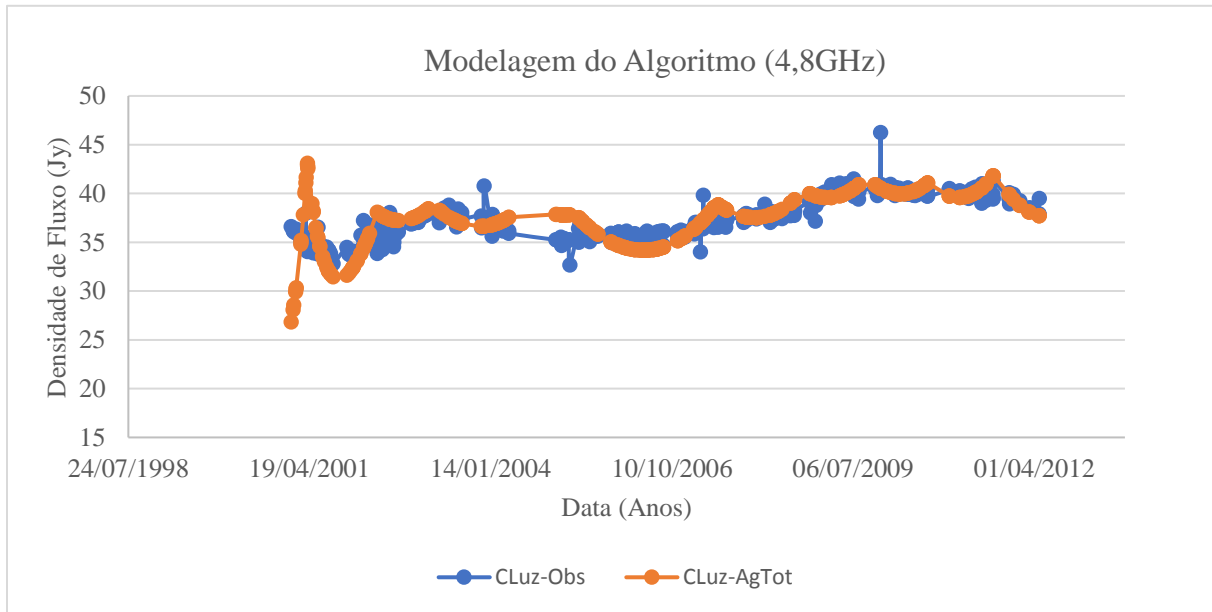


Figura 31: Curva de Luz Média Modelada pelo Algoritmo Evolutivo (UMRAO 4,8 GHz)



A figura 31 apresenta a modelagem feita pelo algoritmo evolutivo, utilizando os dados do Radiobservatório da Universidade de Michigan médios, na frequência de 4,8 GHz entre os anos de 2000 a 2012. O gráfico apresentado mostra uma boa aproximação entre o modelo feito pelo algoritmo e a curva contendo os dados reais. Já na figura 32 são apresentados os dados totais obtidos, ou seja, sem ter calculado a média das observações.

Figura 32: Curva de Luz Total Modelada pelo Algoritmo Evolutivo (UMRAO 4,8 GHz)

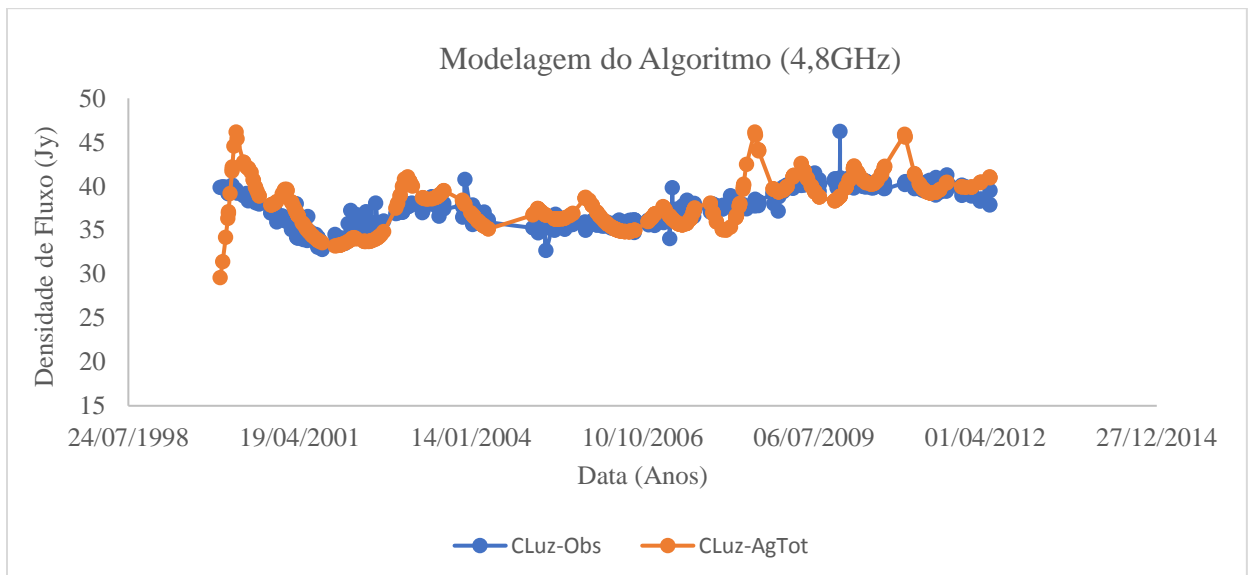
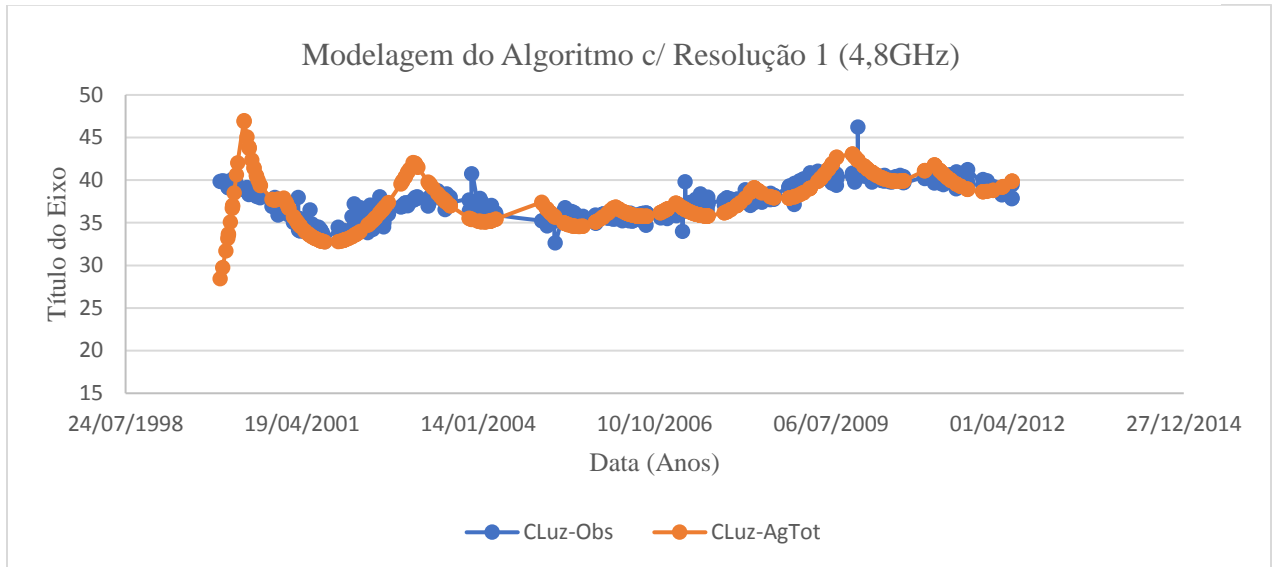
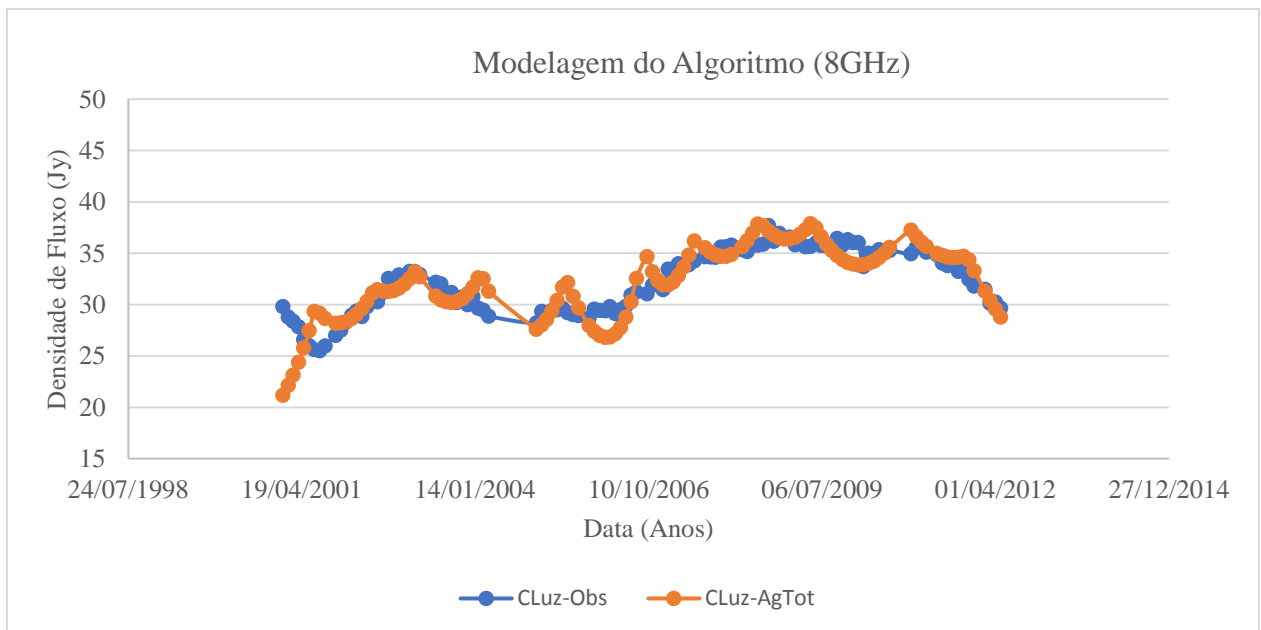


Figura 33: Curva de Luz Total Modelada pelo Algoritmo Evolutivo com Resolução Reduzida (UMRAO 4,8 GHz)



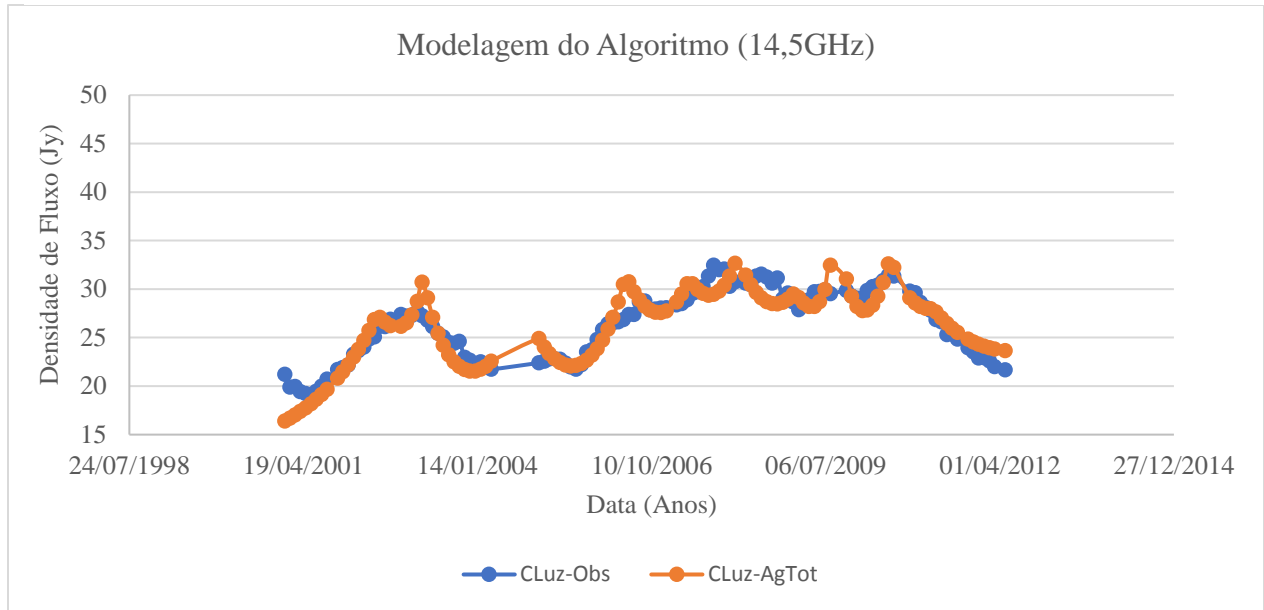
A figura 33 apresenta a modelagem feita pelo algoritmo evolutivo com redução na resolução. Tal efeito, pode ser observado quando este gráfico é comparado aos apresentados nas figuras 31 e 32, pois a variação da curva de luz fornecida pelo algoritmo é suavizada, o que reduz a diferença entre os dados reais e os dados modelados pelo código.

Figura 34: Curva de Luz Média Modelada pelo Algoritmo Evolutivo (UMRAO 8,0 GHz)



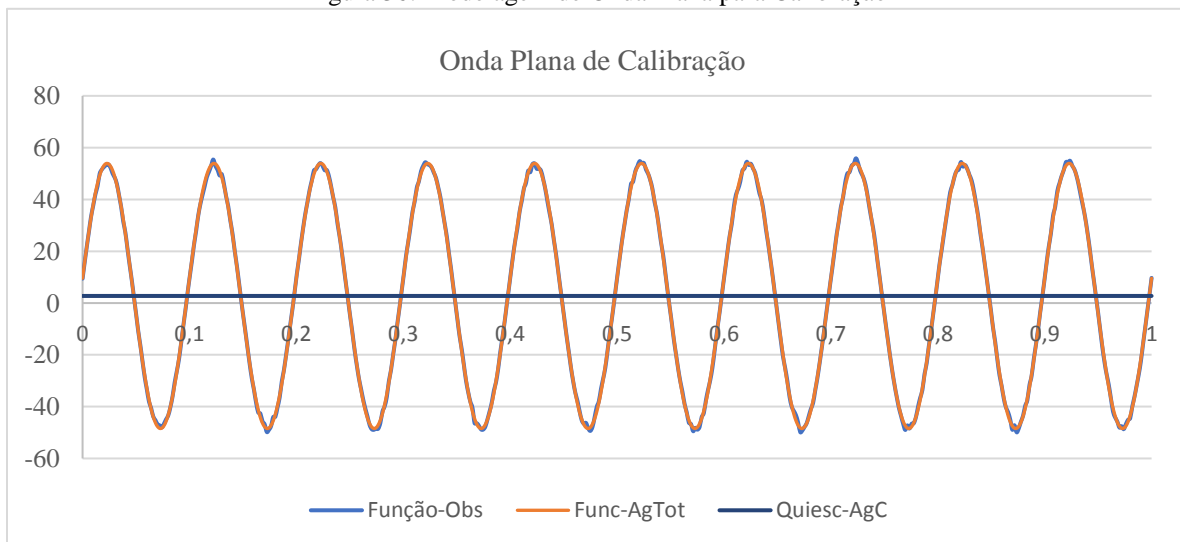
A figura 34 apresenta a modelagem feita pelo algoritmo evolutivo, utilizando os dados do Radiobservatório da Universidade de Michigan médios, na frequência de 8,0 GHz entre os anos de 2000 a 2012.

Figura 35: Curva de Luz Média Modelada pelo Algoritmo Evolutivo (UMRAO 14,5 GHz)



A figura 35 apresenta a modelagem feita pelo algoritmo evolutivo, utilizando os dados do Radiobservatório da Universidade de Michigan médios, na frequência de 14,5 GHz entre os anos de 2000 a 2012. E a figura 36 mostra o gráfico obtido através da calibração utilizando uma onda plana, a qual foi gerada através de um gerador de sinais e os valores “imputados” no algoritmo.

Figura 36: Modelagem de Onda Plana para Calibração



6. 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 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24, mostram claramente estas variações de energia emitidas em rádio pelo quasar confirmando os conceitos previstos na literatura.

As curvas de luz nas figuras 15, 16 e 17 demonstram uma variação da amplitude em função da frequência de observação. Elas também mostram que existe uma defasagem dos eventos em função da frequência, isto é, os eventos ocorridos no quasar são observados primeiro em frequências mais altas para posteriormente serem vistos nas frequências mais baixas.

A figura 25 mostra como são feitas as interações dentro da calculadora de densidade de fluxo média. Em seguida, as figuras 26 e 27 apresentam as correlações obtidas após os cálculos realizados pela calculadora, seguida da tabela 1 onde são apresentadas as classificações de relevância dos níveis de correlação. Para este trabalho, as correlações obtidas são satisfatórias e é um excelente indicativo da similaridade dos eventos nas diferentes frequências observadas.

Entre as figuras 29 e 35 são apresentadas as curvas de luz modeladas pelo algoritmo, onde a curva total representa os dados fornecidos pelo código e a observada os dados reais, os quais foram obtidos do Radiobservatório de Metsähovi na frequência de 37 GHz apresentados nas figuras 29 e 30, e do Radiobservatório da Universidade de Michigan entre as figuras 31 e 35 nas frequências de 4,8, 8,0 e 14,5 GHz, respectivamente. A figura 36 mostra o gráfico obtido pelo algoritmo na utilização de uma onda plana, gerado através de um gerador de sinais, para calibração do modelo.

A modelagem alcançada mostra uma boa aproximação com os dados reais, o que prova a funcionalidade do modelo, entretanto não foi determinar o preenchimento dos pontos faltantes com exatidão, uma vez que a falta de dados observados influencia na diferença entre os dados fornecidos pelo algoritmo e os dados reais. Todavia, o modelo utilizado para calibração mostrou que a consistência dos dados pode auxiliar no ajuste das curvas, o que ratifica a possibilidade de se obter melhores ajustes através de bancos de dados mais consistentes.

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 não havia ainda 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 à Astrofísica propriamente dita, mas também de caráter interdisciplinar uma vez que foi utilizado diferentes "softwares" na realização das análises aqui presentes contribuindo para o desenvolvimento acadêmico e científico.

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.

HINKLE DE, WIERSMA W, JURSG. Applied Statistics for the Behavioral Sciences. 5th ed. Boston: Houghton Mifflin; 2003.

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.

HOVATTA, T.; VALTAOJA E.; TORNIKOSKI M.; LÄHTEENMÄK. A. Erratum – Doppler Factors and Viewing Angles for Quasars, BL Lacertae Objects and Radio Galaxies. A&A, vol. 494, p. 527-537, 2009a.

HOVATTA, T.; VALTAOJA E.; TORNIKOSKI M.; LÄHTEENMÄK. A. Erratum – Doppler Factors and Viewing Angles for Quasars, BL Lacertae Objects and Radio Galaxies. A&A, vol. 498, 723-723, 2009b.

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.

LÄHTEENMÄKI, A.; VALTAOJA E.; WIIK, K. Total Flux Density Variations in Extragalactic Radio Sources. ApJ, vol. 511, p. 112-117, 1999.

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.

READHEAD, A. C. S. **Very Long Baseline Interferometry: Recent Results and Future Prospects.** Astrophysics and Space Science Library, vol. 187, p. 145, 1994.

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

SEMINÁRIO COMPUTAÇÃO EVOLUTIVA, 1., 2019, São Paulo: Seminário Computação Evolutiva Centro de Radioastronomia e Astrofísica do Mackenzie (CRAAM), Roberto V. Perianhes.

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.

VITORIANO, R. P. Workshop do Gage, Computação Evolutiva, 2019.

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

