

APLICAÇÃO DE LÓGICA FUZZY NA OTIMIZAÇÃO DE USO DO TELESCÓPIO DE UM OBSERVATÓRIO AUTOMATIZADO

ARIVAN S. BASTOS¹, DURVAL L. NOGUEIRA¹, MARCO SIMÕES¹, ALBERTO S. BETZLER²

¹*Núcleo de Arquitetura de Computadores e Sistemas Operacionais (ACSO)
Universidade do Estado da Bahia (UNEB)*

Rua Silveira Martins, 2555, Cabula. Salvador – BA – Brasil

²*Faculdade de Tecnologia e Ciências (FTC)*

Av. Luís Viana Filho, 8812, Paralela, Salvador/Ba, Brasil. CEP: 41.741-590.

E-mails: arivanbastos@gmail.com, durval_nogueira@terra.com.br, marcosimoes@fib.br, a_betzler@yahoo.com

Abstract— This paper discusses the design, development and implementation of a fuzzy logic model, specifically conceived for optimizing the performance of an automatized astronomical observatory. This model's purpose is to define the execution order of the observations of astronomic objects as it reconciles conflicting objectives, such as maximizing image quality, prioritizing celestial objects in difficult observation conditions as well as reducing mechanic telescope wastage. Model's definition was achieved under the guidance of the Astronomy Expert Professor Alberto Betzler and the implementation was carried out in Matlab. Procedures for this model's evaluation comprised tests with a group of varied astronomical objects and the development of a software which simulates these objects movements in a period of astronomical observation.

Keywords— Fuzzy logic, automatized astronomical observatory.

Resumo— Este trabalho apresenta o estudo, concepção e implementação de um modelo de lógica fuzzy direcionado para otimização de uso de um observatório astronômico automatizado. O propósito do modelo é definir a ordem de execução das observações de corpos celestes, buscando conciliar objetivos conflitantes, tais como a qualidade da imagem obtida, a priorização de corpos celestes de difícil observação e a redução do desgaste mecânico do telescópio. A definição do modelo foi realizada consultando-se o astrônomo professor Alberto Silva Betzler, e a implementação foi realizada no Matlab. Para avaliar o modelo foi utilizado um conjunto de objetos celestes de tipos variados, e desenvolvido um software que simulou a movimentação deles numa noite de observação.

Palavras-chave— Lógica fuzzy, observatório astronômico automatizado.

1 Introdução

O projeto Astronomia Popular tem o objetivo de divulgar a astronomia e despertar o interesse dos estudantes do ensino fundamental e médio para a ciência e tecnologia, realizando observações de fenômenos naturais, desenvolvendo atividades de iniciação científica em astronomia e potencializando as aptidões dos alunos do ensino médio para as diversas áreas do conhecimento, tendo em vista o caráter multidisciplinar desta ciência.

O Observatório Automatizado, uma das vertentes do projeto Astronomia Popular, disponibilizará através do *site* Portal da Astronomia um observatório astronômico para pesquisadores e professores do ensino médio. Para o primeiro grupo, o observatório será uma ferramenta que auxiliará o estudo de fenômenos astronômicos. Para o segundo, o projeto permitirá a utilização de conceitos de Astronomia, demonstrados através de imagens capturadas pelo observatório, como uma ferramenta de incremento do interesse de alunos do ensino médio por ciência e tecnologia. Através do Portal da Astronomia, os usuários poderão realizar a solicitação de imagens de corpos celestes. O processo de obtenção das imagens será

automatizado, e os usuários receberão as respectivas fotos por e-mail.

O Observatório Automatizado é composto por um telescópio Meade LX-200 GPS (MEADE, 2006), um CCD SBIG ST-7XME acompanhado de uma roda de filtros SBIG CFW-8 (SBIG, 2006) e uma cúpula motorizada projetada pela equipe do projeto. Irá se localizar no Museu de Ciências e Tecnologia da UNEB – Salvador, Bahia, onde as obras de construção da base da cúpula já estão em fase de conclusão.

Da perspectiva do software envolvido, o Observatório Automatizado é constituído de três sub-sistemas principais: a Interface WEB, estruturada como uma aplicação MVC (Model-View-Controller) (REENSKAUG, 1979), desenvolvida sobre o framework Spring (JAVA), através da qual os usuários têm acesso ao conteúdo de caráter astronômico e fazem solicitações de imagens dos corpos celestes; o componente de ordenação e realização das exposições, desenvolvido sobre a tecnologia Java; e o Servidor de Equipamentos, uma aplicação que controla os equipamentos presentes no observatório, permitindo o acesso remoto a estes através de um protocolo próprio, desenvolvido sobre a tecnologia C++. Diversos testes já foram realizados com os sub-sistemas e demonstraram o armazenamento, controle e realização adequada da

captura de imagens. Todo software de automatização desenvolvido neste projeto será *Open Source* publicado com a licença GNU GPL (GNU, 2006).

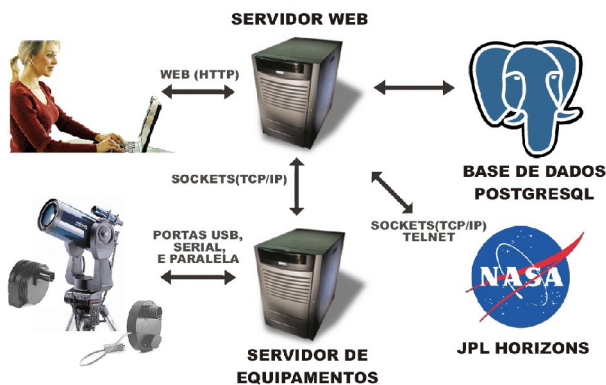


Figura 0. Arquitetura do observatório automatizado.

A ordem da execução das solicitações de imagem vai determinar o tempo gasto para a realização da sessão de observação¹, a qualidade das imagens obtidas e o tempo de resposta ao usuário. O atual modelo de ordenação, baseado na ordem de aparição do objeto no céu, assim como a execução das solicitações de imagem por ordem de criação não são adequados, sendo necessária a concepção de uma solução que concilie objetivos conflitantes, tais como:

- Qualidade de imagem
- Redução de desgaste mecânico do telescópio
- Priorização de imagens de objetos raros ou de difícil observação

Este documento apresenta o trabalho de definição, implementação e testes de um modelo de lógica *fuzzy* capaz de ponderar os critérios de obtenção das imagens (qualidade, redução de desgaste do telescópio e priorização de objetos e fenômenos raros ou de difícil observação) e selecionar a solicitação de imagem de maior prioridade em um dado instante da sessão de observação do Observatório Automatizado.

3 Fundamentos Teóricos

A fundamentação teórica do trabalho foi baseada principalmente nos seguintes livros e artigos:

- Birth And Evolution of Fuzzy Logic e Fuzzy Sets – Information and Control, de Lofti A. ZADEH, 1990: Artigos do criador da lógica *fuzzy*, foram consultados como bibliografia inicial, apresentando de forma clara o paradigma da lógica *fuzzy*.

¹ Período em que os equipamentos são ativados e utilizados para realizar as exposições e obter as imagens solicitadas pelos usuários.

- Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering, de Nikola K. Kasabov, 1998: Apresenta um estudo aprofundado da lógica *fuzzy*, definindo os tipos de sistemas de regras, de relações de implicação e de operadores de ligação, composição, entre outros. Foi a literatura mais completa encontrada.
- Sistemas Fuzzy, de Ricardo Tanscheit, 2002: Artigo que propiciou uma visão geral do assunto. Define de forma clara os conjuntos *fuzzy*, variáveis linguísticas, operações de conjuntos *fuzzy*, relações, composição de relações e métodos de “fuzificação” e “defuzificação”. Apresenta analogias à teoria clássica de conjuntos.
- The Fuzzy Systems Handbook: A Practitioner’s Guide to Building, Using, and Maintaining Fuzzy Systems, de Earl COX, 1994: única referência encontrada a apresentar de forma prática a sistemática de funcionamento de uma máquina de inferência *fuzzy*, descrevendo o seus passos e apresentando exemplos.

Foram consultados outros trabalhos que estão contemplados nas referências deste projeto e que foram importantes para o esclarecimento de diversos conceitos. Destes pode-se destacar o trabalho de Márcio Pereira Lima, a Proposta de um modelo utilizando lógica *fuzzy* para apoio à tomada de decisão no controle de tráfego aéreo do aeroporto de Salvador. Este trabalho apresenta um percurso metodológico bem estruturado, e contribuiu significativamente para o entendimento das etapas de construção de um sistema *fuzzy*.

2 Percurso Metodológico

As seguintes etapas foram executadas durante a realização do projeto:

1 - Definição da técnica a ser utilizada - Tendo o objetivo de criar um sistema capaz de priorizar adequadamente as solicitações de imagem, a decisão inicial foi utilizar uma técnica de inteligência artificial como ferramental para a concepção de tal sistema. Esta decisão foi tomada com base na consulta a especialistas das áreas de astronomia, matemática e inteligência artificial.

2- Revisão da literatura sobre lógica difusa - Esta etapa se estendeu por grande parte do período de execução do projeto subsidiando a definição do modelo proposto e do percurso metodológico, tendo em vista que este também foi baseado em estudo de trabalhos na área.

3- Definição dos requisitos do modelo de priorização - Nesta etapa foram realizadas reuniões presenciais como a equipe coordenadora do projeto, a fim de determinar os principais critérios para priorização das solicitações de imagem. Os critérios iniciais, definidos na etapa 1, foram expandidos para os critérios que constituem as variáveis linguísticas

que constituem as variáveis lingüísticas do modelo *fuzzy*.

4- Consulta ao astrônomo especialista para concepção das variáveis lingüísticas - Foram realizadas reuniões presenciais com o astrônomo do projeto, prof. Alberto Silva Betzler. Nessas reuniões foram definidas as classificações de cada variável lingüística (determinadas na etapa anterior), bem como o comportamento e as escalas de suas funções de pertinência.

Inicialmente, foi dada uma visão geral da lógica *fuzzy* ao astrônomo, para que os conjuntos de termos e o comportamento das funções fossem concebidos tendo em mente a sua utilização posterior em uma máquina de inferência *fuzzy*. Posteriormente foram realizados questionamentos

- Para obter os conjuntos de termos, para cada variável lingüística foi perguntado: “Como você classificaria esse conceito?”
- Para obter os parâmetros e o formato das funções de pertinência, para cada classificação dada (conjunto de termos), foi perguntado:
 - ✓ “A partir de que valor uma solicitação de imagem começa a se tornar compatível com o conceito representado por essa classificação?”
 - ✓ “Entre qual faixa de valores, uma solicitação de imagem se torna totalmente compatível com o conceito representado por essa classificação?”
 - ✓ “Qual destes formatos é mais compatível com o conceito representado?” (Foram apresentados os formatos padrão de funções de pertinência).

5- Aplicação do questionário para determinação da base de regras - Com base nas informações extraídas da etapa anterior foi criado o questionário de regras, que estabelece todas as combinações possíveis entre os termos das variáveis lingüísticas do modelo. Cada linha deste questionário caracteriza uma possível solicitação de imagem, e, de acordo com suas características, o astrônomo definiu a sua prioridade, escolhendo uma classificação entre: MUITO BAIXA, BAIXA, MÈDIA, ALTA e MUITO ALTA. O resultado da aplicação deste questionário subsidiou a criação da base de regras do sistema.

6- Implementação do modelo *fuzzy* - Pronta a modelagem do sistema, a implementação foi feita na ferramenta Fuzzy Logic Toolbox, do Matlab. Essa ferramenta foi utilizada por ser específica para ao domínio *fuzzy*, oferecendo facilidades para implementação de sistemas deste tipo.

7- Realização dos testes - Nesta etapa foi levantado um conjunto de objetos celestes de diferentes tipos para realização dos testes do modelo. Para a reprodução do ambiente real, foi desenvolvido um software que simulou a movimentação dos objetos celestes levantados. O teste consistiu em submeter a lista de objetos ao modelo *fuzzy*, remover o de maior

objetos ao modelo *fuzzy*, remover o de maior prioridade (selecionado pelo sistema *fuzzy*) e simular a movimentação dos demais. O processo foi repetido até que a lista de objetos estivesse completamente vazia.

8- Avaliação dos resultados - Nesta etapa o astrônomo especialista avaliou cada escolha do sistema *fuzzy*, classificando-a em BOA ou MÀ. Esta medida foi tomada tendo em vista que se torna difícil determinar precisamente qual o objeto mais prioritário para observação em um dado momento. Além disso, os utilitários de avaliação de sistemas *fuzzy* do Matlab foram utilizados para análise das curvas de decisão e da base de regras do modelo.

4 Modelo e Implementação

O sistema de regras utilizado para implementação foi o Zadeh-Mamdani's, por ser o mais adequado para o modelo desejado. O operador de implicação utilizado foi o *MIN* (implicação do tipo *Rs*) e o operador de ligação foi o *MAX*. Esses operadores foram selecionados por serem referenciados na literatura como os mais adequados para implementações genéricas. O método de defuzificação adotado foi o Centro de Gravidade. Conforme citado, a implementação foi realizada no Matlab.

Foram criadas 4 (quatro) variáveis lingüísticas para o modelo:

- 1) **Distância ao Zênite**, do objeto a ser observado: constitui um critério de qualidade de imagem, pois quanto menor a distância de um objeto celeste em relação ao zênite, maior a qualidade da imagem obtida. O universo de discurso desta variável está representado na figura 2.

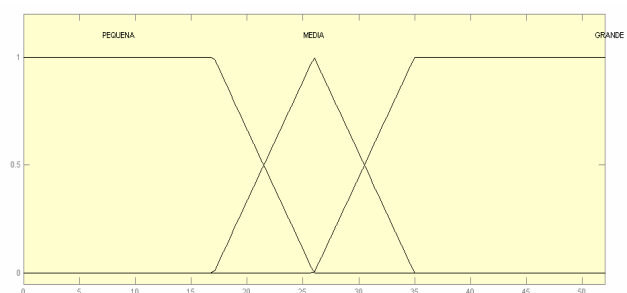


Figura 2. Função de pertinência para a variável lingüística Distância ao Zênite.

- 2) **Distância ao objeto anteriormente observado**: constitui um critério de desempenho e determina uma redução no desgaste mecânico do telescópio do observatório. A figura 3 mostra o universo de discurso desta variável.

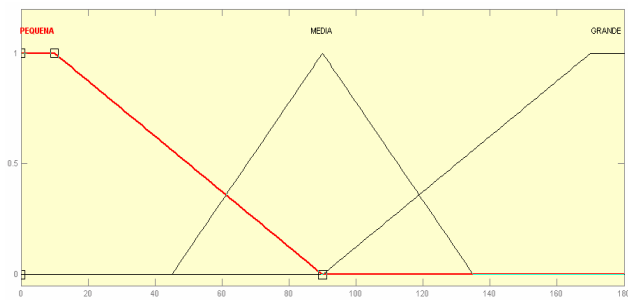


Figura 3: Função de pertinência para a variável linguística Distância ao Objeto Anterior.

- 3) **Intervalo de visibilidade:** constitui um critério para determinar a dificuldade em observar o objeto, pois indica durante quanto tempo na sessão de observação o objeto permanecerá visível. A figura 4 ilustra o universo de discurso desta variável.

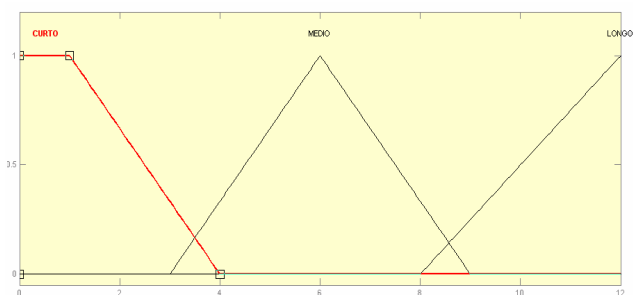


Figura 4. Função de pertinência para a variável linguística Intervalo de Visibilidade.

- 4) **Ciclo de visibilidade:** constitui mais um critério para determinar a dificuldade em observar o objeto, indicando durante quanto tempo o objeto ou fenômeno é visível em todo o mundo. A figura 5 mostra o universo de discurso desta variável.

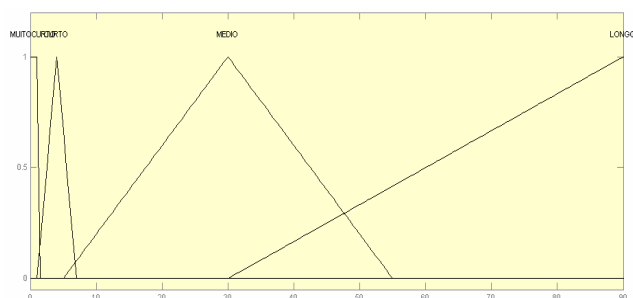


Figura 5. Função de pertinência para a variável linguística Ciclo de Visibilidade.

Por fim foi definida a variável linguística de saída, relativa à prioridade da solicitação de imagem, diante das classificações nas variáveis linguísticas citadas anteriormente. A figura 6 ilustra o universo de discurso desta variável.

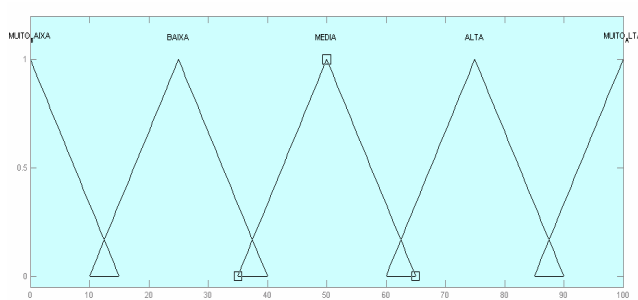


Figura 6. Prioridade da solicitação de imagem - classificação de saída do sistema fuzzy.

Até o presente momento não foi empregada nenhuma técnica para sintonia das funções de pertinência. Espera-se que os resultados das avaliações subsidiem o aprimoramento do modelo.

5 Experimentos

Os testes do modelo foram realizados com o conjunto de objetos celestes apresentado na tabela 1. Apesar de pequeno este conjunto é adequado para uma análise inicial do sistema *fuzzy*, pois contém diversos tipos de objetos, cada um com características particulares:

Na aplicação real, o sistema *fuzzy* selecionará o objeto a ser observado antes de iniciar a observação. Durante a realização da observação os objetos conti-

Nº	Nome	Tipo	COORDENADAS	
			A.R.	DEC.
1	2006 XD2	Asteróide	Variável	
2	Lua	Satélite	Variável	
3	M1	Nebulosa	05:34.5	+22:01
4	M31	Galáxia	00:42.7	+41:16
5	M41	Aglomerado Aberto	06:46.0	-20:44
6	M42	Nebulosa	05:35.4	-05:27
7	MCNeil	Nebulosa	05:46:14	-00:05.8
8	Mira Ceti	Estrela Variável	02:19:20.7	-02:58:39
9	NGC 104	Ag. Globular	00:24.1	-72:05
10	NGC 2808	Ag. Globular	9:12.0	-64:52
11	Saturno	Planeta	Variável	
12	Swan	Cometa	Variável	
13	U Ori	Estrela Variável	05:55:44	+20:10.5
14	GRB 060218	Gamma Ray Buster	03:21:39.7	+16:52:02
15	Vênus	Planeta	Variável	

Tabela 1. Conjunto de corpos celestes utilizados para avaliação inicial

nuarão a se mover no céu, o que irá alterar a suas coordenadas e conseqüentemente a classificação dentro das funções de pertinência do modelo.

Nos testes considerou-se que a observação de um corpo dura em média 20 minutos. Durante esse tempo os demais objetos, presentes na lista de solicitações de imagem, continuarão a se mover. Dessa forma, para representar um ambiente real, foi desenvolvido um software que simula a movimentação dos corpos celestes, em uma dada noite de observação. Dado um corpo celeste e uma data/hora, esse software calcula qual a posição do

re calcula qual a posição do objeto na data/hora especificada. A posição do objeto é constituída de sua coordenada equatorial, seu ângulo horário e sua altura. Para atualização das coordenadas equatoriais (processo necessário para objetos dos tipos asteróide, satélite, planeta ou cometa) foi utilizado um componente próprio que se conecta com o sistema *JPL's Horizons* da NASA (NASA, 2006), recuperando os dados atualizados. As coordenadas equatoriais são convertidas em coordenadas horizontais e utilizadas para medir a distância entre os objetos, sendo portanto, uma das entradas do modelo *fuzzy*.

O ângulo horário e da altura dos objetos são utilizados para medir o intervalo de visibilidade e a distância zenital respectivamente. Para o cálculo destes parâmetros foram aplicadas as equações de conversão entre sistemas de coordenadas. O software foi desenvolvido em JAVA, e foram aproveitados alguns componentes de cálculo já existentes, criados durante o desenvolvimento do Portal da Astronomia.

A execução dos testes consistiu em calcular a posição dos objetos da tabela 1 na data 25/12/2006 e hora 20:00:00, submeter os objetos com os dados de posição referentes a esta data ao modelo, remover o objeto selecionado pelo modelo da lista, e atualizar as posições dos objetos restantes da lista, considerando-se um acréscimo de 20 minutos na hora. Ou seja, simulou-se a movimentação dos objetos restantes durante os 20 minutos de duração da observação do objeto selecionado. Este processo foi repetido até que a lista de objetos ficou vazia.

6 Resultados e Conclusões

A avaliação do astrônomo especialista indicou que a percentagem de más escolhas do modelo foi de 14%, enquanto que 86% foram boas escolhas. Diante desses resultados foram feitas análises sobre a base de regras do sistema *fuzzy* concebido. Observou-se que as classificações definidas para a variável *fuzzy* resultado foram insuficientes. A quantidade de combinações possíveis entre as variáveis *fuzzy* de entrada geraram situações bastante diversas, e muitas delas de diferentes prioridades. A existência de apenas seis possíveis classificações de saída fez com que situações de diferente prioridade tenham sido classificadas com a mesma prioridade, afetando o resultado do sistema. Dessa forma, faz-se necessária uma etapa de sintonia do modelo.

Constatou-se a dificuldade de criação do modelo *fuzzy* tendo em vista a especificidade do problema abordado e a ausência de uma metodologia precisa para desenvolvimento de sistemas com esta técnica. O software de simulação, desenvolvido para a etapa de testes, apresentou resultados com precisão satisfatória, reproduzindo adequadamente o céu de uma dada noite de observações, e servindo de subsídio para o desenvolvimento de softwares mais

para o desenvolvimento de softwares mais sofisticados.

Mostra-se como necessário o desenvolvimento de uma metodologia mais objetiva para avaliação do modelo. Testes comparativos não foram realizados, pois até o presente momento é desconhecida uma iniciativa semelhante.

Apesar das limitações descritas, os testes demonstraram um grau de racionalidade na escolha da ordem de observação dos corpos celestes, o que demonstra a viabilidade de aplicação da técnica para ordenação das solicitações. Entretanto, torna-se evidente a necessidade de correção da base de regras (aumentando a quantidade de possíveis classificações para as variáveis de saída) e de amadurecimento do modelo, através da realização de mais testes e ajustes.

7 Trabalhos futuros e em andamento

Encontra-se em finalização o desenvolvimento de um componente Java que interpreta o arquivo de saída gerado pelo Fuzzy Logic Toolbox do Matlab e, utilizando a biblioteca FuzzyJ, monta uma máquina de inferência *fuzzy* em Java, realizando assim a integração entre o modelo e o sistema do observatório virtual. Essa integração automática é importante, pois facilita o aprimoramento do modelo *fuzzy* e a realização de testes.

Conforme sugerido na sessão “6 Resultados e Conclusões”, encontra-se em andamento o ajuste da variável de saída do modelo *fuzzy*, a prioridade da solicitação. Posteriormente, serão realizados uma bateria de testes, envolvendo a realização de simulações de 20 noites de observação, e submetendo os resultados obtidos à avaliação do Astrônomo do projeto.

Referências

- Cox, Earl., The Fuzzy Systems Handbook: A Practitioner's Guide to Building, Using, and Maintaining Fuzzy Systems, Nova York: AP Professional, 1994.
- Fuzzy Logic Toolbox, MathWorks INC, Disponível em <http://www.mathworks.com/>, Acessado em 07/12/2006.
- GNU, General Public License – GPL, Disponível em <http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>, Acessado em 02/11/2006.
- Jantzen, J. Tutorial On Fuzzy Logic, Technical University of Denmark, Dinamarca, 1998.
- Kasabov, Nikola K. Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering, 2. ed. Londres: Massachusetts Intitute of Technology, 1998.
- Lima, Márcio Pereira. Proposta de um modelo utilizando lógica fuzzy para apoio à tomada de

- decisão no controle de tráfego aéreo do aeroporto de Salvador Dep. Luis Eduardo Magalhães, 2006, UNEB, Salvador-BA, Brasil.
- Meade, LX200 GPS, Disponível em <http://www.meade.com/lx200gps/index.html>, Acessado em 02/11/2006.
- Nasa, JPL Horizons - Solar System Dynamics Group, Disponível em <http://ssd.jpl.nasa.gov/?horizons>, Acessado em 02/11/2006.
- Reenskaug, Trygve, MODELS - VIEWS - CONTROLLERS. Nota técnica, Xerox PARC, 1979.
- SBIG, CFW-8 Filter Wheel, Disponível em http://www.sbig.com/products/cfw8a_new.htm, Acessado em 02/11/2006.
- SBIG, ST-7XME CCD Camera, Disponível em <http://www.sbig.com/sbwhtmls/st7.htm>, Acessado em 02/11/2006.
- Shaw, Ian S.; Simões, Marcelo Godoy. Controle e Modelagem Fuzzy. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1999.
- Tanscheit, R. Sistemas Fuzzy, 2002, DEE-PUC-Rio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Zadeh, L. A. Birth And Evolution of Fuzzy Logic, 1990, University of California, Berkeley, California, USA.
- Zadeh, L. A. Fuzzy Sets – Information and Control, 1965, University of California, Berkeley, California, USA.