



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Engenharia

Sérgio Orlando Antoun Netto

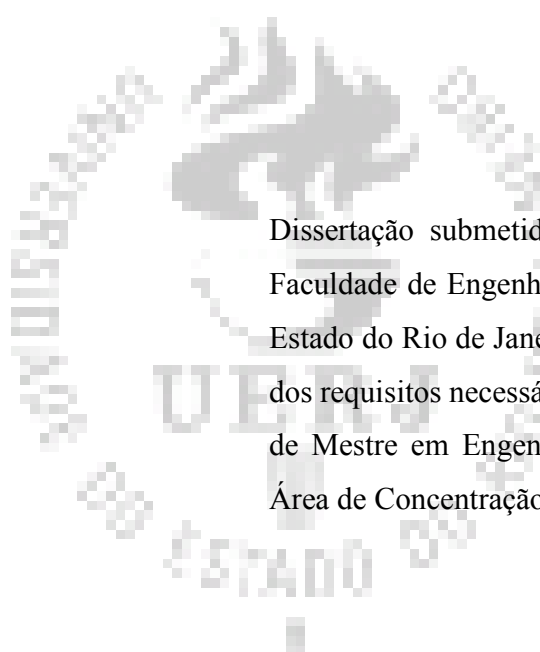
**Sistema de Inferência Nebuloso de apoio à seleção de Projeção
Cartográfica para a representação de uma região da superfície terrestre**

Rio de Janeiro

2008

Sergio Orlando Antoun Netto

**Sistema de Inferência Nebuloso de apoio à seleção de Projeção
Cartográfica para a representação de uma região da superfície terrestre**



Dissertação submetida ao corpo docente da
Faculdade de Engenharia da Universidade do
Estado do Rio de Janeiro – UERJ, como parte
dos requisitos necessários à obtenção do título
de Mestre em Engenharia de Computação –
Área de Concentração Geomática.

Orientador: Flávio Joaquim de Souza

Co-orientador: José Carlos Penna de Vasconcellos

Rio de Janeiro

2008

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA FEN

Antoun Netto, Sergio Orlando

Sistema de Inferência Nebuloso de Apoio à
Seleção de Projeção Cartográfica para a
Representação de uma Região da Superfície
Terrestre - 2008, 98 p

Orientador: Flávio Joaquim de Souza

Dissertação (Mestrado) – Universidade do
Estado do Rio de Janeiro – Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Computação –
Área de Concentração Geomática

1. Lógica Nebulosa 2. Projeção Cartográfica 3.
Sistema de Suporte à Decisão

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação.

Rio de Janeiro, 21 de agosto de 2008.

Sergio Orlando Antoun Netto

Sergio Orlando Antoun Netto

**Sistema de inferência nebuloso de apoio à seleção de projeção
cartográfica para a representação de uma região da superfície terrestre**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração Geomática.

Aprovada em

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Flávio Joaquim de Souza (Orientador)
Faculdade de Engenharia da UERJ

Prof. Dr. José Carlos Penna de Vasconcellos (Co-orientador)
Faculdade de Engenharia da UERJ

Prof. Dr. Orlando Bernardo Filho
Faculdade de Engenharia UERJ

Prof. Dra. Luiza Maria Oliveira da Silva
IBMEC

Rio de Janeiro
2008

DEDICATÓRIA

A minha esposa Ana Amélia e aos
nossos queridos filhos Leonardo,
Gabriel, Lucas e Raquel.

AGRADECIMENTOS

À Empresa Municipal de Informática (IPLANRIO), por ter investido na minha capacitação profissional.

À minha mãe Judith, pela minha formação moral e intelectual.

Ao meu pai Nilo (*in Memoriam*), pelo seu exemplo.

Aos meus orientadores Flávio Joaquim de Souza e José Carlos Penna de Vasconcellos, pelos ensinamentos indispensáveis à realização deste trabalho.

Ao professor Orlando Bernardo Filho, pelas valiosas sugestões ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor João Araújo Ribeiro, pelas excelentes aulas de SIG-WEB – Tecnologias de Internet aplicada à Geomática, onde surgiu a idéia da elaboração desta dissertação.

Aos meus colegas de trabalho Verônica e Tibúrcio que me apoiaram nessa conquista.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram de alguma maneira para a execução deste trabalho.

RESUMO

Antoun Netto, Sergio Orlando. *Sistema de inferência nebuloso de apoio à seleção de projeção cartográfica para a representação de uma região da superfície terrestre*. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

A confecção de um mapa exige, antes de tudo, o estabelecimento de um método, segundo o qual, a cada ponto da Terra, corresponda um ponto do mapa e vice-versa. Diversos métodos podem ser empregados para se obter essa correspondência de pontos, constituindo os chamados “sistemas de projeções”. Cada Sistema de Projeção tem suas equações próprias, de modo a garantir que cada ponto na superfície real tenha um único correspondente no plano, sendo a recíproca verdadeira, caracterizando uma função bijetora. É impossível proceder à transformação da superfície real no plano, sem qualquer deformação e alteração das características geométricas reais da Terra. Portanto, a escolha da projeção cartográfica adotada na representação de uma região da superfície terrestre é algo de extrema importância e dependerá principalmente do objetivo do usuário final (PEARSON, 1990). O presente trabalho tem por objetivo desenvolver um sistema computacional que implemente a técnica de Inteligência Computacional denominada Lógica Nebulosa na seleção da projeção cartográfica mais adequada para representação de uma Região da Superfície Terrestre.

Palavras-chave: Projeção Cartográfica, Lógica Nebulosa, Sistema de Suporte à Decisão

ABSTRACT

The confection of a map demands, first a fall, the establishment of a method, according to which, to each point of the land, corresponds a point of the map and the other way around. Several methods can be used to get this correspondence of points, constituting the calls “Map Projections”. Each Map Projection has its proper equations, in order to guarantee that each point in the real surface has an only correspondent in the plan, being reciprocal the true one, characterizing a bijective function. It is impossible to proceed to the real surface transformation in the plan, without any deformation and alteration of real the geometric characteristics of the land. Therefore, the choice of the map projection in the representation of the terrestrial surface region is something of extreme importance and will depend mainly on the objective of the final user (PEARSON, 1990). The present work aims at developing a computational system that implements the technique of Computational Intelligence called Fuzzy Logic to choice the map projection for the representation of terrestrial surface region.

Keywords: Map Projection, Fuzzy Logic, Decision Support System

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Quadro 1.1: Sugestões de Projeções Conformes.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2.1 - O fuso UTM</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2.2 - Sistema de Lógica Nebulosa</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3.1 - Arquivos do epsg v6_10_1. zip.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.2 - Página Principal do Banco de dados do EPSG</i>	<i>28</i>
<i>Quadro 3.1 - Critérios e sub-critérios utilizados</i>	<i>31</i>
<i>Quadro 3.2: Quadro Resumo dos resultados obtidos com o software CDP.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3.3 - Esquema do Sistema de Inferência Nebuloso (SIN).....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3.4 - Mapa do Mundo (Paralelos, Meridianos e Hemisférios) na Projeção de Robinson (Fonte:IBGE).</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3.5 - Sistema Nebuloso Equivalente.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3.6 - Variável lingüística de entrada VarLat</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3.7 - Variável lingüística de entrada VarLong</i>	<i>38</i>
<i>Quadro 3.3 : Classificação dos Tipos da Projeção Cartográfica Equivalente.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3.8 - Variável lingüística de saída TipoProjEquiv.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3.9 – Tabela FAM para as projeções equivalentes</i>	<i>39</i>
<i>Quadro 3.4 : Exemplos da determinação das Projeções Equivalentes a partir de valores de VarLat e VarLong.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 3.10- Representação da Superfície da Variável de saída TipoProjEquiv</i>	<i>41</i>
<i>Figura 3.11 - Sistema Nebuloso Eqüidistante.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3.12 - Variável lingüística de entrada VarLat</i>	<i>43</i>
<i>Figura 3.13 - Variável lingüística de entrada VarLong</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.14 - Variável lingüística de entrada LatMedia</i>	<i>45</i>
<i>Quadro 3.5 : Classificação dos Tipos da Projeção Cartográfica Eqüidistante.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 3.15 - Variável lingüística de saída TipoProjEquid</i>	<i>46</i>
<i>Figura 3.16 – Tabela FAM para as projeções eqüidistantes.....</i>	<i>48</i>
<i>Quadro 3.6: Exemplos da determinação das Projeções Eqüidistantes partir de valores de VarLat , VarLong e LatMed.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3.17 - Sistema Nebuloso Conforme.....</i>	<i>50</i>

<i>Figura 3.18 - Variável lingüística de entrada Escala</i>	<i>51</i>
<i>Figura 3.19 - Variável lingüística de entrada LatMed</i>	<i>52</i>
<i>Figura 3.20 - Variável lingüística de saída TipoProjConf</i>	<i>53</i>
<i>Figura 3.21 – Tabela FAM para as projeções conformes.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 3.22- Representação da Superfície da Variável de saída TipoProjConf.....</i>	<i>54</i>
<i>Quadro 3.8 : Exemplos da determinação das Projeções Conformes a partir de valores de Escala e LatMed</i>	<i>55</i>
<i>Quadro 4.1: Atores do Sistema SINPROJ.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 4.1 - Diagrama de Casos de Uso do Sistema SINPROJ.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 4.2 - Diagrama de Classes do Sistema SINPROJ.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 4.3 - Modelo de Entidades e Relacionamentos do SINPROJ</i>	<i>67</i>
<i>Quadro 5.1: Quadro Resumo dos resultados obtidos com o software “Criterium DecisionPlus”</i>	<i>69</i>
<i>Figura A.1 – Tela de acesso ao Sistema SINPROJ</i>	<i>75</i>
<i>Figura A.2 – Tela de Definição da Propriedade da Projeção do Sistema SINPROJ</i>	<i>76</i>
<i>Figura A.3 – Tela com os Parâmetros de Entrada do Sistema de Inferência Nebuloso Equidistante do Sistema SINPROJ</i>	<i>76</i>
<i>Figura A.4 – Tela com as Projeções Disponíveis para a propriedade informada do Sistema SINPROJ</i>	<i>77</i>
<i>Figura A.5 – Tela com as Projeções Disponíveis para a propriedade desejada após refinamento do Sistema SINPROJ</i>	<i>77</i>
<i>Figura A.6 – Tela com os Parâmetros de Entrada do Sistema de Inferência Nebuloso Equivalente do Sistema SINPROJ</i>	<i>78</i>
<i>Figura A.7 – Tela com os Parâmetros de Entrada do Sistema de Inferência Nebuloso Conforme do Sistema SINPROJ.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 1.D – Tela de abertura do software Criterium DecisionPlus 3.0.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 2.D – Escolha do método</i>	<i>88</i>
<i>Figura 3.D – Entrada de dados.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 4.D– Determinação dos pesos relativos das alternativas.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 1.E – Modelo Hierárquico da Projeção Equivalente.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 2.E – Modelo Hierárquico da Projeção Equidistante</i>	<i>90</i>

<i>Figura 3.E – Modelo Hierárquico da Projeção Conforme.....</i>	<i>91</i>
<i>Quadro 1.F : Pesos relativos das alternativas para as Projeções Eqüidistantes</i>	<i>92</i>
<i>Quadro 2.F : Pesos relativos das alternativas para as Projeções Equivalentes.....</i>	<i>93</i>
<i>Quadro 3.F : Pesos relativos das alternativas para as Projeções Conformes.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 1.G – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Conforme - Escala”</i>	<i>95</i>
<i>Figura 2.G – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Conforme - LatitudeMédia”</i>	<i>95</i>
<i>Figura 3.G – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Equivalente- VariaçãoLongitude”</i>	<i>96</i>
<i>Figura 4.G – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Equivalente- VariaçãoLatitude”</i>	<i>96</i>
<i>Figura 5.G – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Eqüidistante- VariaçãoLongitude”</i>	<i>97</i>
<i>Figura 6.G – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Eqüidistante- VariaçãodeLatitude</i>	<i>97</i>
<i>Figura 7.G – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Eqüidistante- LatitudeMédia”</i>	<i>98</i>

SUMÁRIO

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO.....	14
1.1 – APRESENTAÇÃO	14
1.2 – MOTIVAÇÃO	14
1.3 – OBJETIVO.....	16
1.4 – CONTRIBUIÇÕES.....	16
1.5 – SUMÁRIO	16
Capítulo 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS	17
2. 1 – INTRODUÇÃO	17
2. 2 – SISTEMAS DE PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS.....	17
2. 2.1 – Escolha de um Sistema de Projeção	17
2. 2.2 – Classificação dos Sistemas de Projeção	19
2. 3 – LÓGICA NEBULOSA	20
2.3.1 – Histórico	21
2.3.2 – Aplicações	21
2.3.3 – Fundamentos	22
2. 4 – COMENTÁRIOS.....	26
Capítulo 3 – MODELAGEM DO SISTEMA	27
3. 1 – INTRODUÇÃO	27
3. 2 – BASE DE DADOS	27
3. 3 – ESTUDO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM NA ESCOLHA DE UM SISTEMA DE PROJEÇÃO	29
3.3.1 – Método AHP – Analytic Hierarchy Process.....	29
3.3.2 – Implementação do AHP no <i>software</i> CDP.....	30
3.3.3 – Síntese dos resultados.....	32
3.4 – SISTEMA DE INFERÊNCIA NEBULOSO	33
3.4.1 – Sistema Nebuloso Equivalente.....	36
3.4.2 – Sistema Nebuloso Equidistante	41
3.4.3 – Sistema Nebuloso Conforme.....	49
3. 5 – COMENTÁRIOS.....	55

Capítulo 4 – PROJETO LÓGICO DO PROTÓTIPO SINPROJ	56
4.1 INTRODUÇÃO	56
4.2 CASOS DE USO.....	57
4.2.1 – Definição dos atores	57
4.2.2 – Diagrama de casos de uso.....	58
4.2.3 – Lista de casos de uso	58
4.2.4 – Especificação dos casos de uso	59
4.3 DIAGRAMA DE CLASSES	66
4. 4 MODELO DE ENTIDADES E RELACIONAMENTOS	66
4. 5 COMENTÁRIOS.....	67
Capítulo 5 – CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS.....	72
APÊNDICE.....	75
APÊNDICE A : PROTÓTIPO DO SISTEMA SINPROJ	75
ANEXOS	79
ANEXO A: QUADRO DOS SISTEMAS DE PROJEÇÃO EQUIVALENTES.....	79
ANEXO B: QUADRO DOS SISTEMAS DE PROJEÇÃO EQUIDISTANTES.....	82
ANEXO C: QUADRO DOS SISTEMAS DE PROJEÇÃO CONFORMES.....	85
ANEXO D: PROCESSAMENTO DOS DADOS NO SOFTWARE CDP	88
ANEXO E: MODELOS HIERÁRQUICOS DAS PROJEÇÕES	90
ANEXO F: QUADROS COM OS PESOS RELATIVOS DAS ALTERNATIVAS PARA PROJEÇÕES EQUIDISTANTES, EQUIVALENTES E CONFORMES	92
ANEXO G: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO.....	95

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 – APRESENTAÇÃO

A confecção de um mapa exige, antes de tudo, o estabelecimento de um método, segundo o qual, a cada ponto da Terra, corresponda um ponto da mapa e vice-versa. Diversos métodos podem ser empregados para se obter essa correspondência de pontos, constituindo os chamados “sistemas de projeções”.

Cada Sistema de Projeção tem suas equações próprias, de modo a garantir que cada ponto na superfície real tenha um único correspondente no plano, sendo a recíproca verdadeira, caracterizando uma função bijetora. É impossível proceder a transformação da superfície real no plano, sem qualquer deformação e alteração das características geométricas reais da Terra. Portanto, a escolha da projeção cartográfica adotada na representação de uma região da superfície terrestre é algo de extrema importância e dependerá principalmente do objetivo do usuário final (PEARSON, 1990).

1.2 – MOTIVAÇÃO

Young (1920) propôs uma regra para a escolha da classe da projeção, considerando-se a forma e as dimensões da região a ser representada, não se limitando a analisar apenas a localização da região de interesse no globo terrestre. A Regra de Young baseia-se na comparação entre a distância radial máxima (z), ou seja, a distância do centro da área ao seu ponto mais extremo, com a largura mínima (δ), dimensão esta que deve passar pelo centro da área a ser representada. Com seus estudos, Young concluiu que:

- ✓ Quando $z/\delta < 1,41$, então a projeção azimutal é a mais adequada, e
- ✓ Quando $z/\delta > 1,41$, as projeções cônicas ou cilíndricas são mais adequadas.

Mais tarde, em 1957, Ginzburg e Salmanova ampliaram os estudos de Young, propondo um método para escolha da propriedade da projeção. Ginzburg e Salmanova concluíram que para os intervalos $0^\circ < z < 25^\circ$ e $0^\circ < \delta < 35^\circ$, as seguintes relações são válidas:

- ✓ $z/\delta = 1,41$ recomenda-se a projeção conforme;
- ✓ $z/\delta = 1,73$ recomenda-se a projeção eqüidistante;
- ✓ $z/\delta = 2,00$ recomenda-se a projeção equivalente.

Em 1990, Pearson apresenta uma proposta que analisa a localização da área a ser representada, porém especificando determinadas projeções, não se limitando a indicar superfícies de projeção, conforme exemplificado abaixo para as projeções conformes:

Projeção	Região a ser representada			
	Polar	Média latitude	Equatorial	Transversa
Mercator Normal			X	
Mercator Oblíqua		X	X	
Mercator Transversa				X
Lambert Conforme (1 ou 2 paralelos padrões)		X		
Estereográfica Polar	X			
Estereográfica Oblíqua		X		
Estereográfica Equatorial			X	

Quadro 1.1: Sugestões de Projeções Conformes

Mailing, em 1992, apresenta uma abordagem geral para seleção da superfície de projeção a ser utilizada, observando-se a localização da área a ser representada:

- Quando a área a ser representada situa-se na zona tropical, recomenda-se uma projeção cilíndrica;
- Quando a área a ser representada situa-se na zona temperada, recomenda-se uma projeção cônica;
- Quando a área a ser representada situa-se na zona polar, recomenda-se uma projeção azimutal.

Cumprе salientar que esta abordagem considera apenas o aspecto normal das superfícies, deixando de lado os aspectos transverso e oblíquo.

O grande desafio é maximizar a eficiência, por intermédio do desenvolvimento de um sistema computacional que implemente a técnica de Inteligência Computacional denominada Lógica Nebulosa (ou Lógica *Fuzzy*), na seleção da projeção cartográfica mais adequada para representação de uma Região da Superfície Terrestre.

1.3 – OBJETIVO

Selecionar a projeção cartográfica mais adequada para representação de uma região da superfície terrestre, visando a atingir os objetivos do usuário final da mapa, utilizando-se a técnica de Inteligência Computacional denominada Lógica Nebulosa.

1.4 – CONTRIBUIÇÕES

O emprego da técnica de Inteligência Computacional denominada Lógica Nebulosa como ferramenta para subsidiar a seleção de projeção cartográfica foi inicialmente publicada para projeções equivalentes em (NETTO e SOUZA, 2007). Logo em seguida, a mesma técnica foi aplicada para as projeções eqüidistantes em (NETTO, 2007) e para as projeções conformes (NETTO, SOUZA e FILHO, 2007).

No que tange à especificação de Projeção Cartográfica no software livre MapServer utilizando-se a Biblioteca Proj.4 , foi publicada em (NETTO, RIBEIRO, 2007) .

1.5 – SUMÁRIO

No Capítulo 2 serão lançados os fundamentos básicos referentes aos Sistemas de Projeção Cartográfica, no que tange à escolha e às propriedades de um sistema de projeção, objetivando a proporcionar um perfeito entendimento dessa matéria. Serão lançados, ainda, alguns conceitos concernentes à Lógica Nebulosa.

No Capítulo 3, será apresentada a base de dados utilizada para a elaboração deste trabalho. Também será exposto um estudo dos fatores que influenciam na escolha de um sistema de projeção cartográfica, por intermédio do software “Criterium DecisionPlus”. No final desse capítulo, serão detalhados os Sistemas de Inferência Nebulosos para as projeções equivalentes, eqüidistantes e conformes, utilizando-se a ferramenta computacional MatLab.

No Capítulo 4 será apresentada a seqüência de atividades desenvolvidas para a construção do Projeto Lógico do Sistema de Inferência Nebuloso de Apoio à Seleção de Projeção Cartográfica para a Representação de uma Região da Superfície Terrestre (SINPROJ). Visando a demonstrar a viabilidade do projeto, será elaborado um protótipo descartável do software.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2. 1 – INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão discutidos e apresentados os fundamentos básicos referentes aos Sistemas de Projeção Cartográfica, no que tange à escolha e às propriedades de um sistema de projeção, objetivando a proporcionar um perfeito entendimento dessa matéria. Por último, será exposta uma visão geral sobre a técnica de Inteligência Computacional denominada Lógica Nebulosa (ou Lógica Fuzzy).

2. 2 – SISTEMAS DE PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS

2. 2.1 – ESCOLHA DE UM SISTEMA DE PROJEÇÃO

A construção de um mapa requer a seleção de um sistema de projeção. Este sistema será escolhido de maneira que o mapa venha a possuir as propriedades que satisfaçam às finalidades propostas para sua utilização.

Cada projeção tem características distintas, de modo a torná-la adequada para determinados usos, embora nenhuma projeção possa atender completamente a todas as condições desejáveis. As características distintas de cada sistema de projeção são mais notáveis em mapas que representam grandes áreas. O ideal seria construir um mapa que reunisse todas as propriedades, representando uma superfície rigorosamente semelhante à superfície da Terra. Este mapa deveria possuir as seguintes propriedades:

- ✓ Representação dos ângulos sem deformação e, em decorrência, manutenção da verdadeira forma das áreas a serem representadas (conformidade).
- ✓ Inalterabilidade das dimensões relativas das mesmas (equivalência).
- ✓ Constância das relações entre as distâncias dos pontos representados e as distâncias dos seus correspondentes na superfície da Terra (eqüidistância).
- ✓ Representação dos círculos máximos por meio de linhas retas.
- ✓ Representação das loxodromias (linhas de rumo) por linhas retas.
- ✓ Facilidade de obtenção das coordenadas geográficas dos pontos e vice-versa.

As propriedades acima relacionadas seriam facilmente conseguidas se a superfície da Terra fosse plana ou uma superfície desenvolvível. Como não é o caso, torna-se impossível a construção do mapa ideal, isto é, do mapa que reúna todas as condições desejáveis.

A solução será, portanto, construir um mapa que, sem possuir todas as condições ideais, possua aquelas que satisfaçam a um determinado objetivo. É, pois, necessário, ao se fixar o sistema de projeção escolhido para representar determinada região, considerar o fim a que se destina o mapa, para, então, estabelecer quais as deformações que poderão ser admitidas, quais as que terão de ser anuladas e que propriedades deverão ser preservadas.

As Normas Cartográficas Brasileiras prescrevem o Sistema de Projeção Conforme UTM (“Universal Transverse Mercator”), para ser utilizada no mapeamento sistemático, que abrange as escalas de 1/250.000 a 1/25.000. Este sistema consiste em representar a superfície terrestre projetada sobre um cilindro secante à Terra em 2 (dois) meridianos, ficando o eixo do cilindro transversal ao eixo da Terra. O sistema de projeção UTM tem as seguintes características:

- ✓ Não deforma ângulos e pequenas áreas;
- ✓ A variação de escala independe da direção e especificações;
- ✓ A projeção adotada é a Conforme de Gauss;
- ✓ O fator de redução de escala no meridiano central do fuso (k_0) é 0,9996;
- ✓ Fusos de 6(seis) graus de amplitude limitados por meridianos nas longitudes múltiplas de 6(seis) graus;
- ✓ Origem das coordenadas planas, em cada fuso, acrescidas as constantes + 10.000.000 de metros (no hemisfério Sul) no sentido do meridiano e + 500.000 no sentido do paralelo; e
- ✓ 60 (sessenta) fusos de projeção limitados pelas latitudes: 84 (oitenta e quatro) graus ao Norte e 80 (oitenta) graus ao Sul.

Na Figura 2.1 está representado um fuso UTM.

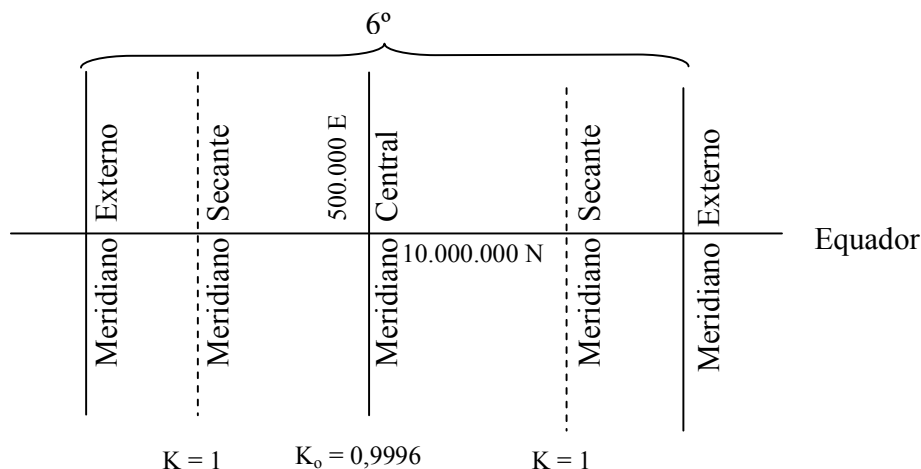


Figura 2.1 - O fuso UTM

Para os mapeamentos executados nas escalas maiores que 1/25.000, não há nenhuma prescrição nas normas supracitadas. Atualmente, são utilizadas no Brasil as projeções para mapeamento em escalas grandes, a saber: Gauss-Krüger, LTM (“Local Transversa de Mercator”), RTM (“Regional Transversa de Mercator”) e PGB (“Projeção Brasileira de Gauss”), dentre outras.

Cumprе salientar que é viável, em alguns casos, o emprego do Sistema UTM para mapeamento topográfico a grande escala, levando-se em conta a localização da área de trabalho no fuso UTM, a escala considerada na representação cartográfica, bem como a altitude média da referida área, conforme demonstrado em (NETTO,1994) e recentemente citado em (SILVA, 2007).

2. 2.2 – CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE PROJEÇÃO

Diferentes projeções cartográficas podem ser concebidas com base em diferentes relacionamentos espaciais entre ângulos, comprimentos ou áreas da superfície terrestre e suas representações cartográficas.

Segundo (BAKKER,1965), os sistemas de projeção cartográfica são classificados quanto ao método de construção, à superfície de projeção adotada, à situação da superfície de projeção e às propriedades. A seguir, será detalhada a classificação dos sistemas de projeção quanto às propriedades, uma vez que a referida classificação será utilizada neste trabalho.

As projeções são classificadas, segundo as propriedades que conservam, em: **eqüidistantes, equivalentes, conformes e afiláticas**. (BAKKER,1965)

As projeções **eqüidistantes** são as que não apresentam deformações lineares, isto é, os comprimentos são representados em escala uniforme. A condição de eqüidistância só é obtida em determinada direção e, de acordo com essa direção, as projeções eqüidistantes se dividem em eqüidistantes meridianas, eqüidistantes transversais e eqüidistantes azimutais.

As projeções eqüidistantes meridianas são aquelas em que há eqüidistância segundo os meridianos. As projeções eqüidistantes transversais são as que apresentam eqüidistância segundo os paralelos. As projeções eqüidistantes azimutais ou eqüidistantes ortodrômicas são as que não apresentam distorções nos círculos máximos que passam pelo ponto de tangência. As projeções eqüidistantes azimutais são sempre projeções planas.

As projeções **equivalentes** são as que não deformam as áreas, isto é, as áreas no mapa guardam uma relação constante com as suas correspondentes na superfície da Terra.

As projeções **conformes** são as que não deformam os ângulos e, decorrente dessa propriedade, não deformam também a forma das pequenas áreas. As projeções azimutais podem ser consideradas como conformes, em virtude da propriedade que possuem de não deformarem os ângulos (azimutes) em torno do ponto de tangência. Porém, nem todas as projeções azimutais são conformes em toda extensão.

As projeções **afiláticas** são aquelas em que os comprimentos, as áreas e os ângulos não são conservados.

2.3 – LÓGICA NEBULOSA

A Inteligência Computacional envolve o estudo da teoria e de aplicações de técnicas computacionais denominadas inteligentes, tais como: Redes Neurais, Lógica Nebulosa e Computação Evolucionária. A Inteligência Computacional busca, através dessas técnicas, o desenvolvimento de sistemas inteligentes que imitem aspectos do comportamento humano, tais como: aprendizado, percepção, raciocínio, evolução e adaptação.

O uso de técnicas de Inteligência Computacional (I.C.) têm tido uma abrangência cada vez maior na área de conhecimento da Geomática. Dentre elas, se destacam, as Redes Neurais Artificiais, os Sistemas de Inferência Nebulosos e os Sistemas Híbridos Neuro-Fuzzy.

2.3.1 – HISTÓRICO

Como todo conceito revolucionário, a Lógica Nebulosa enfrentou resistências das mais variadas, principalmente das correntes mais conservadoras do mundo acadêmico. Assim sendo, a Lógica Nebulosa cresceu inicialmente na indústria, para só mais tarde ser aceita nos meios acadêmicos.

Em 1965 , a Teoria dos Conjuntos Nebulosos foi criada por Lotfi A. Zadeh. Em 1974, foi criado o primeiro controlador nebuloso por Mamdani. Em 1994 , o Japão exportou 35 (trinta e cinco) bilhões de dólares em equipamentos com Lógica Nebulosa ou Neuro-Fuzzy embutidos.

Um exemplo prático dos referidos equipamentos é o condicionador de ar que percebe as variações de temperatura do ambiente e reage a elas , privilegiando a economia de energia e o conforto sonoro. Assim, além de gerar mais conforto térmico, ele se torna mais fácil de usar, não sendo necessário decidir se quer que o aparelho resfrie o ambiente, basta indicar a temperatura desejada e ele faz tudo automaticamente.

2.3.2 – APLICAÇÕES

Dentre as principais aplicações práticas da Lógica Nebulosa, pode-se destacar:

- ✓ Sistemas de Controle de Guindastes;
- ✓ Sistemas de formação de preços;
- ✓ Sistemas de Controle de Metrô;
- ✓ Controle de Anestesia;
- ✓ Sistemas de Tomada de Decisão;
- ✓ Freios ABS;
- ✓ Sistemas de Reconhecimento de Padrões;
- ✓ Sistemas de Análise de Crédito Financeiro;
- ✓ Sistemas de Mineração de Dados (Extração de Conhecimento);
- ✓ Sistemas de Diagnóstico Médico ; e
- ✓ Modelagem de Sentimentos e Emoções em Computador.

2.3.3 – FUNDAMENTOS

Lógica nebulosa (OLIVEIRA, 1999) é o conjunto de métodos baseados no conceito de *conjuntos e operações nebulosos*, que possibilitam a modelagem realista e flexível dos sistemas. Ela é uma técnica que busca capturar conceitos imprecisos e próprios da experiência humana, como “quente”, “frio”, “alto”, “baixo”, “caro”, “barato” etc, e colocá-los em sistemas computacionais. Suas principais aplicações encontram-se atualmente em sistemas de controle de processos como controle de tráfego urbano, injeção eletrônica de combustível em veículos automotivos etc., em sistemas de apoio à decisão como sistemas de análise e liberação de crédito pessoal e de formação de preços de produtos.

Ainda, segundo OLIVEIRA (1999), *raciocínio nebuloso* é uma metodologia de inferência que utiliza conceitos e ferramentas da lógica nebulosa para chegar a uma conclusão partindo-se de algumas premissas. Desta forma, de posse de um conjunto de regras de proposições e conclusões chamadas de *regras lingüísticas*, combinadas por operadores nebulosos, infere-se um conjunto nebuloso, do qual pode-se extrair um valor preciso que venha a ser o resultado da análise. No presente trabalho, esta técnica será aplicada no processo para subsidiar a seleção de projeção cartográfica para a representação de uma região da superfície terrestre.

Na matemática clássica, um conjunto é definido como uma coleção de elementos distintos ou objetos que pode ser finita ou não. Tal conjunto pode ser descrito de várias maneiras, como, por exemplo, enumerando cada um de seus elementos ($A = \{1,2,3,4\}$), ou então, a partir de uma condição de pertinência ($A = \{x \in \mathbf{N} \mid x < 5\}$).

Ao usar a descrição a partir de uma condição de pertinência, se um elemento x causar a avaliação dessa condição como verdadeira, então ele pertence ao conjunto; se a avaliação for falsa, então ele não fará parte do conjunto. Para caracterizar o valor-verdade da condição de pertinência, pode-se empregar uma função que retorna **1**, se essa condição for verdadeira, e **0** em caso contrário.

De acordo com a teoria dos conjuntos nebulosos (ZIMMERMAN, 1985), a função de pertinência não retorna apenas os valores **0** ou **1**, mas qualquer outro valor do intervalo **[0,1]**, o que significa que pode haver vários *graus de pertinência*. Olhando a definição dos conjuntos nebulosos, eles podem ser vistos como um conjunto de pares formados pelos elementos do conjunto nebuloso juntamente com seus graus de pertinência. Desta forma, o

conjunto nebuloso \tilde{A} dos números naturais mais próximos de 4 pode assumir a seguinte notação:

$$\tilde{A} = \{(1,0.3), (2,0.6), (3,0.8), (4,1.0), (5,0.8), \dots\} \quad (2.1)$$

Como se observa, 4 é o número mais próximo de 4, logo ele recebe o grau de pertinência 1.0, enquanto os outros números que se afastam de 4 vão recebendo graus de menor valor. Outra forma de se representar um conjunto nebuloso é usando-se a notação abaixo:

$$\tilde{A} = \{ (x, \mu_{\tilde{A}}(x)) / x \in X \} \quad (2.2)$$

Onde o termo $\mu_{\tilde{A}}$ é a função de pertinência que estabelece o grau de pertinência de cada elemento do conjunto nebuloso. Quando $\mu_{\tilde{A}}$ possui apenas os dois pontos 0 e 1, \tilde{A} não pode ser considerado um conjunto nebuloso, sendo normalmente chamado de conjunto *crisp* (clássico ou preciso). A função de pertinência, que descreve explicitamente graus de pertinência dos elementos do conjunto do exemplo acima, pode, também, ser fornecida analiticamente.

A Teoria dos Conjuntos Nebulosos tem vários sub-ramos, entre eles, a Aritmética Nebulosa, a Programação Matemática Nebulosa, a Teoria de Grafos Nebulosos e a Lógica Nebulosa. É comum empregar o termo Lógica Nebulosa, tanto no seu sentido mais restrito, referindo-se à lógica do raciocínio aproximado, como num sentido mais amplo, praticamente como sinônimo da própria Teoria dos Conjuntos Nebulosos (ZADEH, 1965).

A Lógica Nebulosa é uma aplicação da teoria dos conjuntos nebulosos. Dentro do estudo da Lógica Nebulosa e do raciocínio nebulosos, é bastante utilizado um objeto conhecido como *variável lingüística*, também chamada de variável de ordem mais alta. Essas variáveis não possuem números como valores, mas termos ou sentenças de uma linguagem natural ou artificial.

Uma variável lingüística é definida por uma quintupla $(x, T(x), U, G, M)$ onde:

- ✓ $T(x)$ denota o conjunto de termos de x , isto é, o conjunto de nomes dos termos lingüísticos de x com cada termo sendo um conjunto nebuloso;

- ✓ U é o universo de discurso dos conjuntos nebulosos que formam os termos de $T(x)$, isto é, o intervalo entre os valores mínimo e máximo que a variável lingüística pode assumir;
- ✓ G é a regra sintática, que usualmente tem a forma de uma gramática, para gerar os nomes dos valores lingüísticos;
- ✓ $M(x)$ é a regra semântica que atribui um significado ao termo X do conjunto $T(x)$, ou seja, $M(x)$ é um subconjunto nebuloso de U.

Como exemplo, pode-se citar a variável lingüística com rótulo $x = velocidade$, com conjunto de termos $T(velocidade) = \{Muito Lenta, Lenta, Rápida, Muito Rápida\}$, universo de discurso $U = [10\text{Km/h}, 120\text{Km/h}]$ e um dos valores $M(x)$ como mostrado abaixo.

$$M(lenta) = \{ (\mu, \mu_{lenta}(\mu)) / \mu \in [10 \text{ Km/h}, 120 \text{ Km/h}] \} \quad (2.3)$$

A Lógica Nebulosa normalmente é empregada na construção dos chamados Sistemas de Lógica Nebulosa (MENDELL, 1995), representados pela Figura 2. 2. Nesses sistemas, são fornecidas entradas precisas para um módulo **codificador**, que, por sua vez, fornece os graus de pertinência dos elementos dos conjuntos nebulosos para uma máquina de inferência, o qual processa a aplicação de uma regra do tipo **SE-ENTÃO**, constituída de proposições, envolvendo termos de variáveis lingüísticas. Após o processamento de uma regra, o valor nebuloso, obtido como resposta da inferência, é decodificado, obtendo-se, dessa forma, a saída precisa do sistema.

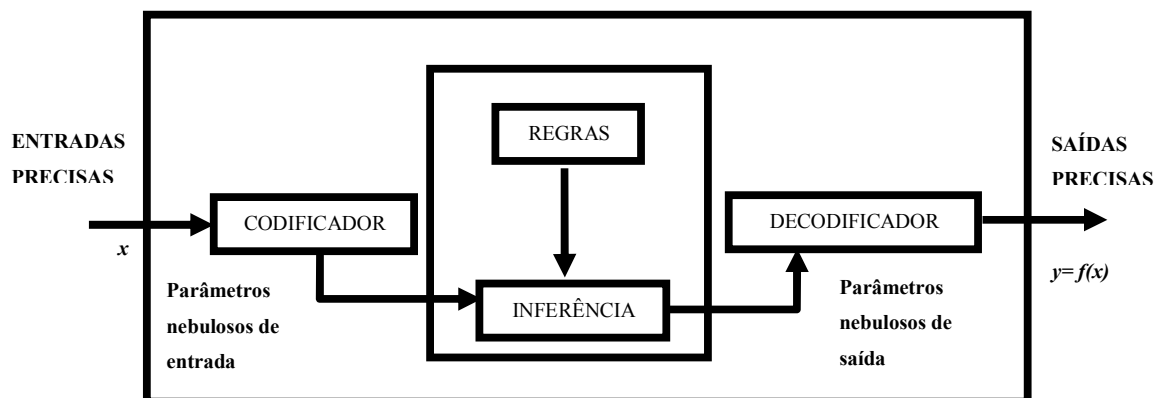


Figura 2.2 - Sistema de Lógica Nebulosa

O **codificador** mapeia um valor preciso (*crisp*) $x \in X$ para um conjunto nebuloso \tilde{A} em X . Uma entrada precisa pode ser codificada, seguindo o método singleton, trapezoidal,

triangular ou gaussiano. O método mais usado é o singleton que nada mais é do que criar o conjunto nebuloso \tilde{A} com sua função de pertinência assumindo valor **1** no ponto de X em que o parâmetro tem a sua definição e, nos demais pontos, o valor da pertinência seria **0**.

A **decodificação** pode ser feita, por exemplo, através do valor máximo, da média de valores máximos ou por meio do cálculo do centróide (MENDEL, 1995). O método do centróide baseia-se no cálculo do centro de gravidade conforme a expressão mostrada abaixo.

$$\bar{x} = \frac{\int_s x \mu_{\tilde{A}}(x) dx}{\int_s \mu_{\tilde{A}}(x) dx} \quad (2.4)$$

Na expressão (2.4), \bar{x} é o valor **decodificado** de uma dada variável que corresponde ao centro de gravidade (centróide) do conjunto nebuloso com função de pertinência $\mu_{\tilde{A}}(x)$ e suporte S .

Resumidamente, pode-se afirmar que o processo de inferência nebuloso consiste da determinação de uma saída precisa, a partir de um valor de entrada, utilizando-se a lógica nebulosa. No software MatLab 7.0, podem ser implementados 2(dois) métodos para o processo de inferência nebuloso, quais sejam: Mamdani e Sugeno, sendo o primeiro o método mais comum. Desenvolvido em 1985, o Método de Sugeno é semelhante ao de Mamdani, que foi proposto em 1975, em muitos aspectos. As duas primeiras partes do processo de inferência nebuloso (codificação das informações não nebulosas ou determinísticas e aplicação dos operadores nebulosos), são exatamente as mesmas. A principal diferença entre Mamdani e Sugeno é que a saída do sistema nebuloso de Sugeno pode ser uma combinação linear das entradas ou constante. Neste trabalho, utilizou-se o Método de Mamdani para o desenvolvimento dos sistemas de inferência nebuloso de apoio à seleção de projeção cartográfica equivalente, equidistante e conforme para a representação de uma região da superfície terrestre.

2.4 – COMENTÁRIOS

Nesse capítulo foi apresentada uma visão panorâmica a respeito dos conceitos utilizados para dar embasamento à metodologia desenvolvida nesta dissertação. No capítulo seguinte, será apresentada a maneira como esses conceitos foram utilizados para o desenvolvimento de um sistema de lógica nebulosa que tem por finalidade dar apoio à seleção de projeção cartográfica para a representação de uma região da superfície terrestre.

CAPÍTULO 3 – MODELAGEM DO SISTEMA

3.1 – INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão discutidas e apresentadas as principais características dos Sistemas de Inferência Nebulosos desenvolvidos, utilizando-se a ferramenta Fuzzy do software MatLab (versão 7.0), quais sejam: Eqüidistante, Conforme e Equivalente, que são o principal fundamento deste trabalho. Também serão expostos neste capítulo os resultados obtidos na determinação dos fatores que influenciam na escolha do Sistema de Projeção, utilizando-se o software “Criterium DecisionPlus” versão 3.0.4/S (*Student Version*). Será apresentada, ainda, a origem da amostra de projeções cartográficas utilizadas como base de dados no presente trabalho.

Cumpre salientar que as projeções afiláticas não serão objeto deste trabalho, em função das características das mesmas, quais sejam: a não conservação dos comprimentos, nem das áreas e nem dos ângulos.

3.2 – BASE DE DADOS

O Comitê OGP *Surveying and Positioning* foi formado em 2005, absorvendo o extinto European Petroleum Survey Group (EPSG), que havia sido formado em 1986. O referido comitê possui especialistas de empresas membros do OGP nas áreas de geodésia, cartografia, entre outras. As reuniões do comitê são realizadas duas vezes por ano.

Apesar da extinção do EPSG (1986-2005), o repositório de parâmetros requeridos para definir transformações e conversões que permite alterações das coordenadas de um sistema de projeção para outro continua a ser conhecido como EPSG *Geodetic Parameter Dataset*.

O referido repositório é mantido pela Subcomissão de Geodésia da OGP. A versão do EPSG *Geodetic Parameter Dataset* utilizada neste trabalho é a 6.10.1, de 23/05/06, e foi obtida diretamente no seguinte endereço da Internet <http://www.epsg.org/>, no formato *.zip, conforme a Figura 3.1, a seguir:

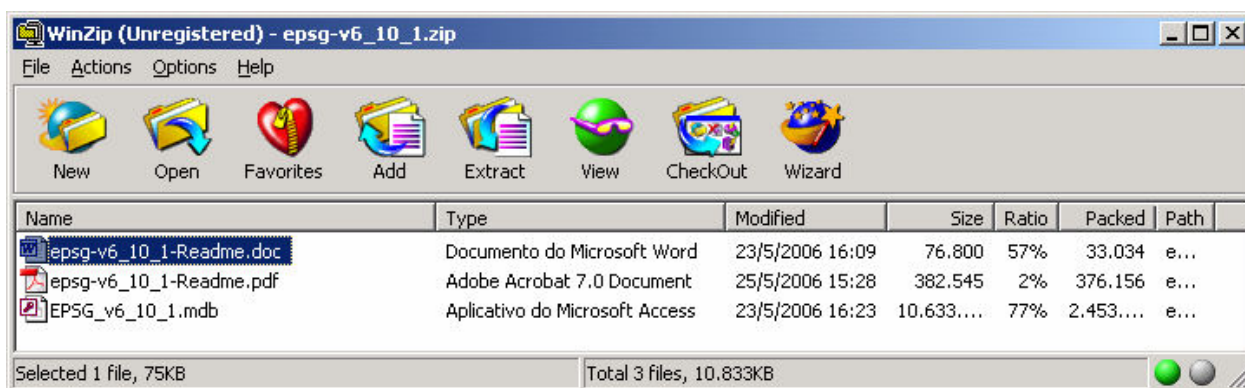


Figura 3.1 - Arquivos do epsg v6_10_1. zip

Cumprе salientar que a 6.14 (Setembro/07) é a versão atual do EPSG *Geodetic Parameter Dataset*.

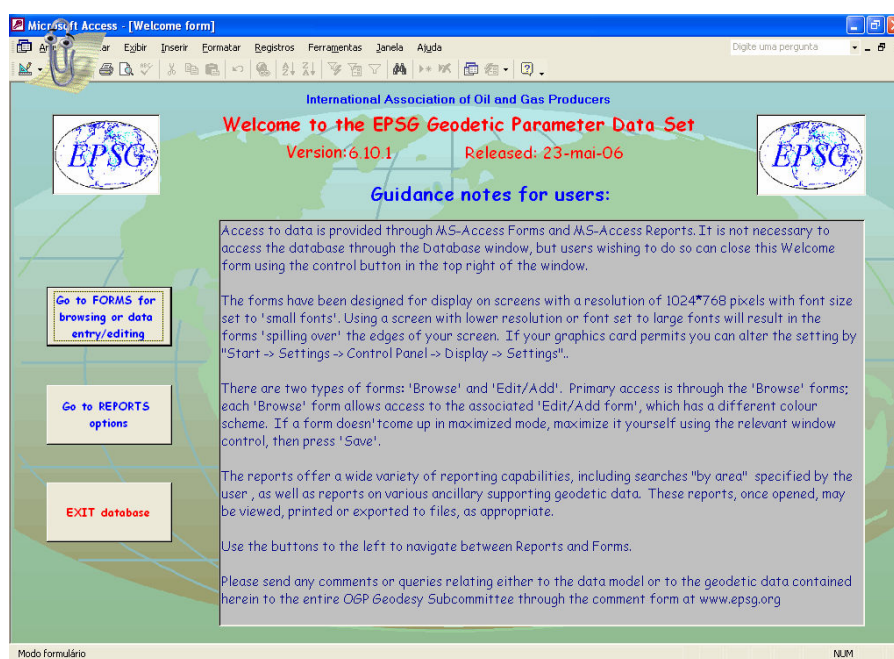


Figura 3.2 - Página Principal do Banco de dados do EPSG

Após a análise da base de dados do EPSG supracitada e da bibliografia existente, foram selecionadas as projeções cartográficas para o presente trabalho, observando-se as propriedades das mesmas, quais sejam: equivalentes, equidistantes e conformes. As características dessas projeções encontram-se relacionadas, respectivamente, nos anexos A, B e C.

3.3 – ESTUDO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM NA ESCOLHA DE UM SISTEMA DE PROJEÇÃO

Segundo BAKKER (1965), os fatores ou variáveis que podem influenciar na escolha de um sistema de projeção adequado são: localização, forma e dimensões da região a representar e a finalidade a que se destina o mapa.

Neste trabalho será apresentada uma abordagem multicritérios na questão da determinação das variáveis lingüísticas de um Sistema de Inferência Nebuloso, utilizando-se uma ferramenta computacional de suporte à decisão, que irá proporcionar uma perfeita avaliação da tomada de decisão, no que tange à escolha das variáveis lingüísticas supracitadas.

A abordagem multicritérios se constitui em formas de modelar os processos de decisão, onde entram em jogo: uma decisão a ser tomada, os eventos desconhecidos que podem afetar os resultados, os possíveis cursos de ação e os próprios resultados. Estes modelos refletem, de maneira suficientemente estável, o juízo de valores dos tomadores de decisão.

3.3.1 – MÉTODO AHP – ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

Um dos principais métodos multicritérios de análise de decisão é o AHP – *Analytic Hierarchy Process*. Ele foi desenvolvido por Thomas L. Saaty em meados da década de 1970 no intuito de promover a superação das limitações cognitivas dos tomadores de decisão. É aplicado para sistematizar uma ampla gama de problemas de decisão nos contextos: econômico, político, social e ambiental, devido a sua simplicidade, robustez e capacidade de avaliar fatores qualitativos e quantitativos sejam eles tangíveis ou intangíveis (SHIAU *et al.*, 2002).

Existem no mercado alguns programas, como AUTOMAN, *Criterium*, *Expert Choice*, HIPRE3+ e NCIC que implementam o AHP. Dentre eles, o mais utilizado é o *Expert Choice*, entretanto o preço da licença comercial é elevado.

Uma outra opção para implementar o uso do AHP é o *software Criterium*. O *Criterium DecisionPlus (CDP)* é uma versátil ferramenta computacional que ajuda os usuários a fazer complexas decisões entre alternativas envolvendo múltiplos critérios..

Ela é bastante utilizada nos Estados Unidos (EUA). Dentre os vários exemplos de aplicações práticas desta ferramenta, destacam-se (HAERER, 2000):

- ✓ Seleção da rota de um encanamento de combustível através de *habitats* marinhos na construção de um aeroporto internacional;
- ✓ Avaliação das opções de compra, aluguel, venda e construção para as matrizes de uma companhia de óleo;
- ✓ Reestruturação e consolidação de organizações de primeira linha para uma agência do governo;
- ✓ Consolidação de base de dados de uma companhia aeroespacial;
- ✓ Priorização de projetos de reuso da água;
- ✓ Seleção de estratégias e tecnologias corretivas para vários locais de ocorrência de vazamentos de esgoto;
- ✓ Priorização de melhorias ambientais para uma indústria de papel e celulose;
- ✓ Avaliação das opções de gerenciamento de esgoto para uma vasta área metropolitana; e
- ✓ Avaliação de alternativas políticas de uma agência federal.

Observa-se, ainda, que o programa pode ser aplicado para solução de problemas em várias áreas do conhecimento. Isto se deve à combinação das seguintes características: facilidade de uso, alto poder de análise e extensa interface gráfica.

Além dos aspectos positivos citados, o programa possui uma versão gratuita, restrita ao uso acadêmico. Por esta razão, optou-se por utilizar o *Criterium Decision Plus* (CDP) para realizar um estudo de caso, no intuito de consolidar os aspectos conceituais abordados nesta dissertação, no que tange aos fatores (variáveis) que podem influenciar na escolha do sistema de projeção adequado.

3.3.2 – IMPLEMENTAÇÃO DO AHP NO SOFTWARE CDP

Para efeito deste trabalho, a identificação de alternativas e critérios, da determinação dos pesos relativos dos critérios, bem como dos pesos relativos das alternativas foram atribuídos pelo próprio autor. Cumpre ressaltar que todas as informações necessárias para a perfeita manipulação do software *Criterium DecisionPlus* (CDP) foram, também, inseridas pelo próprio autor. As telas de abertura do referido software e dos procedimentos mencionados neste subitem estão representados nas Figuras 1D a 4D, no Anexo D..

As Projeções Cartográficas foram divididas em 03 (três) grupos (critérios) em função da sua propriedade (eqüidistante, equivalente e conforme). Para cada grupo (critério), foram considerados os blocos (sub-critérios) como entrada no software “Criterium DecisionPlus” versão 3.0.4/S (Student Version), conforme discriminado no Quadro 3.1 abaixo.

Critério	Sub-critérios
Equivalente	Variação de Latitude e Variação de Longitude
Eqüidistante	Variação de Latitude ,Variação de Longitude e Latitude Média
Conforme	Escala e Latitude Média

Quadro 3.1 : Critérios e sub-critérios utilizados

Em seguida, foram desenvolvidas as estruturas hierárquicas dos modelos para as Projeções Equivalente, Eqüidistante e Conforme, que estão representadas, respectivamente, nas Figuras 1E, 2E e 3E, do Anexo E.

Após a estruturação do modelo, iniciou-se a fase da determinação dos pesos relativos dos critérios. A importância relativa dos critérios para a decisão foi determinada atribuindo-se um peso para cada critério ou sub-critério. No programa, este procedimento é chamado de “*rating set*”. Sua execução exige a seleção de um método para a realização das comparações. Para o estudo de caso, optou-se pelo método “*direct*”, por exigir somente julgamentos subjetivos ou a intuição para determinar a importância de um critério em relação a outro.

Com base nas alternativas e critérios previamente definidos pelo autor, os valores dos pesos das alternativas em relação a cada critério foram inseridos no programa no campo denominado “*score*”, numa escala numérica de 0 a 100, como mostra a Figura 4D, no Anexo D. Cumpre salientar que os Quadros com os pesos relativos das alternativas para projeções eqüidistantes, equivalentes e conformes atribuídos pelo autor encontram-se discriminados no Anexo F.

Por fim, foi necessário verificar a validade dos resultados, examinando se a intuição sobre a determinação dos sub-critérios (variáveis lingüísticas) estava compatível com o critério (equivalente, eqüidistante e conforme) selecionado. O programa *Criterium Decision Plus* também possui algumas opções visando a auxiliar na validação dos resultados. Uma

delas é a Análise de Sensibilidade, cujo objetivo principal é melhorar a estrutura do modelo, por intermédio da interpretação dos resultados e reavaliação dos critérios.

O referido programa gera um gráfico para cada critério, como mostram as Figuras 1G a 7G, no anexo G, que indicam como mudanças nos pesos dos critérios afetariam a decisão. Para determinar estas variações, o programa calcula um valor, em termos percentuais, denominado “*crossover percentage*”. Esta porcentagem representa a proximidade do ponto em que há alteração na ordem de prioridade das alternativas. Baixos valores indicam maior sensibilidade do critério a mudanças nos pesos. Isto implica que pequenas alterações nos pesos dos critérios ocasionam grandes variações nos escores de decisão, fazendo com que outra alternativa passe a ser preferida.

Neste trabalho, a fim de verificar a viabilidade dos resultados obtidos, foi considerado que o modelo é estável quando o “*crossover percentage*” é superior a 5% (cinco por cento), conforme preconiza o programa utilizado.

3.3.3 – SÍNTESE DOS RESULTADOS

O Quadro 3.2, a seguir, apresenta as porcentagens obtidas com a utilização do software “Criterium DecisionPlus”. Estes resultados demonstram que a variável “variação de longitude” para a propriedade “eqüidistante” é mais sensível a mudanças em seus pesos, todavia verifica-se que o seu “*crossover percentage*” (33,3%) comparado ao valor de referência (5%) é muito maior.

Propriedade (Critério)	Variáveis (Sub-critério)	<i>Crossover Percentage (%)</i>	Valor de Referência (%)
Equivalente	Variação de Latitude	57,3	5
	Variação de Longitude	57,3	
Eqüidistante	Variação de Latitude	66,7	
	Variação de Longitude	33,3	
	Latitude Média	66,7	
Conforme	Escala	73,8	
	Latitude Média	73,8	

Quadro 3.2: Quadro Resumo dos resultados obtidos com o software CDP

Diante do exposto, conclui-se que os resultados apresentados no Quadro 3.2 mostraram-se satisfatórios e deram embasamento à utilização da ferramenta “Criterium DecisionPlus” para subsidiar a determinação das variáveis lingüísticas de um Sistema de Inferência Nebuloso para a escolha da projeção cartográfica visando à representação de uma região da superfície terrestre, por intermédio de um enfoque científico.

3.4 – SISTEMA DE INFERÊNCIA NEBULOSO

Os sistemas de inferência nebulosos (SIN) foram desenvolvidos com o uso da ferramenta “Fuzzy” do MatLab - versão 7.0. Ao todo são 3 (três) módulos de inferência que funcionam independentemente, cada um deles possuindo seu próprio conjunto de regras de inferência e seu próprio conjunto de variáveis lingüísticas, conforme é mostrado no esquema abaixo (Figura 3.3).

A opção de subdividir o sistema em 3 (três) módulos foi decorrente dos fatores (variáveis) que influenciam na escolha do sistema de projeção adequado, segundo a propriedade que o referido sistema de projeção conserva, ou seja: eqüidistante, equivalente ou conforme.

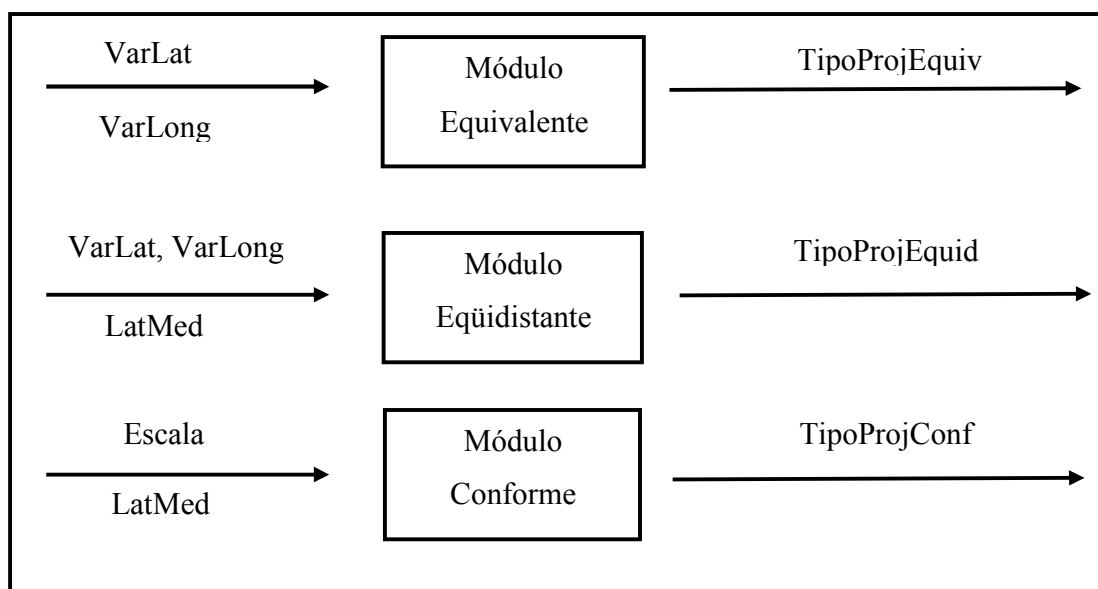


Figura 3.3 - Esquema do Sistema de Inferência Nebuloso (SIN)

Os módulos acima mencionados possuem a seguinte descrição:

1. Equivalente: Suas variáveis de entrada são denominadas VarLat e VarLong, que correspondem à variação máxima em latitude e longitude, respectivamente, da região da superfície terrestre que se deseja representar. Sua saída é dada pela variável TipoProjEquiv.
2. Eqüidistante: Suas variáveis de entrada são denominadas VarLat, VarLong e LatMed, que correspondem, respectivamente, a variação máxima em latitude, em longitude e a latitude média da região da superfície terrestre que se deseja representar. Sua saída é dada pela variável TipoProjEquid.
3. Conforme: Suas variáveis de entrada são denominadas Escala e LatMed, que correspondem, respectivamente, à relação entre a medida de um objeto ou lugar representado no papel e sua medida real e a latitude média da região da superfície terrestre que se deseja representar. Sua saída é dada pela variável TipoProjConf.

A Figura 3.4 e algumas definições são apresentadas a seguir, para o perfeito entendimento das variáveis utilizadas no sistema de inferência nebuloso.

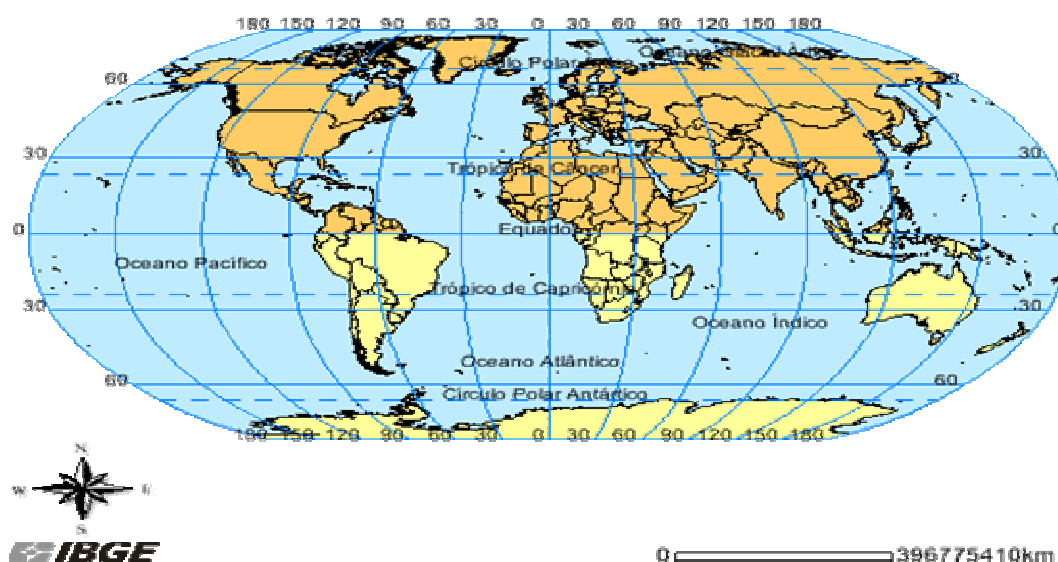


Figura 3.4 - Mapa do Mundo (Paralelos, Meridianos e Hemisférios) na Projeção de Robinson (Fonte:IBGE).

Cumpre salientar que as definições abaixo descritas foram integralmente transcritas do Dicionário Cartográfico do IBGE (OLIVEIRA, 1983).

- ✓ Longitude: Distância Linear ou angular medida a Este ou Oeste, a partir de um meridiano de referência (geralmente Greenwich) numa esfera ou elipsóide. (OLIVEIRA, 1983).
- ✓ Latitude: Distância Linear ou angular medida ao Norte ou ao Sul do Equador, numa esfera ou elipsóide. (OLIVEIRA, 1983).
- ✓ Trópico de Capricórnio: Paralelo de declinação do hemisfério sul a $23^{\circ} 27'$, aproximadamente, do equador celeste, o qual é alcançado pelo Sol, em sua declinação máxima, ou o paralelo correspondente da Terra. (OLIVEIRA, 1983).
- ✓ Trópico de Câncer: Paralelo de declinação do hemisfério norte a $23^{\circ} 27'$, aproximadamente, do equador celeste, o qual é alcançado pelo Sol, em sua declinação máxima, ou o paralelo correspondente da Terra. (OLIVEIRA, 1983).
- ✓ Círculo Polar Ártico: Paralelo geográfico que possui uma latitude norte igual ao complemento da declinação do solstício do verão. A obliquidade da eclíptica se acha firmemente em alteração, de maneira que o solstício de verão não é um ponto de declinação fixa, assim como o citado círculo, como definido, não é uma linha de posição fixa. Quando, entretanto, o círculo ártico é representado em um mapa, torna-se conveniente que seja observado como uma linha de posição fixa e que um valor convencional seja adotado para essa latitude. Para esse fim, é usado o valor de $66^{\circ}33'$ de latitude norte. (OLIVEIRA, 1983).
- ✓ Círculo Polar Antártico: Paralelo geográfico que possui uma latitude norte igual ao complemento da declinação do solstício do inverno. A obliquidade da eclíptica se acha firmemente em alteração, de maneira que o solstício de inverno não é um ponto de declinação fixa, assim como o citado círculo, como definido, não é uma linha de posição fixa. Quando, entretanto, o círculo antártico é representado em um mapa, torna-se conveniente que seja observado como uma linha de posição fixa e que um valor convencional seja adotado para essa latitude. Para esse fim, é usado o valor de $66^{\circ}33'$ de latitude sul. (OLIVEIRA, 1983).
- ✓ Paralelo (ou paralelo geográfico) : É todo o círculo menor perpendicular ao eixo da Terra e, portanto, paralelo ao equador. Sobre um determinado paralelo, a latitude é

constante. A posição em cada paralelo é medida através da longitude. Sobre o equador, a latitude é igual a zero, medindo-se de 0° a 90° , para norte (positiva) e para sul desse (negativa) . (OLIVEIRA, 1983).

- ✓ Meridiano (ou meridiano geográfico) : É a linha imaginária que resulta de um corte efetuado em um modelo geométrico da Terra por um plano que contém o seu centro. Quando esse modelo é uma esfera, o meridiano é uma semicircunferência (180 graus); quando é um elipsóide de revolução, é uma semi-ellipse. Em ambos os casos, o meridiano contém os pólos e é perpendicular a todos os paralelos, e ao equador. Sobre o meridiano que passa por Greenwich, a longitude é igual a zero, contando-se para Este (positiva) e para Oeste desse (negativa). (OLIVEIRA, 1983).

3.4.1 – SISTEMA NEBULOSO EQUIVALENTE

Um modelo nebuloso de Mamdani denominado Equivalente foi desenvolvido com decodificação por intermédio do cálculo do centróide, 17 (dezessete) regras com peso 1 (um) e conexão “and”, 02 (duas) variáveis de entrada (VarLat e VarLong) e uma de saída (TipoProjEquiv), conforme se pode verificar na Figura 3.5 abaixo.

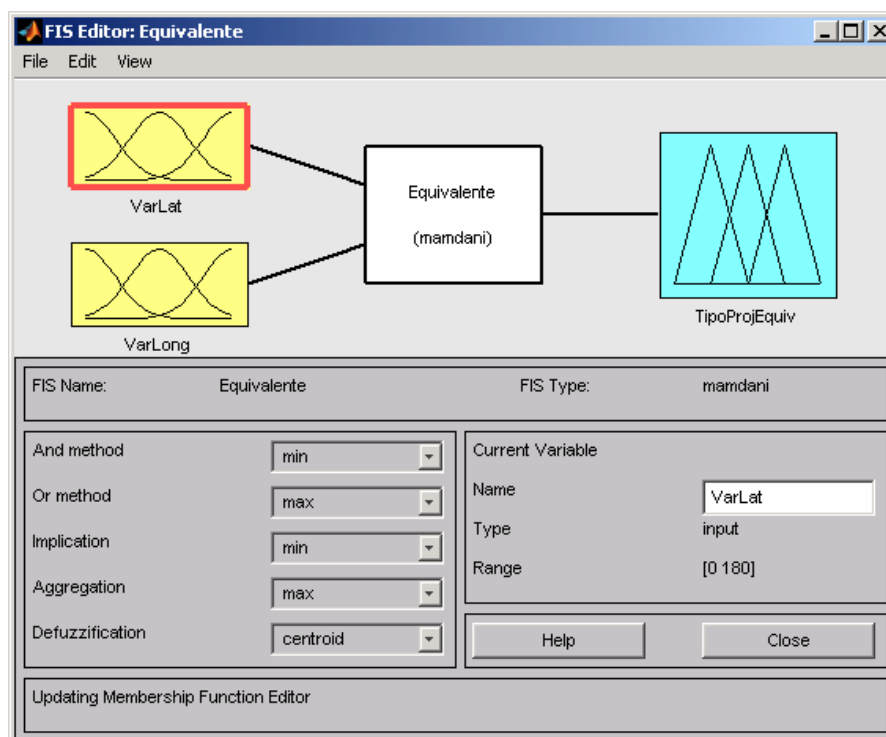


Figura 3.5 - Sistema Nebuloso Equivalente

O universo de discurso e as funções de pertinência das variáveis supracitadas encontram-se abaixo discriminadas.

- ✓ Variável lingüística de entrada VarLat (Variação em Latitude da Região a representar):

O universo de discurso dessa variável é um conjunto de inteiros positivos com valor máximo em 180. Os termos dessa variável lingüística são definidos como: ***muito pequena (MP)***, ***pequena (PQ)***, ***média (MD)***, ***grande (GD)*** e ***muito grande (MG)***. As funções de pertinência para cada um desses termos são apresentadas na Figura 3.6.

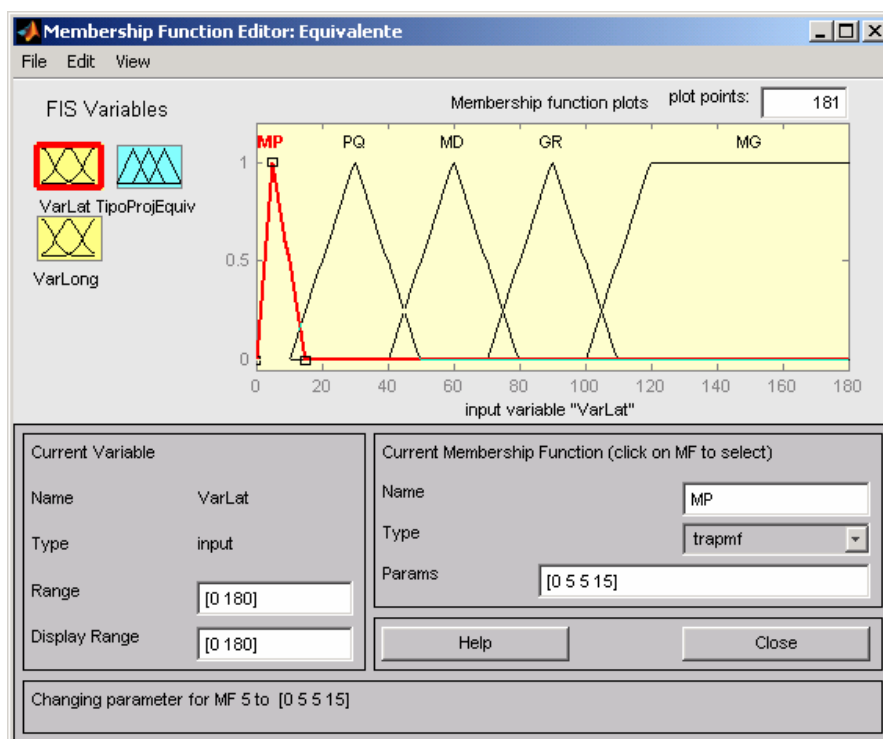


Figura 3.6 - Variável lingüística de entrada VarLat

- ✓ Variável lingüística de entrada VarLong (Variação em Longitude da Região a representar):

O universo de discurso dessa variável é um conjunto de inteiros positivos com valor máximo em 360. Os termos dessa variável lingüística são definidos como: ***muito pequena***

(MP), pequena (PQ), média (MD), grande (GD) e muito grande (MG). As funções de pertinência para cada um desses termos são apresentadas na Figura 3.7.

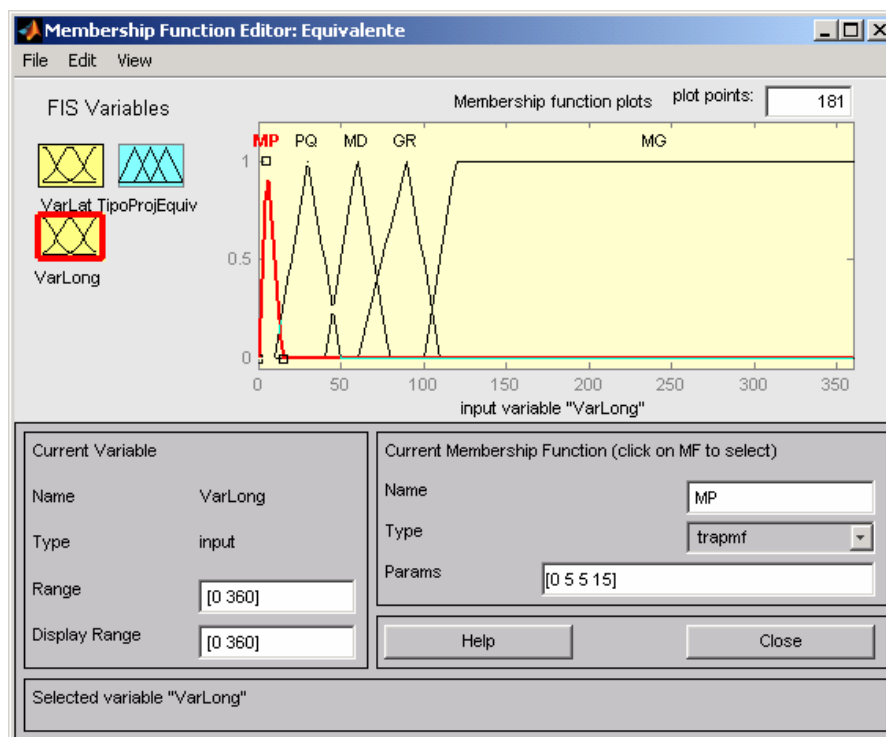


Figura 3.7 - Variável lingüística de entrada VarLong

- ✓ Variável lingüística de saída TipoProjEquiv (Tipos de Projeção Cartográfica Equivalente):

O universo de discurso dessa variável é um conjunto de inteiros positivos com valor máximo em 5. Os termos dessa variável lingüística são definidos como: **Tipo1**, **Tipo2**, **Tipo3**, **Tipo4** e **Tipo5**, que possuem a classificação constante do Quadro 3.3.

Tipo	Aplicação
1	Globo terrestre
2	Países com extensão ESTE-OESTE maior do que NORTE-SUL
3	Regiões com diferenças de latitude muito pequenas
4	Países com variação de latitude e longitude de pequena a média
5	Países com extensão NORTE-SUL maior do que ESTE-OESTE

Quadro 3.3 : Classificação dos Tipos da Projeção Cartográfica Equivalente

As funções de pertinência para cada um desses termos são apresentadas na Figura 3.8.

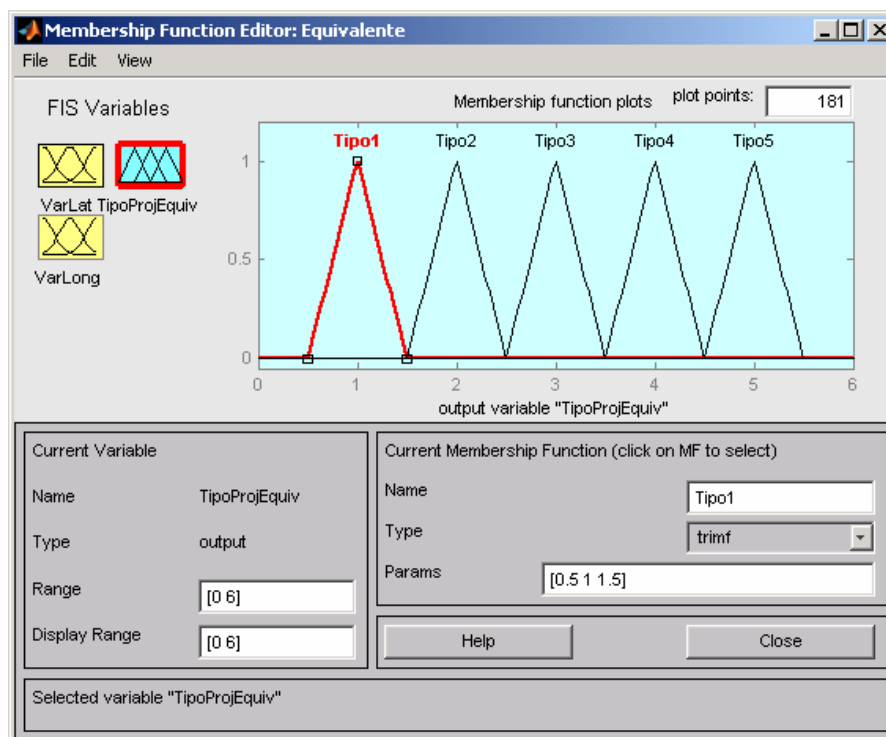


Figura 3.8 - Variável lingüística de saída TipoProjEquiv

A base de regras para as projeções equivalentes foi representada por intermédio da tabela FAM (Fuzzy Associative Memory), conforme discriminado na Figura 3.9

		VarLat					TipoProjEquiv
		MP	PQ	MD	GD	MG	
VarLong	MP	3	4				
	PQ	3	4		5	5	
	MD		4	4	5	5	
	GD	2	2		1	1	
	MG			2	1	1	

Figura 3.9 – Tabela FAM para as projeções equivalentes

A determinação dos valores da variável de saída TipoProjEquiv para diferentes valores de VarLat e VarLong está discriminada no Quadro 3.4 .

Entrada		Saída	Projeções Equivalentes Disponíveis
VarLat	VarLong	TipoProjEquiv	
180	360	1	Cilíndrica Equivalente de Peters com paralelos padrões de 45° ou 47°, Cilíndrica Equivalente Ortográfica de Trystan Edwards, Equivalente Assimétrica de Hatano, Equivalente de Aitoff, Equivalente de Eckert IV, Equivalente de Fournier, Equivalente de Holzel Equivalente de Mollweide, Equivalente de Kavraisky V, Equivalente de Wagner IV, Equivalente Modificada Azimutal de Hammer
40	100	2	Cônica Equivalente de Albers
5	15	3	Cilíndrica Equivalente de Behrmann com 02 (dois) paralelos padrões (30°N e 30°S), Cilíndrica Equivalente de Lambert (tangente), Cilíndrica Equivalente de Lambert com 01(um) paralelo padrão,Cônica Equivalente de Lambert
40	60	4	Cônica Equivalente de Bonne, Equivalente Azimutal de Lambert
80	60	5	Sanson- Flamsteed ou Equivalente Senoidal

Quadro 3.4 : Exemplos da determinação das Projeções Equivalentes a partir de valores de VarLat e VarLong

Na Figura 3.10, pode-se observar a representação da superfície da variável de saída TipoProjEquiv, obtida diretamente do software MatLab.

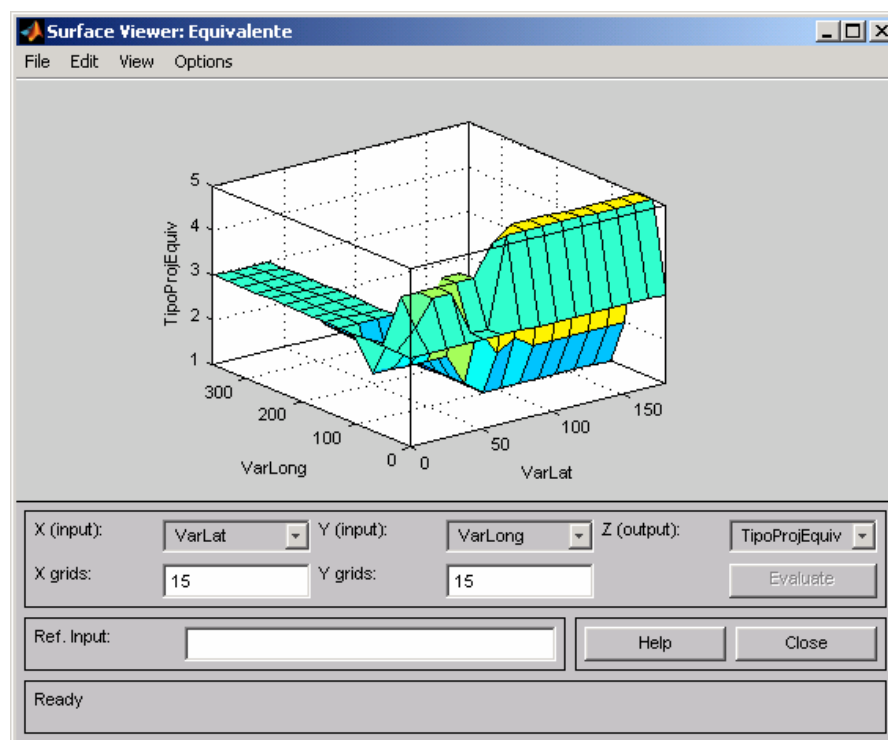


Figura 3.10- Representação da Superfície da Variável de saída TipoProjEquiv

3.4.2 – SISTEMA NEBULOSO EQÜIDISTANTE

Um modelo nebuloso de Mamdani denominado Equidistante foi desenvolvido com decodificação por intermédio do cálculo do centróide, 36 (trinta e seis) regras com peso 1 (um) e conexão “and” , 03 (três) variáveis de entrada (VarLat , VarLong, LatMedia) e uma de saída (TipoProjEquid), conforme se pode verificar na Figura 3.11, a seguir.

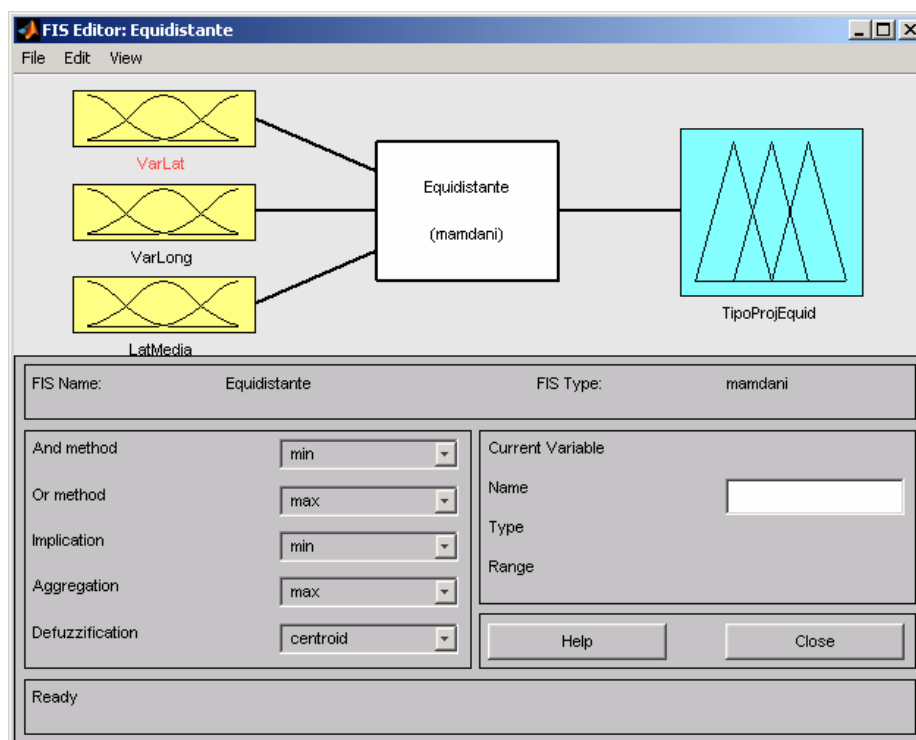


Figura 3.11 - Sistema Nebuloso Equidistante

O universo de discurso e as funções de pertinência das variáveis supracitadas encontram-se abaixo discriminadas.

✓ Variável lingüística de entrada VarLat (Variação em Latitude da Região a representar):

O universo de discurso dessa variável é um conjunto de inteiros positivos com valor máximo em 180. Os termos dessa variável lingüística são definidos como: ***muito pequena (MP)***, ***pequena (PQ)***, ***média (MD)***, ***grande (GD)*** e ***muito grande (MG)***. As funções de pertinência para cada um desses termos são apresentadas na Figura 3.12.

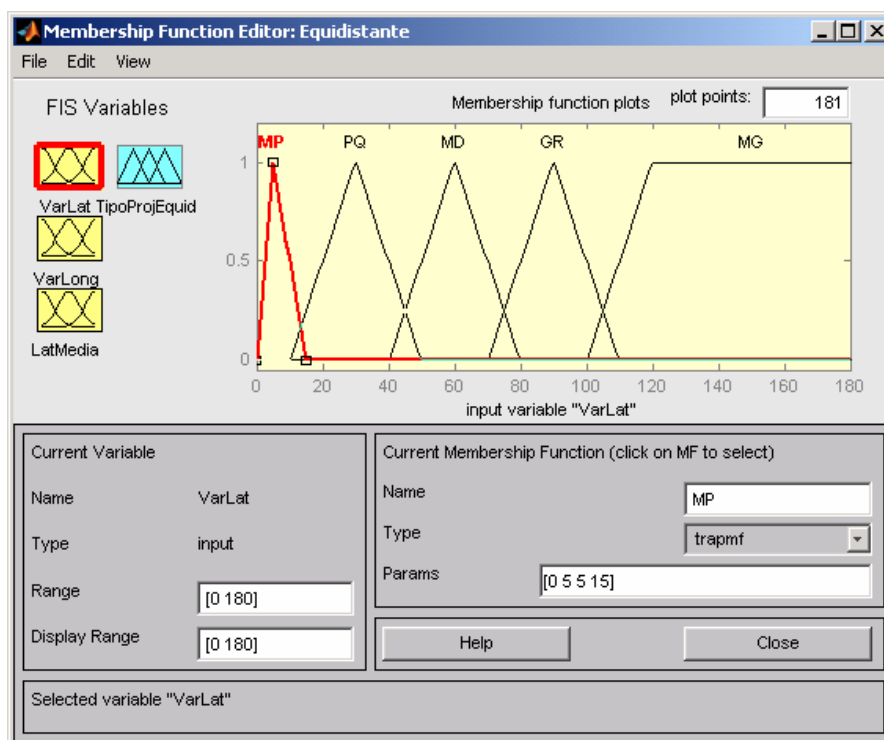


Figura 3.12 - Variável lingüística de entrada VarLat

- ✓ Variável lingüística de entrada VarLong (Variação em Longitude da Região a representar):

O universo de discurso dessa variável é um conjunto de inteiros positivos com valor máximo em 360. Os termos dessa variável lingüística são definidos como: *muito pequena (MP), pequena (PQ), média (MD), grande (GD) e muito grande (MG)*. As funções de pertinência para cada um desses termos são apresentadas na Figura 3.13.

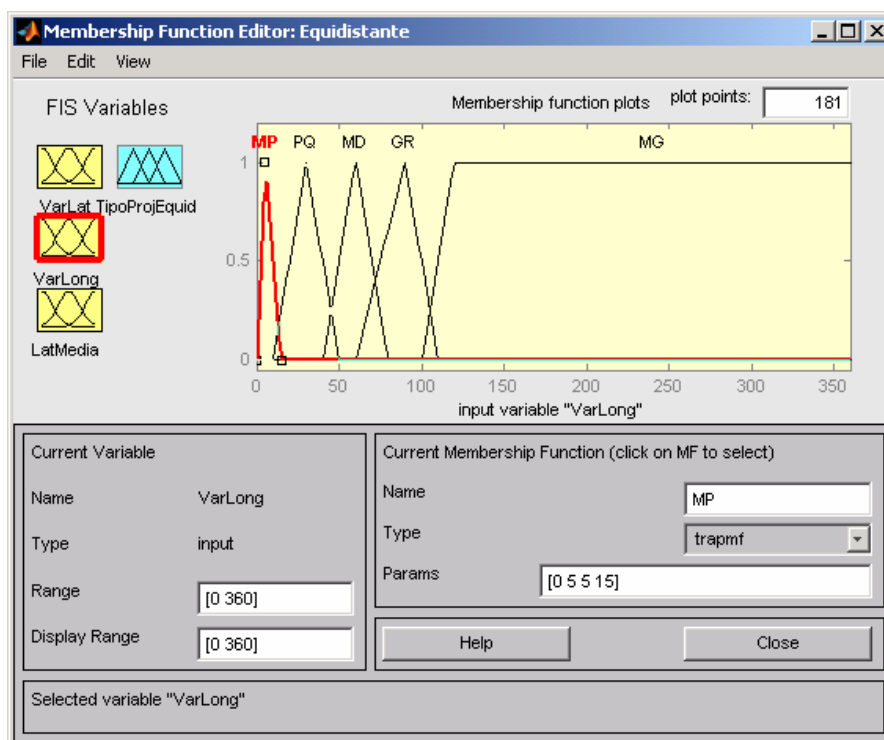


Figura 3.13 - Variável lingüística de entrada *VarLong*

- ✓ Variável lingüística de entrada *LatMedia* (latitude média da região a representar)

O universo de discurso dessa variável é um conjunto de números variando de -90 a $+90$. Os termos dessa variável são definidos como: *polar sul (PSUL)*, *trópico de capricórnio (TCAP)*, *equatorial (EQUA)*, *trópico de câncer (TCAN)*, *polar ártico (PART)* e *pólo norte (PNOR)*. As funções de pertinência para cada um desses termos são apresentadas na Figura 3.14.

Para um melhor entendimento da nomenclatura utilizada nos termos das variáveis lingüísticas, seguem abaixo as definições dos referidos termos:

- ✓ Polar sul (PSUL): É a faixa compreendida entre os paralelos 60°S e 90°S .
- ✓ Trópico de capricórnio (TCAP): É a faixa compreendida entre os paralelos 15°S e 60°S , que contém o Trópico de Capricórnio.
- ✓ Equatorial (EQUA): É a faixa compreendida entre os paralelos 15°S e 15°N , que contém o Equador.

- ✓ Trópico de câncer (TCAN): É a faixa compreendida entre os paralelos 15° N e 60° N, que contém o Trópico de Câncer.
- ✓ Polar ártico (PART): É a faixa compreendida entre os paralelos 60° N e 75° N, que contém o Círculo Polar Ártico.
- ✓ Pólo norte (PNOR): É a faixa compreendida entre os paralelos 75°N e 90° N.

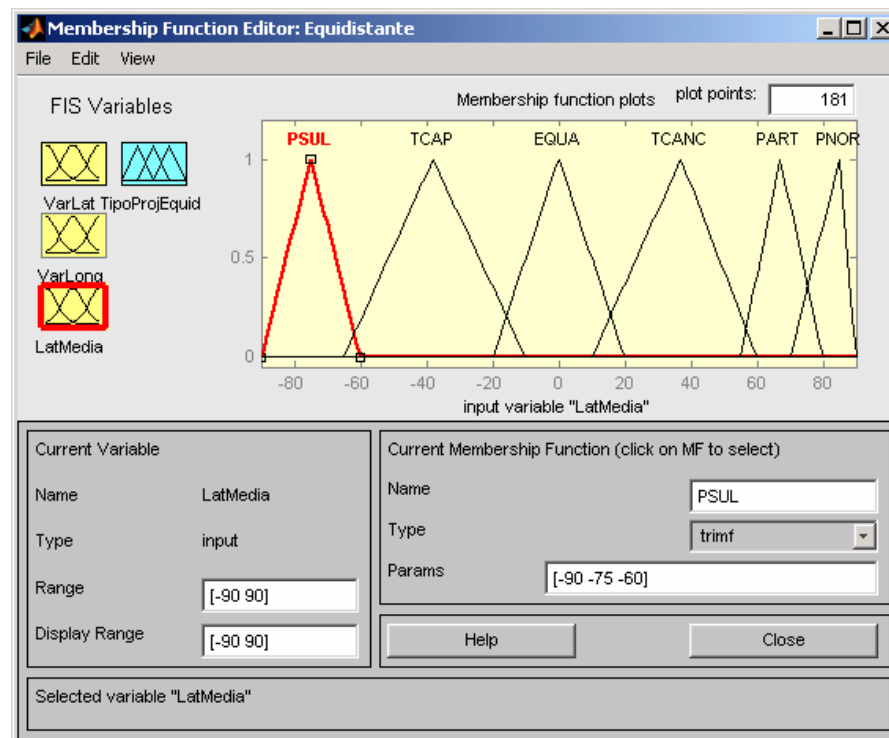


Figura 3.14 - Variável lingüística de entrada LatMedia

- ✓ Variável lingüística de saída TipoProjEquid (Tipos de Projeção Cartográfica Equidistante):

O universo de discurso dessa variável é um conjunto de inteiros positivos com valor máximo em 6. Os termos dessa variável lingüística são definidos como: **Tipo1**, **Tipo2**, **Tipo3**, **Tipo4**, **Tipo5** e **Tipo6** que possuem a classificação constante do Quadro 3.5.

Tipo	Aplicação
1	Globo terrestre
2	Zona Equatorial, que corresponde à faixa compreendida entre os paralelos de 15°S e 15°N
3	Zona Especial Norte 1, para regiões com variação de longitude de pequena a média, na faixa compreendida entre os paralelos de 15°N e 60°N
4	Zona Especial Norte 2, para regiões com grande variação de longitude, na faixa compreendida entre os paralelos de 15°N e 60°N.
5	Zona Especial Sul, que corresponde à faixa compreendida entre os paralelos de 15°S e 60°S.
6	Polar, que corresponde à faixa compreendida entre os paralelos de 60°S e 90°S, bem como 60°N e 90°N.

Quadro 3.5 : Classificação dos Tipos da Projeção Cartográfica Equidistante

As funções de pertinência para cada um desses termos são apresentadas na Figura 3. 15.

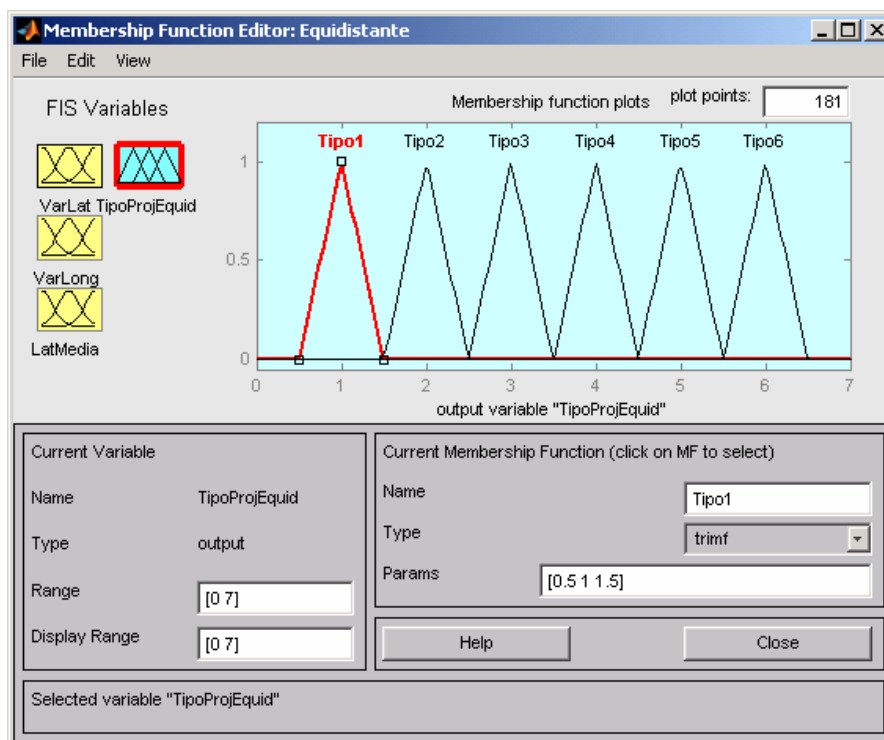


Figura 3.15 - Variável lingüística de saída TipoProjEquid

A base de regras para as projeções eqüidistantes foi representada por intermédio da tabela FAM (Fuzzy Associative Memory), conforme discriminado na Figura 3.16.

Para LatMed = PSUL

		VarLat					TipoProjEquid
		MP	PQ	MD	GD	MG	
VarLong	MP	6	6				1
	PQ	6	6				2
	MD						3
	GD						4
	MG						5
							6

Para LatMed = TCAP

		VarLat					TipoProjEquid
		MP	PQ	MD	GD	MG	
VarLong	MP						1
	PQ		5	5			2
	MD		5	5			3
	GD						4
	MG						5
							6

Para LatMed = EQUA

		VarLat					TipoProjEquid
		MP	PQ	MD	GD	MG	
VarLong	MP	2	2				1
	PQ	2	2				2
	MD						3
	GD				1	1	4
	MG				1	1	5
							6

Para LatMed = TCAN

		VarLat				
		MP	PQ	MD	GD	MG
VarLong	MP		3	3	3	
	PQ		3	3	3	
	MD		3	3	3	
	GD	4	4	4		
	MG					

TipoProjEquid
1
2
3
4
5
6

Para LatMed = PART

		VarLat				
		MP	PQ	MD	GD	MG
VarLong	MP	6				
	PQ		6			
	MD			6		
	GD					
	MG					

TipoProjEquid
1
2
3
4
5
6

Para LatMed = PNOR

		VarLat				
		MP	PQ	MD	GD	MG
VarLong	MP	6	6			
	PQ	6	6			
	MD			6		
	GD					
	MG					

TipoProjEquid
1
2
3
4
5
6

Figura 3.16 – Tabela FAM para as projeções equidistantes

A determinação dos valores da variável de saída TipoProjEquid para diferentes valores de VarLat e VarLong está discriminada no Quadro 3.6.

Entrada			Saída	Projeções Eqüidistantes Disponíveis
VarLat	VarLong	LatMed	TipoProjEquiv	
180	360	0	1	Cônica Eqüidistante de Murdoch I, Eqüidistante Cilíndrica de Plate Caree e Eqüidistante Ortográfica Transversal.
5	10	10	2	Azimutal Eqüidistante de Guam, Cilíndrica Eqüidistante Meridiana, Eqüidistante Azimutal Modificada.
40	20	35	3	Cilíndrica Transversa Eqüidistante de Cassini-Soldner
60	100	45	4	Cônica Eqüidistante de Euler com paralelo padrão de 45°N, Cônica Eqüidistante Meridiana de l'Isle com 2 (dois) paralelos padrões, Cônica Eqüidistante Meridiana de Ptolomeu com 1 (um) paralelo padrão
40	20	-30	5	Policônica Eqüidistante Transversal ou Policônica Ordinária
5	10	-75	6	Cilíndrica Eqüidistante Meridiana com um paralelo padrão Plana Polar Eqüidistante Meridiana

Quadro 3.6: Exemplos da determinação das Projeções Eqüidistantes partir de valores de VarLat , VarLong e LatMed

3.4.3 – SISTEMA NEBULOSO CONFORME

Um modelo nebuloso de Mamdani denominado Conforme foi desenvolvido com decodificação por intermédio do cálculo do centróide, 6 (seis) regras com peso 1 (um) e conexão “and”, 02 (duas) variáveis de entrada (Escala e LatMedia) e uma de saída (TipoProjConf), conforme se pode verificar na Figura 3.17 .

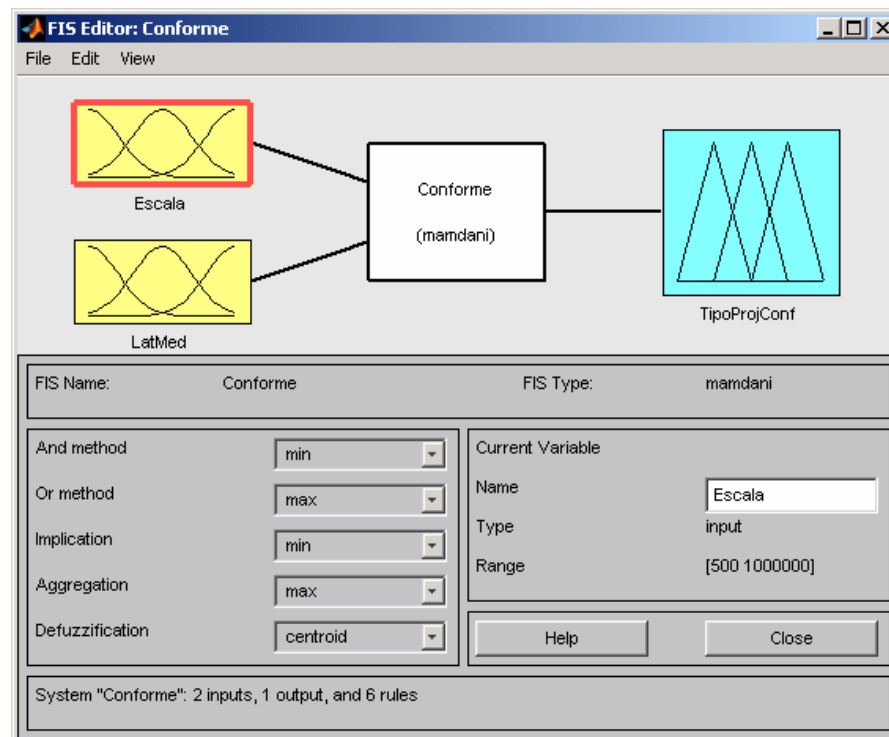


Figura 3.17 - Sistema Nebuloso Conforme

O universo de discurso e as funções de pertinência das variáveis supracitadas encontram-se a seguir discriminadas.

- ✓ Variável lingüística de entrada Escala (Escala adotada para a representação da região da superfície terrestre):

O universo de discurso dessa variável é um conjunto de inteiros positivos variando de 500 a 1000000. Os termos dessa variável lingüística são definidos como: **pequena (PQ)**, **média (MD)** e **grande (GD)**. As funções de pertinência para cada um desses termos são apresentadas na Figura 3.18.

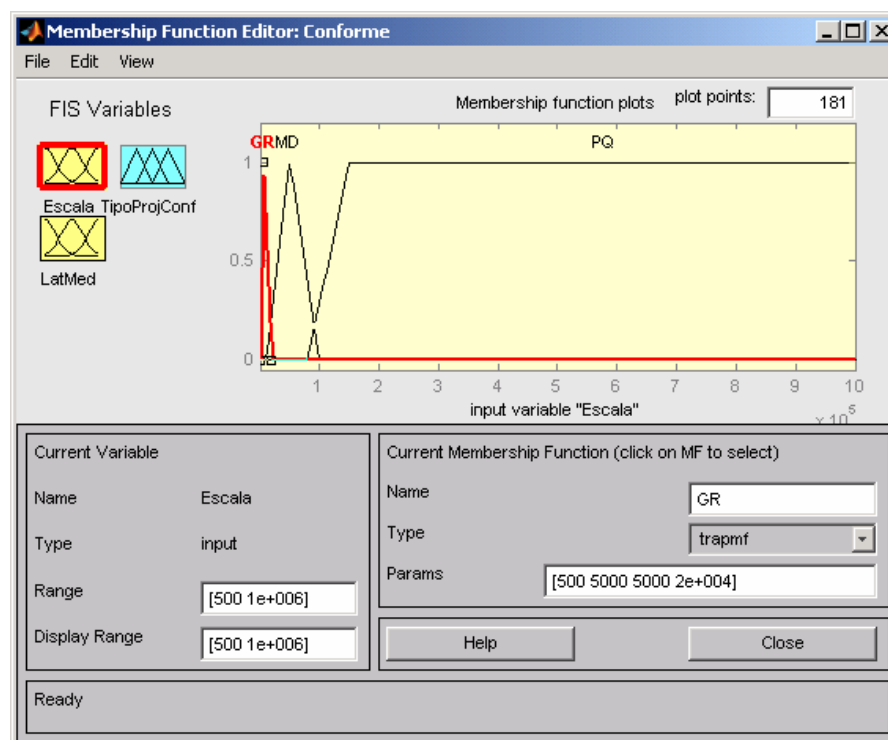


Figura 3.18 - Variável lingüística de entrada Escala

- ✓ Variável lingüística de entrada LatMed (latitude média da região a representar)

O universo de discurso dessa variável é um conjunto de números variando de -90 a $+90$. Os termos dessa variável são definidos como: *polar (POL)* e *zona especial (ZESP)*. As funções de pertinência para cada um desses termos são apresentadas na Figura 3.19.

Para um melhor entendimento da nomenclatura utilizada nos termos das variáveis lingüísticas, seguem abaixo as definições dos referidos termos:

- ✓ Polar (POL): É a faixa compreendida entre os paralelos 60°S ao 90°S e 60°N ao 90°N
- ✓ Zona especial (ZESP): É a faixa compreendida entre os paralelos 60°S e 60°N .

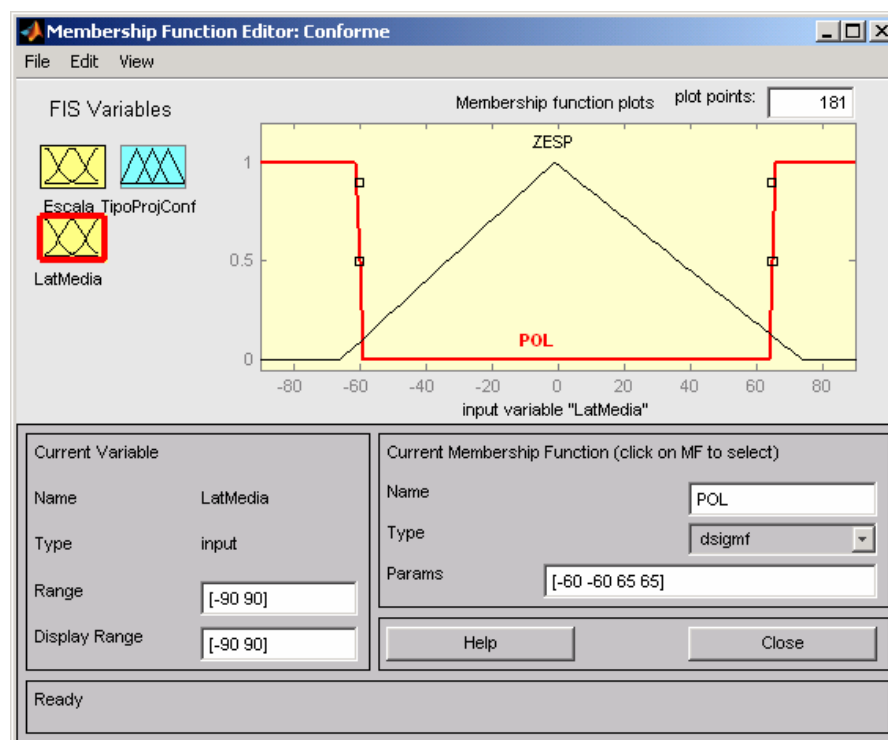


Figura 3.19 - Variável lingüística de entrada LatMed

✓ Variável lingüística de saída TipoProjConf (Tipos de Projeção Cartográfica Conforme):

O universo de discurso dessa variável é um conjunto de inteiros positivos com valor máximo em 3. Os termos dessa variável lingüística são definidos como: **Tipo1**, **Tipo2** e **Tipo3**, que possuem a classificação constante do Quadro 3.7

Tipo	Aplicação
1	Mapeamento em escalas pequenas a médias dos países localizados na Zona Especial
2	Mapeamento em escalas grandes a médias dos países localizados na Zona Especial
3	Mapeamento em escalas pequena, grande e média dos países localizados nas regiões polares.

Quadro 3.7 : Classificação dos Tipos da Projeção Cartográfica Conforme

As funções de pertinência para cada um desses termos são apresentadas na Figura 3.20.

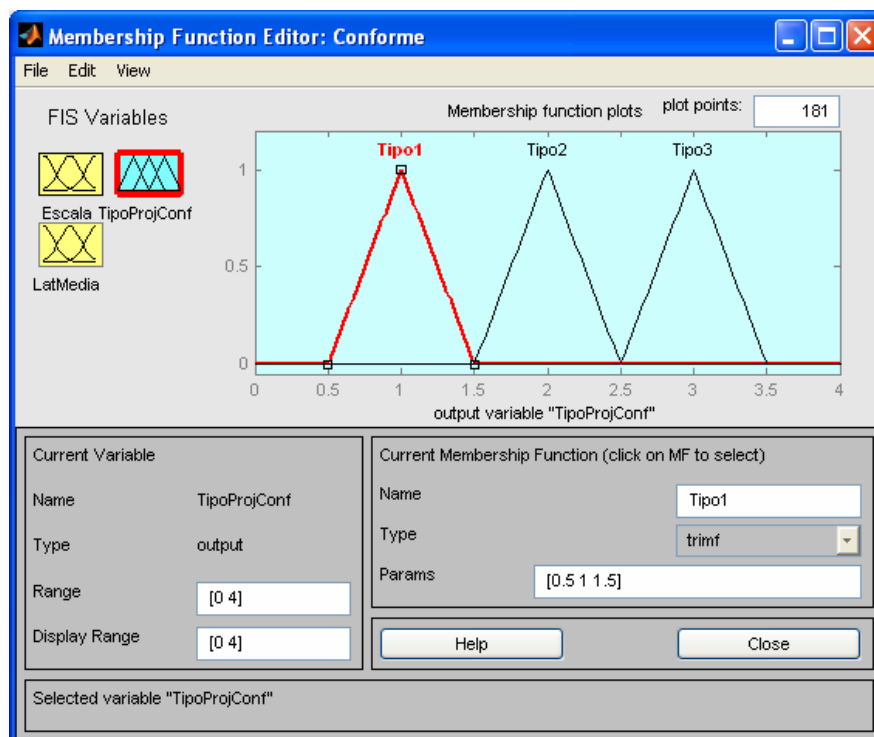


Figura 3.20 - Variável lingüística de saída *TipoProjConf*

A base de regras para as projeções conformes foi representada por intermédio da tabela FAM (Fuzzy Associative Memory), conforme discriminado na Figura 3.21.

		Escala			<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; display: inline-block;"> TipoProjConf 1 2 3 </div>
		PQ	MD	GD	
LatMed	POL	3	3	3	
	ZESP	1	2	2	

Figura 3.21 – Tabela FAM para as projeções conformes.

Na Figura 3.22, pode-se observar a representação da superfície da variável de saída TipoProjConf, obtida diretamente do software MatLab.

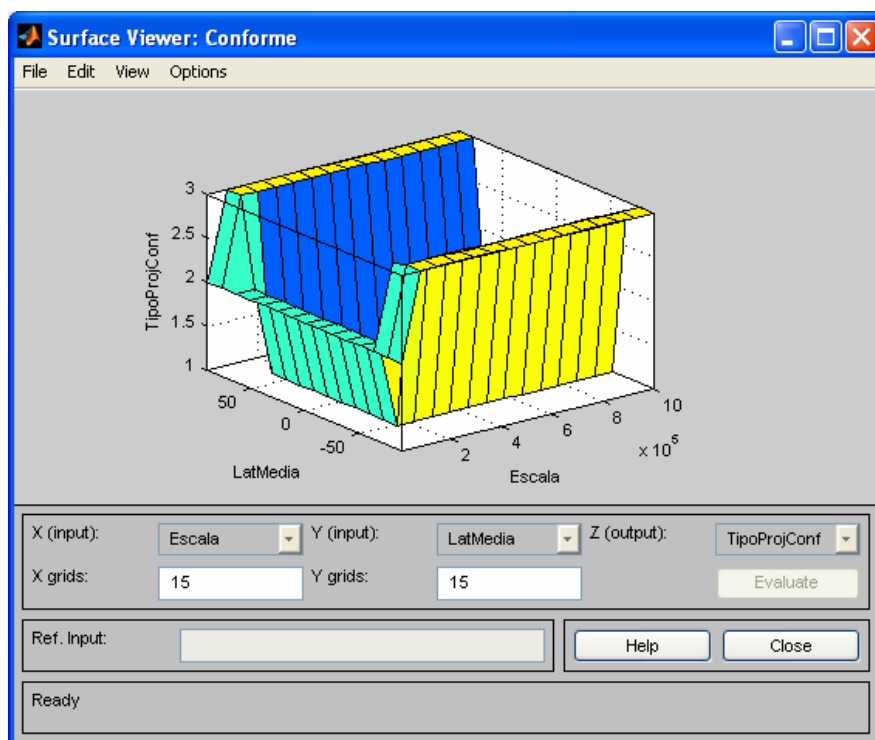


Figura 3.22- Representação da Superfície da Variável de saída TipoProjConf

A determinação dos valores da variável de saída TipoProjConf para diferentes valores de Escala e LatMed está discriminada no Quadro 3.8, a seguir:

Entrada		Saída	Projeções Conformes Disponíveis
Escala	LatMed	TipoProjConf	
1:150.000	40	1	Cilíndrica Conforme Equatorial de Mercator, Mercator com 1 paralelo padrão, Obliqua Estereográfica, Universal Transversa de Mercator (UTM)
1:50.000	-65	3	Plana Conforme Estereográfica Polar e Universal Conforme Estereográfica Polar

Entrada		Saída	Projeções Conformes Disponíveis (Continuação)
Escala	LatMed	TipoProjConf	
1:100.000	75	3	Plana Conforme Estereográfica Polar e Universal Conforme Estereográfica Polar
1:25. 000	30	2	Cônica Conforme de Lambert (paralelos padrões: 20° N e 60° N), Cônica Obliqua Conforme de Krovak, Hotine Obliqua de Mercator, LTM (Local Transversa de Mercator), Obliqua de Mercator, PBG (Projeção Brasileira de Gauss), RTM (Regional Transversa de Mercator), Transversa de Mercator ("Zoned Grid System"), Cônica Conforme de Lambert com 1 (um) paralelo padrão (tangente), Conforme Obliqua de Mercator e Transversa de Mercator ou Conforme de Gauss ou Gauss-Krüger

Quadro 3.8 : Exemplos da determinação das Projeções Conformes a partir de valores de Escala e LatMed

3.5 – COMENTÁRIOS

Neste capítulo foram apresentadas as principais características dos Sistemas de Inferência Nebulosos desenvolvidos, utilizando-se a ferramenta Fuzzy do software MatLab (versão 7.0), quais sejam: Eqüidistante, Conforme e Equivalente. No capítulo seguinte, será apresentado o Projeto Lógico de um sistema que tem por finalidade dar apoio à seleção de projeção cartográfica para a representação de uma região da superfície terrestre.

CAPÍTULO 4 – PROJETO LÓGICO DO PROTÓTIPO SINPROJ

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentada a sequência de atividades desenvolvidas para a construção do Projeto Lógico do Sistema de Inferência Nebuloso de Apoio à Seleção de Projeção Cartográfica para a Representação de uma Região da Superfície Terrestre (SINPROJ).

Na análise serão levantados, refinados e detalhados os requisitos identificados e relacionados na proposta de solução do problema. O objetivo das atividades aqui desenvolvidas é fornecer subsídios que permitam a execução da modelagem e análise dos requisitos, possibilitando a especificação das funções e o desempenho do software, indicando a interface com outros elementos do sistema (banco de dados, hardware, rede, etc.) de forma a estabelecer as restrições de projeto que o software deve enfrentar.

Para executar a atividade de modelagem serão utilizados os artefatos orientados a objeto através da notação UML (“Unified Modeling Language”), abordando as modelagens (casos de uso, classes e objetos) e mecanismos que estarão presentes no domínio do problema.

Será elaborado, também, o Modelo Lógico de Entidade e Relacionamento - MER, incluindo, se for o caso, novas entidades e relacionamentos de forma a se poder gerar o modelo físico que servirá de base para o roteiro de criação (script) do banco de dados do sistema.

A construção de um protótipo descartável conclui a transformação da funcionalidade do negócio em componentes de software que compõem o sistema. Cumpre ressaltar que as especificações dos requisitos não funcionais, tais como: portabilidade, segurança e escalabilidade, deverão ser consideradas e atendidas pelo sistema construído.

4.2 CASOS DE USO

O Caso de Uso, documento para expressar o comportamento dinâmico do sistema, tem duas partes básicas: Diagrama e Descrição de casos de uso. O documento de Especificação de Casos de Uso tem por objetivo descrever as funcionalidades do sistema a ser desenvolvido sob o ponto de vista dos usuários finais ou atores externos.

Neste trabalho foi empregada a ferramenta de modelagem para elaboração do Diagrama de Casos de Uso do Jude Community (*Java and UML Developer Environment*), software de distribuição livre para modelagem UML.

4.2.1 – DEFINIÇÃO DOS ATORES

Na terminologia da UML, qualquer elemento externo que interage com o sistema é denominado ator. Os atores do Sistema SINPROJ, com suas respectivas descrições, são apresentados no Quadro 4.1 abaixo.

Ator	Descrição
Usuário	Usuário remoto que realiza consultas à base de dados, com permissões definidas pelo gestor.
Gestor	Usuário com permissão de configuração do sistema e gerenciamento de usuários.
Sistema de Inferência Nebuloso (SIN)	Composto por 3 (três) módulos de inferência denominados Equivalente, Equidistante e Conforme, que funcionam independentemente, cada um deles possuindo seu próprio conjunto de regras de inferência e seu próprio conjunto de variáveis lingüísticas

Quadro 4.1: Atores do Sistema SINPROJ

4.2.2 – DIAGRAMA DE CASOS DE USO

O diagrama de casos de uso corresponde a uma visão externa do sistema e representa graficamente os atores, casos de uso e relacionamentos entre esses elementos. O referido diagrama tem o objetivo de ilustrar, em um nível alto de abstração, quais elementos externos interagem com que funcionalidades do sistema. A Figura 4.1 representa o diagrama de casos de uso do Sistema SINPROJ.

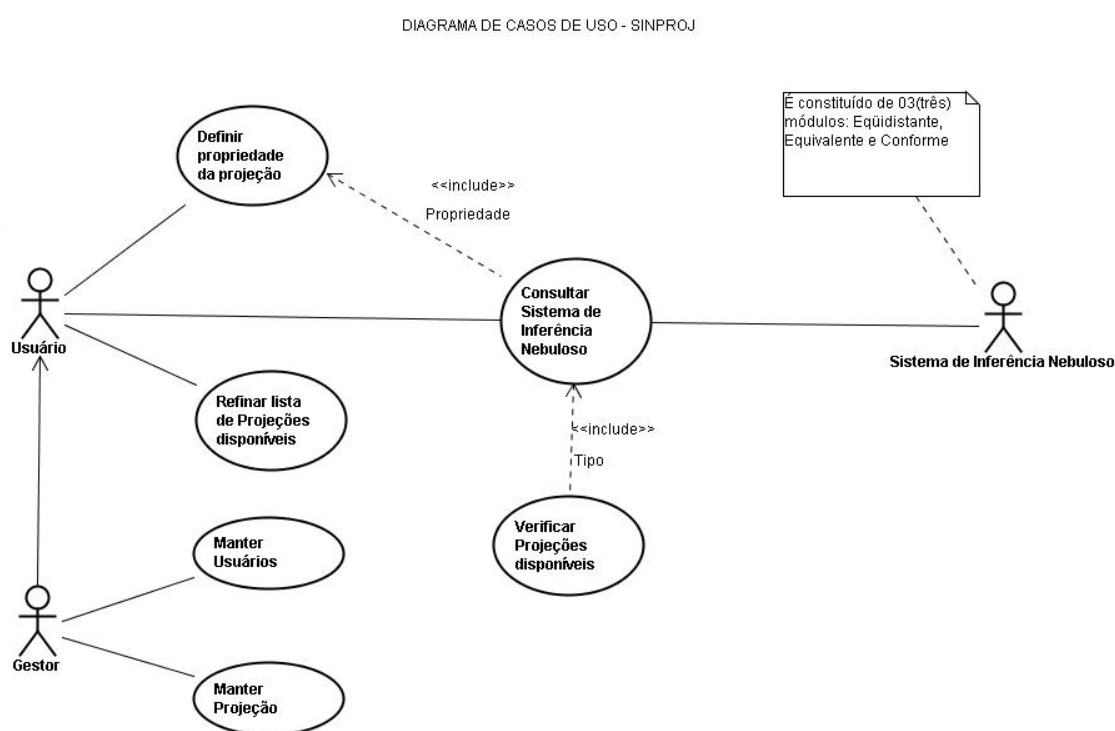


Figura 4.1 - Diagrama de Casos de Uso do Sistema SINPROJ

4.2.3 – LISTA DE CASOS DE USO

Segue-se a relação dos casos de uso do Sistema de Inferência Nebuloso de Apoio à Seleção de Projeção Cartográfica para a Representação de uma Região da Superfície Terrestre (SINPROJ)

✓ UC01 < Definir propriedade da projeção >

- ✓ UC02 < Consultar Sistema de Inferência Nebuloso >
- ✓ UC03 < Verificar Projeções disponíveis >
- ✓ UC04 < Refinar lista de Projeções disponíveis >
- ✓ UC05 < Manter Usuários >
- ✓ UC06 < Manter Projeção >

4.2.4 – ESPECIFICAÇÃO DOS CASOS DE USO

A seguir, será apresentada a especificação dos Casos de Uso do Sistema SINPROJ.

- ✓ Caso de Uso 1: Definir propriedade da Projeção

ID do Caso de Uso:	01
Nome do Caso de Uso:	<i>Definir propriedade da projeção</i>
Criado por:	Sergio Antoun
Data de Criação:	03/04/2007
Última Atualização	
Data da Última Atualização:	03/04/2007
Atores:	<i>Usuário</i>
Descrição:	Informar a propriedade da projeção que deseja utilizar para a representação de uma região da superfície terrestre
Pré-condições:	1. Sistema configurado. 2. Usuário habilitado.
Pós-condições:	1. Propriedade da projeção (equidistante, equivalente ou conforme) informada.

Fluxo Básico de Eventos	
Ações do Ator:	Ações do Sistema:
1- O usuário acessa o sistema.	
	1.1- O sistema lista as propriedades das projeções disponíveis.
1.2- O usuário seleciona a projeção desejada.	
	1.3- O sistema registra a propriedade da projeção selecionada

Fluxo Alternativo de Eventos 1	
Ações do Ator:	Ações do Sistema:
Outras Informações: Propriedades das projeções disponíveis para um usuário: <i>Eqüidistante, Equivalente ou Conforme.</i>	

✓ Caso de Uso 2: Consultar Sistema de Inferência Nebuloso

ID do Caso de Uso:	02
Nome do Caso de Uso:	<i>Consultar Sistema de Inferência Nebuloso</i>
Criado por:	Sergio Antoun
Data de Criação:	04/04/2007
Última Atualização	
Data da Última Atualização:	04/04/2007
Atores:	<i>Usuário e Sistema de Inferência Nebuloso</i>
Descrição:	<i>Determinar o tipo de projeção em função da propriedade selecionada.</i>
Pré-condições:	<i>1. Propriedade da Projeção selecionada.</i>
Pós-condições:	<i>1. Tipo de projeção informada.</i>

Fluxo Básico de Eventos	
Ações do Ator:	Ações do Sistema:
	<p>1 -Em função da propriedade da projeção selecionada, o sistema apresenta as informações necessárias para a pesquisa:</p> <p>a) Equivalente: Variação máxima em latitude e Variação máxima em longitude.</p> <p>b) Eqüidistante: Variação máxima em latitude, Variação máxima em longitude e Latitude média.</p> <p>c) Conforme: Latitude Média e Escala</p>
1.1- O usuário digita as informações solicitadas	

	1.2 - O sistema efetua a pesquisa no Sistema de Inferência Equivalente, Equidistante ou Conforme, dependendo da propriedade selecionada.
	1.3 - O sistema retorna o tipo de projeção.
	1.4 - O sistema verifica se o valor do tipo de projeção informado pelo Sistema de Inferência não é um número inteiro.
	1.5 - Caso o valor do tipo de projeção não seja um número inteiro, o sistema faz a aproximação do valor para um número inteiro.
	1.6 - O sistema registra o tipo de projeção.
Fluxo Alternativo de Eventos 1	
Ações do Ator:	Ações do Sistema:
Outras Informações:	

✓ Caso de Uso 3: Verificar Projeções Disponíveis

ID do Caso de Uso:	03
Nome do Caso de Uso:	<i>Verificar Projeções Disponíveis</i>
Criado por:	Sergio Antoun
Data de Criação:	04/04/2007
Última Atualização	
Data da Última Atualização:	04/04/2007
Atores:	
Descrição:	<i>Apresentar as projeções disponíveis em função da propriedade da projeção e dos parâmetros informados.</i>
Pré-condições:	<i>1. Tipo de Projeção selecionado.</i>
Pós-condições:	<i>1. Relação das Projeções disponíveis.</i>

Fluxo Básico de Eventos	
Ações do Ator:	Ações do Sistema:
	1- A partir do tipo de projeção selecionado, o sistema consulta o cadastro de projeções.

	1.1- O sistema lista as projeções disponíveis para o tipo de projeção selecionado.
Fluxo Alternativo de Eventos 1	
Ações do Ator:	Ações do Sistema:
Outras Informações:	

✓ Caso de Uso 4: Refinar lista de Projeções Disponíveis

ID do Caso de Uso:	04
Nome do Caso de Uso:	<i>Refinar lista de Projeções Disponíveis</i>
Criado por:	Sergio Antoun
Data de Criação:	04/04/2007
Última Atualização:	
Data da Última Atualização:	04/04/2007
Atores:	<i>Usuário</i>
Descrição:	<i>Refinamento das informações referentes às projeções disponíveis</i>
Pré-condições:	<i>1. Relação das Projeções disponíveis.</i>
Pós-condições:	<i>1. Relação das Projeções disponíveis após refinamento.</i>

Fluxo Básico de Eventos	
Ações do Ator:	Ações do Sistema:
1- O usuário solicita o refinamento da lista de projeções disponíveis.	
	1.1- O sistema solicita outras informações do usuário, tais como o país que o usuário deseja fazer a representação cartográfica.
1.2- O usuário digita as informações solicitadas.	
	1.3 - A partir dos parâmetros informados, o sistema consulta o cadastro de projeções.
	1.4 - O sistema lista a relação final das projeções disponíveis

Fluxo Alternativo de Eventos 1	
Ações do Ator:	Ações do Sistema:
Outras Informações:	

✓ Caso de Uso 5: Manter Usuários

ID do Caso de Uso:	05
Nome do Caso de Uso:	Manter Usuários
Criado por:	Sergio Antoun
Data de Criação:	03/04/2007
Última Atualização	
Data da Última Atualização:	03/04/2007
Atores:	Gestor
Descrição:	<i>Cadastramento dos usuários para acesso ao sistema com suas respectivas permissões.</i>
Pré-condições:	<i>1. Sistema configurado.</i>
Pós-condições:	<i>1. Usuário cadastrado.</i>

Fluxo Básico de Eventos	
Ações do Ator:	Ações do Sistema:
1- O gestor acessa o cadastro de usuários do sistema.	
	1.1 - O sistema lista os usuários cadastrados.
1.2- O gestor solicita o cadastramento de um novo usuário no sistema.	
	1.3 - O sistema solicita as seguintes informações do usuário: Identificação, status e permissões do usuário;
1.4- O gestor digita as informações	
	1.5 - O sistema cadastra o novo usuário

Fluxo Alternativo de Eventos 1	
Ações do Ator:	Ações do Sistema:
2- Após o passo 1.1, o gestor solicita alterar cadastro de um usuário.	
	2.1- O sistema apresenta o cadastro do usuário.
2.2- O gestor digita a alteração nas informações do usuário.	
	2.3 - O sistema altera o cadastro do usuário.
3- Após o passo 1.1, o gestor solicita excluir um usuário.	
	3.1 - O sistema exclui um usuário selecionado.
Outras Informações:	Permissões disponíveis para um usuário: a) Consultar projeção. b) Adicionar projeção. c) Remover projeção. d) Incluir usuário. e) Excluir usuário

✓ Caso de Uso 6: Manter projeção

ID do Caso de Uso:	06
Nome do Caso de Uso:	<i>Manter projeção</i>
Criado por:	Sergio Antoun
Data de Criação:	03/04/2007
Última Atualização	
Data da Última Atualização:	03/04/2007
Atores:	<i>Gestor</i>
Descrição:	<i>Cadastramento, alteração e exclusão de Projeções Cartográficas</i>
Pré-condições:	<i>1. Sistema Configurado</i>
Pós-condições:	<i>1. Projeção Cadastrada.</i>

Fluxo Básico de Eventos	
Ações do Ator:	Ações do Sistema:
1- O gestor acessa o cadastro de projeções do sistema.	1.1- O sistema lista as projeções cadastradas.
1.2 – O gestor solicita o cadastramento de uma projeção.	
	1.3- O sistema apresenta as seguintes informações da projeção para serem preenchidas: Nome, Propriedade, Área de utilização, Observação e Tipo.
1.4- O gestor preenche os campos.	
	1.5 - O sistema cadastra uma nova projeção.
Fluxo Alternativo de Eventos 1	
Ações do Ator:	Ações do Sistema:
2- Após o passo 1.1, o gestor solicita a alteração no cadastro de projeções.	
	2.1- O sistema apresenta o cadastro da projeção selecionada.
2.2- O gestor digita a alteração nas informações da projeção.	
	2.3- O sistema altera o cadastro de projeções.
3- Após o passo 1.1, o gestor solicita a exclusão de uma projeção.	
	3.1- O sistema apresenta o cadastro da projeção selecionada.
	3.2- O sistema exclui a projeção selecionada.
Outras Informações:	

4.3 DIAGRAMA DE CLASSES

O Diagrama de Classes faz parte do conjunto de diagramas que expressam a funcionalidade do software. A elaboração desse artefato deve ser feita após o levantamento da interação dos atores com o sistema e da funcionalidade representada pelos Diagramas de Caso de Uso.

Para a elaboração do Diagrama de Classes do Sistema SINPROJ (Figura 4.2), foi empregada a ferramenta de modelagem do Jude Community (*Java and UML Developer Environment*), software de distribuição livre para modelagem UML.

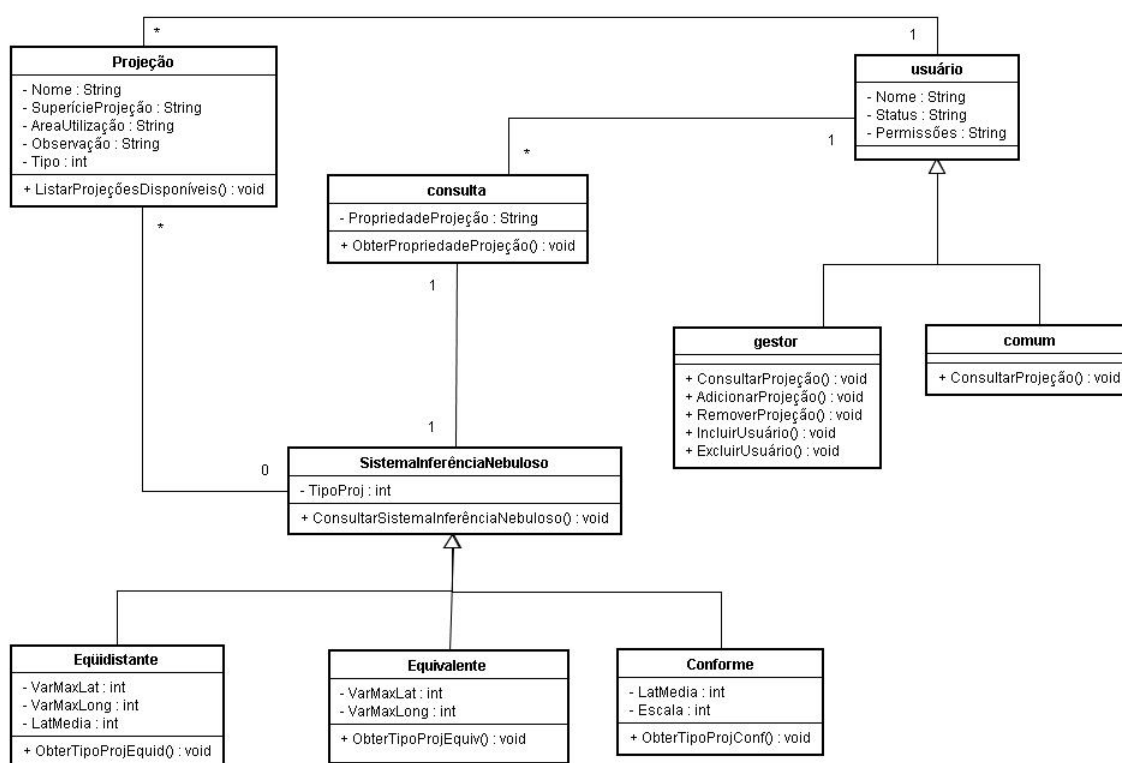


Figura 4.2 - Diagrama de Classes do Sistema SINPROJ

4.4 MODELO DE ENTIDADES E RELACIONAMENTOS

O Modelo de Entidades e Relacionamentos faz parte do conjunto de diagramas que expressam as estruturas dos dados que o software desenvolvido irá manipular. Ele é

elaborado e utilizado na Análise, com as especificações do nível lógico dos dados, e, posteriormente, reespecificado no Projeto, com as definições do nível físico dos dados, gerando o Diagrama de Entidades e Relacionamentos.

Para a elaboração do Modelo de Entidades e Relacionamentos do Sistema SINPROJ, foi empregada a ferramenta de modelagem Erwin, versão 4.0, da Computer Associates International, Inc., conforme pode-se observar na Figura 4.3.

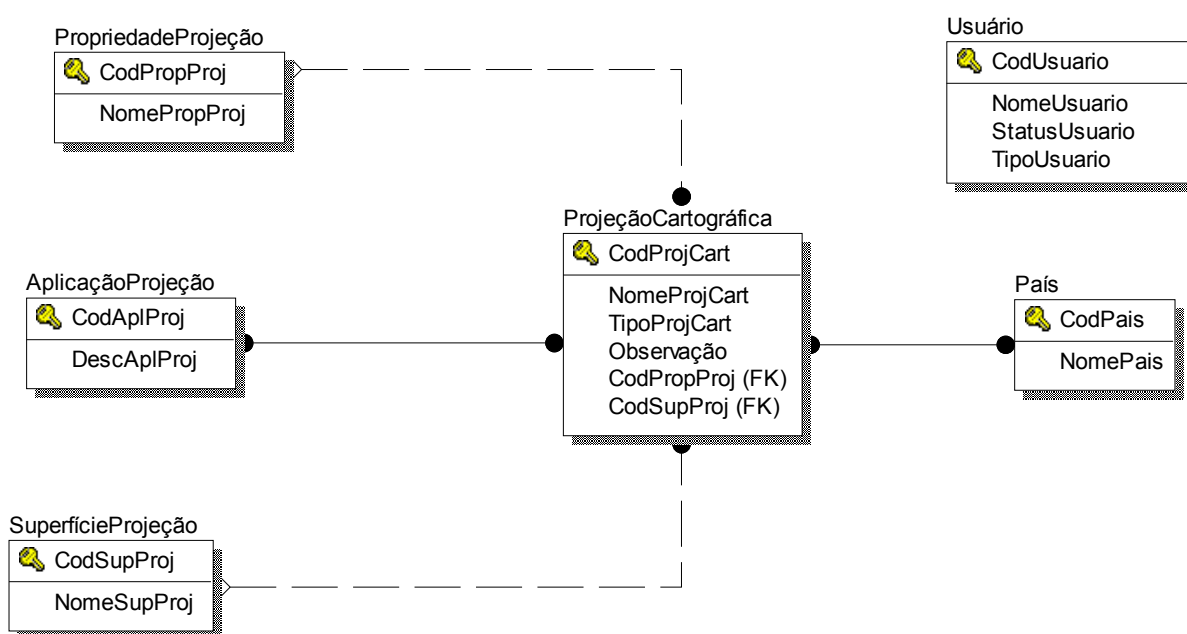


Figura 4.3 - Modelo de Entidades e Relacionamentos do SINPROJ

4.5 COMENTÁRIOS

Cumprе salientar que o Diagrama de Entidade e Relacionamento e o de Classes são uma das principais ferramentas de modelagem, respectivamente, da Análise Estruturada e da Orientada a Objeto para o Projeto Lógico de Banco de Dados, não se justificando, a princípio, a confecção de ambos para a construção do aplicativo SINPROJ. Diante do exposto, na hipótese da implementação do referido aplicativo, o programador deverá utilizar o Diagrama em função da abordagem escolhida (estruturada ou orientada a objeto) na referida implementação.

Visando a demonstrar a viabilidade do projeto, elaborou-se, ainda, um protótipo descartável do software, que se encontra no Apêndice “A”.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

Em relação ao método multicritérios *Analytic Hierarchy Process* (AHP), verificou-se que o desenvolvimento dos modelos, utilizando-se o programa *Criterium DecisionPlus*, proporcionou a constatação de uma importante característica: **a flexibilidade**. Tal característica ajudou sobremaneira na perfeita determinação das variáveis lingüísticas dos Sistemas de Inferência Nebulosos para as projeções equivalentes, equidistantes e conformes.

Verificou-se, também, a simplicidade em relação à utilização do programa *Criterium Decision Plus*, na implementação do AHP.

Cumpramos ressaltar que os julgamentos realizados para construção dos modelos equidistante, equivalente e conforme, foram contribuições pessoais do autor, baseadas nas suas percepções, experiências, interesses e conhecimentos dos Sistemas de Projeção Cartográfica. Possivelmente, os resultados poderiam ser melhores na hipótese da participação de pelo menos mais 2 (dois) especialistas na área de Projeções Cartográficas no procedimento de obtenção dos julgamentos de valor.

É necessário ressaltar, ainda, que a tomada de decisão é uma função humana. O papel do modelo é apenas auxiliar os especialistas, garantindo qualidade, organização e documentação do processo de análise de decisão, explicitando valores de julgamentos, analisando objetivos conflitantes, compartilhando o entendimento sobre as questões e, freqüentemente, promovendo consenso.

O Quadro 5.1 apresenta as porcentagens obtidas com a utilização do software *Criterium DecisionPlus*. Estes resultados demonstraram que a variável “variação de longitude” para a propriedade “equidistante” é mais sensível a mudanças em seus pesos. Todavia verifica-se que o seu *crossover percentage* (33,3%) é muito maior comparado ao valor de referência (5%) preconizado pelo referido software.

Propriedade (Critério)	Variáveis (Sub-critério)	Crossover Percentage (%)	Valor de Referência (%)
Equivalente	Variação de Latitude	57,3	5
	Variação de Longitude	57,3	
Eqüidistante	Variação de Latitude	66,7	
	Variação de Longitude	33,3	
	Latitude Média	66,7	
Conforme	Escala	73,8	
	Latitude Média	73,8	

Quadro 5.1: Quadro Resumo dos resultados obtidos com o software “Criterium DecisionPlus”

Diante do exposto, concluiu-se que os resultados apresentados no Quadro 5.1 mostraram-se satisfatórios e deram embasamento à utilização da ferramenta supracitada no que tange à determinação das variáveis lingüísticas de um Sistema de Inferência Nebuloso para a escolha da projeção cartográfica para a representação de uma região da superfície terrestre, por intermédio de um enfoque científico.

Os resultados apresentados, também, nos Quadros 3.4, 3.6 e 3.8 deram o embasamento à metodologia proposta, que é o de subsidiar a Seleção da Projeção Cartográfica para a Representação de uma Região da Superfície Terrestre, por intermédio de um enfoque científico.

Os resultados supracitados podem ser verificados, por exemplo, na determinação das Projeções Cônica Equivalente de Albers e Cônica Eqüidistante de I’Isle para regiões de grande desenvolvimento em longitude, em faixas de pequena extensão em latitude, como, por exemplo, os Estados Unidos, Canadá e a Sibéria, bem como para Projeção Sanson-Flamsteed ou Equivalente Senoidal para regiões que apresentam considerável dimensão em latitude e pequena variação em longitude como, por exemplo, o Chile.

Dentre as principais vantagens do Sistema de Inferência Nebuloso, pode-se destacar o assessoramento eficiente na seleção do sistema de projeção que satisfaça às finalidades propostas para sua utilização.

No que se refere à implementação do aplicativo SINPROJ, é importante salientar que o Diagrama de Entidade e Relacionamento e o de Classes são uma das principais ferramentas de modelagem, respectivamente, da Análise Estruturada e da Orientada a Objeto para o Projeto Lógico de Banco de Dados, não se justificando, a princípio, a confecção de ambos para a construção do aplicativo SINPROJ. Diante do exposto, na hipótese da implementação do referido aplicativo, o programador deverá utilizar o Diagrama em função da abordagem escolhida (estruturada ou orientada a objeto) na referida implementação.

Cumprе ressaltar que não é objetivo deste trabalho o estudo, em uma dada Projeção Cartográfica, da Teoria das Deformações Lineares, Angulares e de Área, que são decorrentes da representação de uma região da superfície da Terra em um plano, cilindro ou cone.

A idéia central do referido trabalho foi desenvolver uma ferramenta computacional visando a assessorar, com simplicidade e alto desempenho, um usuário que não seja especialista na área do conhecimento de Projeção Cartográfica. Uma aplicação prática dessa ferramenta consiste no suporte à especificação de uma projeção cartográfica, por exemplo, no software livre MapServer (NETTO, RIBEIRO, 2007) utilizando-se a Biblioteca Proj.4, que tem a capacidade de manipular diferentes sistemas de projeção em tempo de execução.

Intencionalmente, não foram quantificadas nos sistemas nebulosos todas as variáveis lingüísticas envolvidas na escolha de uma Projeção Cartográfica pelos motivos abaixo especificados:

- Otimizar o desempenho dos referidos sistemas nebulosos desenvolvidos, evitando-se uma explosão combinatória da base de regras nebulosa;
- Facilitar a utilização da ferramenta computacional; e
- O aplicativo desenvolvido irá providenciar, caso seja o interesse do usuário, o refinamento das informações referentes às projeções disponíveis.

Objetivando a ampliar o emprego da Lógica Nebulosa na área de conhecimento da Geomática, sugere-se o estudo da possibilidade do desenvolvimento de sistemas nebulosos para as diversas técnicas da área de conhecimento supracitada, quais sejam: Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informações Geográficas (SIG), GPS (“Global Position System”) e

Fotogrametria, entre outras. Por exemplo, pode-se citar, na área de Sensoriamento Remoto, o desenvolvimento de um sistema automático de análise de imagens de satélite para reconhecimento de padrões, que utilize a lógica nebulosa para modelar o conhecimento do foto-intérprete.

Sugere-se, também, a utilização de uma abordagem multicritérios na questão da determinação das variáveis lingüísticas dos referidos sistemas nebulosos, utilizando-se uma ferramenta computacional de suporte à decisão.

REFERÊNCIAS

- BAKKER, MUCIO P.R. DE, *Cartografia – Noções Básicas*, Marinha do Brasil – Hidrografia e Navegação – Rio de Janeiro, 1965.
- BEZERRA, EDUARDO, *Princípios de Análise e projeto de sistemas com UML*, Elsevier – Rio de Janeiro, 2002.
- BOOCH, Grady; RUMBAUGH, James; JACOBSON, Ivar. *UML: Guia do Usuário*. Rio de Janeiro: Campus, 2000.
- CAMARA, G ... (ET. AL) ; *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica* –Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996.
- CANTERS, FRANK AND HUGO DECLEIR; *The World in Perspective: A Directory of World Map Projections*. Chichester, England: John Wiley and Sons. 181 pages, 1989.
- CASANOVA, Marco Antonio - CÂMARA, Gilberto - DAVIS JR., Clodoveu- VINHAS, Lúbia - QUEIROZ, Gilberto Ribeiro De (Editores) - *Banco de Dados Geográficos*, Editora MUNDOGEO, São José dos Campos – SP, 2005.
- HAERER, Walt. *Criterium Decision Plus 3.0*. ORMS: 2000. Disponível em: <http://www.lionhrtpub.com/orms/orms-2-00/swr.html>. Acesso em: 30 Nov. 2007.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em : <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 29 Nov. 2007.
- KOSKO, Bart *Fuzzy Engineering*. Prentice Hall, 1997.
- KOSKO, Bart *Neural Networks and Fuzzy Systems*. Prentice Hall, 1997.
- LARMAN, Craig. *Utilizando UML e Padrões: Uma Introdução à Análise e ao Projeto Orientados a Objeto*. Porto Alegre: Bookman, 2000.
- MAILING, D. H.; *Coordinate Systems and Map Projections* (2nd edition). Oxford, England: Pergamon Press. 476 pages, 1992.
- MEIRELLES, Margareth Simões Penello *Geomática: modelos e aplicações ambientais* / Editores Técnicos, Margareth Simões Penello Meirelles, Gilberto Câmara e Claudia Maria de Almeida – Brasília, DF - Embrapa Informação Tecnológica, 2007. São José dos Campos SP, 2005.
- MELO, Ana Cristina. *Desenvolvendo Aplicações com UML 2.0: do Conceitual à Implementação*. 2. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2004.

- MELO, Ana Cristina. *Exercitando Modelagem em UML*. 1. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2006.
- NETTO, S. O. A.; *Utilização do Sistema de Projeção UTM para Mapeamento Topográfico a Grande Escala*. Revista da Diretoria de Engenharia da Aeronáutica - Ano 3 - Nº6 , 1994.
- NETTO, S. O. A. *Inteligência Computacional aplicada a Sistemas de Projeções Cartográficas Equidistantes*. Anais (02/CT03) do I Congresso Brasileiro de Geoprocessamento – Rio de Janeiro - RJ -2007 p.401-408. CD-ROM.
- NETTO, S. O. A.; RIBEIRO, J. A. *Emprego da Biblioteca PROJ.4 nos Sistemas de Informação Geográfica*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007, p.2915-2921.CD-ROM. ISBN 978-85-17-00031-7.
- NETTO, S. O. A.; SOUZA, F. J. *Sistema de inferência nebuloso de apoio à seleção de projeção cartográfica equivalente para a representação de uma região da superfície terrestre*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007, p. 2923-2930. CD-ROM. ISBN 978-85-17-00031-7.
- NETTO, S. O. A.; SOUZA, F. J; FILHO O.B. *Desenvolvimento de um Sistema Fuzzy visando à seleção de Projeção Cartográfica Conforme*. Anais do II Encontro UERJ de Geomática- Rio de Janeiro- RJ-2007.
- OLIVEIRA, CÉURIO DE. *Dicionário Cartográfico – 2º ed. rev. e aum.*- Rio de Janeiro: IBGE, 1983. 781p. ISBN 85-240-0203-4.
- OLIVEIRA JUNIOR, HIME AGUIAR E ; *Lógica Difusa: Aspectos Práticos e Aplicações Interciência*, 1999.
- PEARSON, II, F, *Map Projections: Theory and Applications*, CRC Press, Virginia. 1990.
- SHIAU, Yan-Chyuan; TSAI, Tsung-Pin; WANG, Wen-Chian; HUANG, Miao-Ling. *Use questionnaire and AHP techniques to develop subcontractor selection system*. China: Chung Hua University, 2002. Disponível em: <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build02/PDF/b02143.pdf>>. Acesso em: 29 fev. 2008.
- SILVA, E. ALVES DA; *25 anos da Cartografia Aeronáutica Brasileira*. Anais (04/CT09) do XXII Congresso Brasileiro de Cartografia– Rio de Janeiro - RJ -2007. CD-ROM.

SNYDER, J. P, *Map Projections – A Working Manual*, U S Geological Survey, Reprinted, Washington. 1993.

YOON, Min-Suk. *AHP & Compatibility Metrics: Software Process Assessments* Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process for Multi-criteria Decision Making The 8th International Symposium on the Analytic Hierarchy Process. July 8-10, 2005. University of Hawaii Honolulu, Hawaii, USA.

YOURDON, EDWARD. *Análise Estruturada Moderna*. Rio de Janeiro: Campus, 1990.

ZADEH, L. A. *Fuzzy Sets, Information and Control*, 1965.

ZIMMERMANN, H. J. *Fuzzy Set Theory - and Its Applications*, Kluwer-Nijhoff Publishing, 1985.

APÊNDICE

APÊNDICE A : PROTÓTIPO DO SISTEMA SINPROJ

Objetivando a demonstrar e validar a viabilidade do projeto, elaborou-se um protótipo descartável do software, possibilitando a perfeita execução dos testes de conformidade com os requisitos funcionais do sistema.

Cumpre salientar que o protótipo desenvolvido foi do tipo descartável, ou seja, serve apenas para uma validação. Neste caso, os artefatos criados não serão aproveitados para as atividades e artefatos posteriores.

No que tange à interface com os usuários, priorizou-se a exibição de telas com poucas informações, identificação padronizada e fácil da função do menu, assim como itens claros e bem localizados para perfeita navegação no SINPROJ, conforme pode ser observado nas telas abaixo relacionadas.

✓ Tela 1: Acesso ao SINPROJ

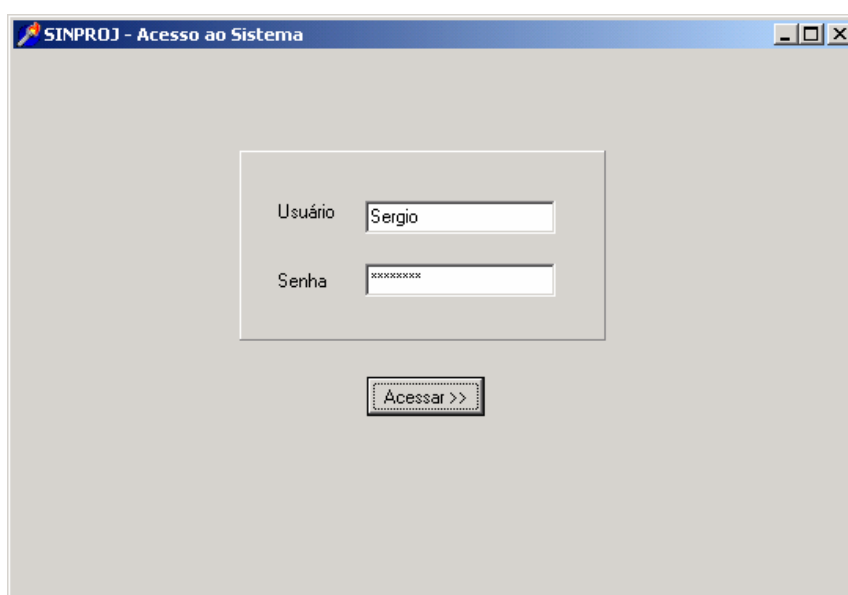


Figura A.1 – Tela de acesso ao Sistema SINPROJ

✓ **Tela 2:** Definição da Propriedade da Projeção

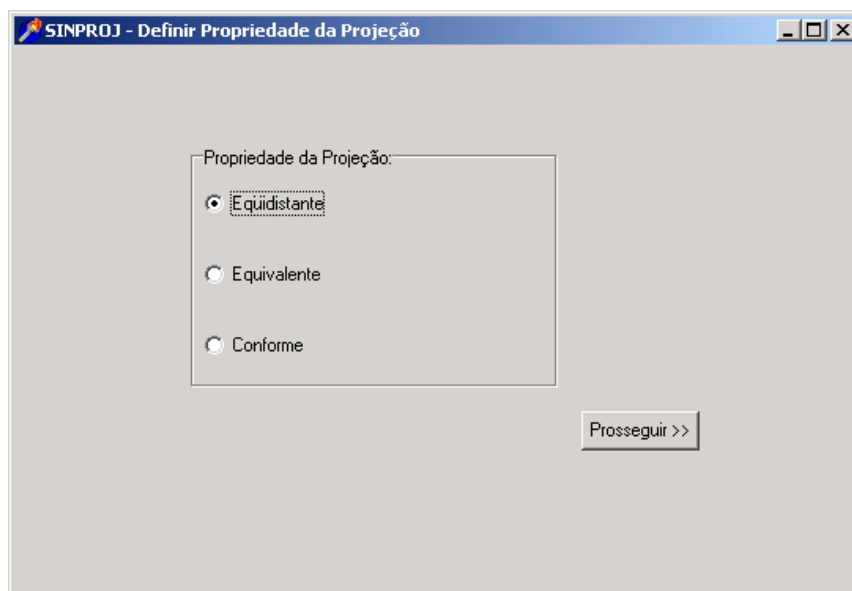


Figura A.2 – Tela de Definição da Propriedade da Projeção do Sistema SINPROJ

✓ **Tela 3:** Parâmetros de Entrada do Sistema de Inferência Nebuloso Equidistante

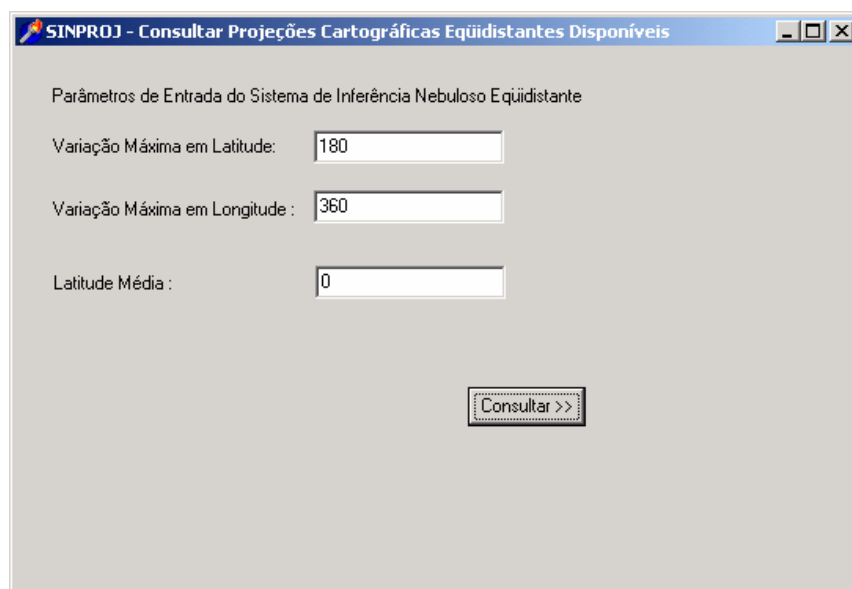


Figura A.3 – Tela com os Parâmetros de Entrada do Sistema de Inferência Nebuloso Equidistante do Sistema SINPROJ

- ✓ **Tela 4:** Projeções Cartográficas Equidistantes Disponíveis para os parâmetros de entrada informados na Tela anterior

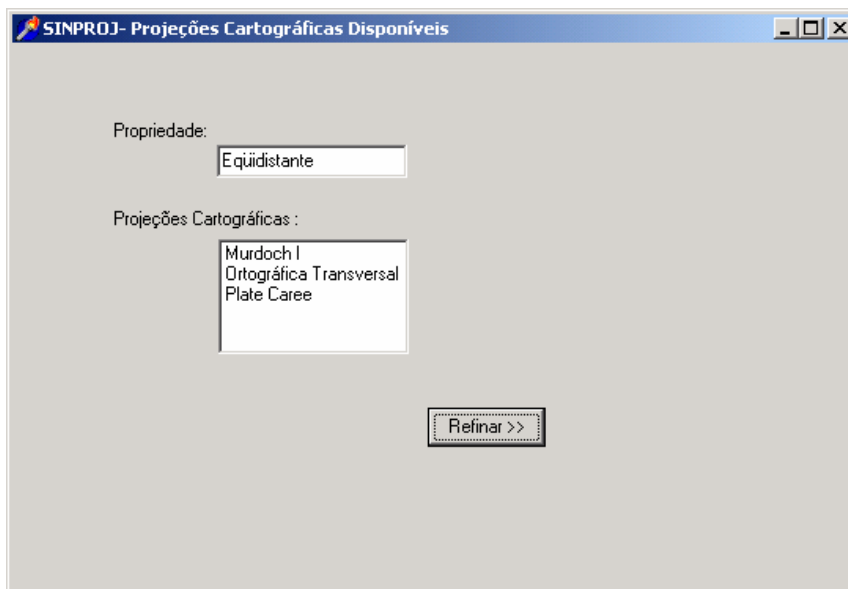


Figura A.4 – Tela com as Projeções Disponíveis para a propriedade informada do Sistema SINPROJ

- ✓ **Tela 5:** Projeções Cartográficas Equidistantes Disponíveis após refinamento

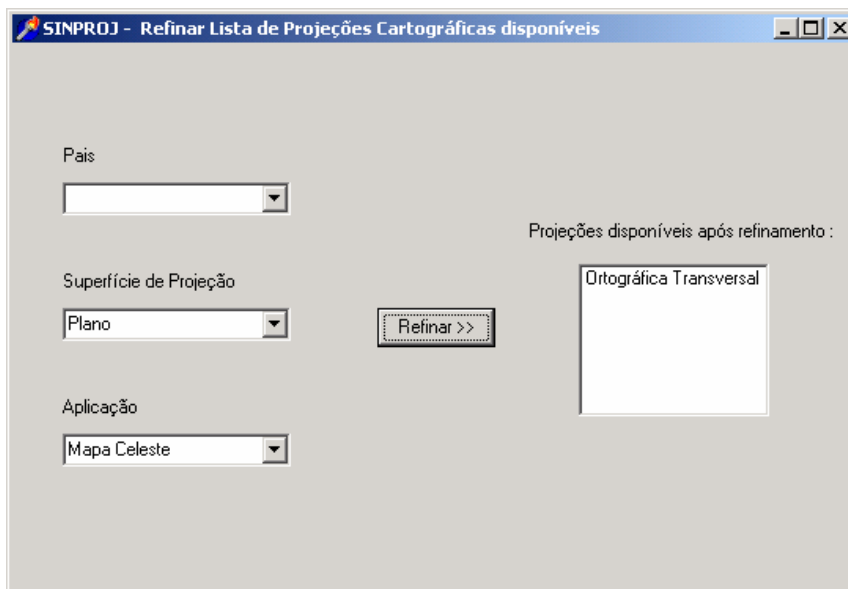
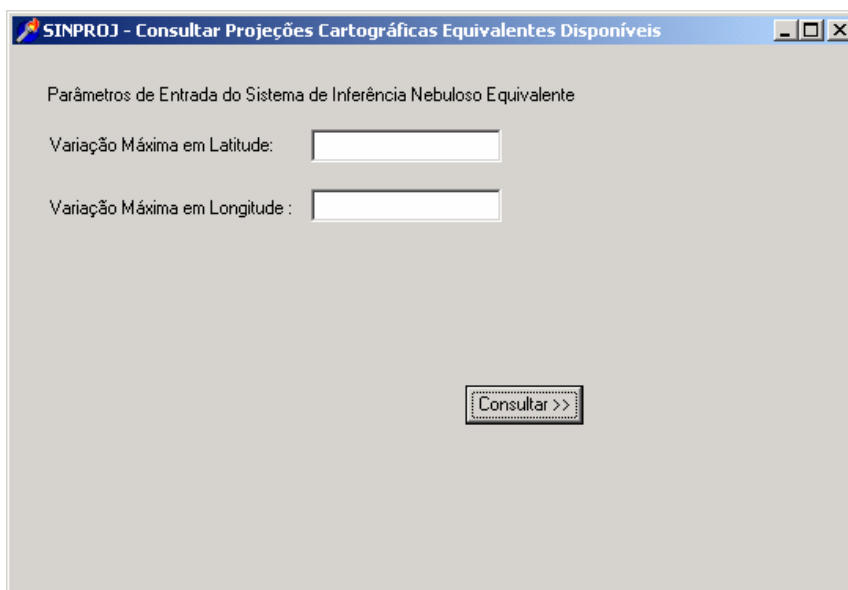


Figura A.5 – Tela com as Projeções Disponíveis para a propriedade desejada após refinamento do Sistema SINPROJ

✓ **Tela 6:** Parâmetros de Entrada do Sistema de Inferência Nebuloso Equivalente



SINPROJ - Consultar Projeções Cartográficas Equivalentes Disponíveis

Parâmetros de Entrada do Sistema de Inferência Nebuloso Equivalente

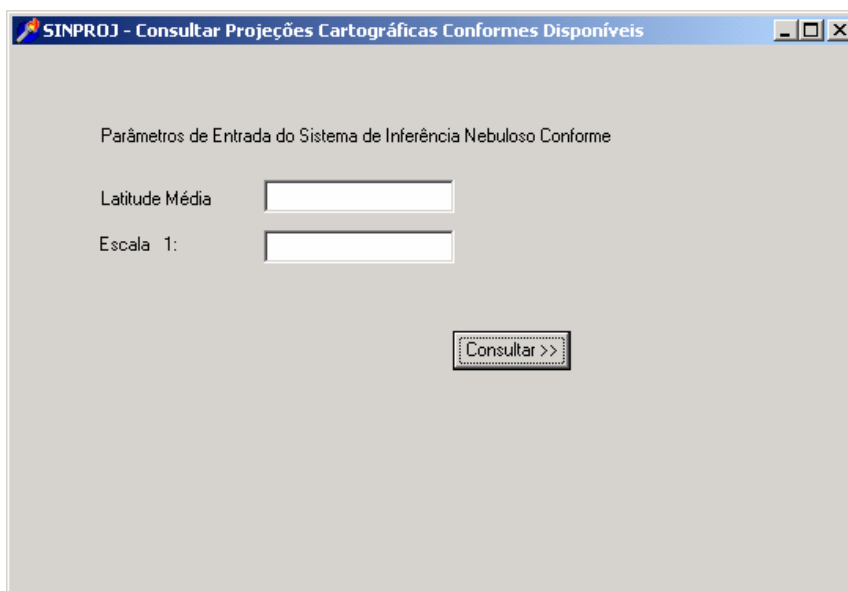
Variação Máxima em Latitude:

Variação Máxima em Longitude:

Consultar >>

Figura A.6 – Tela com os Parâmetros de Entrada do Sistema de Inferência Nebuloso Equivalente do Sistema SINPROJ

✓ **Tela 7:** Parâmetros de Entrada do Sistema de Inferência Nebuloso Conforme



SINPROJ - Consultar Projeções Cartográficas Conformes Disponíveis

Parâmetros de Entrada do Sistema de Inferência Nebuloso Conforme

Latitude Média

Escala 1:

Consultar >>

Figura A.7 – Tela com os Parâmetros de Entrada do Sistema de Inferência Nebuloso Conforme do Sistema SINPROJ

ANEXOS

ANEXO A: QUADRO DOS SISTEMAS DE PROJEÇÃO EQUIVALENTES

Sistema de Projeção	Área de utilização	Observações	Tipo ^(*)
Cilíndrica Equivalente de Behrmann com 02 (dois) paralelos padrões (30°N e 30°S)	Regiões situadas em baixas latitudes	Cartas geográficas - uso limitado	3
Cilíndrica Equivalente de Lambert (tangente)	Regiões situadas em baixas latitudes	A acentuada desigualdade entre a escala sobre os paralelos e a escala sobre os meridianos provoca uma grande distorção da forma nas altas latitudes.	3
Cilíndrica Equivalente de Lambert com 01(um) paralelo padrão	Regiões situadas em baixas latitudes	Pode ser empregada em regiões com pequenas diferenças de latitude e situadas longe do Equador. Entretanto, em virtude das suas deformações lineares e angulares, bem como das distorções que ocasiona nas formas das áreas serem comparativamente maiores que outras projeções equivalentes, costuma ser pouco utilizada na representação das regiões supracitadas.	3
Cilíndrica Equivalente de Peters com paralelos padrões de 45° ou 47°	Globo terrestre	Enfatiza o exagero das áreas em alta latitude.	1

CONTINUA

Sistema de Projeção	Área de utilização	Observações	Tipo ^(*)
Cilíndrica Equivalente Ortográfica de Trystan Edwards	Globo terrestre	Escala Verdadeira ao longo dos paralelos de 37°24' N e S.	1
Cônica Equivalente de Bonne	Portugal - Bélgica - Holanda - Suíça - Escócia - Irlanda	Utilizada na construção de mapas topográficas (1:50.000) de vários países europeus. Representação de áreas relativamente pequenas.	4
Cônica Equivalente de Lambert	Regiões com extensão em latitude muito pequena	Representa o pólo por um ponto. Utilizada em regiões de alta latitude	3
Equivalente Assimétrica de Hatano	Globo terrestre	Escala Verdadeira ao longo dos paralelos de 40°42'N e 38°27'S	1
Equivalente Azimutal de Lambert	Europa	Mapeamento estatístico	4
Equivalente de Aitoff	Globo terrestre	Elaboração de mapas-múndi.	1
Equivalente de Eckert IV	Globo terrestre	Elaboração de mapas-múndi.	1
Equivalente de Fournier	Globo terrestre	Elaboração de mapas-múndi.	1
Equivalente de Holzel	Globo terrestre	O contorno elipsoidal faz referência à forma aproximada da Terra que tem um ligeiro achatamento nos pólos.	1
Equivalente de Kavraisky V	Globo terrestre	Escala Verdadeira ao longo dos paralelos de 35°	1
Equivalente de Mollweide	Globo terrestre	Elaboração de mapas-múndi.	1

CONTINUA

ANEXO A: QUADRO DOS SISTEMAS DE PROJEÇÃO EQUIVALENTES (CONTINUAÇÃO)

81

Sistema de Projeção	Área de utilização	Observações	Tipo ^(*)
Sanson-Flamsteed ou Equivalente Senoidal	Regiões com extensão Norte-Sul maior do que Este-Oeste, ou seja, que apresentam considerável dimensão em latitude, como a América do Sul e África.		5
Equivalente Modificada Azimutal de Hammer	Globo terrestre	Utilizada no mundo inteiro para mapeamento astronômico.	1
Equivalente de Wagner IV	Globo terrestre	Escala Verdadeira ao longo dos paralelos de 42°59'	1

(*): **1** - Globo terrestre **2** - Países com extensão ESTE-OESTE maior do que NORTE-SUL **3** - Regiões com diferenças de latitude muito pequenas **4** - Países com variação de latitude e longitude de pequena a média **5** - Países com extensão NORTE-SUL maior do que ESTE-OESTE.

Fonte: EPSG e BAKKER (1965)

ANEXO B: QUADRO DOS SISTEMAS DE PROJEÇÃO EQÜIDISTANTES

Sistema de Projeção	Área de utilização	Observações	Tipo ^(*)
Azimutal Eqüidistante de Guam	Guam	Mapeamento topográfico e cadastral em grandes e médias escalas.	2
Cilíndrica Eqüidistante Meridiana	Representação de regiões situadas nas proximidades da linha do Equador (baixas latitudes)	Já foi muito empregada na navegação marítima, até que foi substituída pela Projeção de Mercator.	2
Cônica Eqüidistante de Murdoch I	Globo terrestre	Elaboração de mapas-múndi.	1
Plana Polar Eqüidistante Meridiana	Regiões polares	Navegação aérea	6
Cilíndrica Eqüidistante Meridiana com um paralelo padrão	Representação de regiões situadas longe da linha do Equador (altas latitudes).	Já foi muito empregada na navegação marítima, até que foi substituída pela Projeção de Mercator.	6

CONTINUA

Sistema de Projeção	Área de utilização	Observações	Tipo (*)
Cilíndrica Transversa Equidistante de Cassini-Soldner	China – Hong- Kong - Malásia - Israel - Palestina - Catar -Singapura - Alemanha	Mapeamento topográfico e cadastral em grandes e médias escalas. Não é apropriada para a cartografia de regiões com grandes diferenças de longitude.	3
Equidistante Azimutal Modificada	Federação dos Estados da Micronésia	Mapeamento topográfico	2
Cônica Equidistante de Euller com paralelo padrão de 45° N	Área compreendida entre o Equador e o paralelo 90° N	Não é indicada para a representação de regiões polares. Possui menores deformações que a Projeção Cônica de Ptolomeu	4
Equidistante Cilíndrica de Plate Caree	Globo terrestre	Elaboração de mapas- múndi.	1
Cônica Equidistante Meridiana de I'Isle com 2 (dois) paralelos padrões	Regiões de grande desenvolvimento em longitude, em faixas de pequena extensão em latitude como, por exemplo, os Estados Unidos, Canadá e a Sibéria.	Não é indicada para a representação de regiões polares. Possui menores deformações que a Projeção Cônica de Ptolomeu	4

CONTINUA

Sistema de Projeção	Área de utilização	Observações	Tipo ^(*)
Cônica Equidistante Meridiana de Ptolomeu com 1 (um) paralelo padrão	Regiões que abranjam poucos graus de diferença de latitude, mesmo que a diferença de longitude seja grande.	Não é indicada para a representação de regiões com grandes diferenças de latitude, bem como para regiões polares porque representa o pólo, por um arco de circunferência e não por um ponto.	4
Policônica Equidistante Transversal ou Policônica Ordinária	Brasil (incluindo os Arquipélagos de Rocas, Fernando de Noronha e Trindade, bem como as Ilhas de Martim Vaz e São Pedro e São Paulo)	Mapeamento topográfico ou hidrográfico. Elaboração de mapas gerais de regiões não muito extensas em longitude.	5
Equidistante Ortográfica Transversal	Globo terrestre	São utilizadas nas representações de hemisférios e na construção de mapas de corpos celestes, como a Lua, devido à distância destes à Terra, que tornam os raios visuais praticamente paralelos.	1

(*) : 1 - Globo terrestre 2 - Zona Equatorial, que corresponde à faixa compreendida entre os paralelos de 15°S e 15°N 3 - Zona Especial Norte 1, para regiões com variação de longitude de pequena a média, na faixa compreendida entre os paralelos de 15°N e 60°N 4 - Zona Especial Norte 2, para regiões com grande variação de longitude, na faixa compreendida entre os paralelos de 15°N e 60°N. 5 - Zona Especial Sul, que corresponde a faixa compreendida entre os paralelos de 15°S e 60°S. 6 – Zona Polar, que corresponde a faixa compreendida entre os paralelos de 60°S e 90°S, bem como 60°N e 90°N.

Fonte: EPSG e BAKKER (1965)

ANEXO C: QUADRO DOS SISTEMAS DE PROJEÇÃO CONFORMES

Sistema de Projeção	Área de utilização	Observações	Tipo ^(*)
Cilíndrica Conforme Equatorial de Mercator	Impossibilidade de representação dos pólos. Geralmente sua aplicação é limitada pelo paralelo de 60° de latitude	Cartas náuticas, piloto, magnéticas, geológicas, celestes, meteorológicas, aeronáuticas e mapa-múndi.	1
Conforme Oblíqua de Mercator	Havaí - Índias Ocidentais - Nova Zelândia	Mapeamento da órbita dos satélites LANDSAT 1, 2 e 3 / Mapeamento topográfico.	2
Cônica Conforme de Lambert paralelos padrões: 20° e 60° N	Estados Unidos (EUA) - Porto Rico - Austrália - Congo - Canadá - Venezuela - Arábia Saudita - Europa	Mapeamento topográfico e cadastral em grandes e médias escalas. Como qualquer projeção cônica, não é indicada para a representação de regiões com grande extensão em latitude.	2
Cônica Conforme de Lambert com 1 (um) paralelo padrão (tangente)	Índia - Bangladesh - Guatemala - Paquistão - Marrocos - Venezuela - Tunísia - França (Córsega) - Cuba - Líbano - Arábia Saudita - Espanha	Mapeamento topográfico e cadastral em grandes e médias escalas.	2
Cônica Oblíqua Conforme de Krovak	República Tcheca - Eslováquia	Mapeamento topográfico e cadastral em grandes e médias escalas.	2
PBG (Projeção Brasileira de Gauss)	Brasil	Aplicação cadastral no território nacional	2
Hotine Oblíqua de Mercator	Estados Unidos - Malásia	Representação de dados espaciais	2

CONTINUA

Sistema de Projeção	Área de utilização	Observações	Tipo (*)
LTM (Local Transversa de Mercator)	Brasil	Utilizado na cartografia aeronáutica para mapas nas escalas 1/2000. Fusos de 1 grau de amplitude	2
Mercator com 1 (um) paralelo padrão	Oceano Pacífico - Antártida - Austrália - Brunei - Camboja - Canadá - Chile - China - Hong Kong - Macau - Equador - Fiji - Polinésia Francesa - Indonésia - Japão- Coreia do Sul - Indonésia	Mapeamento em escalas pequenas	1
Obliqua de Mercator	Liechtenstein - Suíça - Brunei - Malásia - Hungria - Madagascar - Irã	Mapeamento topográfico e cadastral em grandes e médias escalas. Mapeamento de regiões que se estendem em uma direção oblíqua.	2
Obliqua Estereográfica	Polônia - Romênia - Holanda - Canadá (Prince Edward Island / New Brunswick) - Líbano - Arábia Saudita	Mapeamento topográfico em escalas pequenas (1/100.000)	1
Plana Conforme Estereográfica Polar	Regiões polares	Mapeamento topográfico e cadastral em grandes e médias escalas.	3
Universal Transversa de Mercator (UTM)	Brasil	Mapeamento topográfico nas escalas de 1/250.000 a 1/25.000	1

CONTINUA

Sistema de Projeção	Área de utilização	Observações	Tipo ^(*)
Transversa de Mercator ("Zoned Grid System")	Hemisfério Norte entre o Equador e 84° N - Hemisfério Sul entre o Equador e 80° S	Utilizada em nível mundial, principalmente para aplicações militares	2
RTM (Regional Transversa de Mercator)	Brasil	Utilização em grandes escalas. Fusos de 2 graus de amplitude	2
Transversa de Mercator ou Conforme de Gauss ou Gauss-Krüger	Estados Unidos - Finlândia - Nova Zelândia - Japão - Austrália - Argentina - Áustria - Canadá - Estônia - Lituânia - Dinamarca - Polônia - Líbia - Coreia do Sul - Portugal - Kuwait - Gana - Iraque - Catar - Grécia - Peru - Egito - Filipinas - Itália - Colômbia - Israel - Palestina - Finlândia - Nigéria - Suécia	Mapeamento topográfico e cadastral em grandes e médias escalas.	2
Universal Conforme Estereográfica Polar	Regiões polares	É empregada em duas zonas: "Norte" para as latitudes 84° N a 90° N e "Sul" para as latitudes 80° S a 90° S. É um caso especial da projeção estereográfica polar.	3

(*): **1** - Zona Especial 1, que corresponde à faixa compreendida entre os paralelos de 60°S e 60°N para mapeamento em escalas pequenas a médias **2** - Zona Especial 2, que corresponde à faixa compreendida entre os paralelos de 60° S e 60°N para mapeamento em escalas grandes a médias. **3** – Zona Polar, que corresponde à faixa compreendida entre os paralelos de 60°S ao 90°S e 60°N ao 90°N para mapeamento em escalas grandes, médias e pequenas.

Fonte: EPSG e BAKKER (1965)

ANEXO D: PROCESSAMENTO DOS DADOS NO SOFTWARE CDP

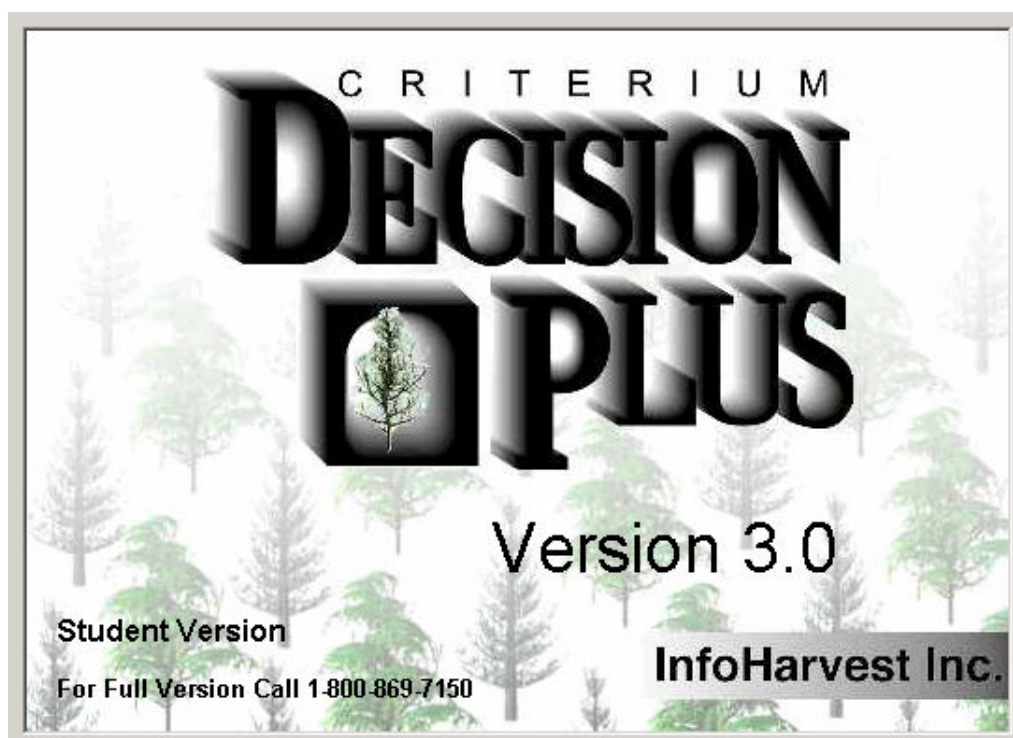


Figura 1.D – Tela de abertura do software Criterium DecisionPlus 3.0.

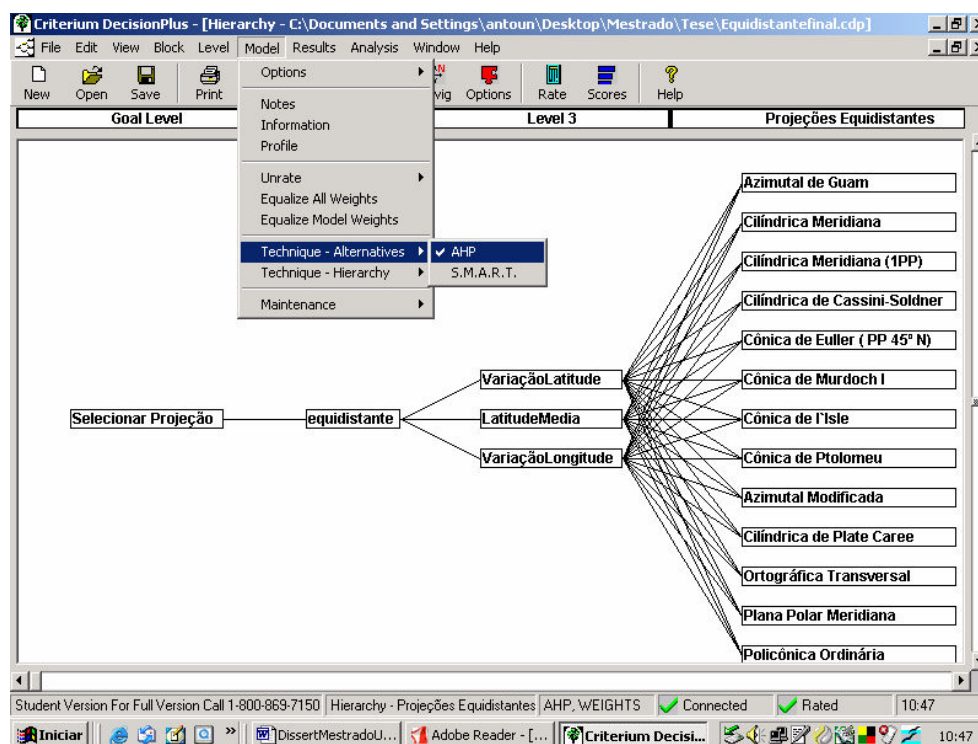


Figura 2.D – Escolha do método

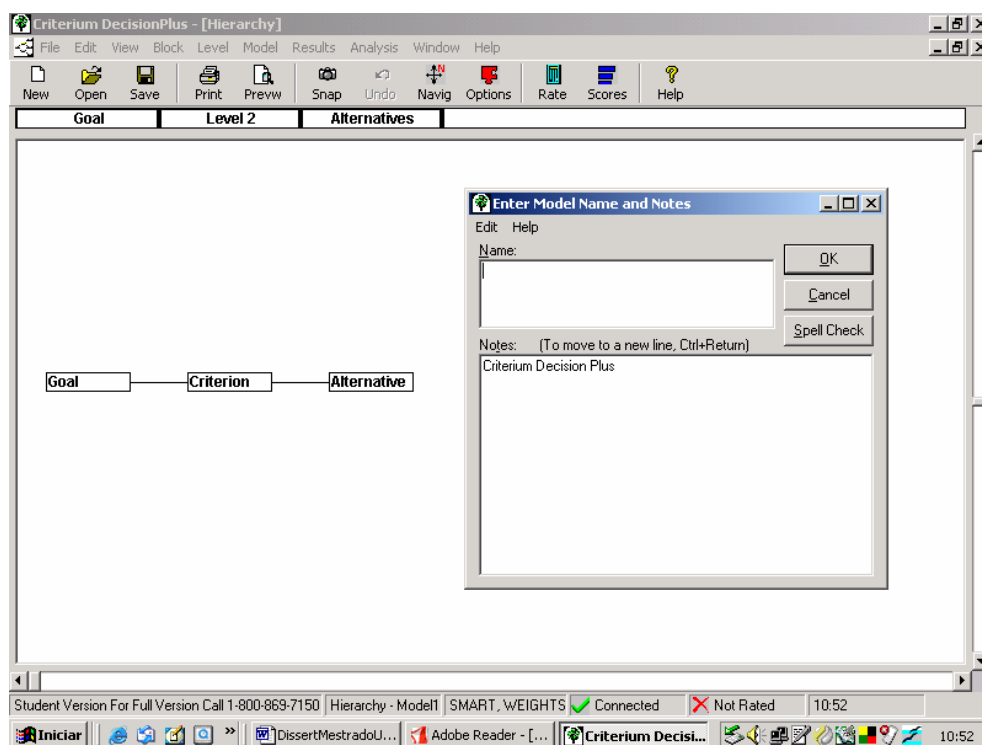


Figura 3.D – Entrada de dados.

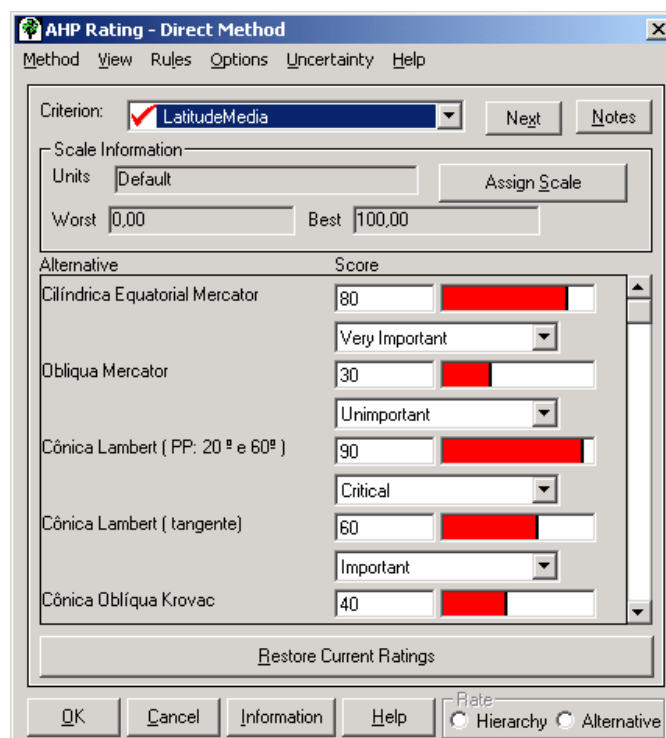


Figura 4.D– Determinação dos pesos relativos das alternativas.

ANEXO E: MODELOS HIERÁRQUICOS DAS PROJEÇÕES

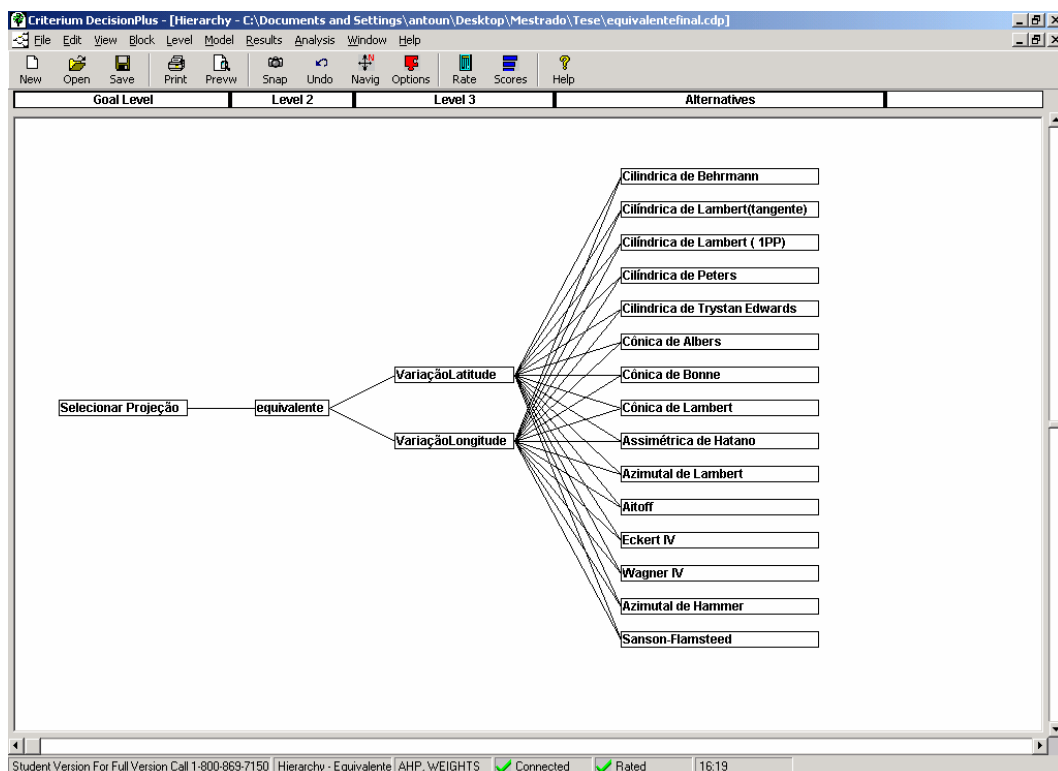


Figura 1.E – Modelo Hierárquico da Projeção Equivalente

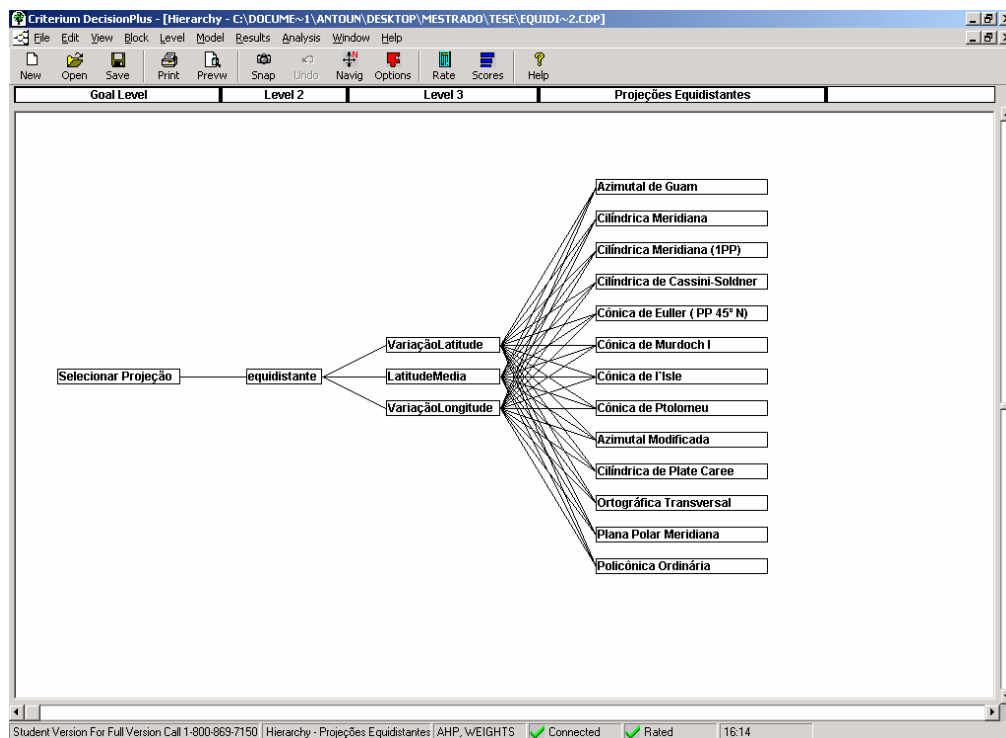


Figura 2.E – Modelo Hierárquico da Projeção Equidistante

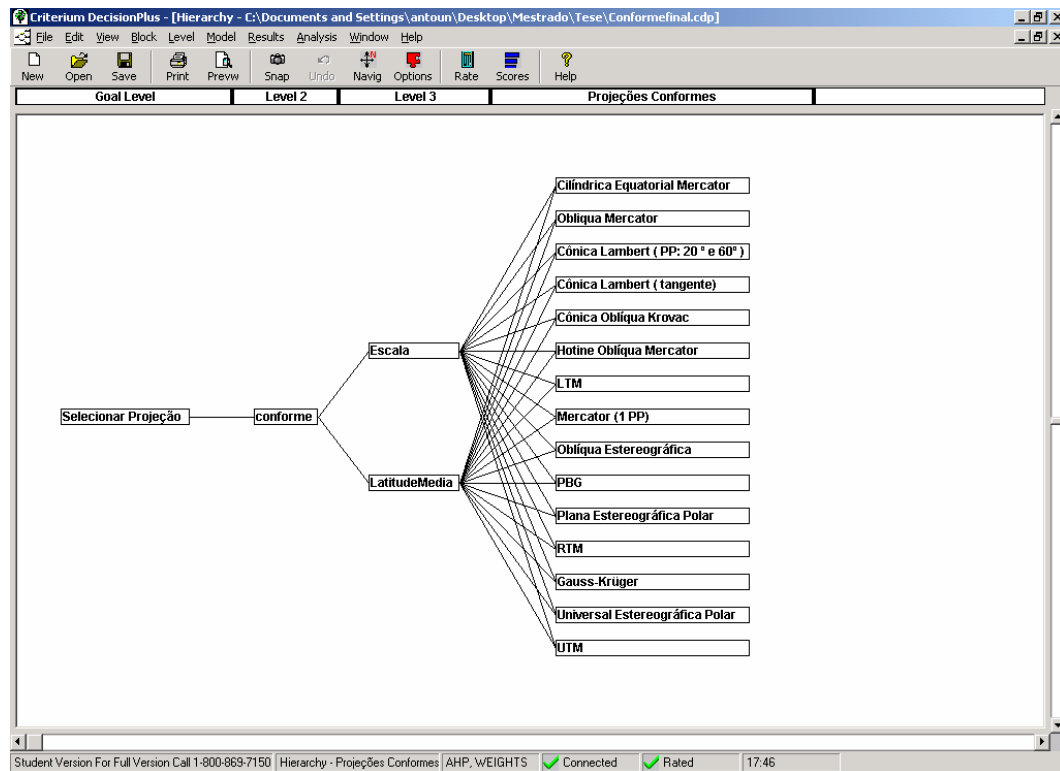


Figura 3.E – Modelo Hierárquico da Projeção Conforme

ANEXO F: QUADROS COM OS PESOS RELATIVOS DAS ALTERNATIVAS PARA PROJEÇÕES EQUIDISTANTES, EQUIVALENTES E CONFORMES

Quadro 1.F : Pesos relativos das alternativas para as Projeções Equidistantes

Projeções Cartográficas Equidistantes	Variáveis		
	VariçãoLatitude	VariçãoLongitude	LatitudeMédia
Cilíndrica Meridiana	30	40	30
Cilíndrica Meridiana (1PP)	30	50	40
Cilíndrica de Cassini-Soldner	50	50	40
Cônica de Euler (PP 45° N)	30	50	40
Cônica de Murdoch I	50	30	30
Cônica de l'Isle	50	30	40
Cônica de Ptolomeu	50	30	30
Azimutal Modificada	50	50	40
Cilíndrica de Plate Caree	50	30	20
Ortográfica Transversal	50	30	20
Plana Polar Meridiana	30	50	30
Policônica Ordinária	50	50	50

Quadro 2.F : Pesos relativos das alternativas para as Projeções Equivalentes

Projeções Cartográficas Equivalentes	Variáveis	
	VariaçãoLatitude	VariaçãoLongitude
Cilíndrica de Behrmann	30	30
Cilíndrica de Lambert (tangente)	30	30
Cilíndrica de Lambert (1PP)	40	40
Cilíndrica de Peters	75	35
Cilíndrica de Trystan Edwards	60	40
Cônica de Albers	80	80
Cônica de Bonne	50	30
Cônica de Lambert	80	80
Assimétrica de Hatano	70	20
Azimutal de Lambert	50	20
Aitoff	70	20
Eckert IV	70	20
Wagner IV	70	20
Azimutal de Hammer	70	20
Sanson-Flamsteed	80	80

Quadro 3.F : Pesos relativos das alternativas para as Projeções Conformes

Projeções Cartográficas Conformes	Variáveis	
	Escala	Latitude Média
Cilíndrica Conforme Equatorial de Mercator	60	80
Conforme Obliqua de Mercator	50	30
Cônica Conforme de Lambert paralelos padrões: 20° e 60° N	80	90
Cônica Conforme de Lambert com 1 (um) paralelo padrão (tangente)	70	60
Cônica Obliqua Conforme de Krovak	60	40
Hotine Obliqua de Mercator	60	60
LTM (Local Transversa de Mercator)	100	100
Mercator com 1 (um) paralelo padrão	70	90
Obliqua Estereográfica	60	50
PBG (Projeção Brasileira de Gauss)	90	90
Plana Conforme Estereográfica Polar	50	80
RTM (Regional Transversa de Mercator)	90	70
Transversa de Mercator ou Conforme de Gauss ou Gauss-Krüger	50	60
Universal Conforme Estereográfica Polar	50	90
Universal Transversa de Mercator (UTM)	80	70

ANEXO G: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO.

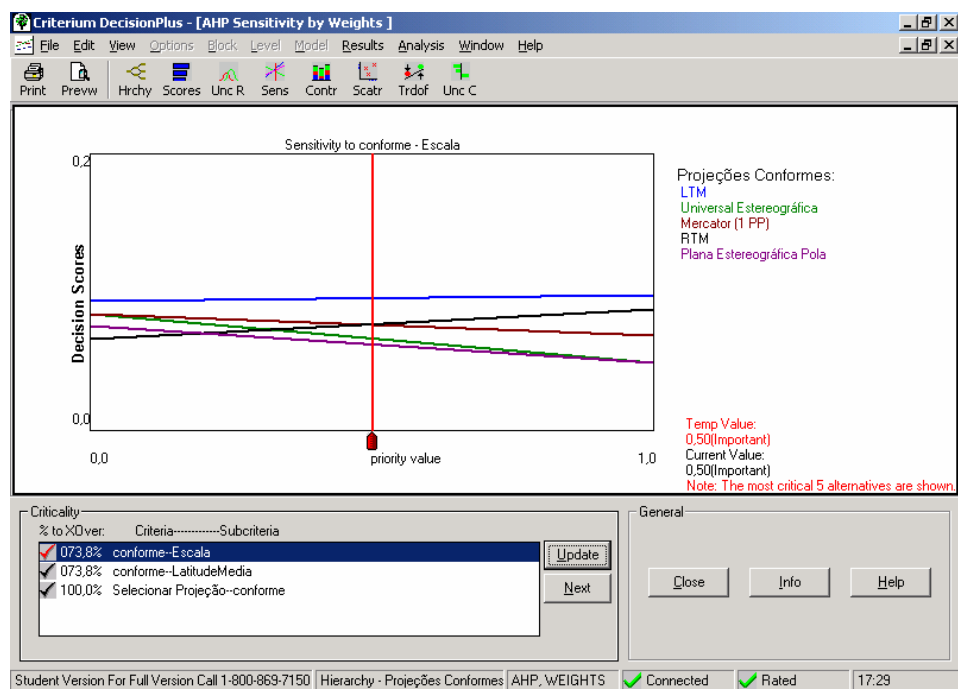


Figura 1.G – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Conforme - Escala”

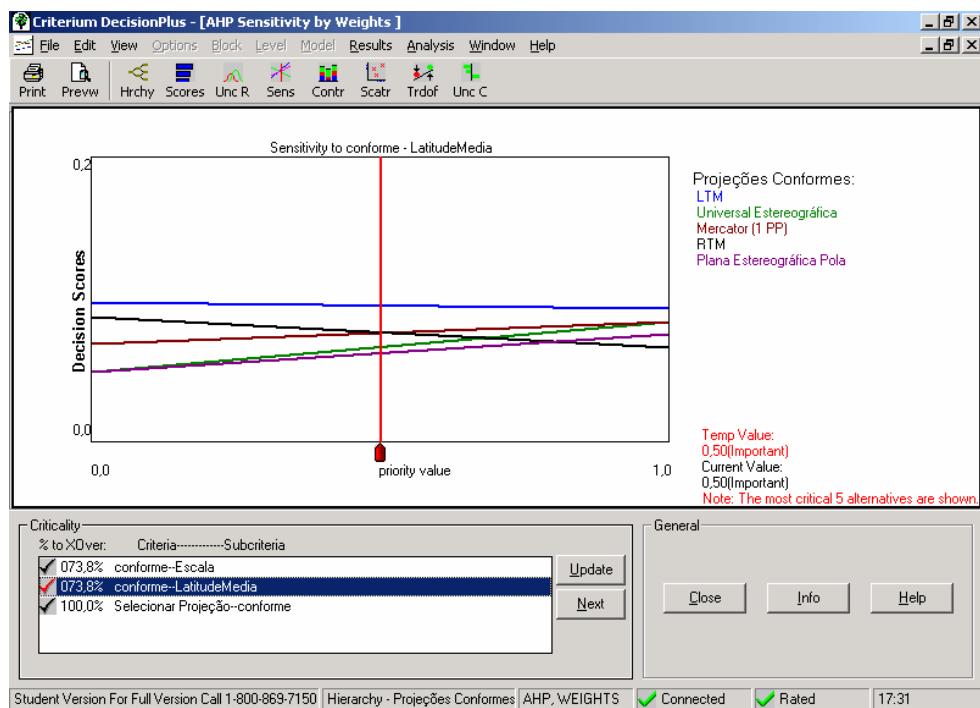


Figura 2.G – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Conforme - LatitudeMédia”

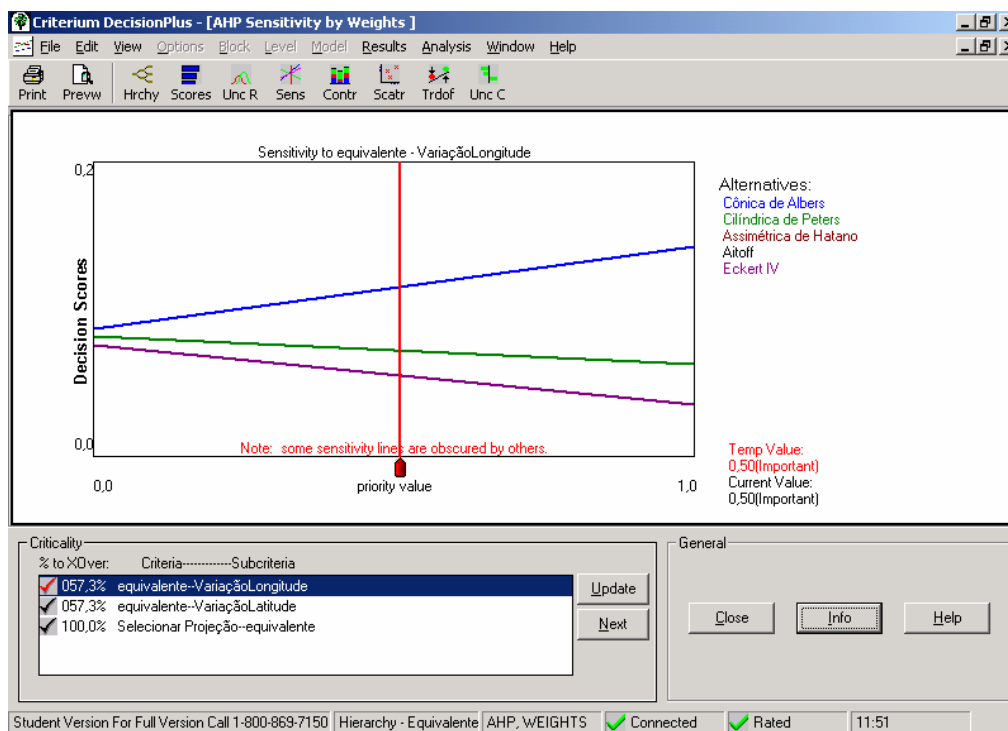


Figura 3.G – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Equivalent-VariaçãoLongitude”

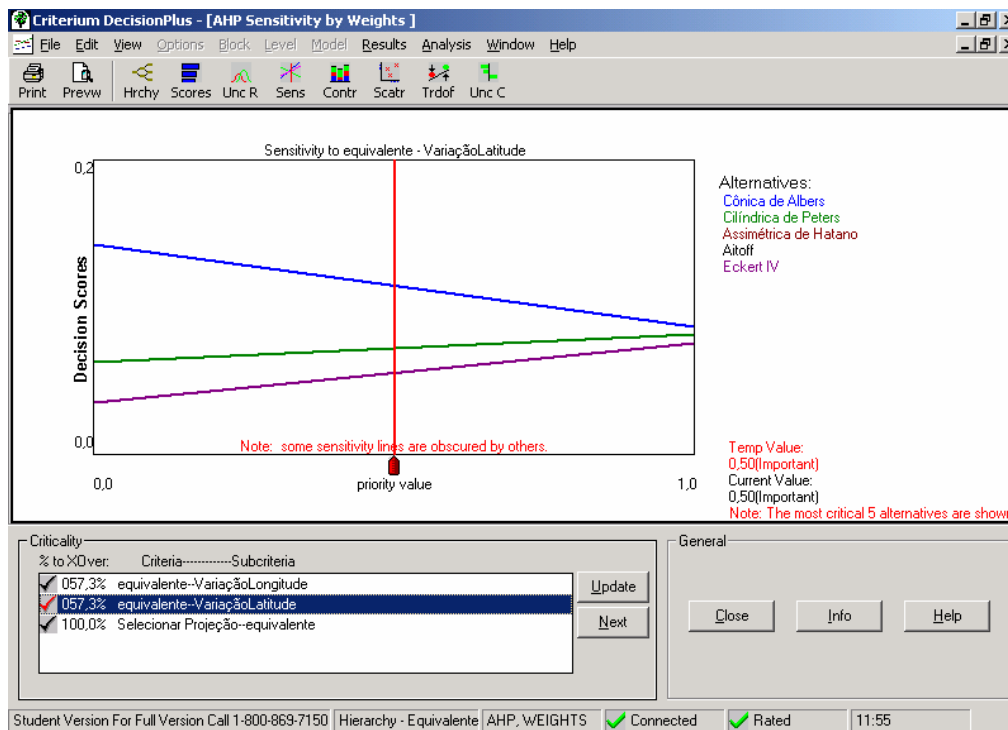


Figura 4.G – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Equivalent-VariaçãoLatitude”

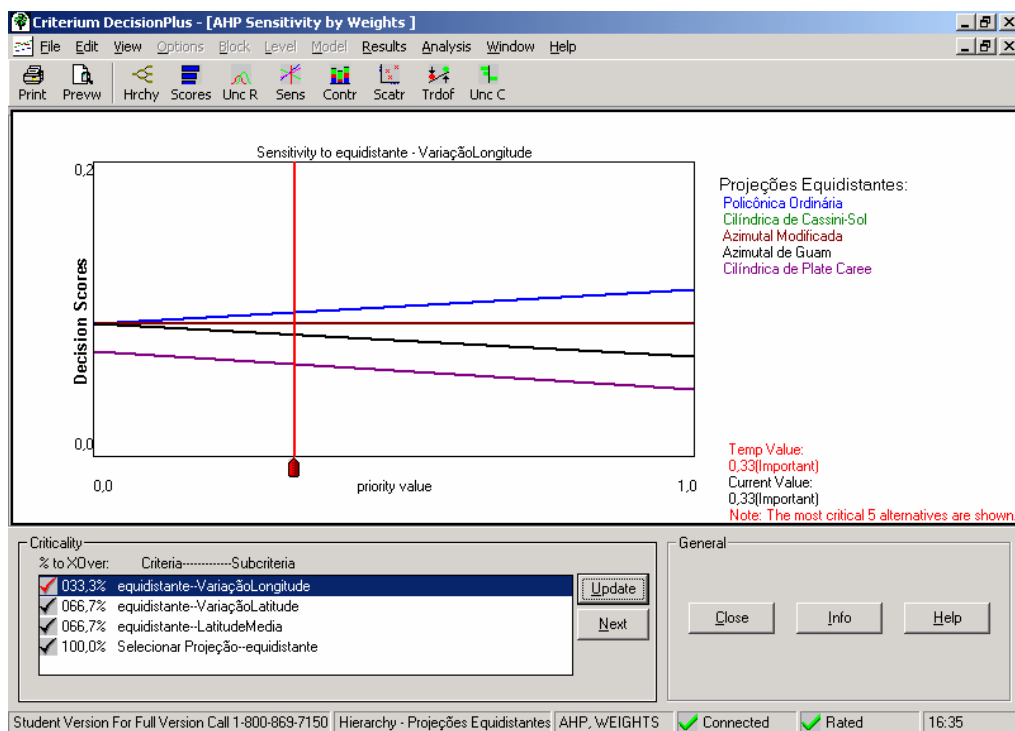


Figura 5.G – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Eqüidistante-VariaçãoLongitude”

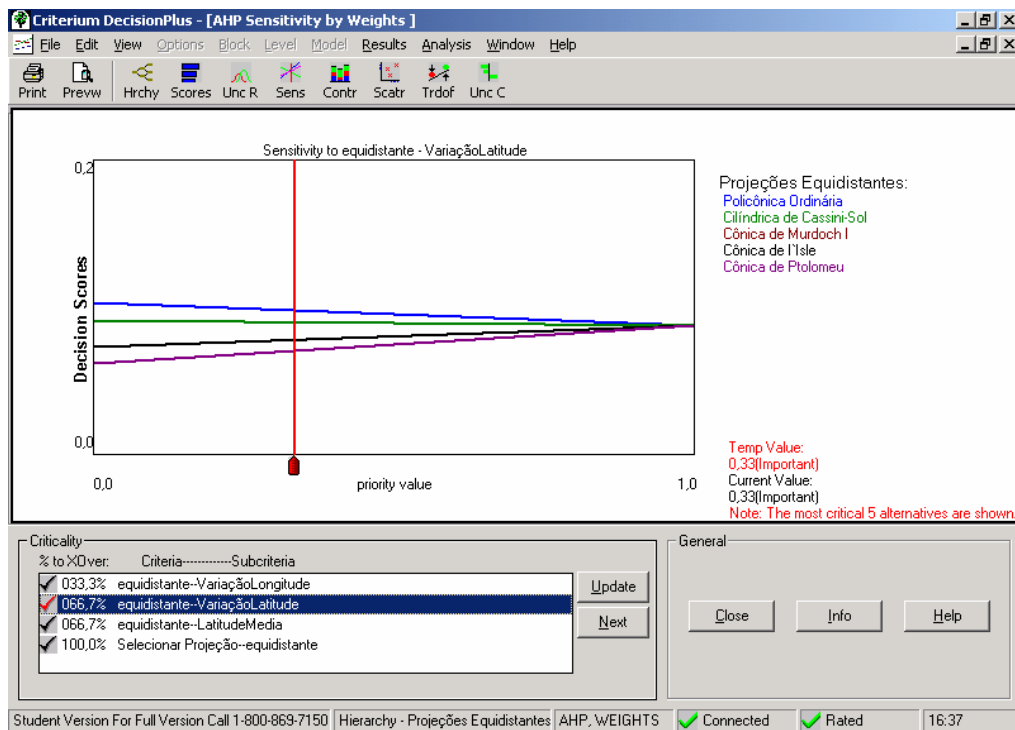


Figura 6.G – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Eqüidistante-VariaçãoLatitude”

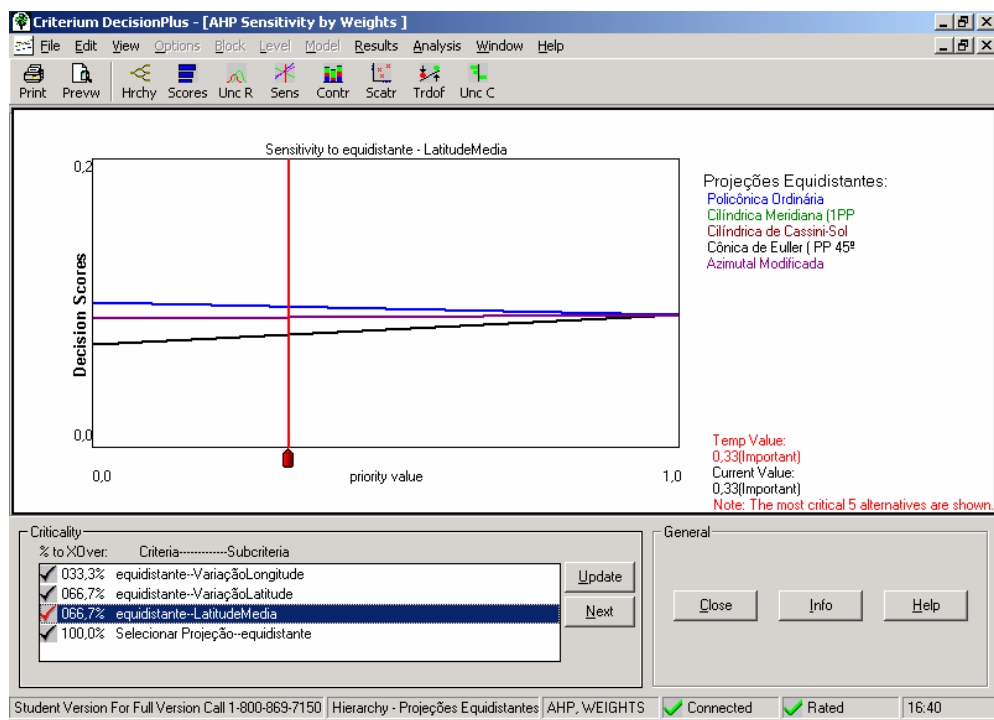


Figura 7.G – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Equidistante-LatitudeMédia”