

Universidade Federal de Santa Catarina

Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação

**UM MODELO FUZZY PARA SELEÇÃO DE ESPÉCIES NA
CONSTRUÇÃO DE UMA RESERVA DE PRESERVAÇÃO**

por

Fernando Luiz Cardoso

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a
obtenção do grau de mestre em Ciência da Computação

Prof. Rogério Cid Bastos, Dr.
Orientador

Florianópolis, Agosto de 2000

UM MODELO FUZZY PARA SELEÇÃO DE ESPÉCIES NA CONSTRUÇÃO DE UM RESERVA DE PRESERVAÇÃO

FERNANDO LUIZ CARDOSO

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação especialidade **Sistemas de Conhecimento** e aprovada na forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

Prof. Fernando A. Ostuni Gauthier, Dr.
Coordenador

Banca Examinadora:

Prof. Rogério Cid Bastos, Dr.
Orientador

Prof. João Bosco da Mota Alves, Dr.

Prof. Luiz Fernando J. Maia, Dr.

Prof^ª Anita Maria da Rocha Fernandes, Dra.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Rondônia, à Universidade Federal de Santa Catarina e à Fundação Rio Madeira pela coragem e pelo empenho em oferecer, em Rondônia, o Curso de Mestrado em Ciência da Computação.

Ao professor Rogério Cid Bastos pela Orientação, paciência, atenção e pelo exemplo de profissional sério, competente e dedicado.

À professora Anita Maria da Rocha Fernandes pela Co-Orientação, paciência e pela dedicação que contribuíram de forma significativa na elaboração deste trabalho.

Aos colegas de estudo Carlos (Papagaio), Marlos, Vicente e Vasco por compartilhar conhecimentos, forças e até algumas dificuldades.

Às pessoas que trabalharam incansavelmente na implementação e para o êxito do Curso de Mestrado em Ciência da Computação, em especial aos professores Rogério Cid Bastos, Nildo Carlos da Silva, Vasco Pinto da Silva Filho, Carlos Luiz Ferreira da Silva, Júlio Militão e Osmar Sienna.

RESUMO

Neste trabalho estuda-se um Modelo para classificação de espécies, em função do risco de extinção. A IUCN (*International Union for the Conservation Nature*) classifica as espécies, quanto ao risco de extinção, em cinco categorias. A classificação leva em conta fatores como Declínio Populacional, Extensão de Ocorrência, Área de Ocupação etc. Nesta classificação são estabelecidos limites que fazem uma mudança brusca de uma categoria para outra. É muito difícil estimar, com exatidão, o número de indivíduos de uma espécie ou o seu Declínio Populacional nos últimos tempos, tornando difícil saber a qual categoria da IUCN que a mesma pertence, principalmente se os dados são valores próximos aos valores de fronteira entre duas categorias. Visando melhorar esta classificação, uma fronteira entre duas categorias será tratada, neste trabalho, de forma *fuzzy*, afim de evitar uma mudança brusca de uma categoria para outra. Desta forma, uma pequena variação nos dados não muda a classificação de uma espécie.

Palavras-chave: Extinção; Conservação; Teoria *Fuzzy* dos Conjuntos; Critérios da IUCN.

ABSTRACT

This work studies a standard to kind classification in function of hazard of extinction. IUCN (International Union for the Conservation Nature) classifies the kinds considering hazard extinction into five categories. This classification considers elements like Population Decline, Extent of Occurrence, Area of Occupancy, etc. In this classification limits are established that make a great change from a category to the other. It is difficult to estimate exactly the amount of a kind or its recently Population Decline. So, it is difficult to know in which IUCN category it belongs to, mainly if information is closed to two different categories. In order to improve this classification, the frontier between two categories will be treated, in this work, in a fuzzy way avoiding a hard change in a category to another. In this way, a small variation in data doesn't change a kind classification.

Key words: Extinction; Conservation; Fuzzy set Theory; IUCN Criteria.

SUMÁRIO

Resumo	iii
Abstract	iv
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	x
Capítulo I - Introdução	
1.1 Apresentação.....	01
1.2 Objetivos.....	03
1.2.1 Objetivo Geral.....	03
1.2.2 Objetivos Específicos.....	03
1.3 Justificativa.....	03
1.4 Importância.....	04
1.5 Estrutura do Trabalho.....	06
Capítulo II - Fundamentação Teórica	
2.1 Reservas para Preservação de Espécies	08
2.1.1 Formulação Matemática do Problema de Projeto de uma Reserva.....	12
2.1.2 Solução do Problema de Projeto de uma Reserva.....	14
2.1.2.1 Solução Ótima.....	15
2.1.2.2 Solução Heurística.....	16
2.2 A Classificação das Espécies para Preservação.....	19
2.3 Algumas Incertezas que Ocorrem na Classificação das Espécies	21
2.4 A Teoria <i>Fuzzy</i>	23
2.4.1 Funções de Pertinência.....	24
2.4.2 Operações em Conjuntos <i>Fuzzy</i>	27
2.4.2.1 Complemento <i>Fuzzy</i>	28
2.4.2.2 União entre Conjuntos <i>Fuzzy</i>	29
2.4.2.3 Interseção entre Conjuntos <i>Fuzzy</i>	30
2.4.2.4 Outros Operadores em Conjuntos <i>Fuzzy</i>	31

2.5 Lógica <i>Fuzzy</i>	33
2.5.1 Algumas Características da Lógica <i>Fuzzy</i>	34
2.5.2 Algumas Vantagens da Lógica <i>Fuzzy</i>	34
2.5.3 Alguns Exemplos que Mostram as Vantagens do Uso da Lógica <i>Fuzzy</i> em Modelagens de Situações Reais.....	35
2.5.4 Algumas Aplicações da Lógica <i>Fuzzy</i>	38
2.5.4.1 Aplicações da Lógica <i>Fuzzy</i> nos Sistemas Especialistas.....	38
2.5.4.2 Aplicações da Lógica <i>Fuzzy</i> no Reconhecimento de padrões.....	41
2.5.5 Proposições <i>Fuzzy</i>	47
2.6 Vantagens de uma Modelagem <i>Fuzzy</i> na Classificação de Espécies Quanto ao Risco de Extinção.....	48
Capítulo III - Um Modelo para a Classificação de Espécies em Relação ao Risco de Extinção, Usando a Teoria <i>Fuzzy</i>	
3.1 Introdução.....	49
3.2 Classificação Através do Declínio Populacional.....	50
3.3 Classificação Através da Extensão de Ocorrência e Área de Ocupação	58
3.4 O Modelo de Classificação com os Todos os Critérios da IUCN.....	67
Capítulo IV - Aplicação do Modelo para Classificação de Espécies	
4.1 Introdução.....	70
4.2 Aplicação do Modelo Analisando o Declínio Populacional.....	70
4.3 Aplicação do Modelo Analisando a Extensão de Ocorrência e Área de Ocupação.....	73
4.4. Implementação do Modelo de Seleção de Espécies.....	77
Capítulo V - Conclusões e Recomendações	
5.1 Conclusões.....	85
5.2 Recomendações.....	86
5.3 Dificuldades Encontradas.....	87
Bibliografia	88
Apêndice	92

LISTA DE FIGURAS

2.1 - Estrutura de um Reserva.....	09
2.2 - Áreas de <i>Buffer</i>	12
2.3 - Área de Ocupação e Extensão de Ocorrência	20
2.4 - Função de Pertinência de um conjunto na Teoria Clássica.....	26
2.5 - Função de Pertinência de um conjunto <i>fuzzy</i> genérico.....	26
2.6 - Função de Pertinência para o conjunto "pessoa alta"	26
2.7 - Outra Função de Pertinência para o conjunto "pessoa alta".....	26
2.8 - Função de Pertinência para o conjunto <i>fuzzy</i> que descreve a experiência de um estudante durante a graduação.	28
2.9 - Função de Pertinência de um conjunto <i>fuzzy</i> para o complemento da experiência de um aluno durante a graduação.	29
2.10 - Comparação entre a Função de Pertinência de um conjunto <i>fuzzy</i> e o seu complemento.....	29
2.11 - União <i>fuzzy</i>	30
2.12 - Interseção <i>fuzzy</i>	31
2.13 - Comparação entre Lógica Clássica e Lógica <i>Fuzzy</i>	36
2.14 - Comparação entre Funções de Pertinência.....	37
2.15 - Padrão de uma borboleta.....	42
2.16 - Grafo AFT.....	45
2.17 - Função de Pertinência.....	47
3.1 - Função de Pertinência para uma categoria "C"	51
3.2 - Função de Pertinência Linear para uma categoria "C"	52
3.3 - Função de Pertinência Linear para uma categoria "C"	52
3.4 - Função de Pertinência não linear.....	54
3.5 - Função de Pertinência não linear.....	54
3.6 - Função de Pertinência para a categoria "Em Perigo".....	56

3.7 - Função de Pertinência para a categoria "Vulnerável"	57
3.8 - Superposição de três Funções de Pertinência	58
3.9 - Área de Ocupação e Extensão de Ocorrência	59
3.10 - Função de Pertinência para Extensão de Ocorrência de uma categoria "C"	60
3.11 - Função de Pertinência para Área de Ocupação de uma categoria "C"	60
3.12 - Função de Pertinência linear para Área de Ocupação.....	61
3.13 - Função de Pertinência linear para Extensão de Ocorrência.....	61
3.14 - Função de Pertinência linear para Extensão de Ocorrência.....	62
3.15 - Função de Pertinência linear para Extensão de Ocorrência da categoria "Criticamente em Perigo"	63
3.16 - Função de Pertinência linear para Área de Ocupação da categoria "Criticamente em Perigo"	64
3.17 - Superposição de três Funções de Pertinência para as três categorias em relação a Área de Ocupação	65
3.18 - Superposição de três Funções de Pertinência para as três categorias em relação a Extensão de Ocorrência.....	66
4.1 - Superposição de três Funções de Pertinência para as três categorias em relação ao Declínio Populacional.....	71
4.2 - Superposição de três Funções de Pertinência para as três categorias em relação a Área de Ocupação.....	75
4.3 - Superposição de três Funções de Pertinência para as três categorias em relação a Extensão de Ocorrência.....	76
4.4 - Modelo para classificação de espécies.....	82

LISTA DE TABELAS

2.1 - Comparação entre Solução Heurística e Solução Ótima.....	18
2.2 - Pertinência dos Atributos dos Nodos do Grafo AFT.....	46
2.3 - Pertinência dos Atributos dos Arcos do Grafo AFT.....	46
4.1 - Declínio Populacional de algumas espécies.....	72
4.2 - Extensão de Ocorrência e Área de Ocupação de algumas espécies.....	77
4.3 – Cálculo no MATLAB para o Declínio Populacional.....	79
4.2 – Cálculo na MATLAB para a Extensão de Ocorrência e Área de Ocupação.....	83

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

A necessidade e o desejo de preservar certas reservas naturais manifestaram-se em diversas sociedades humanas, de nível cultural muito variado, muito mais cedo do que geralmente se acredita (Charbonneau,1979).

Os motivos que levaram certas civilizações a tomarem medidas de proteção foram, no passado, os mais diversos - e muitas vezes estavam bem longe dos modernos conceitos de proteção à Natureza. Isto não impede que desde há muitos séculos, há mais de um milênio, florestas, lagos e diversas espécies de animais tenham se beneficiado de uma proteção efetiva (Charbonneau,1979).

Apesar da preocupação em preservar a natureza ser de épocas remotas, o grande impulso é posterior à Segunda Guerra Mundial. Em 1948, as instâncias internacionais fundaram, por intermédio das Nações Unidas, a União Internacional para a Conservação da Natureza (*International Union for the Conservation of Nature*) que desempenhou um papel importante na promoção dos parques nacionais, como conselheiros juntos aos governos interessados (Charbonneau,1979).

Existem duas formas diferentes de preservação, segundo Ericksom (1995):

1) Preservação *in situ*: é a conservação de espécies em seu habitat natural. É a mais desejável e eficiente, pois conserva também os processos e as cadeias dos ecossistemas tão cruciais para a sobrevivência deles e tão importantes de serem estudados quanto as próprias espécies;

2) Preservação *ex situ*: é a conservação da biodiversidade de organismos ou estoques genéticos fora do seu ambiente de origem. São jardins zoológicos e botânicos, os cultivos de tecidos em culturas e os bancos genéticos de sementes.

Devido ao grande número de espécies com risco de extinção e a impossibilidade de proteger todas, deve-se escolher, com o maior rigor possível, as espécies que serão preservadas quando um determinado recurso é alocado para preservação. A IUCN classifica as espécies, de acordo com o risco de extinção, em categorias. Cada uma destas é definida por critérios tais como, Declínio Populacional nos últimos anos, Área de Ocupação e Extensão de Ocorrência. Estes dados nem sempre estão disponíveis com precisão, o que torna muito difícil avaliar e classificar uma espécie. Esta incerteza que ocorre nos dados e chamada de incerteza Epistêmica e pode ser reduzida tornando os dados mais precisos, mas nunca eliminada. Por outro lado, apesar dos dados não serem precisos, há uma fronteira numérica bem definida entre duas categorias que faz uma mudança brusca de uma categoria para outra. Dependendo do número de indivíduos de uma espécie sua classificação pode mudar adicionando-se ou removendo-se um indivíduo na população, isto pode fazer com que a classificação não reflita o termo que define a classe da espécie no sentido usual da palavra (no modo de entender das pessoas). Por exemplo uma espécie que esteja na categoria “ criticamente em Perigo”, não pode mudar sua classificação adicionando-se ou removendo um indivíduo. Esta incerteza que aparece quanto a extensão de um termo em linguagem natural que define uma classe, é chamada de *Vagueness*; tal incerteza é elástica e não diminui tornando os dados mais precisos. Neste trabalho estuda-se formas de reduzir estas incertezas, usando a Teoria *Fuzzy*.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Estudar um Modelo *Fuzzy* para classificar as espécies, com maior risco de extinção, na elaboração de um Projeto de Reservas para a Preservação.

1.2.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- ◆ Estudar os critérios da IUCN para classificação de espécies em risco de Extinção;
- ◆ Dar um tratamento *fuzzy* para os limites entre as categorias da IUCN, de forma que não haja uma mudança brusca de uma para outra;
- ◆ Propor um Modelo que classifica as espécies em risco de extinção nas classes da IUCN. Este Modelo deverá fornecer as classes em que uma espécie se encontra e a pertinência da mesma em cada classe, simultaneamente;
- ◆ Implementar o Modelo proposto.

1.3 Justificativa

O Brasil abriga a maior biodiversidade do planeta juntamente com Indonésia, Peru, Colômbia e México. Ele detém 28% do que resta de matas tropicais do Globo Terrestre e a maior bacia hidrográfica. Também apresenta o maior número de espécies de psitacídeos, primatas, anfíbios, artrópodes, de plantas superiores e de peixes de água doce. Ocupa, ainda, o segundo e terceiro lugar em aves, répteis e palmeiras. Estima-se atualmente que

podem existir de 10 a 100 milhões de espécies vivas e que o Brasil abrigaria de 15% a 20% deste total (Pádua, 1993).

A taxa de extinção natural antes da presença da espécie humana na Terra era da ordem de 900.000 por 1 milhão de anos, ou seja, uma espécie se extinguiu a cada 13 meses e meio. Hoje em dia assiste-se a uma erosão genética sem precedentes. Dados da União Internacional para Conservação da Natureza - IUCN indicam que a extinção está por volta de 5 mil espécies por ano, ou seja, 13,7 por dia ou ainda 5,5 mil vezes mais acelerada que o processo e mantendo o atual ritmo de desmatamento e fragmentação de habitats nas matas tropicais, poder-se-á condenar à extinção 35% das espécies da região nos próximos 50 anos (Pádua, 1993).

O melhor mecanismo conhecido no mundo para preservação da biodiversidade *in situ* é através do Sistema de Unidades de Conservação. Evidentemente só este mecanismo não será suficiente a longo prazo, mas ele é a peça fundamental, o alicerce para a conservação da riqueza biótica de um país.

1.4 Importância

O Brasil é um dos países mais ricos do mundo em termos ambientais, tendo de 10% a 20% das espécies conhecidas no mundo, segundo estimativas. Há grande quantidade de espécies que só ocorrem no Brasil e uma grande quantidade ainda desconhecida pela ciência. Em nenhum outro país há tantas espécies de macacos, papagaios, anfíbios, peixes de água doce, vertebrados terrestres ou plantas. A flora brasileira representa 22% da flora mundial, (Ferreira et al,1999).

Mas o Brasil é um país que também apresenta alguns dos centros mais industrializados (e poluídos) do mundo, convivendo com focos de miséria e ocupação desordenada, enquanto a Amazônia brasileira ainda abriga algumas das maiores extensões de florestas, a Mata Atlântica - igualmente rica em diversidade de espécies - tem sido

sistematicamente destruída há mais de um século e é, hoje, o segundo bioma florestal mais devastado do mundo, (Ferreira et al,1999).

Hoje, acredita-se que se a taxa de desmatamento mantiver o ritmo atual, entre 5% e 10% dessas espécies que habitam as florestas tropicais poderão estar extintas dentro dos próximos 30 anos, (WWF, 2000).

Dessa forma torna-se cada vez mais necessário estudar formas de preservação. Devido ao grande número espécies em risco de extinção e a impossibilidade de preservar todas, é necessário otimizar a área para a construção de reservas, diminuindo os custos, e procurar selecionar as espécies que têm maior prioridade de preservação.

Para estudar a escolha das espécies que serão preservadas, trabalha-se com os critérios da IUCN. A mesma classifica as espécies, em relação ao risco de extinção em categorias. Cada uma é definida por critérios tais como: Declínio Populacional nos últimos anos, Área de Ocupação e Extensão de Ocorrência.

Há dois potenciais problemas com os critérios e padrões da IUCN. O primeiro é a questão de uma empresa alocar recursos para construir uma reserva. Se duas espécies estão na categoria “Criticamente em Perigo” no sentido usual das palavras e suas populações diferem uma da outra por apenas um indivíduo, e o número de indivíduos da espécie que tem menos esta na fronteira, isto pode fazer com que uma das espécies seja considerada na categoria “Criticamente em Perigo” e a outra não, conseqüentemente uma pode ser preservada e a outra não. O problema é que não há um exato limite entre as várias categorias. Isto é reconhecido pela IUCN:

..... “não há uma linha clara que separa espécies ameaçadas de não ameaçadas. A mudança de uma para outra é contínua e nós temos que escolher pontos apropriados que separa uma das outras”, (Regan et al, 2000).

O segundo problema é a criação de uma extensão precisa para as várias categorias em que as espécies são classificadas em relação ao risco de extinção. Este limite seria de pouca utilidade, a não ser que haja dados aproximados com relação as populações que permitam fazer uma distinção entre elas.

Desta forma fica difícil afirmar se uma espécie está ou não está em um classe. Na verdade, entre a certeza de estar e a certeza de não estar, existem infinitos graus de incerteza. Esta imperfeição intrínseca à informação representada numa linguagem natural, tem sido tratada matematicamente no passado com o uso da teoria das probabilidades. Contudo, a Lógica *Fuzzy*, com base na teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, tem se mostrado mais adequada para tratar imperfeições da informação do que a teoria das probabilidades. De forma mais objetiva e preliminar, pode-se definir Lógica *Fuzzy* como sendo uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em uma linguagem natural e convertê-las para um formato numérico.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho estuda um Modelo que trata de forma *fuzzy* os critérios da IUCN na classificação das espécies em extinção. O mesmo constitui-se de 5 Capítulos.

No Capítulo 1 apresenta-se a Introdução, Objetivos, Justificativa, Importância e Estrutura do Trabalho.

No Capítulo 2, Fundamentação Teórica, fala-se sobre reservas, das dificuldades de selecionar as espécies que realmente sejam as mais ameaçadas e finalmente sobre a Teoria *Fuzzy*.

No Capítulo 3 estuda-se um Modelo para classificação de espécies em extinção.

No Capítulo 4 estuda-se as aplicações do Modelo e sua implementação no MATLAB.

Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas as Conclusões e Recomendações para trabalhos futuros.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Reservas para Preservação de Espécies

Reserva da Biosfera é um instrumento de conservação que favorece a descoberta de soluções para problemas como: o desmatamento das floresta tropicais, a desertificação, a poluição atmosférica, o efeito estufa, etc. Cada Reserva da Biosfera é uma coleção representativa dos ecossistemas característicos da região onde se estabelece. Seja ela, terrestre ou marinha, sua função é otimizar a convivência homem-natureza em projetos que se norteiam pela preservação dos ambientes significativos, pela convivência com áreas que lhe são vizinhas, pelo uso sustentável de seus recursos, (Brasil, 1995).

A Reserva é um centro de monitoramento, pesquisas, educação ambiental e gerenciamento de ecossistemas, bem como centro de formação e desenvolvimento profissional dos técnicos em seu manejo. Seu gerenciamento é o trabalho conjunto de instituições governamentais, não governamentais e centros de pesquisa. Esta integração busca o atendimento às necessidades da comunidade local e o melhor relacionamento entre os seres humanos e o meio ambiente. Esse gerenciamento se dá através do zoneamento de sua área em três categorias de uso que se inter-relacionam, (Brasil, 1995):

1) Zonas de Núcleo ou Zonas de *Core*, que abrange a região mais preservada de um ecossistema representativo, hábitat favorável ao desenvolvimento de numerosas espécies de plantas, animais e seu cenário de convivência com seus predadores naturais. Registra-se, aí, a ocorrência de endemismos, espécimes raros de importante valor genético e lugares de excepcional interesse científico. Amparada sempre em proteção legal segura, só se permitirão em seus limites atividades que não prejudiquem ou alterem os processos naturais e a vida selvagem. Exemplo: a zona inatingível de um

Parque ou de uma Estação Ecológica, uma Reserva Biológica ou áreas de preservação permanente;

2) Zonas Tampão ou Zonas de *Buffer* são as que envolvem as zonas núcleos. Nelas, as atividades econômicas e o uso da terra devem garantir a integridade das zonas núcleos;

3) Zonas de Transição são as mais externas da Reserva. Nelas, incentiva-se o uso da terra sustentado e atividades de pesquisa que serão úteis à região no entorno da Reserva da Biosfera. Seus limites não têm definição geográfica precisa, porque sua demarcação se faz em consequência de seus ajustes periódicos ditados pelos conhecimentos conservacionistas, que se vão conquistando na dinâmica da relação planejamento-execução das atividades econômicas características da região.

Além dessas zonas, mostradas na fig. 2.1, o zoneamento de uma Reserva da Biosfera contempla também a definição de áreas experimentais de pesquisa e áreas de uso tradicional, tanto nas zonas tampão quanto nas de transição.

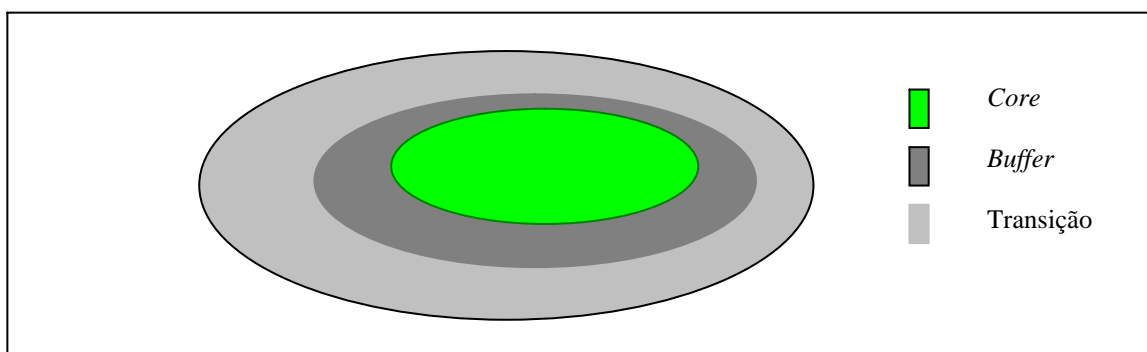


Fig.2.1 Formato de uma reserva padrão

As áreas experimentais de pesquisa têm por finalidade a realização dos experimentos que visem a obtenção das melhores formas de manejo da flora, da fauna, das áreas de produção e dos recursos naturais, bem como o incremento e a recuperação da diversidade biológica e dos processos de conservação.

As áreas de uso tradicional são as que apresentam uma exploração econômica baseada em práticas tradicionais, onde se vão procurar manejo mais eficientes, sem contudo, adulterar seus procedimentos básicos. Numa Reserva da Biosfera, as áreas de agricultura de subsistência permanecem como tal, buscando adequar suas práticas ao plano de manejo para todo o conjunto.

Os requisitos básicos para que uma área seja declarada Reserva da Biosfera são (Brasil, 1995):

- 1) Ter uma efetiva proteção legal;
- 2) Conter em sua zona núcleo valores naturais que justifiquem sua conservação e suas características ideais à preservação;
- 3) Incluir áreas convencionais à pesquisa e à adoção de métodos de manejo sustentável dos recursos naturais; e
- 4) Ser representativa de uma unidade biogeográfica, com extensão suficiente para sustentar todos os níveis de espécies representativas do ecossistema que se quer preservar.

Proteger Biodiversidade tem sido objeto de inúmeros projeto de pesquisa de interesse mundial. Tal interesse baseia-se na perda de espécies devido ao uso desordenado da terra, perda de habitat e mudanças climáticas. Tem-se discutido e pesquisado vários modelos para proteger habitat e biodiversidade de uma região; tais métodos incluem desenvolvimento de reservas e corredores, mudança no uso da terra, planejamento de reservas fechadas para proteger Biodiversidade além de campanhas educacionais. Em uma região, praticamente todas essas técnicas podem ser usadas num ambiente afim de proteger sua biodiversidade, (Church et al, 2000).

Algumas questões primárias devem ser analisadas no início do projeto de uma reserva como, (Church et al, 2000):

- 1) Qual é a área mínima necessária para desenvolve o projeto;
- 2) Como otimizar os recursos disponíveis (áreas terrestres e recursos financeiros);

- 3) A reserva ocupará apenas terras pública?; e
- 4) Quais as espécies que terão prioridades de preservação

Ao projetar uma Reserva para Preservação de Espécies deve-se ter como principal objetivo minimizar os custos e maximizar o número de espécies protegidas. Além disto, o projeto tem que levar em conta alguns critérios, segundo (Williams & Re Velle,1998):

- 1) Critérios Econômicos;
- 2) Critérios Culturais;
- 3) Critérios Espaciais;
- 4) Critérios Ecológicos.

O problema de selecionar áreas de reserva pode ser analisado como um mapa consistindo de células não sobrepostas, variando de forma e tamanho. Algumas destas células, ou todas, podem ser selecionadas para constituir a reserva baseada na sua disponibilidade, no seu custo e pela importância das espécies que contém. A seleção é feita num mapa de células, que são as menores unidades de terra da região onde vai-se construir a reserva. A princípio, as células podem ter qualquer formato geométrica, usa-se geralmente, por questão de conveniência e sem perder a generalidade, células quadradas. Assim divide-se a região onde a reserva vai ser construída em pequenas células quadradas com o mesmo tamanho, que serão selecionadas para *core* ou *buffer* de acordo com sua importância para a reserva. Cada célula pode ter uma ou mais espécies e cada espécie pode habitar uma ou mais células, (Williams & Re Velle, 1998).

Uma reserva envolve vários tipos de custos, mas o principal é o custo de aquisição de terras. Há também os custos administrativos e os custos restauração ambiental. Ao projetar uma reserva assume-se que os custos de cada célula podem ser estimados, somando-se todos as despesas das células. No aspecto econômico, o objetivo de um projeto de reserva é selecionar células de forma que a reserva tenha o máximo de espécies com custo mínimo, isto é, escolhe-se o melhor formato da reserva dentro da região disponível para construí-la, de modo que a mesma tenha a menor área (e/ou o

menor custo) e proteja o maior número de espécies. Este problema tem duas funções objetivo: minimizar a área e maximizar o número de espécies. Pode-se fixar uma e otimizar a outra, ou seja, fixar a área e maximizar o número de espécies ou fixar o número de espécies e minimizar a área que cobre todas as espécies.

Embora as células de *buffer* façam parte da reserva, sua função não é proteger as espécies nelas contidas e sim proteger o interior da reserva de impactos externos. Elas ficam dispostas de forma a constituírem uma cerca para as células interiores que protegem as espécies (as células de *core*). A espessura desta cerca formada pelas células de *buffer* varia de acordo com as necessidades. Dentro destas células não devem ter atividades que possam interferir no interior da reserva tais como: atividade agrícola, extração de minérios, etc. A figura 2.2 mostra algumas formas de áreas *buffer* (escuras) e áreas de *core* (no interior da área de *buffer*), para uma região onde se deseja projetar uma reserva e que foi dividida em células quadradas de mesmo tamanho.

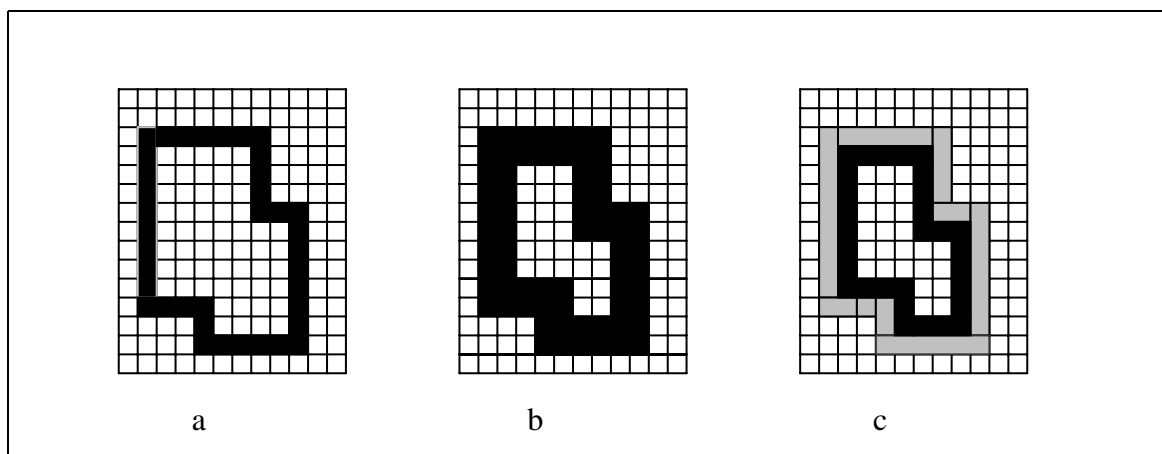


Fig. 2.2 O *core* da reserva está cercado por um *buffer* de: a) uma cerca com espessura de uma parcela; b) uma cerca com espessura de duas parcelas; c) uma cerca com espessura de uma parcela mais uma zona externa de transição com espessura também de uma parcela, (Williams & Re Velle, 1996)

2.1.1 Formulação Matemática do Problema de Projeto de uma Reserva

Considerando que a região para escolha da reserva foi dividida regularmente em células quadradas do mesmo tamanho, onde cada célula representa um pedaço de terra produzindo um único custo. Cada uma das n espécies com índice dado por $k=1,2,3,\dots,n$

habita em uma ou mais células desta região. Cada célula pode ter uma ou mais espécies do conjunto $k=1,2,\dots,n$. O Projeto visa construir uma reserva natural para proteger o maior número de espécies, produzindo o custo mais baixo na aquisição das células que incluem as espécies que serão protegidas. Um dos objetivos do projeto é construir a reserva gastando o menos possível. Uma parcela que faz parte da reserva pode ter duas funções: Uma parcela incluída na reserva e que está totalmente cercada por outras também da reserva é considerada *buffered* de influências externas e é chamado de *core* na reserva. Uma parcela que é *core*, está hábil para proteger uma ou mais espécies da reserva. Uma célula da reserva que não é *core* é chamada de *buffer* e serve para proteger a reserva de impactos externos.

O Projeto do Problema pode ser formulado com um Programa Linear Inteiro com dois objetivos, (Clemens et al,1999):

$$\text{Minimizar } Z_1 = \sum_{i \in I} c_i x_i \quad (2.1)$$

$$\text{Maximizar } Z_2 = \sum_{k \in K} z_k \quad (2.2)$$

Sujeito:

$$y_i \leq x_i \quad \forall i, \forall j \in B_i, \quad (2.3)$$

$$z_k \leq \sum_{j \in S_k} y_j \quad \forall k, \quad (2.4)$$

onde i, j, I são índices e conjuntos de parcelas;

k, K são índices de espécies e conjuntos de espécies;

C_i é o custo da parcela i ;

$x_i \in \{0,1\}$; é 1 se a parcela é comprada e 0 caso contrário;

$y_i \in \{0,1\}$; é 1 se a parcela é *core* da reserva e 0 caso contrário;

$z_i \in \{0,1\}$; é 1 se a parcela k é protegida e 0 caso contrário;

B_i é o conjunto formado pela parcela i e as 8 parcelas adjacentes;

S_k é o conjunto de parcela onde a espécie k é encontrada;

A Função Objetivo (2.1) minimiza os custos da reserva, enquanto a (2.2) maximizar o número de espécies protegidas. Neste caso uma espécie é protegida se ela está em pelo menos uma parcela que é *core* da reserva. Intuitivamente a condição (2.1) tende a diminuir o tamanho da reserva enquanto (2.2) tende a aumentá-lo. Assim pode-se fixar um e otimizar a outra.

O significado de *core* começa a ficar bem definido na condição (2.3), isto é, se $y_i = 1$ (é *core*) $x_i = 1$ (está na reserva), assim uma parcela não pode ser *core* se as oito parcelas adjacentes não pertencem a reserva. A condição (2.4) fornece o significado preciso do termo protegido, isto é, $z_k = 1$ (a espécie k é protegida) então tem pelo menos uma célula *core* na reserva que contém a espécie k . O Problema definido pelas condições (2.1), (2.2), (2.3) e (2.4) é um problema de Programação Linear Inteira.

2.1.2 Solução do Problema de Projeto de uma Reserva

O Problema formulado na seção anterior, a não ser que ele tenha especial estrutura, pode ser muito difícil de resolver quando tem grandes dimensões (quando a área para a construção é muito grande e possui muitas espécies). Este problema pertence, a uma classe de problemas computacionais de grande aplicação prática chamados de problemas NP difíceis.

A solução destes problemas, de elevado nível de complexidade computacional, tem sido um desafio constante para os pesquisadores de diversas áreas. As melhores soluções exatas conhecidas tomam tempo exponencial, o que na prática é inviável. Particularmente em Otimização, Pesquisa Operacional, Ciência da Computação,

Matemática e Engenharias, defronta-se frequentemente com problemas altamente combinatórios, cuja solução ótima em muitos casos ainda está limitada somente a pequenas instâncias. Os métodos tradicionais de otimização exata se caracterizam pela rigidez de seus modelos matemáticos representados através de seus Teoremas, dificultando a representação de situações reais cada vez mais complexas e dinâmicas. O problema desta falta de flexibilidade foi um pouco reduzido a partir do momento em que se passou a associar técnicas de Otimização com ferramentas de Inteligência Artificial, mais especificamente, com as ferramentas de busca heurística. De fato, os algoritmos heurísticos, ou simplesmente heurísticas, se caracterizam pela sua flexibilidade e têm como objetivo encontrar soluções de boa qualidade num tempo computacional suportável. Contudo, as heurísticas isoladamente também possuem suas limitações, e a principal delas é a deficiência histórica de, em muitos casos, não conseguirem superar as armadilhas dos ótimos locais em Problemas de Otimização. Além disso, a falta de uma base teórica dos métodos heurísticos produz algoritmos muito especializados. Ou seja, apesar de sua flexibilidade em incorporar novas situações, o seu desempenho pode oscilar muito com modificações, mesmo pequenas, no problema analisado, (Ochi, 2000).

Portanto, a reunião dos modelos rígidos de otimização com os métodos flexíveis da busca heurística proporcionou o surgimento dos chamados Métodos Inteligentemente Flexíveis, que procuram o desenvolvimento de técnicas dotadas de uma certa rigidez matemática e com facilidades em incorporar novas situações, sem no entanto emergir numa flexibilidade às vezes caótica encontrada em métodos heurísticos, (Ochi, 2000).

2.1.2.1 Solução Ótima

A solução ótima deste problema pode ser obtida por produtos comerciais. Um deles é um *Software* chamado CPLEX, que é uma ferramenta para resolver problemas de Otimização em Programação Linear Inteira. Ele requer alguns minutos para resolver um problema 10x10 com 10 espécies, entretanto, gasta muito tempo com um problema 20x20 com 25 espécies. Em situações reais um problema 20x20 com 25 espécies é

considerado pequeno, isto faz com CPLEX não seja adequado para resolver problemas reais, (Clemens et al, 1999).

2.1.2.2 Solução Heurística

Devido a dificuldade de resolver problemas maiores com produtos comerciais já existentes no mercado, tem-se procurado métodos heurísticos para resolvê-los. Estes métodos, apesar de não fornecerem soluções exatas, apresentam soluções próximas da exata com uma grande vantagem: o tempo de solução é extremamente curto. Um desses métodos é o *Greedy Adding* que resolve problemas 20x20 extremamente rápido com uma aproximação razoável. Este método transforma a dificuldade do problema de tamanho-versus-quantidade de espécies para um equilíbrio entre tempo-versus-aproximação.

Este algoritmo é um procedimento que trabalha com múltiplos pontos de partida e seleciona o melhor deles. Para descrever este método usa-se a seguinte notação, (Clemens et al,1999):

1. i espécie usada com ponto de partida;
2. j espécie candidata em cada passo do *Greedy Adding*;
3. s número de espécies coberto no corrente passo;
4. n número total de espécies no problema;
5. m_j número de células em que a espécie j é encontrada.

Inicialmente o processo seleciona uma espécie i como ponto de partida e repete todos passos abaixo para cada uma das espécies do conjunto $\{1,2,\dots,n\}$. Primeiro todas as m_i células em que a espécie i é encontrada são testadas para determinar a maneira mais econômica de adicionar a espécie i na reserva, isto é, procura-se que célula, entre todas que contem a espécie i , que juntamente com as oito células de *buffer* torna-se a forma de mais econômica de adicionar a espécie i na reserva. Quando isto estiver feito s assume o valor 1. Para adicionar uma segunda espécie $j \neq i$ são testadas todas as células m_j em que a espécie j é encontrada para descobrir a forma de mais baixo custo

de adicioná-la na reserva, isto é, todas as células da espécie $j \neq i$ são testadas para saber quais são as células da espécie que juntamente com as oito células de *buffer* produzem o mais baixo custo para adicioná-la na reserva, levando-se em consideração os custos da espécie já adicionada. Note que este custo pode ser pequeno ou zero, isto porque algumas, ou todas, as células usadas para adicionar a espécie j já podem ter sido adquiridas, como *core* ou *buffer* para a espécie i . Este custo identificado é acrescentado a reserva que é o custo de adicionar a espécie j usando a espécie i como ponto de partida. Denota-se esta segunda espécie por $K_i(2)$ e neste ponto a construção da reserva que começou com a espécie i tem coberto duas espécies i e $K_i(2)$, assim tem-se $s=2$. O mesmo procedimento acima é feito para outra espécie j onde $j \neq i$ e $j \neq K_i(2)$, expandindo a reserva com o custo mais baixo possível. Esta terceira espécie adicionada será denotada por $K_i(3)$ e tem-se $s=3$. O mesmo procedimento continua até $s=n$ (todas as espécies são adicionadas a reserva). Cada uma das espécie i é assim usado como ponto de partida conduzindo, possivelmente, para um formato diferente na composição das células que formam a reserva, mas todas as reserva contém todas as n espécies. Como há n espécies haverá n diferentes pontos de partidas e cada ponto de partida poderá fornecer uma reserva diferente que contenha todas espécies. Denota-se uma reserva obtida partindo com a espécie i por R_i e chama-se a reserva R_i que contém exatamente s espécies de $R_i(s)$. $R_i(s)$ é um conjunto de parcelas necessárias para incluir s espécies com o mais baixo custo partindo da espécie i . Repetindo todo este processo gera-se, para cada s , n conjuntos $R_i(s)$. Há n valores de s e produz-se n^2 reservas de diferentes tamanhos, forma e composição. As n^2 reservas constituem n funções do número de espécies cobertas versus o custo, uma para cada reserva usada como ponto de partida. Nota-se que para um dado s cada uma das n reservas $R_i(s)$ tem um total custo associado. Para cada s a heurística seleciona entre as n reservas qual é a de menor custo. Ao fazer isto com cada valor de s a heurística determina a menor reserva que contém todas as n espécies, (Clemens et al, 1999)

A tabela 2.1 apresenta resultados obtidos num problema de pequenas dimensões, de tamanho 10×10 com 10 espécies. Ela compara dados obtidos pelo método Heurístico com dados ótimos obtidos pelo CPLEX. Reservas geradas pela heurística tendem a parecer com os resultados ótimos mas com uma ou duas células acrescentadas de forma

desnecessária. Isto ocorre quando espécies diferente ocupam uma mesma célula. Se duas espécies i e j estão presentes tanto juntas numa células como em células diferentes e as células, onde elas se encontram separadas, têm custos individuais menores que a célula onde elas estão juntas, a heurística seleciona as duas espécies considerando as células onde elas estão separadas. Se o custo da célula, onde elas se encontram juntas, for menor do que os custos das células onde elas se encontram separadas, haverá acréscimo desnecessário de custo. Isto ocorre porque a heurística adiciona uma espécie por vez de forma independente, a escolha das células acaba sendo as células, onde elas estão separadas, que contém custos individuais menores que as células onde as duas espécies estão juntas, ficando mais econômico (do ponto de vista da heurística) escolher células onde elas estão independente, o que não é feito na solução ótima. Neste caso, na ausência de células com duas espécies em comum a solução é ótima, e quanto menos células com espécies em comum menor será o índice de erro pela heurística. Como pode ser observado na tabela 2.1, os resultados obtidos pela heurística cai em qualidade a medida que o número de espécies aumenta, (Clemens et al,1999).

Tabela 2.1 Comparação entre a Solução Heurística e a Solução Ótima para uma grade 10x10, com 10 espécies.

n ^o espécies	solução ótima		Heurística		Erro Heurístico %
	custo	tempo de sol.(s)	custo	tempo de sol.(s)	
1	290	2.8	290	3	0,0
2	290	2.2	290	3	0,0
3	345	2.5	345	3	0,0
4	410	1.8	445	3	8,5
5	500	4.4	535	3	7,0
6	550	2.9	575	3	4,5
7	715	7.8	770	3	7,8
8	820	8.5	950	3	15,9
9	820	3.8	955	3	16,5
10	1015	4.6	1150	3	13,3

A solução Ótima foi encontrada pelo CEPLEX(1990), *Software* de Otimização, (Clemens et al,1999)

Neste trabalho, estuda-se um modelo para classificar espécies com relação ao risco de extinção na construção de uma reserva, no qual assume-se como hipótese, um

custo fixo que a reserva deve ter e conseqüentemente uma área fixa, a partir desta área deve-se selecionar o máximo de espécies, que habitam esta área disponível para a construção da reserva. Esta seleção pode ser feita usando o Modelo estudado neste trabalho, para classificar as espécies em relação ao risco de extinção.

2.2 A Classificação das Espécies para Preservação

Devido ao grande número de espécies com necessidade de preservação e a impossibilidade de proteger todas, por falta de recursos, torna-se necessário estabelecer prioridade entre as espécies que têm maior necessidade de preservação, sendo necessário estabelecer critérios rigorosos nesta seleção. A IUCN classifica as espécies quanto ao grau risco de extinção em categorias. Estas classes são, (Martins 2000):

1. "Vulneráveis";
2. " Em Perigo";
3. "Criticamente em Perigo";
4. "Provavelmente Extinto" ; e
5. "Extinto".

Esta classificação está colocada como apêndice deste trabalho. Cada categoria é definida por vários critérios, tais como: Declínio Populacional nos últimos anos, Área de Ocupação, Extensão de Ocorrência, etc. Normalmente é muito difícil ter dados exatos sobre as espécies, como por exemplo Declínio Populacional, o que faz com que a extensão de cada categoria não seja bem definida, tornando difícil definir, de forma precisa, se uma espécie está ou não em uma determinada categoria. Por exemplo, se uma espécie tem uma população declinando acima de 50% em 10 anos (ou três gerações), de acordo com os critérios da IUCN esta espécie está na categoria "Em Perigo". Se a população de uma espécie está declinando acima de 80% em 10 anos (ou em três gerações) a espécie está na categoria "Criticamente em Perigo". Para decidir se uma espécie está na categoria "Criticamente em Perigo" dados são necessários para saber a razão do Declínio Populacional, por exemplo 79%, 80% ou 81%, ect. Casos de espécies em que suas populações tiveram, em 10 anos, declínios de 79% e 81%, são casos que, embora estejam próximos, têm tratamentos totalmente diferentes. Além disso, tais dados raramente estão disponíveis, tornando muito difícil o tratamento dos

casos de fronteira. Isto faz que se use uma margem de segurança muito grande ao se classificar uma espécie. Além disso, tais decisões não são sempre padronizadas e pode mudar de pessoa para pessoa, (Regan et al, 2000)

Há casos em que o Declínio Populacional de uma espécie não é conhecido e tornando-se necessário classificá-la usando outros critérios, como por exemplo Área de Ocupação e Extensão de Ocorrência .

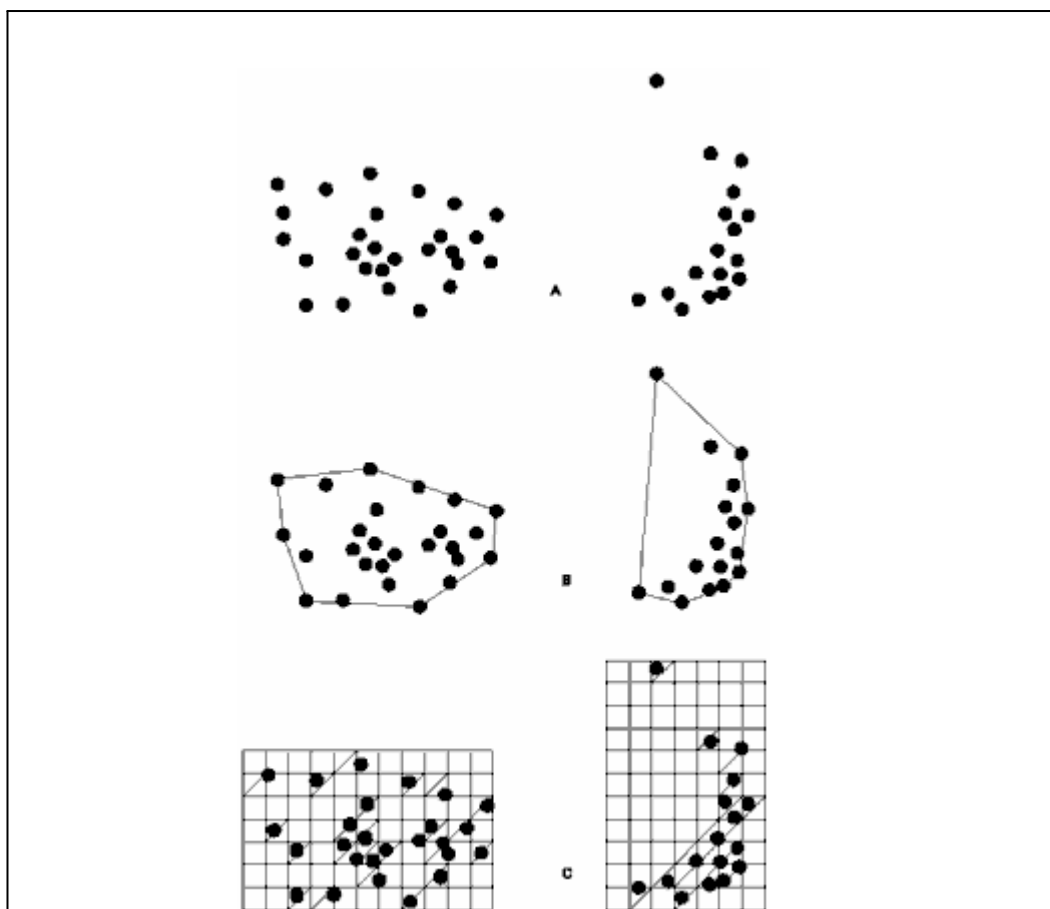


Fig. 2.3. Dois exemplos de distinção entre Extensão de Ocorrência e Área de Ocupação. **A** é a distribuição espacial dos locais de ocorrência. **B** mostra uma possível delimitação da Extensão de Ocorrência, que é a área do polígono. **C** mostra uma medida da Área de Ocupação, que pode ser medida pela soma dos quadrados ocupados, (Martins, 2000).

A Extensão de Ocorrência, ilustrada na fig.2.3, é definida pela área contida dentro da menor figura que se pode desenhar para incluir todas os locais de ocorrência conhecidos, estimados ou inferidos para uma espécie, excluídos os casos de espécies errantes. Essa medida deve excluir discontinuidades ou disjunções dentro da distribuição total das espécies. A Extensão de Ocorrência pode frequentemente ser

medida por um polígono convexo mínimo (o menor polígono no qual nenhum dos ângulos internos tenha mais de 180° e que contenha todos os locais de ocorrência), (Martins, 2000).

A Área de Ocupação, ilustrada na fig. 2.3, é definida como a área dentro da Extensão de Ocorrência que é ocupada efetivamente pela espécie, excluídos os casos de espécies errantes. A medida reflete o fato de que uma espécie geralmente não ocorre ao longo de toda a sua Área de Ocorrência, que pode conter, por exemplo, habitats não adequados. A Área de Ocupação é a menor área essencial, em qualquer estágio, para a sobrevivência das populações de uma espécie. O tamanho da Área de Ocupação será uma função da escala na qual ela é medida e deve ser a uma escala apropriada para aspectos biológicos relevantes para a espécie. O critério inclui valores em km^2 e, portanto, para evitar erros de classificação, a Área de Ocupação deve ser medida em *grids* com quadrados de tamanho suficientemente pequenos, (Martins, 2000).

2.3 Algumas Incertezas que ocorrem na Classificação das Espécies

Na ciência há dois tipos de incerteza: a primeira, chamada Incerteza Epistêmica, é provocada por dados incompletos, limitações em medidas, aproximações, etc. Esta incerteza geralmente pode ser reduzida mas nunca eliminada; a segunda incerteza, chamada de *Vagueness*, é uma incerteza que surge no fato de que muitos conceitos científicos serem definidos usando termos de linguagem natural. Isto faz com que o conceito não fique bem definido, não permitindo definir a extensão precisa do conceito. Por exemplo, o conceito de indivíduo adulto numa população é vago, pois não é fácil estabelecer uma fronteira entre indivíduos adultos e não adultos. A incerteza que surge da *Vagueness* é elástica, difere da Incerteza Epistêmica e não pode ser reduzida, tornando os dados mais precisos. É importante reconhecer e distinguir estes dois tipos de incerteza, pois eles devem ser tratados de forma diferente, (Regan et al, 2000).

Considere o caso de uma espécie que esteja na categoria “Em Perigo”. Para muitas pessoas e para muitos Biólogos isto significa que a espécie está em perigo de extinção, está vulnerável de perda, mas este grau de perigo pode mudar de pessoa para

pessoa. Uma maneira de criar uma definição precisa da categoria "Em Perigo", esta em estabelecer as fronteiras desta categoria. Pode-se definir a categoria "Em Perigo" da seguinte forma: Uma espécie esta na categoria "Em Perigo" se a mesma tem menos de n indivíduos. Isto parece perfeito. Mas na realidade há problemas: primeiro, fica difícil contar os elementos de uma espécie; segundo, pode-se tornar uma espécie (com n elementos) que não está na categoria "Em Perigo" para a categoria "Em Perigo", removendo apenas um elemento. Assim, o termo "Em Perigo", definido desta forma, tem o significado totalmente diferente encontrado em um dicionário ou na forma de entender das pessoas no cotidiano. Além disso, o termo técnico fica verbalmente idêntico, em significado, ao uso não técnico da palavra. Por exemplo: há um problema prático em conciliar o termo técnico com o uso diário, que é indispensável. No uso diário o termo "Em Perigo" não muda a classificação de uma espécie quando retira-se apenas um indivíduo (a não ser que esta retirada leve a espécie a extinção), mas muda a classificação com uso do termo técnico, (Regan et al, 2000).

Para ilustrar estas idéias pode-se dar um exemplo. Supõe-se que uma empresa tem recursos disponíveis para construir uma reserva. Evidentemente esta reserva é para preservar espécies "Em Perigo" (no sentido comum da palavra). O motivo fundamental deste reserva é reduzir o risco de extinção de uma espécie que seja considerada "Em Perigo". Recursos para preservação são raros e há uma grande demanda de espécies necessitando dos mesmos. Nestas circunstâncias é necessário e importante identificar quais espécies estão mesmo "Em Perigo" e quais não estão, sendo este o parâmetro que determina quais as espécies que serão preservadas. O que fazer com os casos de fronteiras? Se o termo técnico é usado, não há casos de fronteiras e não há problemas. Mas a reserva é para preservar espécies que estão "Em Perigo" no sentido usual da palavra e não no preciso sentido técnico. O preciso termo técnico não diz nada a respeito do grau de risco de extinção, por exemplo. Desta forma, nota-se que nem o preciso termo técnico de "Em Perigo" e nem seu significado usual no cotidiano funcionam de forma satisfatória. Apesar da organização da linguagem científica, de forma a evitar termos vagos tem tido notáveis avanços, ainda há vários problemas. Há dúvidas se uma linguagem científica livre de termos vagos é possível. Em alguns casos, muitos cientistas não gostaria de seguir regras estritamente técnicas, o interesse em

classificar espécies em: “Vulnerável”, “Em Perigo”, “Críticamente em Perigo”, “Provavelmente Extinto” e “Extinto” é importante (entre outras coisas) para propostas sociais e políticas. Elas são usadas para sensibilizar a opinião pública, obter doações e votos na área política. Assim classificar uma espécie quanto ao seu risco de extinção não é importante só para considerações científicas, (Regan et al, 2000).

2.4 A Teoria *Fuzzy*

Neste trabalho algumas incertezas serão tratadas usando a teoria *fuzzy*. Esta teoria trata de forma mais geral a Lógica e a Teoria Conjuntos. O termo *fuzzy* significa, neste contexto, nebuloso ou difuso. Para conjuntos pode-se usar também os termos Conjunto *Fuzzy* (*Fuzzy Set*), Conjunto Nebuloso ou Conjunto Difuso; para Lógica pode-se usar os termos Lógica *Fuzzy* (*Fuzzy Logic*), Lógica Nebulosa ou Lógica Difusa.

A idéia central da Teoria *Fuzzy* dos Conjuntos é que os elementos de uma conjunto, pode ter graus de pertinência diferentes no conjunto. Isto contrasta com a Teoria Clássica dos Conjuntos em que dado um conjunto e um elemento, este elemento pertence ou não a este conjunto. Desta forma para Lógica *Fuzzy*, dada uma proposição esta não é estritamente verdadeira ou estritamente falsa, como ocorre na lógica clássica, ela pode ter graus de verdade intermediário.

Na teoria Clássica dos Conjuntos a fronteira de uma conjunto é sempre bem definida, isto é, dado um conjunto X e um elemento x ocorre exatamente uma das duas situações: ou x está no conjunto X (escreve-se $x \in X$) ou x não está no conjunto X (escreve-se $x \notin X$). Esta exatidão também ocorre na Lógica Clássica onde toda proposição ou é falsa ou verdadeira, isto é, verifica-se sempre um destes casos e nunca um terceiro, (Alencar, 1986)

Entretanto nem sempre este modelo exato pode ser usado em situações reais. Para ilustrar isto pode-se imaginar a seguinte situação: Supondo que existam várias pessoas numa sala e deseja-se classificá-las em “altas” e “não altas”. Há dois problemas neste caso: O primeiro é definir o ponto que divide as categorias em “alta” e “não alta”,

alguém pode considerar como sendo alta uma pessoa com mais de 180 cm enquanto outra pessoa pode considerar alta uma pessoa acima de dois metros. Este limite pode mudar de pessoa para pessoa. O segundo problema é como tratar os elementos que estão próximos da fronteira. Considerando-se a fronteira como sendo 180 cm, pessoas com 179 cm e com 181cm teriam classificação totalmente diferente embora a diferença entre suas medidas sejam insignificante. No exemplo citado acima, para uma pessoa, ser alto ou não, pode não ser uma questão sem importância, mas há casos em que definir se um elemento pertence ou não a um conjunto pode ser uma questão extremamente relevante.

2.4.1 Conjuntos *Fuzzy*

Definição: Se X é uma coleção de objetos denotados genericamente por x , então um conjunto *fuzzy* \bar{A} definido em X é um conjunto de pares ordenados: $\bar{A} = \{(x, \mu_{\bar{A}}(x)) / x \in X\}$, onde $\mu_{\bar{A}}$ é chamada de Função de Pertinência de x em \bar{A} , (Zimmermann,1990) .

Exemplo 1, (Zimmermann,1990): Um corretor precisa classificar os imóveis que ele oferece a seus clientes. Um indicador desses imóveis é o número de quartos. Seja $X = \{1, 2, \dots, 10\}$ o conjunto das casas disponíveis classificadas pelo $x =$ números de quartos da casa. Então o conjunto *fuzzy* tipo de casa confortável para uma família de 4 pessoas pode ser descrito como: $\bar{A} = \{(1, .2), (2, .5), (3, .8), (4, 1), (5, .7), (6, .3)\}$.

Exemplo 2: Para a IUCN uma espécie está no conjunto das espécies que estão na categoria “Críticamente em Perigo” se a mesma está declinando 80% em 10 anos. A fronteira deste conjunto é bem definida, isto é, acima de 80% a espécie está no conjunto e abaixo de 80% está fora. Esta fronteira bem definida não é conveniente pois nem sempre os dados são precisos, desta forma pode ser interessante definir o conjunto das espécies que estão na categoria “Críticamente em Perigo” através de um Conjunto *Fuzzy*. Uma das possibilidades é definir uma margem de segurança acima da qual pode-se garantir que a espécie está definitivamente neste conjunto, digamos 85% e uma

margem de segurança abaixo da qual pode-se garantir que a espécie está definitivamente fora deste conjunto, digamos 75%. Pode-se considerar que entre 75% e 85% a variação seja linear, desta forma a função de pertinência fica definida por

$$\mu_{\bar{A}} = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq 75 \\ \frac{1}{10}x - \frac{75}{10} & \text{se } 75 < x < 85 \\ 1 & \text{se } x \geq 85 \end{cases} \quad (2.5)$$

Neste caso, espécies com Declínio abaixo de 75% pertencem a este conjunto, mas com pertinência zero, de 75% a 85% a pertinência varia de zero a um e cima de 85% a espécie também pertence ao conjunto, mas com pertinência um.

Exemplo 3, (Zimmermann,1990): Seja \bar{A} o "conjunto dos números consideravelmente maior que 10", então \bar{A} pode ser definido por $\bar{A} = \{(x, \mu_{\bar{A}}(x)) / x \in X\}$, onde

$$\mu_{\bar{A}} = \begin{cases} 0 & x \leq 10 \\ (1 + (x - 10)^{-2})^{-1} & x > 10 \end{cases} \quad (2.6)$$

Na Teoria Clássica dos Conjuntos dado um conjunto X pode-se estabelecer uma função de pertinência A em X, $A : X \rightarrow [0,1]$, definida

$$\text{por } A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in X \\ 0 & \text{se } x \notin X \end{cases} \quad (2.7)$$

Por exemplo, se $X=[1,4]$, tem-se $A(0)=0$, $A(2.5)=1$, $A(3)=1$, $A(\pi)=1$, $A(10)=0$, etc.

A função de pertinência para este conjunto tem o gráfico ilustrado na fig. 2.4

Em um conjunto *fuzzy* a função de pertinência pode assumir todos os valores de 0 a 1. Esta função de pertinência pode ser definida de várias formas de acordo com a conveniência. Uma Função de Pertinência Genérica é mostrada na figura 2.5.

Como exemplo, pode-se construir uma função de pertinência para o Conjunto Fuzzy “pessoas alta”. Esta função pode ser definida da seguinte forma: supondo-se que até 1,1 m uma pessoa não está, definitivamente, no conjunto *fuzzy* “pessoa alta”; de 1,1 m até 1,9 m a pertinência no conjunto cresce linearmente e a partir de 2 m uma pessoa está definitivamente no conjunto *fuzzy* “pessoa alta”. Esta função de pertinência pode ser definida matematicamente pela equação 2.8 e está ilustrado na fig.2.6

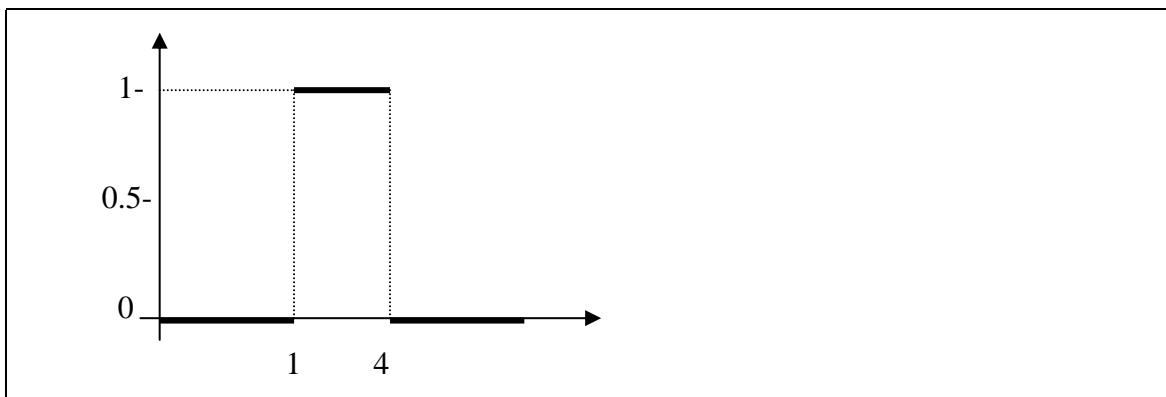


Fig. 2.4 Função de Pertinência para o conjunto $X=[1,4]$

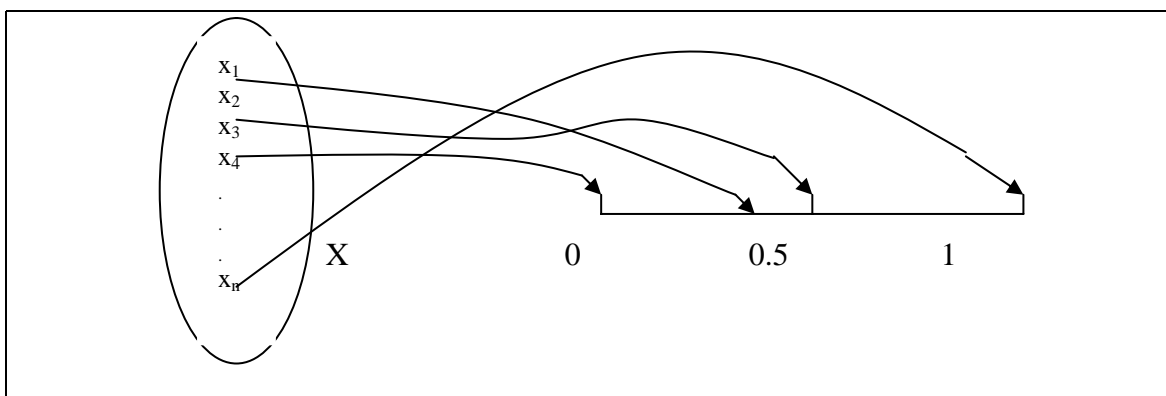


Fig. 2.5 Função de pertinência para um conjunto X genérico, (Klir et al, 1997)

$$\mu_{\bar{A}}(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x > 2 \\ \frac{10}{x} - \frac{17}{3} & \text{se } 1,7 \leq x \leq 2 \\ 0 & \text{se } x < 1,70 \end{cases} \quad (2.8)$$

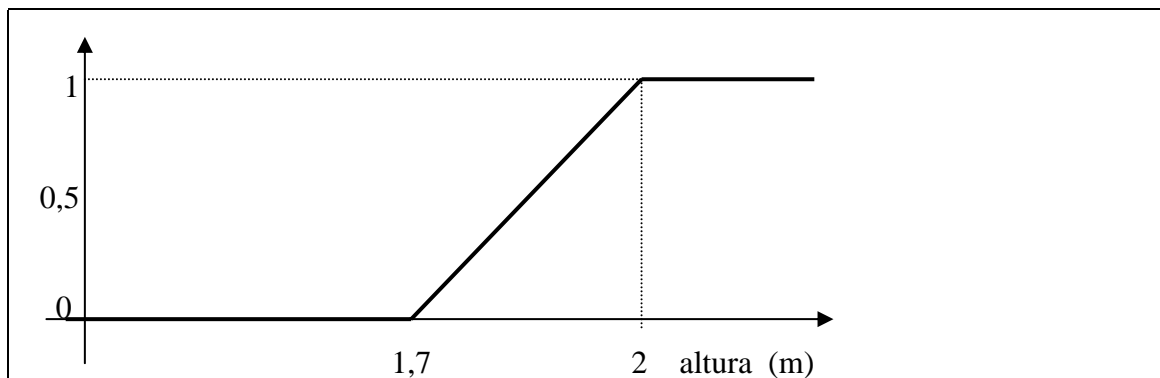


Fig. 2.6 Função de pertinência para o conjunto “pessoa alta”

Pode-se, ainda, ter outras funções de pertinência para a categoria "pessoa alta" com outro gráfico, associando a cada elemento do conjunto outra pertinência, como por exemplo a função da figura 2.7.

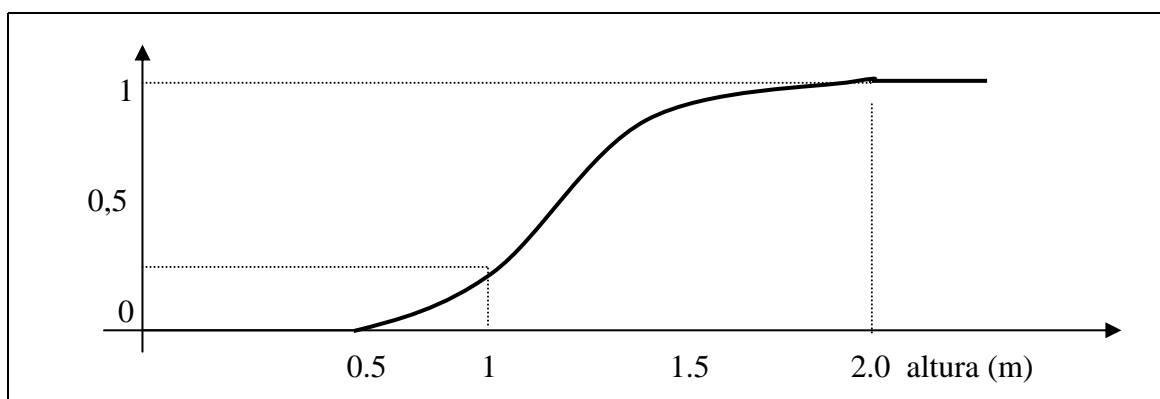


Fig. 2.7 Outra possível função de pertinência para o conjunto difuso “pessoa alta”

Note-se, através da figura 2.7, que todas as pessoas são altas o que muda é o grau de pertinência, no conjunto, de uma pessoa para outra. Até uma altura de 50 cm a pertinência é zero, entre 50 cm e 2 m a pertinência varia de zero a um, acima de 2 m a pertinência é 1.

2.4.2 Operações em Conjuntos *Fuzzy*

Há três operações básicas entre conjuntos: União, Interseção e Complementar de um Conjunto. Estas operações são únicas na Teoria Clássica dos Conjuntos, mas nas suas extensões para conjuntos *fuzzy* esta exatidão não ocorre. Estas operações na teoria *fuzzy* são definidas de forma que possam refletir o significado de termos lingüísticos

como: "não", "e" e "ou" quando aplicado a expressões em linguagem natural em diferentes contextos, (Klir et al,1997).

2.4.2.1 Complemento *Fuzzy*

Dado um conjunto *fuzzy*, \bar{A} , contido num conjunto universal X , o complemento de \bar{A} , $\overline{\bar{A}}$, é outro conjunto *fuzzy* contido em X cuja pertinência de cada $x \in \overline{\bar{A}}$ é um complemento da pertinência de x em \bar{A} . Desta forma, para cada $x \in X$, $\bar{A}(x)$ expressa o grau em que x pertence a \bar{A} e $\overline{\bar{A}}(x)$ expressa o grau em que x não pertence a \bar{A} . Este conceito pode ser definido assim (Zimmermann,1990):

$$\overline{\bar{A}}(x) = 1 - \bar{A}(x) \quad \forall x \in X \quad (2.9)$$

Isto permite que um elemento pertença, ao mesmo tempo, a um conjunto e ao seu complementar, o que não ocorre na Teoria Clássica dos Conjuntos. Para ilustrar o significado desta definição pode-se considerar o conjunto *fuzzy* \bar{A} , onde \bar{A} define a experiência de uma aluno de graduação em função do tempo de estudo na universidade,

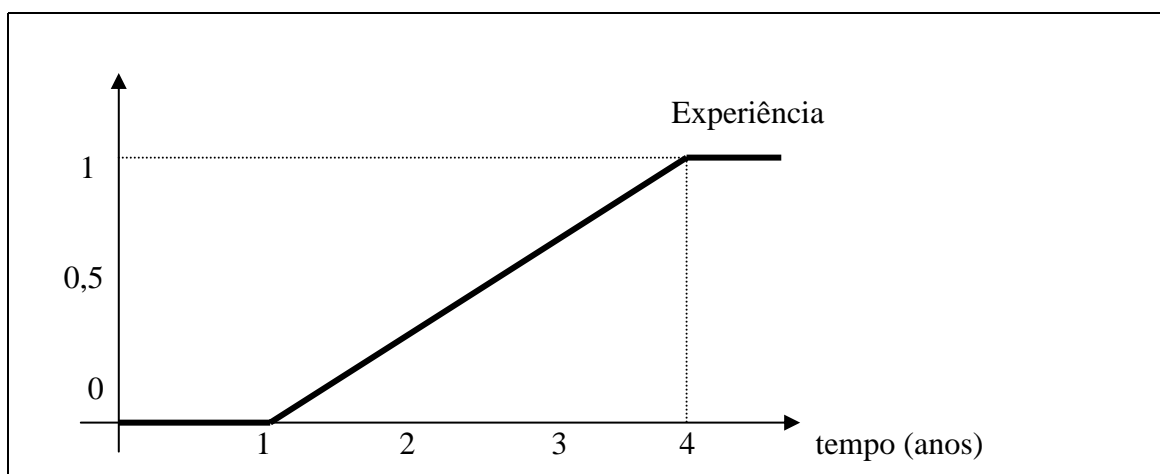


Fig.2.8 Função de pertinência que dá a experiência de um estudante durante a graduação

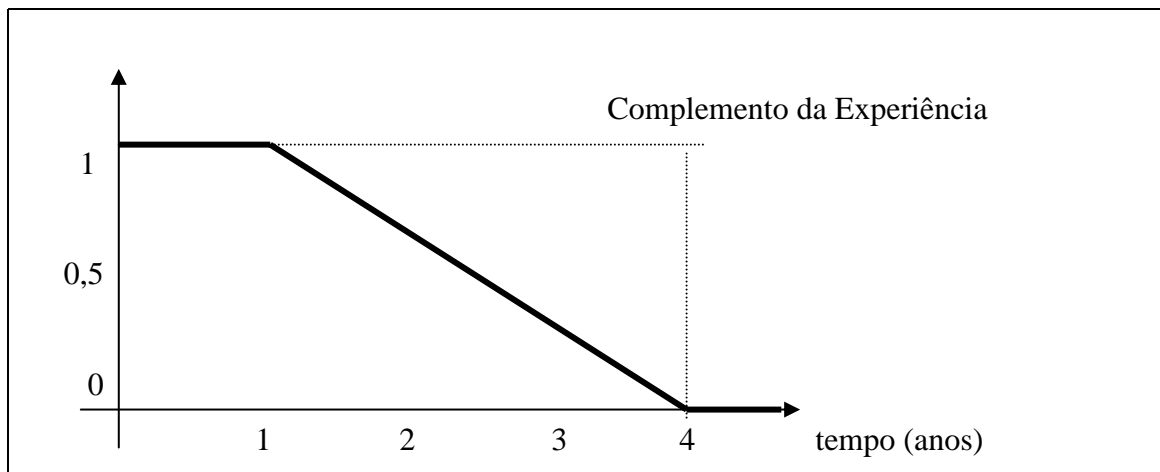


Fig.2.9 Função de pertinência que dá o complemento experiência de um estudante durante a graduação

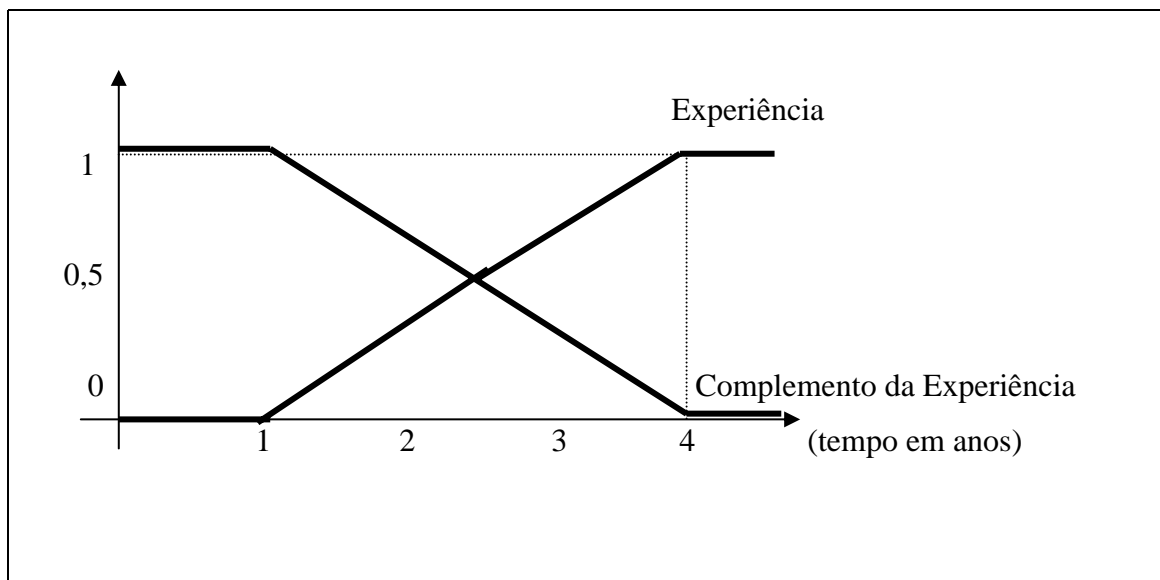


Fig.2.10 Comparação entre a experiência e o seu complemento.

em anos, conforme ilustrado na fig. 2.8. O complemento de \bar{A} , $\overline{\bar{A}}$, está ilustrado na fig.2.9 e uma comparação entre os conjuntos \bar{A} e $\overline{\bar{A}}$, está ilustrado na fig.2.10.

2.4.2.2 União entre Conjuntos *Fuzzy*

Considere os conjuntos *fuzzy* \bar{A} e \bar{B} definidos num conjunto universal X . Então a União *fuzzy* dos conjuntos \bar{A} e \bar{B} , denotada por $\bar{A} \cup \bar{B}$ é definido pela

função de pertinência através da fórmula $\overline{A} \cup \overline{B} (x) = \max [\mu_{\overline{A}}(x), \mu_{\overline{B}}(x)]$ para todo $x \in X$, (Zimmermann,1990).

Como exemplo pode-se fazer a união dos conjuntos *fuzzy* da seção 2.3.2.1, \overline{A} e \overline{cA} , das figuras 2.8 e 2.9. Conjuntos que representam a experiência de um estudante durante um curso de graduação, \overline{A} , e o seu complemento \overline{cA} . O gráfico que representa esta união está na fig.2.11.

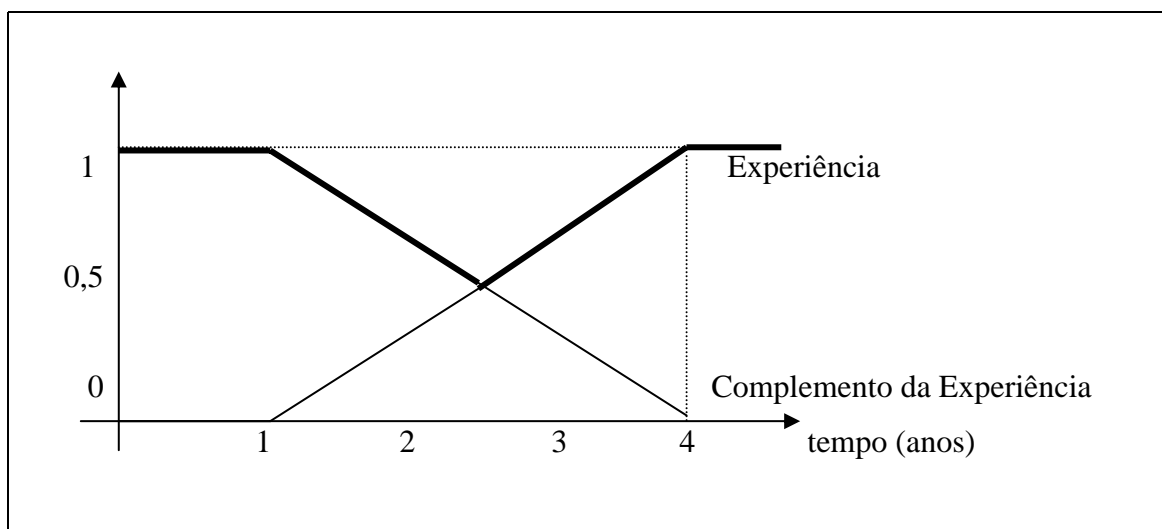


Fig. 2.11 União entre os conjuntos \overline{A} e o seu complemento \overline{cA} .

2.4.2.3 Interseção entre Conjuntos *Fuzzy*

Considere os conjuntos *fuzzy* \overline{A} e \overline{B} definidos num conjunto universal X . Então a interseção *fuzzy* dos conjuntos \overline{A} e \overline{B} , denotada por $\overline{A} \cap \overline{B}$ é definido pela função de pertinência através da fórmula $\overline{A} \cap \overline{B} (x) = \min [\mu_{\overline{A}}(x), \mu_{\overline{B}}(x)]$ para todo $x \in X$, (Zimmermann,1990).

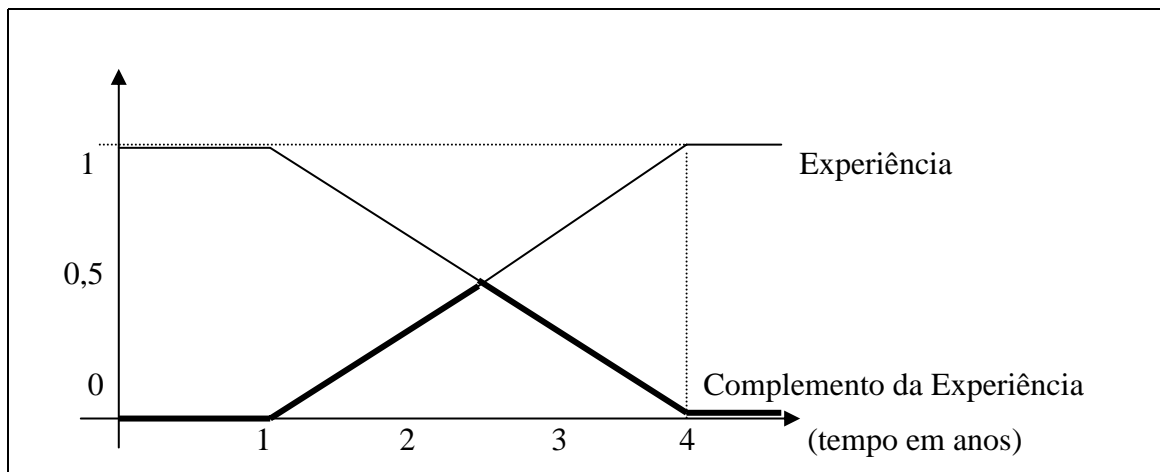


Fig. 2.12 Interseção entre os conjuntos \bar{A} , e o seu complemento \bar{cA} .

Como exemplo pode-se fazer a interseção dos conjuntos *fuzzy* da seção 2.3.2.1, \bar{A} e \bar{cA} , das figuras 2.8 e 2.9. Conjuntos que representam a experiência de um estudante durante um curso de graduação, \bar{A} , e o seu complemento \bar{cA} . O gráfico que representa a interseção está na fig.2.12.

2.4.2.4 Outros Operadores em Conjuntos *Fuzzy*

Dados os conjuntos *fuzzy* \bar{A} e \bar{B} definidos no conjunto universal X, pode-se ainda definir os seguintes operadores, (Zimmermann,1990):

Produto Drástico

$$t_w(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)) = \begin{cases} \min\{\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)\} & \text{se } \max\{\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)\} = 1 \\ e 0 & \text{para outro caso} \end{cases} \quad (2.10)$$

Soma Drástica

$$S_w(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)) = \begin{cases} \max\{\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)\} & \text{se } \min\{\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)\} = 0 \\ e 1 & \text{para outro caso} \end{cases} \quad (2.11)$$

Diferença Limitada

$$t_1(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)) = \max\{0, \mu_{\bar{A}}(x) + \mu_{\bar{B}}(x) - 1\} \quad (2.12)$$

Soma Limitada

$$s_1(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)) = \min\{1, \mu_{\bar{A}}(x) + \mu_{\bar{B}}(x)\} \quad (2.13)$$

Produto de Einstein

$$t_{1.5}(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)) = \frac{\mu_{\bar{A}}(x) \cdot \mu_{\bar{B}}(x)}{2[\mu_{\bar{A}}(x) + \mu_{\bar{B}}(x) - \mu_{\bar{A}}(x) \cdot \mu_{\bar{B}}(x)]} \quad (2.14)$$

Soma de Einstein

$$s_{1.5}(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)) = \frac{\mu_{\bar{A}}(x) + \mu_{\bar{B}}(x)}{[1 + \mu_{\bar{A}}(x) \cdot \mu_{\bar{B}}(x)]} \quad (2.15)$$

Produto Algébrico

$$t_2(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)) = \mu_{\bar{A}}(x) \cdot \mu_{\bar{B}}(x) \quad (2.16)$$

Soma Algébrica

$$s_2(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)) = \mu_{\bar{A}}(x) + \mu_{\bar{B}}(x) - \mu_{\bar{A}}(x) \cdot \mu_{\bar{B}}(x) \quad (2.17)$$

Produto de Hamacher

$$t_{2.5}(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)) = \frac{\mu_{\bar{A}}(x) \cdot \mu_{\bar{B}}(x)}{[\mu_{\bar{A}}(x) + \mu_{\bar{B}}(x) - \mu_{\bar{A}}(x) \cdot \mu_{\bar{B}}(x)]} \quad (2.18)$$

Soma de Hamacher

$$s_{2.5}(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)) = \frac{\mu_{\bar{A}}(x) + \mu_{\bar{B}}(x) - 2\mu_{\bar{A}}(x) \cdot \mu_{\bar{B}}(x)}{[1 - \mu_{\bar{A}}(x) \cdot \mu_{\bar{B}}(x)]} \quad (2.19)$$

2.5 Lógica *Fuzzy*

Aristóteles, filósofo grego (384 - 322 a.C.), foi o fundador da ciência da lógica, e estabeleceu um conjunto de regras rígidas para que conclusões pudessem ser aceitas logicamente válidas. O emprego da lógica de Aristóteles levava a uma linha de raciocínio lógico baseado em premissas e conclusões. Como por exemplo: se é observado que "todo ser vivo é mortal" (premissa 1), a seguir é constatado que "Sarah é um ser vivo" (premissa 2), como conclusão tem-se que "Sarah é mortal". Desde então, a Lógica Ocidental, assim chamada, tem sido binária, isto é, uma declaração é falsa ou verdadeira, não podendo ser ao mesmo tempo parcialmente verdadeira e parcialmente falsa. Esta suposição e a lei da não contradição, que coloca que "U e não U" cobrem todas as possibilidades, formam a base do pensamento lógico Ocidental (Takemura, 2000).

A Lógica *Fuzzy* viola estas suposições. O conceito de dualidade, estabelecendo que algo pode e deve coexistir com o seu oposto, faz a lógica difusa parecer natural, até mesmo inevitável. A lógica de Aristóteles trata com valores "verdade" das afirmações, classificando-as como verdadeiras ou falsas. Não obstante, muitas das experiências humanas não podem ser classificadas simplesmente como verdadeiras ou falsas, sim ou não, branco ou preto. Por exemplo, é aquele homem alto ou baixo? A taxa de risco para aquele empreendimento é grande ou pequena? Um sim ou um não como resposta a estas questões é, na maioria das vezes, incompleta. Na verdade, entre a certeza de ser e a certeza de não ser, existem infinitos graus de incerteza. Esta imperfeição intrínseca à informação representada numa linguagem natural, tem sido tratada matematicamente no passado com o uso da teoria das probabilidades (Takemura, 2000).

Contudo, a Lógica *Fuzzy*, com base na teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, tem se mostrado mais adequada para tratar imperfeições da informação do que a teoria das probabilidades. De forma mais objetiva e preliminar, pode-se definir Lógica *Fuzzy* como sendo uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em uma linguagem natural e convertê-las para um formato numérico, de fácil

manipulação pelos computadores de hoje em dia. Considere a seguinte afirmativa: Se o tempo de um investimento é longo e o sistema financeiro tem sido não muito estável, então a taxa de risco do investimento é muito alta. Os termos "longo", "não muito estável" e "muito alta" trazem consigo informações vagas. A extração (representação) destas informações vagas se dá através do uso de Conjuntos *Fuzzy*. Devido a esta propriedade e a capacidade de realizar inferências, a Lógica *Fuzzy* tem encontrado aplicações em várias áreas do conhecimento (Takemura, 2000).

2.5.1 Algumas Características da Lógica *Fuzzy*

A Lógica *Fuzzy* possui características diferentes da Lógica Clássica (Manchin & Pappa, 2000):

- 1) A Lógica Difusa está baseada em palavras e não em números, ou seja, os valores verdades são expressos lingüisticamente. Por exemplo: quente, muito frio, verdade, longe, perto, rápido, vagaroso, médio etc.
- 2) Possui vários modificadores de predicado como por exemplo: muito, mais ou menos, pouco, bastante, médio etc.
- 3) Possui também um amplo conjunto de quantificadores, como por exemplo: poucos, vários, em torno de, usualmente.
- 4) Faz uso das probabilidades lingüísticas, como por exemplo: provável, improvável, que são interpretados como números *fuzzy* e manipulados pela sua aritmética.
- 5) Manuseia todos os valores entre 0 e 1, tomando estes, como um limite apenas.

2.5.2 Algumas Vantagens da Lógica *Fuzzy*

A Lógica *Fuzzy* apresenta algumas vantagens que a diferencia da Lógica Clássica, (Manchini & Pappa, 2000):

- 1) Requer poucas regras, valores e decisões;
- 2) Mais variáveis observáveis podem ser valoradas;
- 3) O uso de variáveis lingüísticas mais próximas do pensamento humano;
- 4) Simplifica a solução de problemas;
- 5) Proporciona um rápido protótipo dos sistemas; e
- 6) Simplifica a aquisição da base do conhecimento.

2.5.3 Alguns Exemplos que Mostram as Vantagens do Uso da Lógica Fuzzy em Modelagem de Situações Reais

Os valores bivalentes de verdade têm uma base filosófica, guardados nas raízes da civilização, na maneira que se pensa em relação às coisas, no hábito de dizer algo, ou é verdade ou é falso. Seria uma simplificação do modelo que se faz da natureza, que é aceitável em muitas coisas, mas em outras não o é. Um exemplo de que as coisas não são absolutas é a própria Física. Olhando-se, por exemplo, uma mesa. A uma certa distância é uma superfície plana, mas se olhar a outro nível, o que se tem são órbitas de elétrons indefinidas, por isto, dependendo da escala pode-se ter algo *fuzzy* ou não *fuzzy* (Barreto,1995).

Como vantagens de uma modelagem *fuzzy* pode-se considerar os alguns exemplos:

Exemplo 1, (Kosko, 1991): Toma-se duas pessoas e faz uma mesma pergunta as duas: você está feliz com seu trabalho? No domínio da lógica clássica pode ocorrer quatro situações: (1) as duas pessoas estão felizes, (2) as duas não estão felizes, (3) a primeira está feliz e a segunda não e (4) a segunda está feliz e a primeira não. Pode-se associar estas quatro possibilidades de respostas aos vértices de uma quadrado unitário como sendo os pares ordenados (1,1), (0,0), (1,0) e (0,1), conforme fig.2.13.

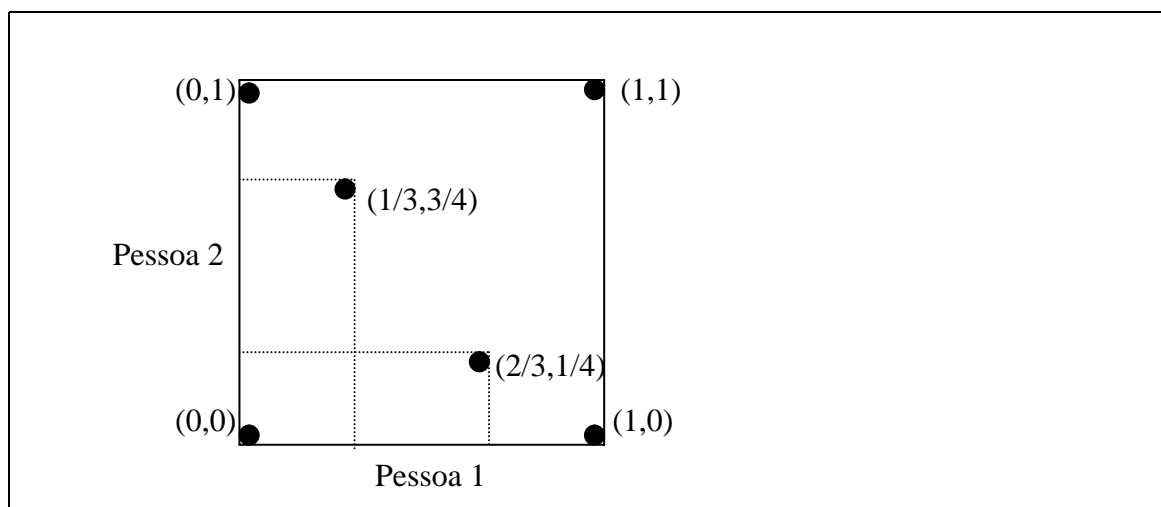


Fig.2.13 Comparação entre possíveis respostas na Lógica Clássica e *Fuzzy*

Quando considera-se a possibilidade de respostas *fuzzy*, cada pessoa pode ter um grau de felicidade, com seu trabalho, variando entre zero e um, isto é, não é necessário que uma pessoa esteja totalmente feliz ou infeliz com o seu trabalho. Pode-se ter infinitas possibilidades de respostas *fuzzy* para esta pergunta, uma para cada ponto no interior do quadrado. Por exemplo, uma resposta $(1/3, 3/4)$ significa que a primeira pessoa está em torno de 33,3% com seu trabalho, isto é está mais infeliz do que feliz; a segunda pessoa está em torno de 75% feliz com seu trabalho. Uma resposta contrária a $(1/3, 3/4)$ é a $(2/3, 1/4)$. Logo chamando-se de A a resposta $(1/3, 3/4)$, não A é a resposta $(2/3, 1/4)$.

Exemplo 2, (Kosko, 1991): Suponha que João já entrou em seus trinta anos. João é velho? sim ou não? João é jovem? sim ou não? A expressão “entrou em seus trinta anos” não é precisa, será este o motivo da dúvida? Supondo que tem-se a idade exata de João, isto é, hoje ele faz trinta anos (é seu aniversário), com a idade precisa de João é possível dizer se João é jovem ou velho? Não, ser jovem ou velho é uma questão de grau. Os conceitos de jovem e velho são conceitos *fuzzy*. Não há um exato limite que separa as categorias jovem e velho.

Estes conceitos, jovem e velho podem ser modelados como na fig.2.14. Observa-se que qualquer pessoa de qualquer idade pode está simultaneamente nas

categorias velho e jovem, o que muda é o grau de pertinência. Uma pessoa com vinte anos, por exemplo, tem um pertinência alta na categoria jovem e uma pertinência baixa na categoria velho, da mesma forma uma pessoa com 60 anos tem uma pertinência baixa na categoria jovem e alta na categoria velho.

Exemplo 3, (Paraíso, 2000): Considere a seguinte pergunta: Maria é gorda? A probabilidade de erro é muito grande, levando-se em consideração apenas o peso. Para aumentar o grau de certeza da resposta é necessário determinar vários parâmetros como altura, idade, sexo etc, para que se possa ter informações suficientes para analisar bem a resposta. Por exemplo: Seria melhor perguntar: Maria é do sexo feminino, tem 28 anos, 1,68 m de altura e pesa 85 quilos, ela pode ser considerada gorda?

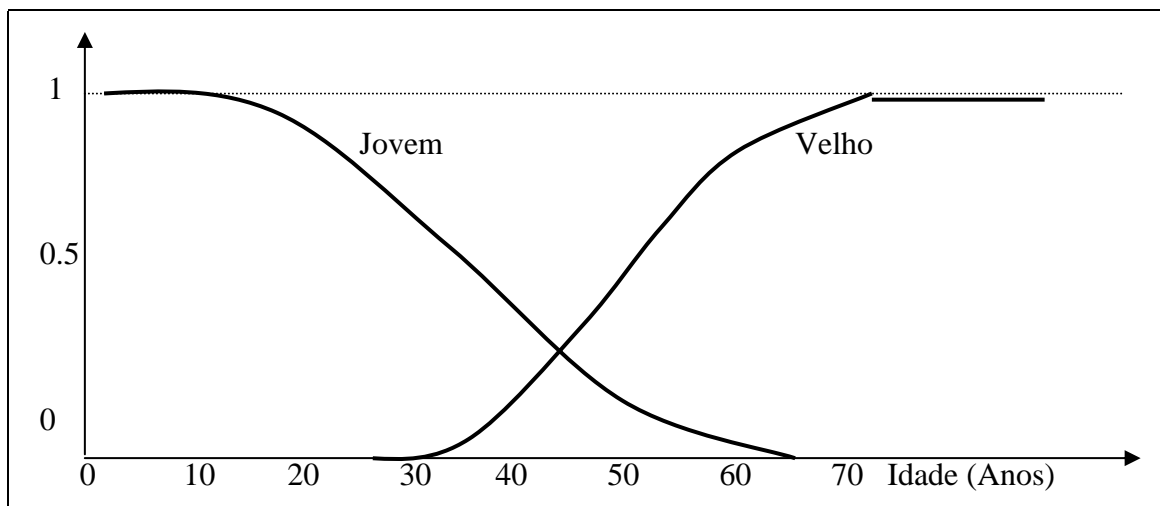


Fig.2.14 Funções de pertinência para os conceitos de Jovem e Velho

Os exemplos acima são simples, mas existem exemplos complexos que levam em consideração diferentes fatores de certeza. A lógica *fuzzy* objetiva fazer com que as decisões tomadas pela máquina se aproximem cada vez mais das decisões humanas, principalmente ao trabalhar com uma grande variedade de informações vagas e incertas, as quais podem ser traduzidas por expressões do tipo: a maioria, mais ou menos, talvez etc. Antes do surgimento da lógica *fuzzy* essas informações não tinham como ser processadas. A lógica tradicional se aplica somente às informações consideradas completamente verdadeiras, cujo valor de verdade é igual a 1, ou seu oposto, informações consideradas totalmente falsas, cujo valor de verdade é igual a 0, enquanto

que a lógica *fuzzy* tem a vantagem de poder ser aplicada às informações que não são completamente verdadeiras ou falsas, podendo variar entre zero e um.

2.5.4 Algumas Aplicações da Lógica *Fuzzy*

2.5.4.1 Aplicação da Lógica *Fuzzy* em Sistemas Especialistas

Sistemas Especialistas são programas de computador planejados para adquirir e disponibilizar o conhecimento operacional de um especialista humano. São tradicionalmente vistos como sistemas de suporte à decisão, pois são capazes de tomar decisões como especialistas em diversas áreas. Sua estrutura reflete a maneira como o especialista humano arranja e faz inferência sobre o seu conhecimento, (Chaiben, 2000).

A característica básica de um sistema especialista é o alto nível de conhecimento que ele fornece para ajudar na solução de um problema. A flexibilidade do sistema é importante, já que o conhecimento pode ser incrementado de acordo com as necessidades do usuário, (Fernandes, 1996).

Os fatos, relações, julgamentos, opiniões e regras de inferência contidos dentro da base de conhecimento do Sistema Especialista, usualmente possuem vários graus de imprecisão e incerteza. Então é desejável ao Sistema Especialista ser capaz de, como o especialista humano, lidar com inferências de um dado impreciso e heurísticas vagas. Sendo assim, o gerenciamento da incerteza no projeto de um Sistema Especialista é a chave para o sucesso da modelagem do processo de raciocínio, é a utilidade da teoria dos conjuntos difusos para este propósito tem sido e continua sendo extensivamente estudada, (Fernandes, 1996).

Os principais benefícios derivados do uso de modelos difusos em Sistemas Especialistas são: (i) a capacidade de modelar problemas altamente complexos; (ii) melhoria do modelagem cognitiva dos sistemas especialistas; (iii) habilidade de modelar sistemas envolvendo vários especialistas; (iv) redução da complexidade do modelo; (v) melhoria da capacidade de manipulação da “incerteza” e da “possibilidade”.

Os sistemas convencionais enfrentam serias dificuldades no que diz respeito a problemas não lineares e computacionalmente complexos. Os sistemas difusos, porém, utilizam regras difusas, as quais diminuem sensivelmente a complexidade do problema. Sistemas baseados em regras difusas têm a execução bem mais rápida do que os sistemas convencionais e requerem poucas regras, (Fernandes, 1996).

Há três situações básicas de imprecisão (incerteza) nos Sistemas Especialistas que não são consideradas por técnicas tradicionais, (Fernandes, 1996):

1) A difusão de antecedente de conseqüente e/ou conseqüentes em regras da forma:

a) Se x é A , ENTÃO y é B

b) Se x é A , ENTÃO y é B , com FC (fator de certeza) = α

onde, o antecedente X é A , o conseqüente Y é B , são proposições difusas e o FC é um valor numérico. Por exemplo, SE x é pequeno, ENTÃO y é grande, com FC = 0.8

2) O relacionamento parcial entre o antecedente de uma regra e um fato fornecido pelo usuário:

fato: X é A^*

regra: Se X é A , Então y é B com FC = β

Como exemplo, tem-se “Se x é pequeno, Então y é grande com FC= 0.8”, onde X significa a altura humana. Caso o valor fornecido a X pelo usuário fosse 1.60m, haveria relacionamento parcial da regra, devido a pertinência de 1.60 ao conjunto difuso dos valores “Altura Pequena”.

Este tipo de situação é evitado em sistemas especialistas tradicionais. O relacionamento parcial não pode ser tratado dentro da abordagem da lógica de duplo valor.

3) A presença de quantificadores difusos no antecedente e/ou conseqüente de uma regra:

Os quantificadores difusos (maioria, muito, pouco, etc.) estão freqüentemente presentes no conhecimento humano. Um exemplo para elucidar o mecanismo de “tradução das disposições” (proposição com quantificadores difusos) em regras é exemplificado a seguir:

disposição d = os estudantes são jovens. – que pode ser interpretada por:

proposição p = a maioria dos estudantes é jovem. – que por sua vez pode ser expressa como uma regra ou equivalente como uma proposição condicional.

regra = Se x é estudante, Então é provável que seja jovem. – onde a probabilidade difusa “provável” tem o mesmo significado expresso como um subconjunto difuso de intervalo unitário representado pelo quantificador difuso “MAIORIA”.

Essas três situações comprometem as conclusões oriundas do tratamento tradicional. Este tratamento manipula fatos e regras difusas na realidade, como sendo não difusos. Assim as conclusões têm sua validade aberta a questionamentos.

A utilização da lógica difusa nos sistemas especialistas, tem algumas vantagens, (Fernandes, 1996):

- 1) Tratamento de Proposições: em lógica bivalorada, uma proposição p ou V ou é F. Em lógica polivalorada, ela pode ser V ou F, ou assumir valores intermediário.
- 2) Tratamento de Predicados: Ao contrário do que ocorre na lógica de duplo valor, onde os predicados devem ter tratamento clássico, aqui pode-se assumir a forma rígida (mortal, pai de, sempre, etc) ou mais genericamente a forma difusa (doente, cansado, grande, alto, etc).
- 3) Tratamentos de Quantificadores: a quantificação de expressões em lógica de duplo valor permite apenas a aplicação dos termos “todo” e “alguns”. Na lógica difusa a

generalidade é permitida na utilização de expressões como maioria, muitos etc. Assim, os quantificadores expressam de forma imprecisa a cardinalidade dos conjuntos difusos através da caracterização dos mesmos como predicados difusos de segunda ordem.

4) Tratamento de Modificadores de predicados: os modificadores (mais ou menos, extremamente etc.) são passíveis de representação em lógica difusa. Deste tratamento surgem sistemas que consideram variáveis lingüísticas, ou seja, variáveis cujos valores são palavras ou sentenças em linguagem natural.

5) Qualificadores de Proposição: para classificar uma proposição p em lógica de duplo valor, utilizam-se termos V ou F, operadores modais como possível ou necessário e operadores intencionais, como sabe-se, acredita-se, etc. Em lógica *fuzzy*, há três modos de qualificação:

- a) Qualificação verdade: p é t , na qual t é um valor V difuso.
- b) Qualificação probabilística: p é λ , na qual λ é uma probabilidade difusa.
- c) Qualificação possibilística: p é π , na qual π é uma possibilidade difusa (ex. muito provável, etc).

2.5.4.2 Aplicação da Lógica *Fuzzy* no Reconhecimento de Padrões

Pode-se realçar o entrelaçamento do termo Padrão com o termo Informação. Pode-se caracterizar o reconhecimento de padrões, analisando inicialmente os aspectos sobre a captação de informação que os organismos vivos em geral apresentam. É de fundamental importância as atividades de Sensação e Percepção, pois é através delas que ocorre qualquer interação entre indivíduo e meio ambiente. É através da Sensação-Percepção que um organismo é capaz de se defrontar com determinado objeto (padrão) e associá-lo ao seu significado dentro de um determinado contexto. O propósito da Sensação-Percepção é o re-conhecimento. Na figura 2.15 tem-se um exemplo de representação de um padrão que representa uma “borboleta”, (Mello, 1996).

Tipos de padrões de interesse não se limitam apenas a objetos concretos tais como figuras, letras, dígitos, mas também a entidades abstratas como por exemplo uma

partitura de música, a profundidade de um teorema matemático ou mesmo a aceptividade a um determinado aroma para uma determinada pessoa (Mello, 1996).

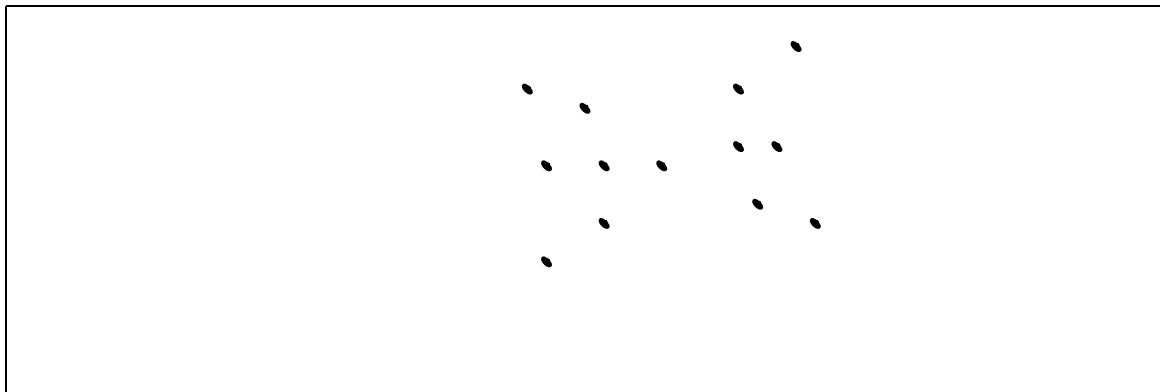


Fig. 2.15 Um padrão representativo de uma borboleta, (Mello, 1996).

O universo do padrão é essencialmente um conjunto de elementos identificados no mundo real através de algum meio de observação. Supondo que o padrão (objeto) em questão sejam candidatos a um determinado emprego, os elementos deste universo em questão seriam: nome, idade, altura, peso, formação profissional, experiência profissional, nacionalidade, preferências musicais, estado civil, estado geral de saúde, etc. Um vetor X representaria então o universo P do padrão em questão, em termos de seus atributos, (Mello, 1996):

$$X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Cada x_n representa um particular valor associado com a k -ésima dimensão do vetor.

Uma das formas de reconhecimento de padrões é através da técnica denominada *template matching*, traduzindo-se em algo como “correspondência ao modelo”. Esta técnica é bastante utilizada na área de reconhecimento de padrões. o termo *templates* tem um significado parecido com “idéias” ou “modelos”, (Mello, 1996).

Os programas de reconhecimento de padrões possuem um conjunto de *templates* já codificados sendo representantes típicos das diversas classes que o padrão de interesse apresenta. O padrão que deseja classificar é então comparado com os diversos

templates do programa. Caso ocorra uma correspondência do padrão com algum dos *templates* do programa, então o reconhecimento é finalizado com resultado satisfatório em termos de reconhecimento, (Mello, 1996).

A idéia usada para fazer a comparação em linhas gerais é a seguinte: Dados dois *strings* A e B, a distância entre A e B é dada pela seqüência de custo mínimo de operações de adição necessárias para transformar uma das *strings* A (por exemplo) na outra. As operações de adição são, Inclusão, Deleção, Substituição cada uma com um custo associado. Descrivendo-se os padrões A e B através de grafos, é efetuado um cálculo de distância entre os grafos que se caracteriza por dois cálculos:

- a) O Cômputo do número mínimo de transformações (operações de inclusão, deleção e substituição) necessários para transformar um grafo (A por exemplo) no outro, e
- b) O cálculo do custo de reconhecimento dos nodos do grafo.

Para este último cálculo, cada nodo do grafo apresenta como característica uma ou mais funções de custo usada para aferir medidas de similaridade entre nodos de entrada e de comparação.

Para realizar estas operações pode-se usar um tipo especial de grafo, o Grafo de Atributos Difuso (AFG-*Attributed Fuzzy Graph*), o assim denominado grafo de Atributos Difusos Concorrentes (AFT-*Attributed Fuzzy Tournament*), para representa incertezas presentes em cenários. A análise/reconhecimento de padrões dá-se através da técnica de *template matching*, mediante a definição de uma distância entre dois AFT's. A seguir são apresentados conceitos relativos ao grafo AFT.

Descrição do grafo AFT, (Mello, 1996).

Seja $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ um conjunto dos n nodos de um grafo

Seja $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ um conjunto de r arcos orientados

Um grafo direcionado $T(n) = (V, A)$ é dito um *tournament* se:

$\forall v_i \in V, \forall v_k \in V, v_i \neq v_k$, estão concatenados por um e somente um arco orientado: $v_i \rightarrow v_k$ (lê-se “ v_i domina v_k ”) ou $v_i \leftarrow v_k$ (lê-se “ v_k domina v_i ”). Onde v_i e v_k apresentam uma relação de dominância Completa Irreflexiva e Antissimétrica .

S_i é dito o *score* de v_i e representa o número de nodos que v_i domina.

Definição 1

Um *attributed tournament* $AT(n)$ é uma quadrupla $AT(n) = (V, A, B, E)$ onde:

n é o número de nodos em $AT(n)$,

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ é o conjunto de nodos,

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ é o conjunto de arcos orientados,

$B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ é o conjunto de atributos dos nodos,

$E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ é o conjunto de atributos dos arcos,

Definição 2

Um *attributed fuzzy tournament* $AFT(n)$ é uma sêxtupla $AFT(n) = (V, A, B, E, X, C)$ onde:

n é o número de nodos em $AFT(n)$,

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ é um conjunto de nodos,

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ é o conjunto de arcos orientados,

$B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ é o conjunto de atributos dos nodos,

$E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ é o conjunto de atributos dos arcos,

$X = \{\mu_{b_1}(v), \mu_{b_2}(v), \dots, \mu_{b_k}(v)\}, \forall v \in V$ é o vetor de graus de pertinência dos possíveis valores (atributos) que os nodos de V podem ter,

$C = \{\mu_{e_1}(a), \mu_{e_2}(a), \dots, \mu_{e_k}(a)\}, \forall a \in A$ é o vetor de graus de pertinência dos possíveis valores (atributos) que os arcos de A podem ter.

Para o cenário da fig.2.16 o AFT poderia ser $AFT(n)=(V,A,B,E,X,C)$ onde:

$$n = 4$$

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$$

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_6\}$$

$$B = \{\text{Triângulo, Quadrado, Esfera, Retângulo, Trapézio}\}$$

$$E = \{\text{acima de, abaixo de, à esquerda de, à direita de, em frente de}\},$$

$X = \{\mu_{b_1}(v), \mu_{b_2}(v), \dots, \mu_{b_k}(v)\}, \forall v \in V$ é o vetor de graus de pertinência dos possíveis valores (atributos) que os nodos de V podem ter,

$C = \{\mu_{e_1}(a), \mu_{e_2}(a), \dots, \mu_{e_k}(a)\}, \forall a \in A$ é o vetor de graus de pertinência dos possíveis valores (atributos) que os arcos de A podem ter

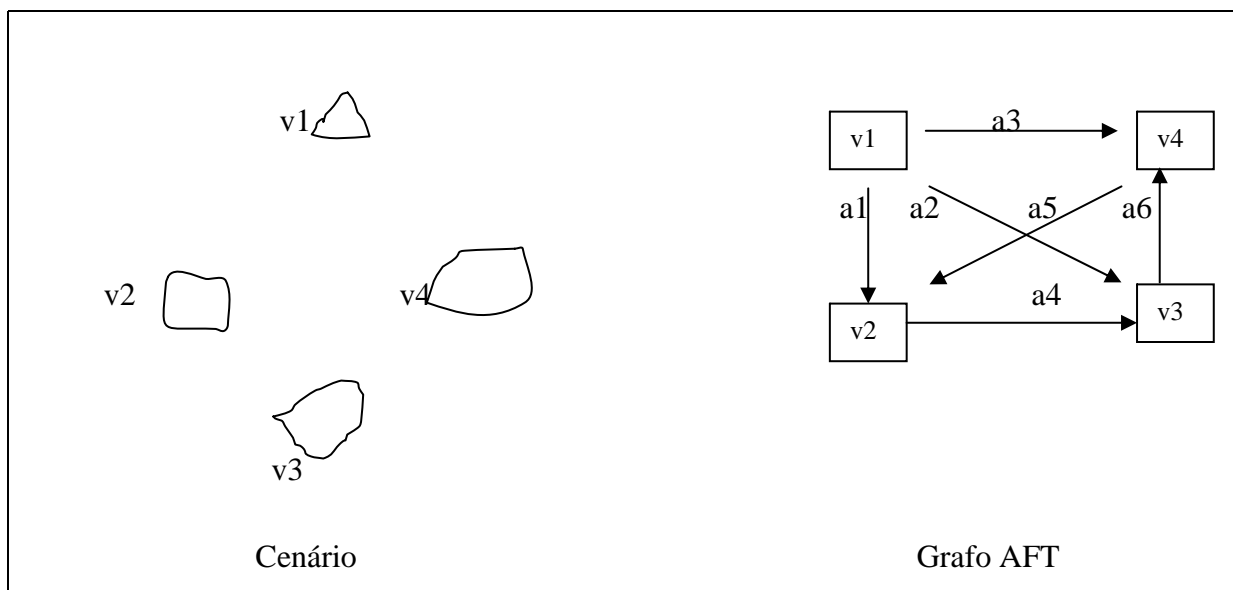


Fig.2.16 Um exemplo de cenário com quatro objetos. Os objetos v_1, v_2, v_3 e v_4 equivalem aos nodos do grafo AFT, (Mello, 1996).

No exemplo da fig. 2.16, supõe-se a seguinte caracterização semântica para o cenário: os atributos dos nodos formam um único “grupo”, no sentido de que a soma de seus graus de pertinência são complementares, atingindo o valor máximo de 1. Os atributos dos arcos estão em dois “grupos”. O primeiro grupo que se complementa é

formado por {acima de, abaixo de, à esquerda de, a direita de }o outro grupo é formado por {em frente de }.

TABELA 2.2 Tabela de pertinência dos Atributos dos Nodos do grafo AFT

Nodo	Atributo do Nodo				
	Triângulo	Quadrado	Esfera	Retângulo	Trapézio
v1	.7	.0	.1	.2	.0
v2	.0	.7	.1	.1	.1
v3	.1	.2	.5	.1	.1
v4	.0	.2	.0	.3	.5

Fonte: MELLO, 1996.

TABELA 2.3 Tabela de pertinência dos Atributos dos Arcos do grafo AFT

Arco	Atributo do Arco				
	Acima de	Abaixo de	À esquerda de	À direita de	E frente de
a1	.7	.0	.0	.3	.1
a2	.9	.0	.1	.0	.9
a3	.6	.0	.4	.0	.2
a4	.5	.0	.5	.0	.3
a5	.0	.05	.95	.0	.1
a6	.0	.8	.2	.0	.2

Fonte: MELLO, 1996.

A função de pertinência para {acima de, abaixo de, à esquerda de, à direita de} baseia-se no ângulo ϕ da reta que une dois nodos do cenário com o eixo das abcissas do plano cartesiano. Para o grupo {em frente de} define-se, arbitrariamente, que a pertinência é uma função proporcional ao ângulo ϕ (vale 0 se $\phi = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ$ ou 315° , e vale 1 se $\phi = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ ou 270°).

2.5.5 Proposições *Fuzzy*

A diferença fundamental entre proposições *fuzzy* e proposições clássicas é o alcance de seus valores lógicos. Enquanto proposições clássicas possuem valores verdades no conjunto $\{0,1\}$, as proposições *fuzzy* possuem valores verdades no conjunto $[0,1]$. Por exemplo, considere a proposição:

"Ji-Paraná é um cidade grande"

O termo cidade grande não é preciso, não há um exato limite entre cidade grande e cidade não grande. Pode-se fazer uma função de pertinência para o termo cidade grande como na fig.2.17 que fornece o grau de verdade para a proposição:

"É verdade que Ji-Paraná é uma cidade grande"

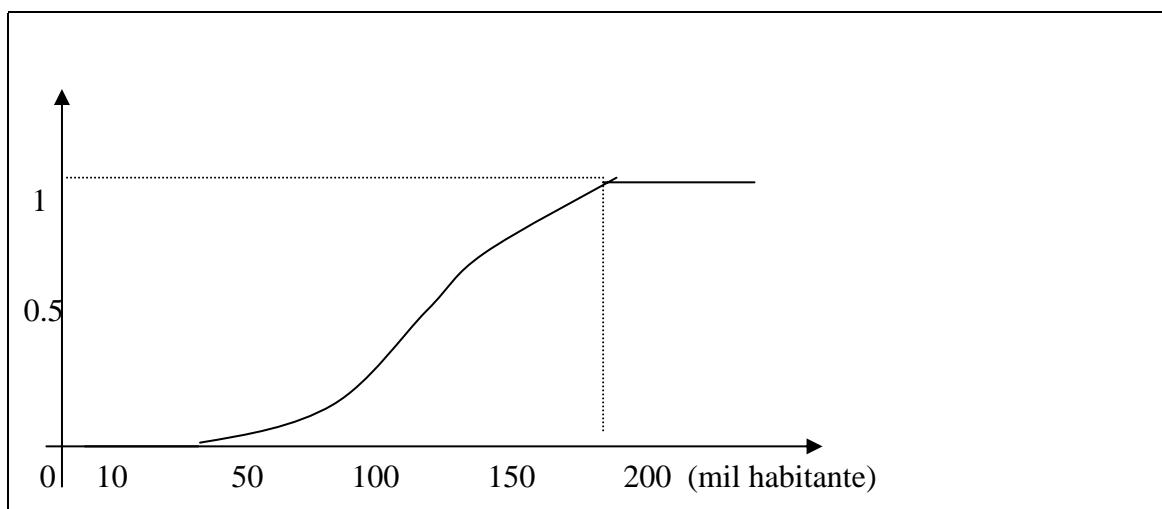


Fig 2.17. Um função pertinência para o conceito "cidade grande"

2.6 Vantagens de uma Modelagem *Fuzzy* na Classificação de Espécies Quanto ao Risco de Extinção

Como foi visto nas seções anteriores, apesar de haver um limite bem definido entre as várias categorias da IUCN na classificação das espécies em risco de extinção, em termos práticos, devido à incerteza dos dados, em alguns casos torna-se difícil saber a qual dessas categorias uma espécie pertence, dificultando a classificação. Quando trata-se uma fronteira, entre duas categorias, de forma *fuzzy*, pode-se remover um pouco esta imprecisão. Uma diferença de 1% nos dados de uma espécie não muda a mesma de uma categoria para outra se a fronteira for tratada de forma *fuzzy*. Isto significa que uma categoria, por exemplo, a "Em Perigo", pode ser classificada em fortemente "Em Perigo" ou levemente "Em Perigo".

Russell (1923) *apud* (Regan et al, 2000) observou que muitas das linguagens, científicas e cotidianas, são vagas e que esta não pode ser removida. Para ele, um conceito definido por uma linguagem pode não ser compatível com a Lógica Bivalente, isto é, estritamente Verdadeiro ou estritamente Falso. Com isto surgiu a necessidade de criar uma Lógica Trivalorada, que tem um valor verdade intermediário. Neste caso a categoria "Em Perigo", por exemplo, teria três valores lógicos: Verdadeiramente "Em Perigo", intermediariamente "Em Perigo" e falsamente "Em Perigo", que em termos numéricos poderia assumir valores verdade 1, 1/2 e 0 respectivamente. Intuitivamente nota-se que não há um exato limite entre essas três novas categorias e portanto a Lógica Trivalorada melhora mas não resolve o problema da fronteira. Isto sugeri a criação de mais valores lógicos intermediários e a categoria "Em Perigo" assumiria os seguintes valores verdade: 1, 3/4, 1/2 e 0. A medida que tenta-se tratar os casos de fronteira o número de valores lógicos aumenta indefinidamente, conduzindo para uma função de pertinência onde pode-se considerar que todas as espécies estão na categoria "Em Perigo", o que as difere é o grau de pertinência. Desta forma, pode-se ter graus de pertinência na categoria "Em Perigo" variando entre zero e um. Isto é feito construindo uma função de pertinência *fuzzy* para a categoria "Em Perigo". É importante que esta função de pertinência não mude o valor da fronteira já existente nos critérios da IUCN, isto é, o limite já existente deve assumir o valor 1/2.

CAPÍTULO III

UM MODELO FUZZY PARA A CLASSIFICAÇÃO DE ESPÉCIES EM RELAÇÃO AO RISCO DE EXTINÇÃO

3.1 Introdução

Neste capítulo estuda-se um Modelo para tratar algumas incertezas que aparecem nos critérios da IUCN para classificação de espécies em risco de extinção. Sabe-se que há um grande volume de espécies com alto grau de risco e os recursos para preservação são escassos. Quando uma empresa ou algum outro órgão aloca recursos para preservação é necessário escolher, de forma criteriosa, aquelas espécies que realmente correm um risco maior.

A IUCN, com já foi mencionado, classifica as espécies com risco de extinção em cinco categorias, estas categorias são (Martins, 2000):

1. “Vulneráveis;
2. “Em Perigo”;
3. “Criticamente em Perigo”;
4. “Provavelmente Extinto”; e
5. “Extinto”

Esta classificação é feita em função de alguns dados sobre as espécies, tais como Declínio Populacional, Área de Ocupação, Extensão de Ocorrência etc. Quando vai-se classificar espécies para preservação, só é possível classificar aquelas espécies que ainda existem e quando há informações sobre as mesmas, isto é, aquelas que estão nas três primeiras categorias. Espécies que estão na categoria “Extinto” não precisam mais de preservação; para as espécies que estão na categoria “Provavelmente Extinto” não se tem informações sobre as mesmas, não se sabe nem mesmo se elas ainda existem! Logo, um Modelo para classificar espécies, em relação ao risco de extinção, pode ater-se às três primeiras categorias. No Modelo estudado dá-se mais ênfase a três critérios:

Declínio Populacional, Extensão de Ocorrência e Área de Ocupação, no mesmo, trata-se de forma *fuzzy* os limites entre as categorias, evitando a mudança de forma brusca de uma categoria para outra.

3.2 A Classificação Através do Declínio Populacional

Para a IUCN uma espécie está em uma categoria “C” se sua população está declinando pelo menos X% em 10 anos ou três gerações (o que for menor). Esta classificação apresenta dois problemas:

1) Dificilmente se tem dados exatos sobre o Declínio da Populacional de uma espécie nos últimos dez anos, tornando difícil garantir se uma espécie esta numa categoria ou em outra.

2) Mesmo que seja possível ter dados corretos, se duas espécies tiveram, em 10 anos, declínios de $(X-a)\%$ e $(X+a)\%$ respectivamente, onde a é um número Real próximo de zero, embora elas correm praticamente o mesmo risco, estão em categorias diferentes.

Desta forma, nota-se que este método de classificação tem algumas limitações. Uma forma de contornar estas limitações é tratar a fronteira entre duas categorias através de uma função de pertinência *fuzzy*. Desta forma uma variação pequena não muda uma espécie de categoria.

Na construção da função de pertinência pode-se estimar uma margem de segurança antes e depois do ponto de fronteira (neste caso X%) onde se pode garantir, definitivamente, se uma espécie está ou não na categoria "C". Supondo-se que $(X+a)\%$ seja o valor acima do qual pode se garantir que a espécie esta definitivamente na categoria "C" e $(X-b)\%$ um valor abaixo do qual pode se garantir que a espécie não está definitivamente na categoria "C", onde a e b são números reais, uma função de pertinência para uma categoria "C" pode então ser construída pela equação 3.1, (Regan et al, 2000).

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < X - a \\ \frac{x}{2a} + \frac{a - X}{2a} & \text{se } X - a \leq x \leq X \\ \frac{x}{2b} + \frac{b - X}{2b} & \text{se } X \leq x \leq X + b \\ 1 & \text{se } x > X + b \end{cases} \quad (3.1)$$

A figura 3.1 é um gráfico da função de pertinência da equação 3.1 para uma categoria “C”. É interessante notar que todas as espécies pertencem a categoria “C” (independente da porcentagem de Declínio, que pode ser de 0 a 100%), o que difere uma da outra é o grau de pertinência. O valor de fronteira assume o valor 0.5 na função de pertinência.

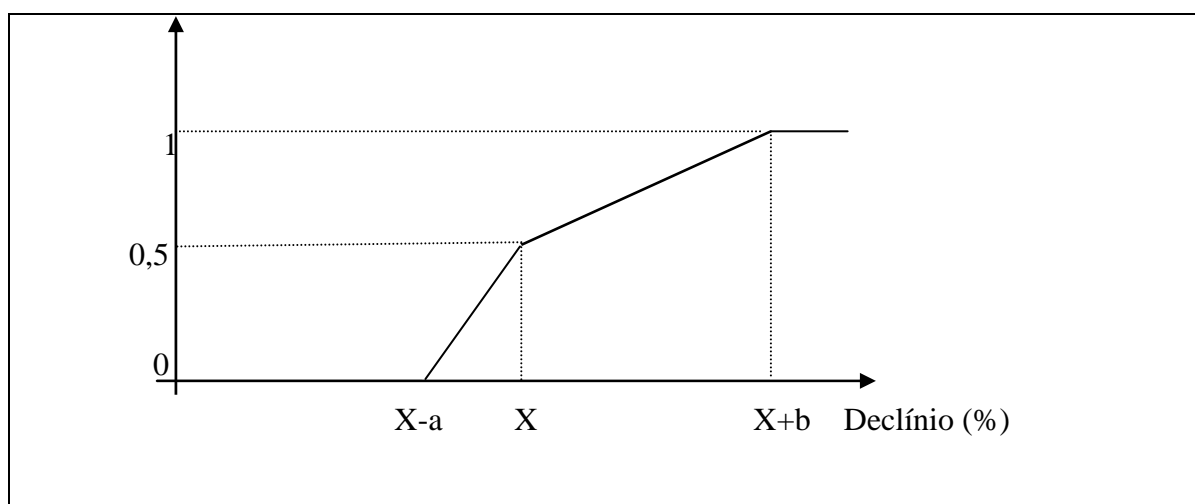


Fig.3.1 Representa o gráfico de uma função de pertinência para uma categoria “C”

A função mostrada na fig. 3.1 é apenas uma das possibilidades de modelos que a função de pertinência pode assumir. Esta função pode ser modelada de outras formas, considerando-se fatores climáticos, biológicos etc. Pode-se considerar, para fins de exemplos, uma situação mais simples onde a função de pertinência seja linear entre os Limites Inferior(LI) e Superior(LS), onde $LI = X-a$ e $LS = X+b$, como na fig.3.2 .

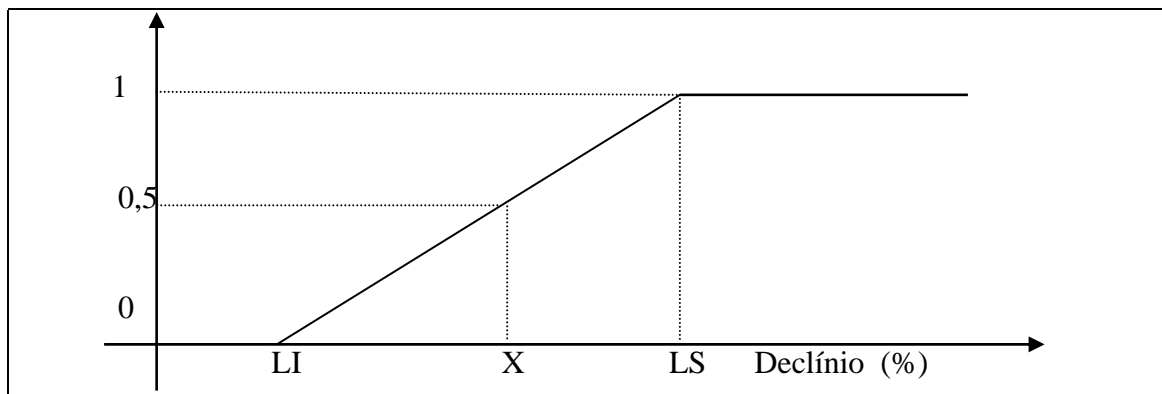


Fig.3.2 Uma função de pertinência que cresce linearmente entre os Limites Inferior e Superior.

Quando é possível conhecer a margem máxima de erro, nos dados, do Declínio Populacional de uma espécie e na hipótese de ser permitido usar um modelo mais simples de função de pertinência, que é uma função linear, é possível definir, de forma genérica a equação desta função no domínio $[LI, LS]$. Por exemplo, se a margem de erro é de no máximo de 5% na categoria “C”, o limite superior será de $X+5$ e o inferior de $X-5$.

Para encontrar esta equação linear genérica no domínio $[LI, LS]$ de uma categoria “C”, quando tem-se a margem de erro, E , procede-se da seguinte maneira:

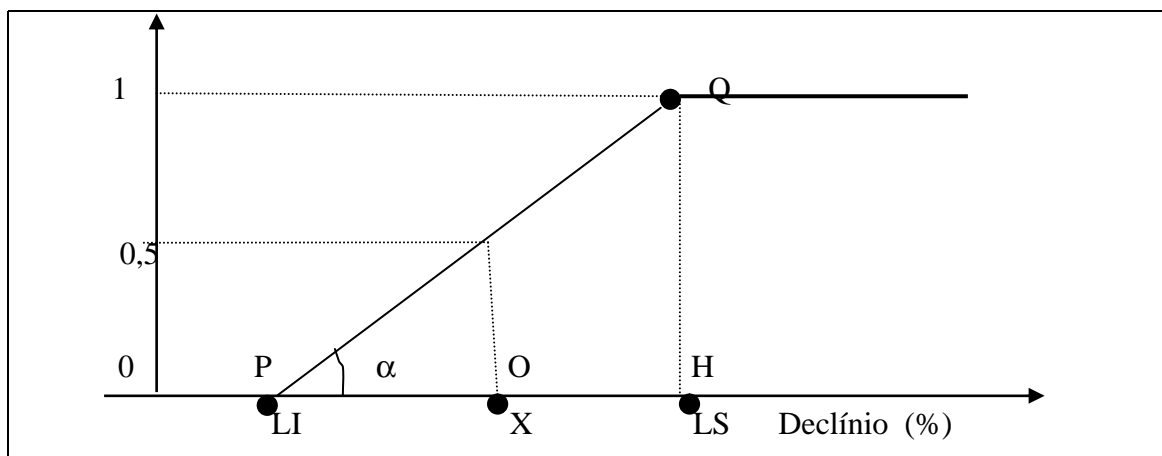


Fig.3.3 Uma função de pertinência linear

Considerando-se a fig. 3.3, tem-se que (Jacubovic,1997) :

$$\text{Cos}\alpha = \frac{\overline{PH}}{PQ} ; \quad (3.2)$$

$$\text{Sen}\alpha = \frac{1}{PQ} ; \text{ e} \quad (3.3)$$

$$\text{Tg}\alpha = \frac{\text{Sen}\alpha}{\text{Cos}\alpha} = \frac{1}{PH} = \frac{1}{2E} \quad (3.4)$$

A forma geral de uma função linear é $y = ax + b$, onde a é a tangente do ângulo α entre o gráfico da função e o eixo X. Desta forma, tem-se que a equação geral da função de pertinência linear no domínio $[LI, LS]$ é definida por:

$$y = \frac{1}{2E}x + b \quad (3.5)$$

onde b é o valor de y onde o gráfico de função $y = \frac{1}{2E}x + b$ corta o eixo y .

Assim a função de pertinência para uma categoria “C” no domínio Real fica:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < LI \\ \frac{1}{2L}x + b & \text{se } LI \leq x \leq LS \\ 1 & \text{se } x > LS \end{cases} \quad (3.6)$$

Logo se a margem máxima de erro é $E\%$, tem-se $LI = X - E$ e $LS = X + E$ e a equação 3.6 fornece a equação 3.7.

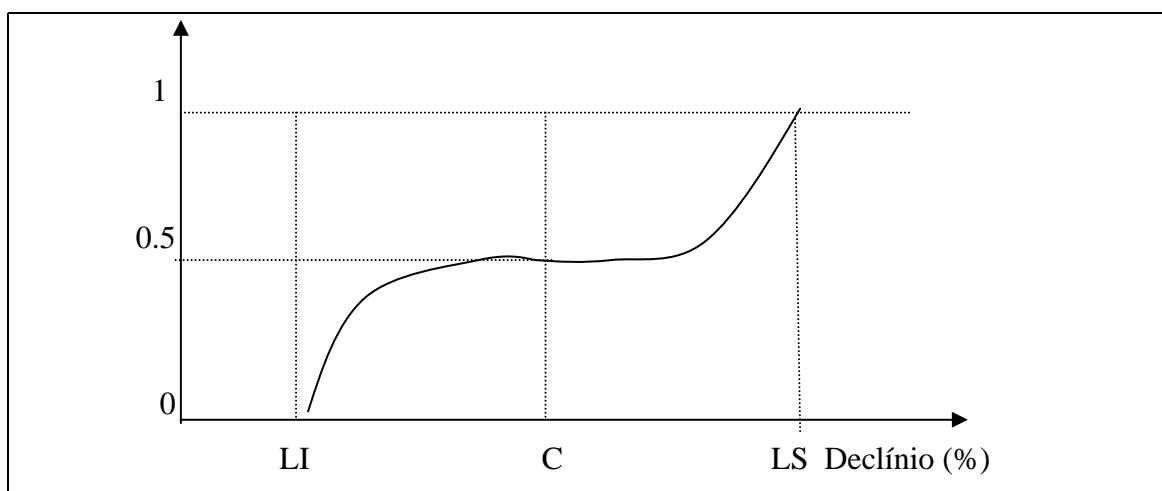
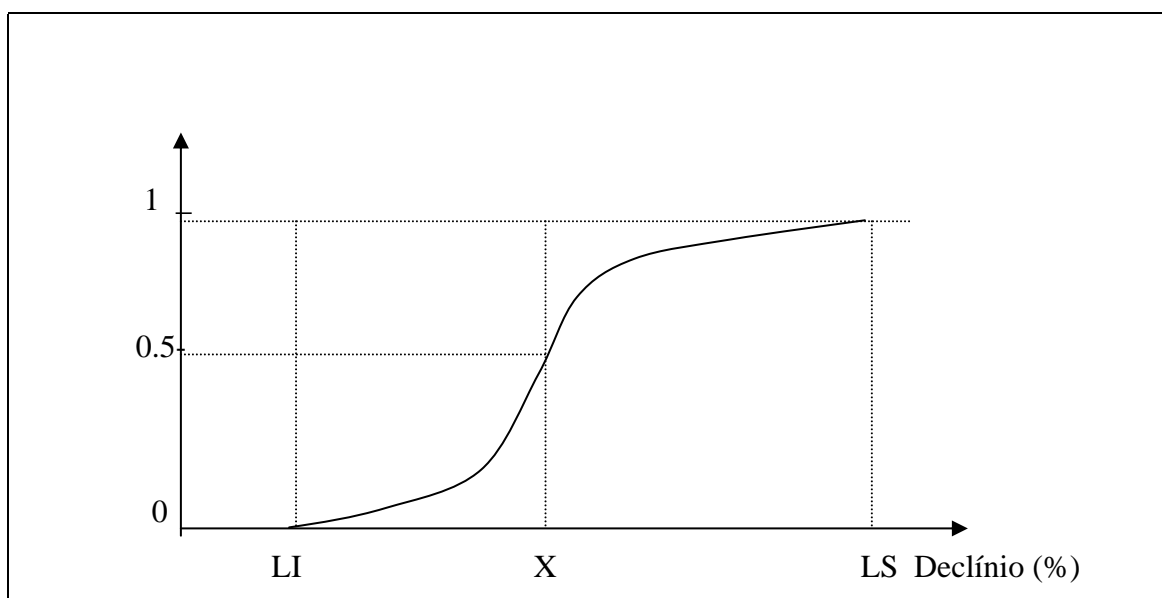
$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < X - E \\ \frac{1}{2E}x + b & \text{se } X - E \leq x \leq X + E \\ 1 & \text{se } x > X + E \end{cases} \quad (3.7)$$

Pode ocorrer em alguns (ou muitos) casos que a função de pertinência não possa ser linear, em função das circunstâncias. Pode-se considerar dois exemplos onde isto pode acontecer:

Exemplo 1: Quando tem-se a margem de erro e deseja-se que a pertinência cresça mais que o Declínio Populacional, pode-se considerar um modelo como o

esboçado na fig.3.4. Neste modelo a definição de categoria é mais próxima ao limite entre as categorias, isto é, a pertinência varia mais próximo da fronteira.

Exemplo 2: Quando tem-se a margem de erro e deseja-se que a pertinência cresça menos que o Declínio Populacional próximo da fronteira, pode-se considerar um modelo como está esboçado no gráfico da fig.3.5. Neste modelo a definição de categoria é mais lenta próximo ao limite entre as categorias, isto é, a pertinência varia menos próximo da fronteira.



A modelagem feita anteriormente para uma categoria “C” é adequada para as três categorias que serão estudadas, pois a diferença entre elas é o valor de fronteira. Por este motivo nas outras categorias será considerado apenas um das possibilidades de modelos.

Os valores de X nas três categorias são:

- 1) Uma espécie está na categoria “Criticamente em Perigo” se sua população está declinando pelo menos 80% em 10 anos ou três gerações.
- 2) Uma espécie está na categoria “Em Perigo” se sua população está declinando pelo menos 50% em 10 anos ou três gerações.
- 3) Uma espécie está na categoria “Vulnerável” se sua população está declinando pelo menos 20% em 10 anos ou três gerações.

Como exemplo, pode-se construir uma função de pertinência para cada uma das delas. Estes exemplos serão feitos escolhendo-se uma função de pertinência como a da equação 3.1. Para a categoria “Criticamente em Perigo”, neste exemplo, será considerado $a=10$ e $b=5$, isto é, acima de 85% de declínio a espécie é considerada definitivamente “Criticamente em Perigo” e abaixo de 70% é considerada definitivamente fora da categoria “Criticamente em Perigo”. A função permite, assim, considerar espécies que estão declinando 10%, 50%, 78%, 82% e 90%, todas na categoria “Criticamente em Perigo”, o que as difere e o grau de pertinência. Por exemplo, uma espécie que tem um declínio de 10% tem um grau de pertinência $\mu(10)=0$, isto é, a espécie está na categoria “Criticamente Em Perigo”, só que seu grau de pertinência é zero. Para a pertinência das outras espécies com porcentagem de Declínio citadas acima, tem-se: $\mu(50)=0$, $\mu(78)=0,3$, $\mu(82)=0,6$ e $\mu(90)=1$.

Quando tem que se tomar decisões sobre a escolha de espécies para construir uma reserva, esta informação adicional pode contribuir para que a decisão seja mais justa entre as espécies que estão arriscadas. A decisão, neste caso, usando a função de pertinência, fornece duas informações importantes: Se a espécie esta na categoria “Criticamente em Perigo” e o seu grau de pertinência na mesma. Tal método além de

estabelecer prioridade entre as espécies que serão preservadas, poder criar uma fila ordenada de espécies com necessidade de preservação. Esta fila, além de fornecer a ordem em a espécie se encontra, ainda oferece o seu grau de perigo. Por exemplo, quando tem-se uma fila com três espécies na categoria “ criticamente em Perigo” onde a primeira tem grau de pertinência 0,99, a segunda tem grau de pertinência 0,7 e a terceira tem grau de pertinência 0,66 etc, tem-se informações além da ordem em que as espécies se encontram na fila.

Para a categoria “Em Perigo” dados a e b Reais e supondo-se que um declínio abaixo de $(50-a)\%$ uma espécie está definitivamente fora e acima de $(50+b)\%$ uma espécie esteja definitivamente nesta categoria, pode-se construir uma função de pertinência para a categoria “Em Perigo” como na equação 3.4, ilustrada na fig. 3.7.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < 50 - a \\ \frac{x}{2b} + \frac{b-50}{2b} & \text{se } 50 - a \leq x \leq 50 \\ \frac{x}{2a} + \frac{a-50}{2a} & \text{se } 50 \leq x \leq 50 + b \\ 1 & \text{se } x > 50 + b \end{cases} \quad (3.8)$$

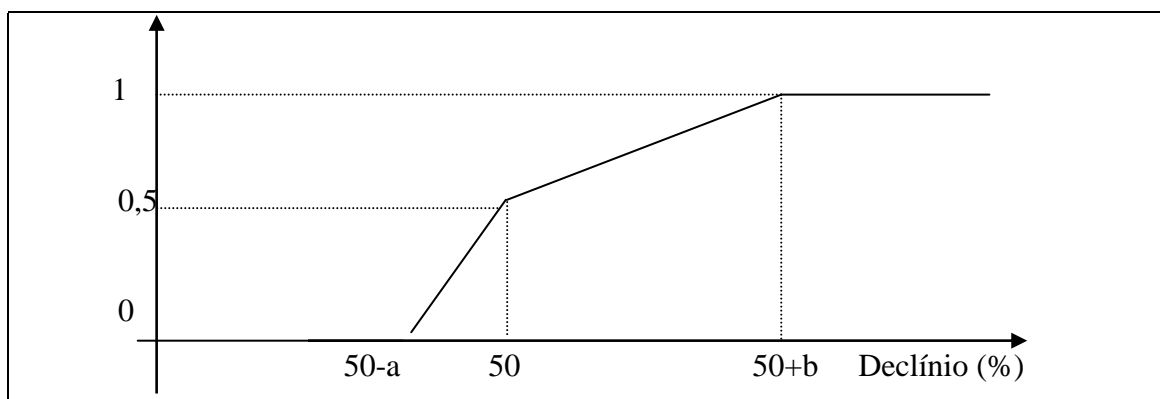


Fig.3. 6 Uma função de pertinência para a categoria “Em Perigo”

Da mesma forma, para a categoria “Vulnerável” dados a e b Reais e supondo-se que, um declínio abaixo de $(20-a)\%$ uma espécie está definitivamente fora e acima de $(20+b)\%$ uma espécie está definitivamente nesta categoria, pode-se construir uma

função de pertinência para a categoria “Vulnerável” como na equação 3.8, ilustrada na fig.3.7.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < 20 - a \\ \frac{x}{2b} + \frac{b-20}{2b} & \text{se } 20 - a \leq x \leq 20 \\ \frac{x}{2a} + \frac{a-20}{2a} & \text{se } 20 \leq x \leq 20 + b \\ 1 & \text{se } x > 20 + b \end{cases} \quad (3.9)$$

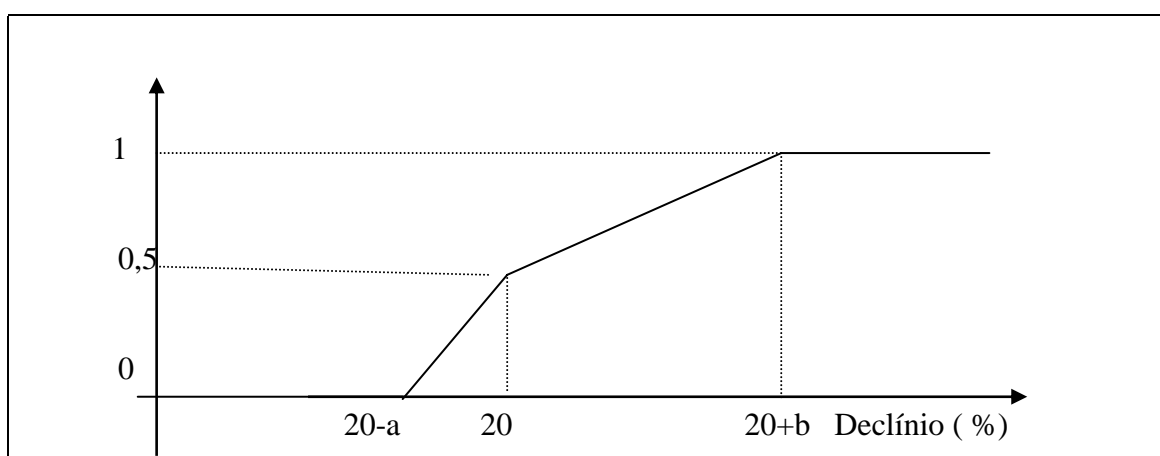


Fig.3. 7 Uma função de pertinência para a categoria “Vulnerável”

Desta forma, quando tem-se o Declínio Populacional em porcentagem de uma espécie, pode-se verificar a qual das três categoria analisadas a mesma pertence. Para uma melhor visualização pode-se superpor estas três funções de pertinência num mesmo sistemas de eixos. Para simplificar, pode-se supor que estas funções de pertinência sejam lineares entre os Limites Superior e Inferior. A superposição dos gráficos dessas funções de pertinência está ilustrado na fig. 3.7.

No domínio X que é o Declínio Populacional, pode-se considerar uma função $f: X \rightarrow \mathbf{R}^3$ definida por $f(x) = (e_1(x), e_2(x), e_3(x))$.

assim para cada espécie E_i obtém-se um vetor R_i , fornecendo a classe e a pertinência da espécie, dado por:

$$R_i = (e_1, e_2, e_3)$$

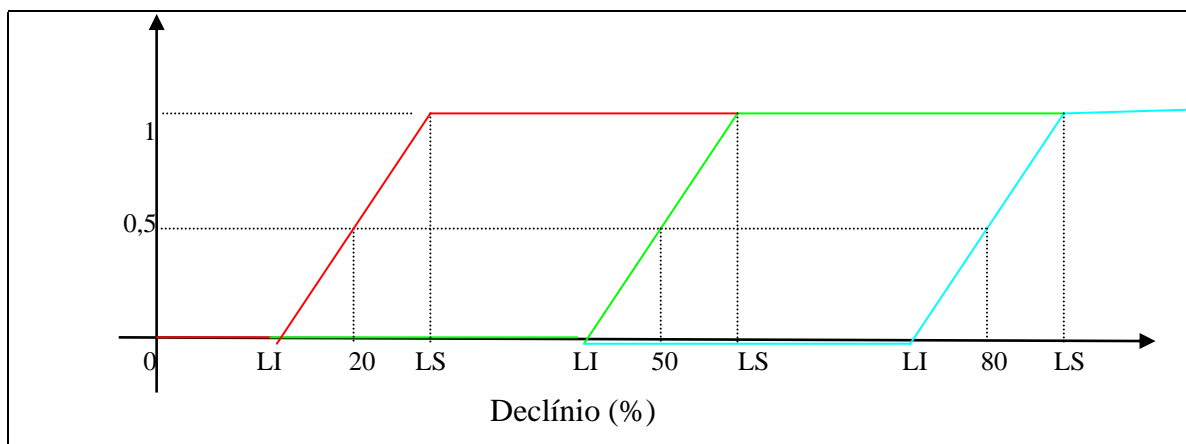


Fig.3.8 Uma superposição de funções de pertinência para as categorias “Críticamente em Perigo”(azul), “Em Perigo”(verde) e “Vulnerável”(vermelha).

onde:

- 1) e_1 é a pertinência da espécie E_i na categoria “Críticamente em Perigo”;
- 2) e_2 é a pertinência da espécie E_i na categoria “Em Perigo”; e
- 3) e_3 é a pertinência da espécie E_i na categoria “Vulnerável”.

3.3 A Classificação de Espécies Através da Extensão de Ocorrência e Área de Ocupação

Muitas vezes não é possível ter o Declínio Populacional de uma espécie e tem-se que trabalhar com outros dados disponíveis sobre a mesma. Nesta seção, trabalha-se com Extensão de Ocorrência e Área de Ocupação, conforme definidos no capítulo 2. O critério B da IUCN diz que uma espécie está em uma categoria “C” se sua Extensão de Ocorrência é menor do que $X \text{ Km}^2$ ou a Área de Ocupação é menor que $Y \text{ km}^2$ (o que for menor). Deve-se observar que quando tem-se a Área de Ocupação tem-se também a Extensão Ocorrência e vice versa. A figura 3.9 figura ilustra este fato: Os retângulos representam regiões habitadas por uma espécie, a soma das áreas interiores aos

retângulos é a Área de Ocupação da mesma, e a área do menor polígono que contém todos os retângulos é a Extensão de Ocorrência da espécie.

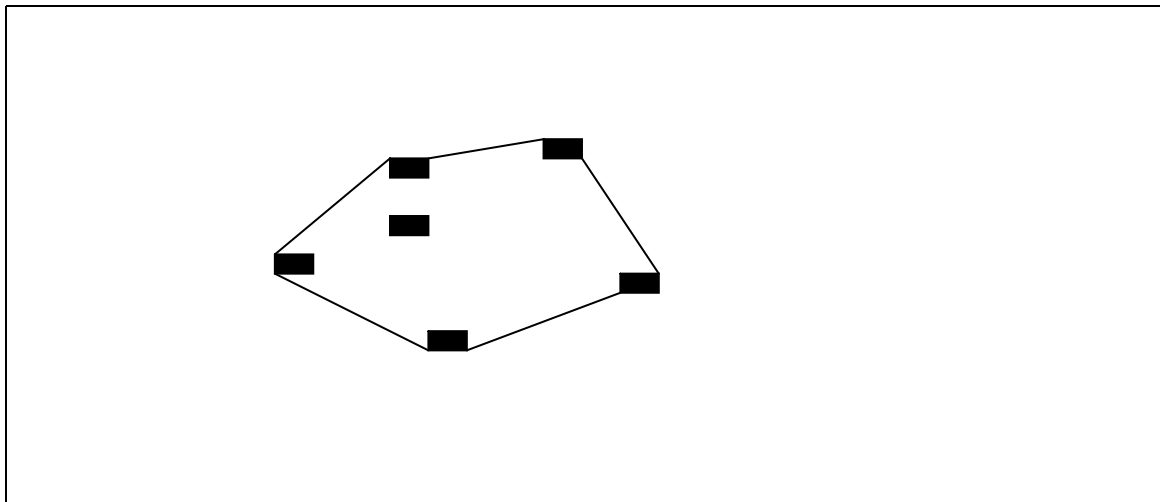


Fig. 3.9. A soma das áreas dos retângulos é a Área de Ocupação e a área interior ao polígono é a Extensão de Ocorrência.

Quanto menor for a Extensão de Ocorrência e/ou a Área de Ocupação de uma espécie, maior será o seu risco de extinção. Assim como o Declínio Populacional, dificilmente existem dados exatos sobre a Extensão de Ocorrência e a Área de Ocupação, tornando difícil garantir se espécie está numa categoria ou em outra. Quando trata-se uma fronteira entre duas categorias de forma *fuzzy* é necessário construir uma função de pertinência para a Extensão de Ocorrência e outra para a Área de Ocupação. Supondo-se que a função de pertinência para Extensão de Ocorrência produz um valor $h(y)$, e a função de pertinência para a Área de Ocupação um valor $f(x)$, a estrutura disjuntiva do Critério significa que o resultado é uma união *fuzzy* entre $h(y)$ e $f(x)$, isto é, o máximo entre $h(y)$ e $f(x)$. Este máximo fornece o grau de pertinência da espécie na categoria.

É necessário estimar uma margem de segurança antes e depois do ponto de fronteira para cada um dos dois critérios onde se pode garantir, definitivamente, se uma espécie está ou não na categoria "C". Supondo-se que $(X+b)\%$ seja o valor acima do qual pode se garantir que uma espécie não está definitivamente na categoria "C" e $(X-a)\%$ um valor abaixo do qual pode se garantir que a espécie está definitivamente na categoria "C" em termos de Área de Ocupação e que $(Y+b)\%$ seja o valor acima do qual

pode se garantir que a espécie não está definitivamente na categoria "C" e $(Y-a)\%$ um valor abaixo do qual pode se garantir que a espécie esta definitivamente na categoria "C" em termos de Extensão de Ocorrência, onde a e b são números reais, tem-se funções de pertinência para uma categoria "C" nas figuras 3.10 e 3.11 em termos da Extensão de Ocorrência e Área de Ocupação, respectivamente.

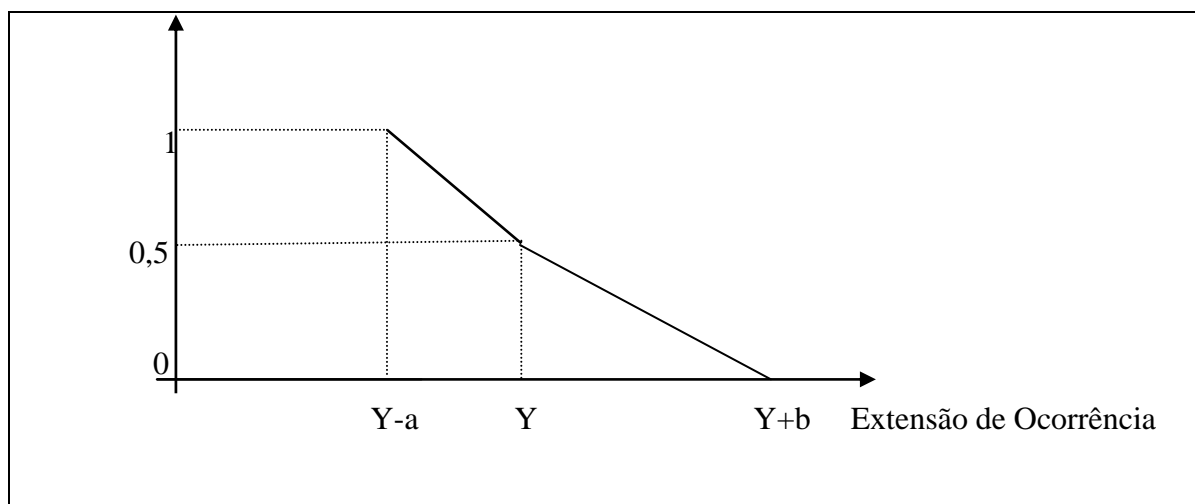


Fig.3.10 Representa o gráfico de uma função de pertinência para a categoria "C"

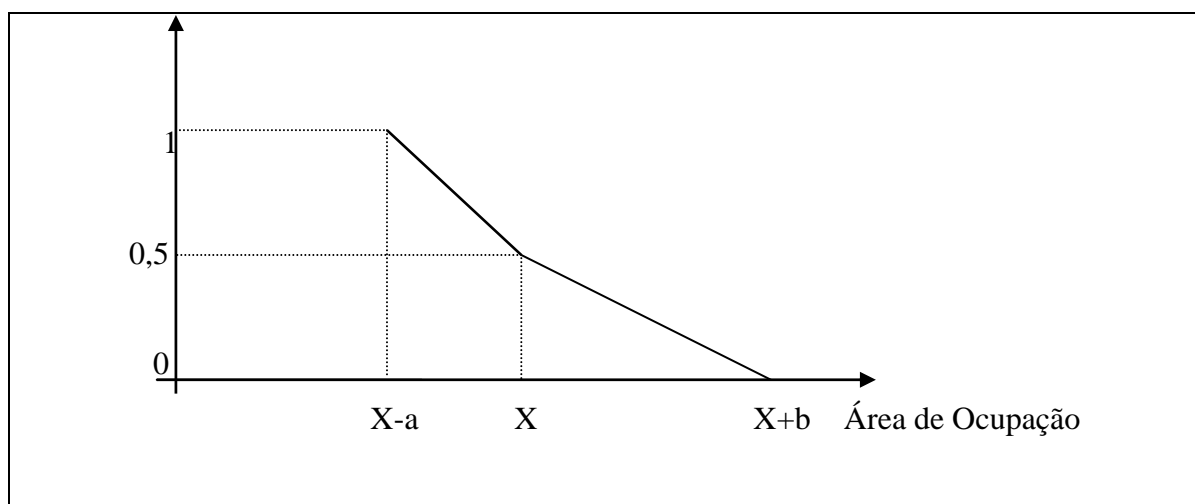


Fig.3.11 Representa o gráfico de uma função de pertinência para a categoria "C"

Os valores de X e Y para as três categorias são:

- 1) Uma espécie está na categoria "Críticamente em Perigo" se sua Extensão de Ocorrência é menor que 100Km^2 ou sua Área de Ocupação é menor que 10Km^2 .

2) Uma espécie está na categoria “Em Perigo” se sua Extensão de Ocorrência é menor que 5000Km^2 ou sua Área de Ocupação é menor que 500Km^2 .

3) Uma espécie está na categoria “Vulnerável” se sua Extensão de Ocorrência é menor que 20000Km^2 ou sua Área de Ocupação é menor que 2000Km^2 .

As funções de pertinência mostradas nos gráficos nas figuras 3.10 e 3.11 representam apenas uma das possibilidades dos modelos que podem ser feitos em função das circunstâncias. Estas funções podem ser modeladas de outras formas, considerando-se fatores climáticos biológicos etc. Pode-se considerar, para fins de exemplo, uma situação mais simples onde as funções de pertinência sejam lineares entre o Limite Inferior (LI) e Limite Superior (LS) como nas fig.3.12 e 3.13.

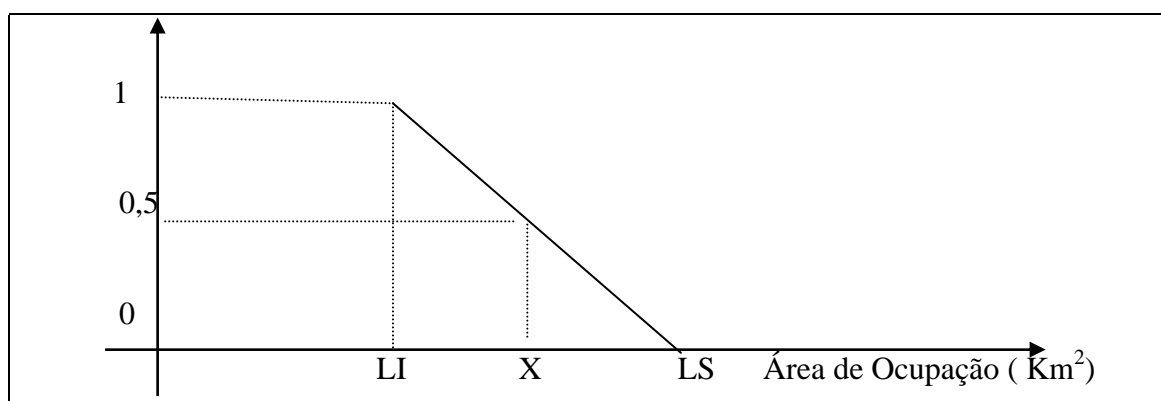


Fig.3.12 Uma função de pertinência que cresce linearmente entre os Limites Inferior e Superior.

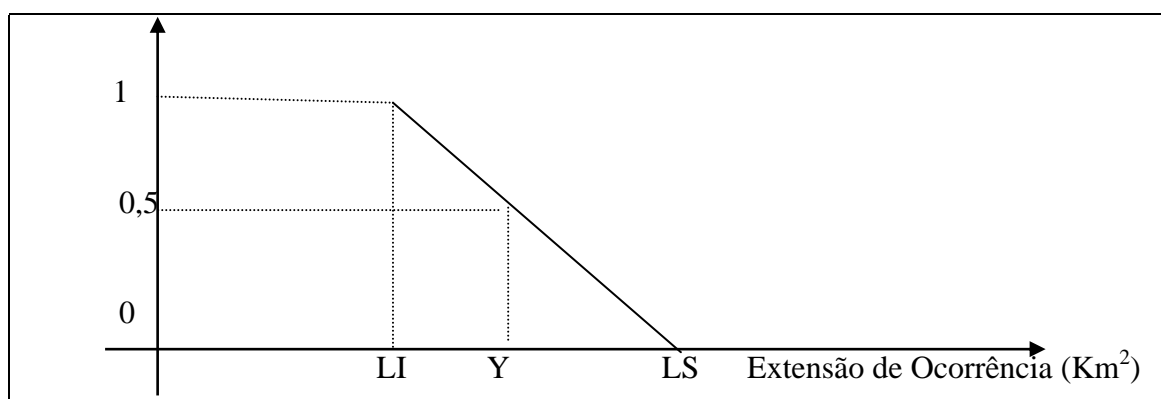


Fig.3.13 Uma função de pertinência que cresce linearmente entre os Limites Inferior e Superior.

Quando é possível conhecer a margem máxima de erro, E, nos dados, na Extensão de Ocorrência e Área de Ocupação de uma espécie e na hipótese de ser permitido usar um modelo mais simples de função de pertinência, que é uma função linear, é possível definir, de forma genérica a equação dessas funções de pertinência no domínio [LI,LS], onde LI=X-E e LS=X+E. Por exemplo, se a margem de erro é de no máximo de 5% na categoria “C”, para a Extensão de Ocorrência, o limite superior será de X+5 e o inferior de X-5. Para encontrar a equação geral linear no domínio [LI,LS] para uma categoria “C”, para a Extensão de Ocorrência, por exemplo, quando tem-se a margem de erro, E, procede-se da seguinte forma:

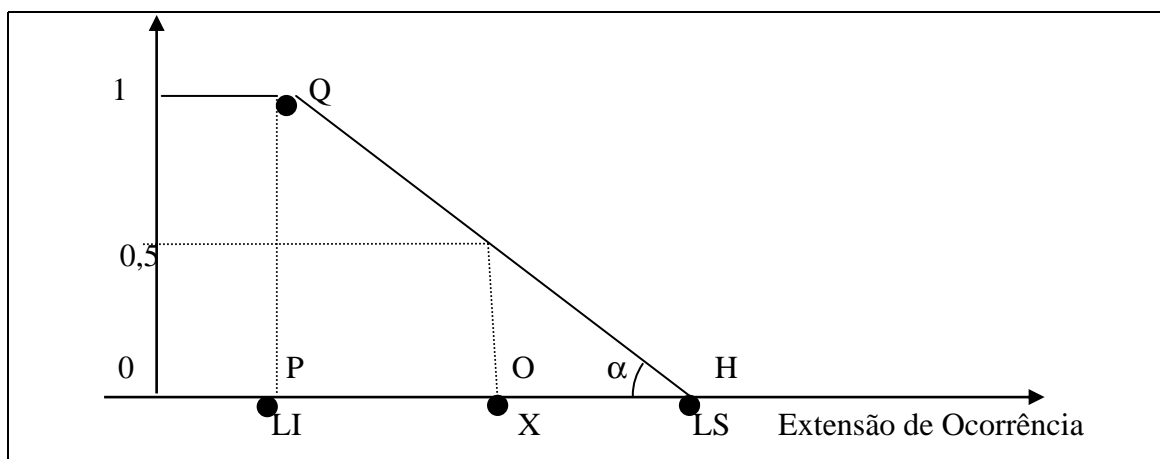


Fig.3.14 Uma função de pertinência linear

Considerando a fig. 3.14, tem-se que (Jacubovic,1997) :

$$\text{Cos}\alpha = -\frac{\overline{PH}}{\overline{PQ}} ; \quad (3.10)$$

$$\text{Sen}\alpha = \frac{1}{\overline{PQ}} ; \text{ e} \quad (3.11)$$

$$\text{Tg}\alpha = \frac{\text{Sen}\alpha}{\text{Cos}\alpha} = -\frac{1}{\overline{PH}} = -\frac{1}{2E} \quad (3.12)$$

Como a equação geral de um função linear é $y = ax + b$, onde a é a tangente do ângulo α entre o gráfico da função e o eixo X, tem-se que a equação geral da função de pertinência linear no domínio [LI,LS] é definida por:

$$y = -\frac{1}{2L}x + b \quad (3.13)$$

Para a categoria “Críticamente em Perigo”, por exemplo, pode-se considerar a seguinte situação: supondo-se que uma Extensão de Ocorrência acima de 105Km² uma espécie esta definitivamente fora e abaixo de 95 Km² esta definitivamente nesta categoria, pode-se construir a função de pertinência como na equação 3.13 ilustrada na fig. 3.15.

Para a mesma categoria, “Críticamente em Perigo”, supondo-se que uma Área de ocupação acima de 10,5Km² uma espécie esteja definitivamente fora e abaixo de 9,5 Km² esteja definitivamente nesta categoria, pode-se construir a função de pertinência 3.14, ilustrada na fig.3.16.

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x > 105 \\ -\frac{x}{10} + \frac{95}{10} & \text{se } 95 \leq x \leq 105 \\ 1 & \text{se } x < 95 \end{cases} \quad (3.14)$$

$$h(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x > 10,5 \\ -\frac{x}{10} + \frac{15}{10} & \text{se } 9,5 \leq x \leq 10,5 \\ 1 & \text{se } x < 9,5 \end{cases} \quad (3.15)$$

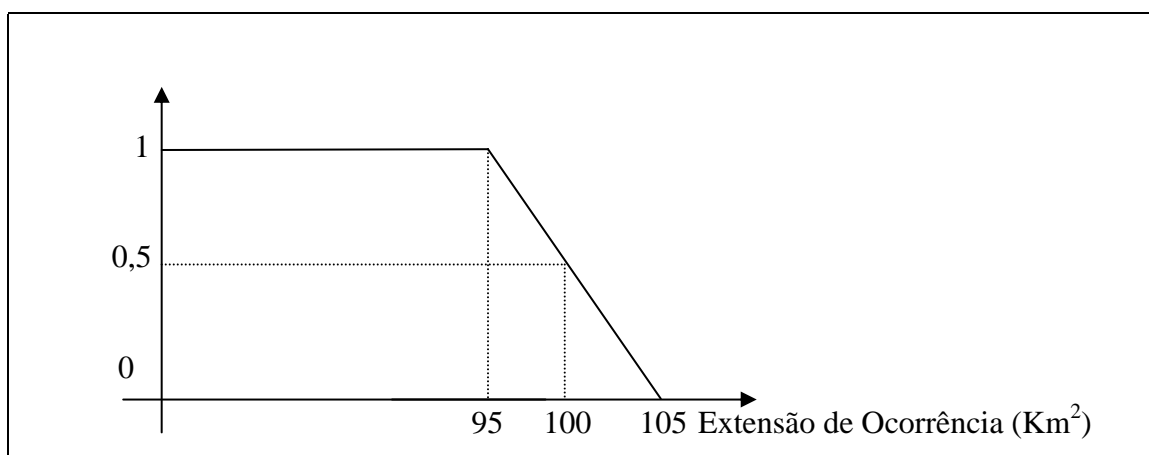


Fig.3.15 Representa uma função de pertinência, f , para Extensão de Ocorrência para o categoria “Críticamente em Perigo”.

Para exemplificar o uso destas funções de pertinência pode-se considerar uma espécie E que tem Área de Ocupação e Extensão de ocorrência estimados em 9,8 Km²

e 102Km^2 , respectivamente. Deseja-se saber se esta espécie está na categoria “ criticamente em Perigo” e em caso afirmativo, qual o seu grau de pertinência. Como a Extensão de Ocorrência é 102Km^2 e a Área de Ocupação é de $9,8\text{Km}^2$, sabe-se que a espécie está na categoria “ criticamente em Perigo” e a sua pertinência na categoria é dada por $\text{máx}\{f(102), h(9.8)\}=\text{máx}\{0.7, 0.52\}= 0.7$

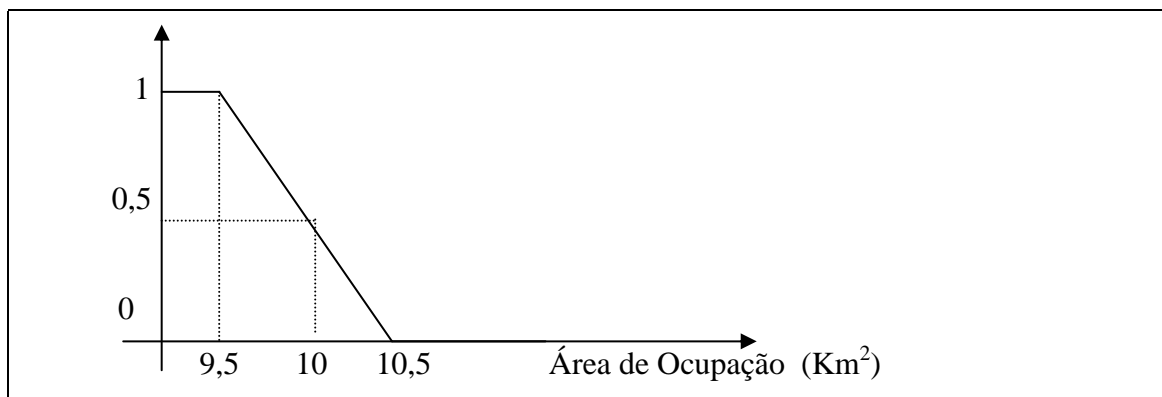


Fig.3.16 Representa uma função de pertinência, h , para a Área de Ocupação na categoria “ criticamente em Perigo”

Tendo-se a Área de Ocupação de uma espécie, pode-se verificar a qual das três categoria analisadas a mesma pertence. Para uma melhor visualização, pode-se superpor estas três funções num mesmo sistemas de eixos. Esta superposição será feita considerando funções de pertinência lineares entre os Limites Superior e Inferior, como está ilustrado na fig. 3.17.

No domínio X que é a Área de Ocupação, pode-se considerar uma função $f: X \rightarrow \mathbf{R}^3$ definida por $f(x)=(a_1(x), a_2(x), a_3(x))$. Assim associa-se a cada espécie E_i um vetor AO_i , fornecendo a pertinência da espécie, em função da Área de Ocupação, em cada categoria, definido por:

$$AO_i=(a_1, a_2, a_3)$$

onde:

1) a_1 é a pertinência da espécie E_i na categoria “ criticamente em Perigo” em função da Área de Ocupação;

- 2) a_2 é a pertinência da espécie E_i na categoria “Em Perigo” em função da Área de Ocupação;
- 3) a_3 é a pertinência da espécie E_i na categoria “Vulnerável” em função da Área de Ocupação.

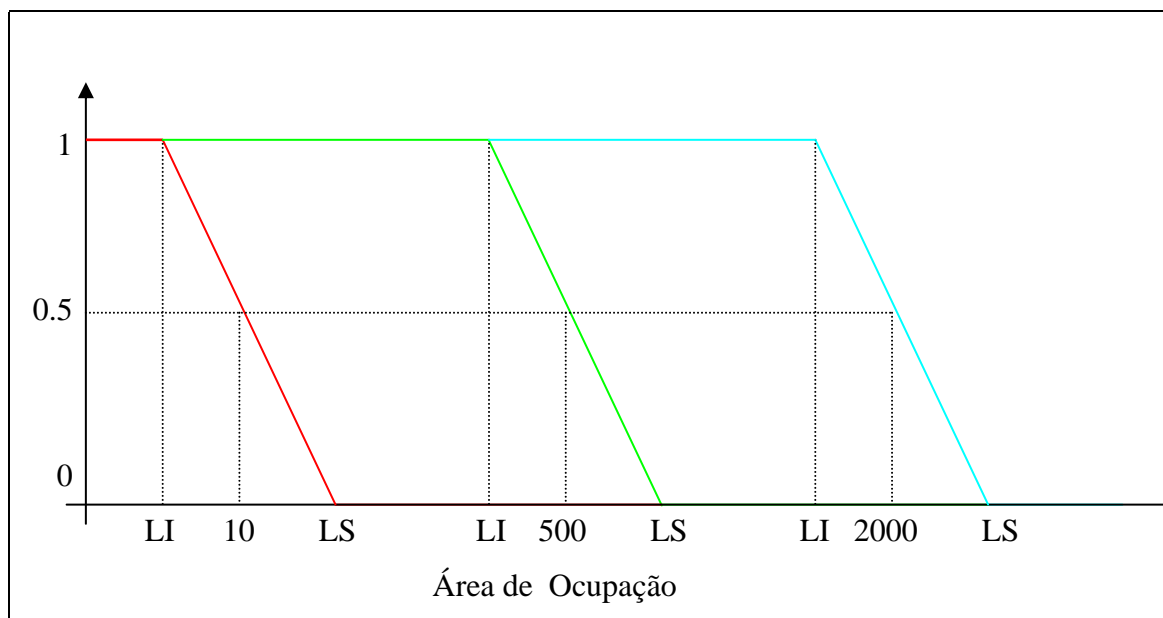


Fig. 3.17 superposição das funções de pertinência para as categorias “Críticamente em Perigo”(vermelha), “Em Perigo”(verde) e “Vulnerável” (Azul), em função da Área de Ocupação

Tendo-se a Extensão de Ocorrência de uma espécie, pode-se verificar a qual das três categoria analisadas a mesma pertence. Para uma melhor visualização pode-se superpor estas três funções num mesmo sistemas de eixos. Esta superposição será feita considerando funções de pertinência lineares entre os Limites Superior e Inferior, como está ilustrado na fig. 3.18.

No domínio Y que é a Extensão de Ocorrência pode-se considerar uma função

$$f: Y \rightarrow \mathbf{R}^3 \text{ definida por } f(y) = (b_1(y), b_2(y), b_3(y))$$

Pode-se associar a cada espécie E_i um vetor EO_i , fornecendo a pertinência da espécie, em função da Extensão de Ocorrência, em cada categoria, definido por:

$$EO_i = (b_1, b_2, b_3)$$

onde:

- 1) a_1 é a pertinência da espécie E_i na categoria “Críticamente em Perigo” em função da Extensão de Ocorrência;
- 2) a_2 é a pertinência da espécie E_i na categoria “Em Perigo” em função da Extensão de Ocorrência; e
- 3) a_3 é a pertinência da espécie E_i na categoria “Vulnerável” em função da Extensão de Ocorrência.

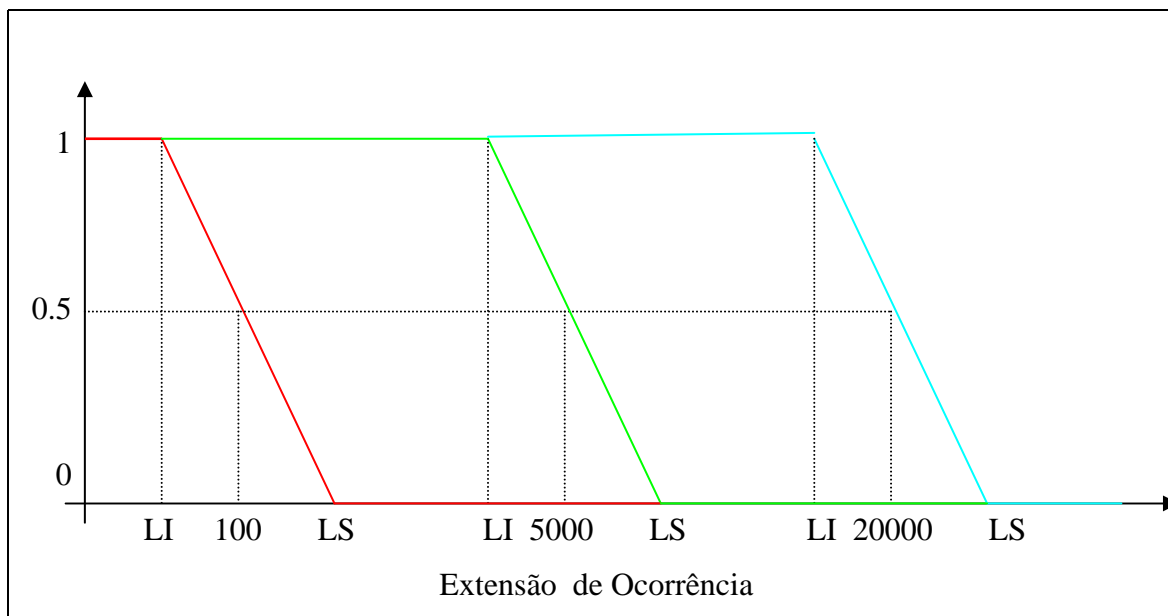


Fig. 3.18 Superposição das funções de pertinência para as categorias “Críticamente em Perigo”(vermelha), “Em Perigo”(verde) e “Vulnerável” (Azul)

Para classificar uma espécie usando os critérios Área de Ocupação e Extensão de Ocorrência, nos domínios X e Y , respectivamente, pode-se considerar uma função

$$f: X \times Y \rightarrow \mathbf{R}^6 \text{ definida por}$$

$$f(x,y) = (a_1(x), b_1(y), a_2(x), b_2(y), a_3(x), b_3(y))$$

Desta forma, pode-se associar a cada espécie E_i um vetor R_i , como sendo uma união *fuzzy* dos vetores EO_i e AO_i , definido por :

$$R_i = (\max\{a_1, b_1\}, \max\{a_2, b_2\}, \max\{a_3, b_3\}).$$

Os vetores R_i vindos do Declínio Populacional são semelhantes aos vetores R_i vindo da Área de Ocupação juntamente com a Extensão de Ocorrência, logo eles podem ser reunidos num só Domínio.

3.4 O Modelo de Classificação com os Todos os Critérios da IUCN

A classificação das espécies em extinção feita pela IUCN pode ser feita usando qualquer um dos cinco critérios possíveis: Declínio Populacional, Extensão de Ocorrência, Área de Ocupação, Número de Indivíduos Maduros e Probabilidade de Extinção nos próximos anos. Nas seções anteriores trabalhou-se com a possibilidade de ter apenas o Declínio Populacional ou a Extensão de Ocorrência juntamente com a Área de Ocupação. Pode ocorrer de se conhecer mais de um critério para uma espécie, ou todos simultaneamente, nestes casos pode-se trabalhar com todos que estão disponíveis.

Nota-se pela estrutura disjuntiva dos critérios da IUCN que a classificação deve ser feita em função do critério que representar maior risco, isto é, se houver dados disponíveis de todos os critérios considera-se aquele que representa maior risco para a espécie. Para ilustrar isto pode-se considerar a seguinte situação: Suponha que uma espécie tenha menos de 50 Indivíduos Maduros, isto é, pelo critério Número de Indivíduos Maduros a espécie está na categoria “Criticamente em Perigo”. Se não morrer nenhum indivíduo desta espécie durante dez anos não há Declínio Populacional e por este critério a espécie não tem o menor risco de extinção. Desta forma é importante considerar todos os critérios disponíveis. A classificação considerando todos os critérios simultaneamente pode ser feita da seguinte forma: Para o Declínio Populacional faz-se uma função de pertinência para cada uma das três categorias e para cada espécie E_i encontra-se um vetor $A_i = (a_1, a_2, a_3)$ onde a_1 é a pertinência da espécie

E_i na categoria “Críticamente em Perigo”, a_2 é a pertinência da espécie E_i na categoria “Em Perigo” e a_3 é a pertinência da espécie E_i na categoria “Vulnerável”, todas em relação ao Declínio Populacional. Da mesma forma pode-se definir um vetor $B_i = (b_1, b_2, b_3)$ para o critério Extensão de Ocorrência, um vetor $C_i = (c_1, c_2, c_3)$ para o critério Área de Ocupação, um vetor $D_i = (d_1, d_2, d_3)$ para o critério Número de Indivíduos Maduros e um vetor $F_i = (f_1, f_2, f_3)$ para o critério Probabilidade de Extinção nos próximos anos. Desses vetores defini-se um vetor

$$X_i = (x_1, x_2, x_3)$$

onde:

$$x_1 = \max\{a_1, b_1, c_1, d_1, f_1\} = \text{Pertinência na categoria “Críticamente em Perigo”}$$

$$x_2 = \max\{a_2, b_2, c_2, d_2, f_2\} = \text{Pertinência na categoria “Em Perigo”}$$

$$x_3 = \max\{a_3, b_3, c_3, d_3, f_3\} = \text{Pertinência na categoria “Vulnerável”}$$

O vetor X_i representa o resultado final da classificação considerando todos os critérios disponíveis.

Desta forma pode-se trabalhar com todos os critérios simultaneamente. Pode ocorrer em algumas situações que não se conhece os dados de alguns dos critérios, nestes casos pode-se considerar os vetores correspondente a estes critérios como sendo nulos, isto é, os mesmos ficam neutros e não interferem na classificação. Deve-se notar que são três categorias, cada uma considerando 5 cinco critérios, fazendo com que o resultado final seja analisado através quinze funções de pertinência. O procedimento usando todos os critérios pode ser implementado da seguinte forma: A cada espécie E_i associa-se um vetor

$$T_i = (t_1, t_2, t_3, t_4, t_5)$$

onde:

t_1 = é o valor do Declínio Populacional da espécie i ;

t_2 = é o valor da Extensão de Ocorrência da espécie i ;

t_3 = é o valor da Área de Ocupação da espécie i ;

t_4 = é o valor do Número de Indivíduos Maduros da espécie i ;

t_5 = é o valor da Probabilidade de Extinção nos próximos anos da espécie i .

Dos valores t_1 , t_2 , t_3 , t_4 e t_5 obtém-se, respectivamente, os vetores A_i , B_i , C_i , D_i e F_i , de uma união *fuzzy* entre eles resulta no vetor X_i que fornece o grau de risco da espécie.

CAPÍTULO IV

APLICAÇÃO DO MODELO PARA CLASSIFICAÇÃO DE ESPÉCIES

4.1 Introdução

No capítulo anterior foi estudado um Modelo *fuzzy* para classificar espécies quanto ao risco de extinção, nas categorias: “Críticamente em Perigo”, “Em Perigo” e “Vulnerável”, quando tem-se o Declínio Populacional ou a Extensão de Ocorrência juntamente com Área de Ocupação. Neste capítulo, estuda-se algumas aplicações deste Modelo. Para fins de exemplos, pode-se considerar funções pertinência mais simples, que são funções lineares no domínio $[LI, LS]$. Primeiro considera-se alguns exemplos, classificando espécies fazendo-se os cálculos diretamente através das funções de pertinência, em seguida é implementado um programa no MATLAB que faz os cálculos automaticamente para qualquer número de espécies.

4.2 Aplicação do Modelo Analisando o Declínio Populacional

Tendo-se o Declínio Populacional e na hipótese de poder usar funções de pertinência lineares para as categorias “Críticamente em Perigo”, “Em Perigo” e “Vulnerável”, no domínio $[LI, LS]$, pode-se superpor num mesmo sistema de eixos estas três funções. Esta superposição será feita considerando $X-LI= LS-X=5$, onde X é o limite entre duas categorias. Estas funções, assim definidas, são dadas pelas equações 4.1, 4.2 e 4.3 e a superposição delas está ilustrada na fig.4.1

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < 15 \\ \frac{x}{10} + \frac{-15}{10} & 15 \leq x \leq 25 \\ 1 & x > 25 \end{cases} \quad (4.1)$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x < 45 \\ \frac{x}{10} + \frac{-45}{10} & 45 \leq x \leq 55 \\ 1 & x > 55 \end{cases} \quad (4.2)$$

$$g(x) = \begin{cases} 0 & x < 75 \\ \frac{x}{10} + \frac{-75}{10} & 75 \leq x \leq 85 \\ 1 & x > 85 \end{cases} \quad (4.3)$$

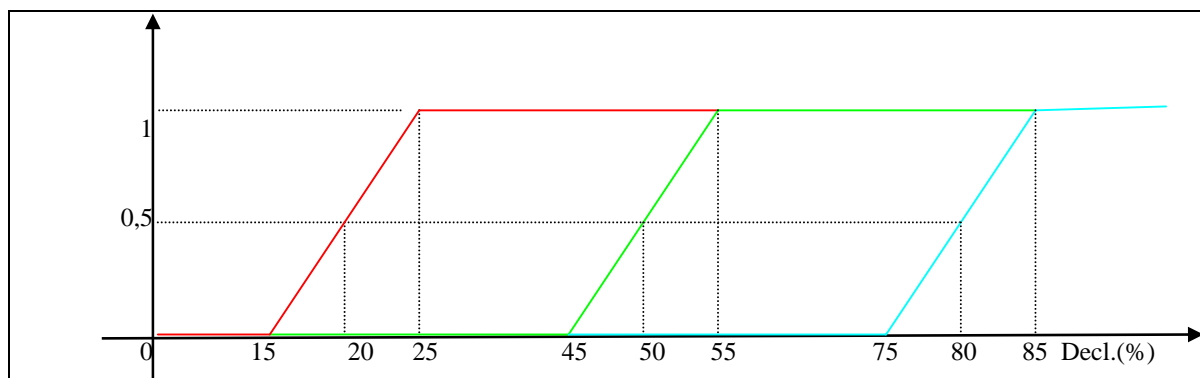


Fig.4.1 Uma superposição de funções de pertinência para as categorias “Críticamente em Perigo”(azul) , “Em Perigo”(verde) e “Vulnerável”(vermelha).

Como exemplo, pode-se considerar dados hipotéticos de algumas espécies como na tabela 4.1, com seus respectivos Declínios Populacionais nos últimos dez anos.

Tabela 4.1 Declínio Populacional

Espécies	Declínio (%)
E ₁	84.6
E ₂	83
E ₃	78
E ₄	17

A espécie E₁ está definitivamente na da categoria “Vulnerável”, pois seu declínio está acima de 25%; está definitivamente na da categoria “Em Perigo”, pois seu declínio está acima de 55% e tem uma pertinência de 0.96 na categoria “Criticamente em Perigo”.

A espécie E₂ está definitivamente na categoria “Vulnerável”, pois seu declínio está acima de 25%; está definitivamente na categoria “Em Perigo”, pois seu declínio está acima de 55% e tem uma pertinência de 0.8 na categoria “Criticamente em Perigo”.

A espécie E₃ está definitivamente na categoria “Vulnerável”, pois seu declínio está acima de 25%; está definitivamente dentro da categoria “Em Perigo”, pois seu declínio está acima de 55% e tem uma pertinência de 0.3 na categoria “Criticamente em Perigo”.

A espécie E₄ está definitivamente fora da categoria “Criticamente em Perigo”, pois seu declínio está abaixo de 75%; está definitivamente fora da categoria “Em Perigo”, pois seu declínio está acima de 45% e tem uma pertinência de 0.2 na categoria “Vulnerável”.

Desta forma para as espécies da tabela 4.1, tem-se os seguintes vetores:

$$R_1=(9.6, 1.0, 1.0)$$

$$R_2=(0.8, 1.0, 1.0)$$

$$R_3=(0.3, 1.0, 1.0)$$

$$R_4=(0.0, 0.0, 0.2)$$

As espécies mais arriscadas são aquelas que tem valores maiores na primeira coordenada. Se todas têm o primeira coordenada nula, as mais arriscadas são aquelas que têm valores maiores na segunda coordenada e assim por diante.

Este tratamento *fuzzy* para estas categorias apresenta algumas vantagens:

- 1) Fornece a categoria em que a espécie se encontra;
- 2) Ordena as espécies pelo grau de risco; e
- 3) Esta classificação, além de fornecer a ordem em a espécie se encontra, ainda oferece o seu grau de risco, isto é, sabe-se que as três espécies mais arriscadas têm graus de perigo valendo 0,96, 0,8 e 0,3 respectivamente. Portanto, tem-se informações além da ordem em que a espécie se encontra na fila de risco.

4.3 Aplicação do Modelo Analisando o Extensão de Ocorrência Juntamente com Área de Ocupação

Tendo-se a Área de Ocupação juntamente com a Extensão de Ocorrência e na hipótese de poder definir as funções de pertinência lineares no domínio [LI, LS] para as categorias “Críticamente em Perigo”, “Em Perigo” e Vulnerável”, pode-se superpor num mesmo sistema de eixos, para as três categorias, as funções de pertinência da Área de Ocupação e em outro as da Extensão de Ocorrência.

Uma superposição dos gráficos das funções de pertinência para a Área de Ocupação será feita considerando-se os seguintes Limites:

- 1) Abaixo de 8Km^2 uma espécie está definitivamente na categoria “Críticamente em Perigo”;
- 2) Acima de 12Km^2 uma espécie está definitivamente fora da categoria “Críticamente em Perigo”;
- 3) Abaixo de 480Km^2 uma espécie está definitivamente na categoria “Em Perigo”;
- 4) Acima de 520Km^2 uma espécie está definitivamente fora da categoria “Em Perigo”;

- 5) Abaixo de 1800Km^2 uma espécie está definitivamente na categoria “Vulnerável”;
 6) Acima de 2200Km^2 uma espécie está definitivamente fora da categoria “Vulnerável”

As equações 4.4, 4.5 e 4.6 fornecem, com estes valores, os gráficos para as categorias “Criticamente em Perigo”, “Em Perigo” e “Vulnerável” respectivamente e a superposição desses gráficos num mesmo sistema de eixos está ilustrado na fig.4.2

$$f(x) = \begin{cases} 1 & x < 8 \\ -\frac{x}{4} + 3 & 8 \leq x \leq 12 \\ 0 & x > 12 \end{cases} \quad (4.4)$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & x < 480 \\ -\frac{x}{40} + 13 & 480 \leq x \leq 520 \\ 0 & x > 520 \end{cases} \quad (4.5)$$

$$g(x) = \begin{cases} 1 & x < 1800 \\ -\frac{x}{400} + \frac{11}{2} & 1800 \leq x \leq 2200 \\ 0 & x > 2200 \end{cases} \quad (4.6)$$

Uma superposição dos gráficos das funções de pertinência para a Extensão de Ocorrência será feita considerando-se os seguintes Limites:

- 1) Abaixo de 80Km^2 uma espécie está definitivamente na categoria “Criticamente em Perigo”;
- 2) Acima de 120Km^2 uma espécie está definitivamente fora da categoria “Criticamente em Perigo”;
- 3) Abaixo de 4800Km^2 uma espécie está definitivamente na categoria “Em Perigo”;
- 4) Acima de 5200Km^2 uma espécie está definitivamente fora da categoria “Em Perigo”;
- 5) Abaixo de 18000Km^2 uma espécie está definitivamente na categoria “Vulnerável”;

6) Acima de 22000Km² uma espécie está definitivamente fora da categoria “Vulnerável”.

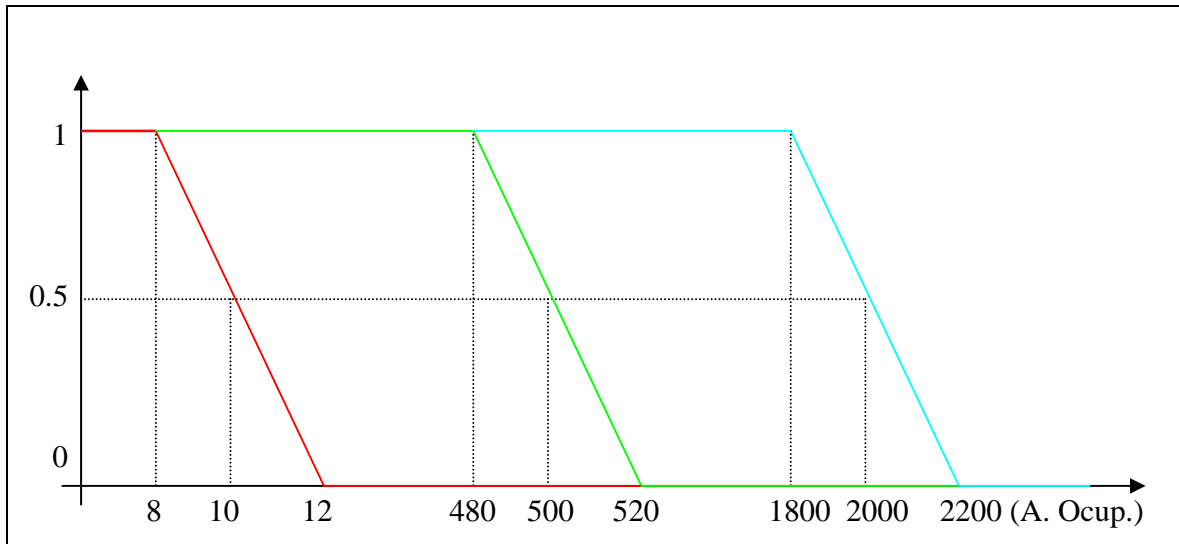


Fig. 4.2 superposição das funções de pertinência para as categorias “Criticamente em Perigo”(vermelha), “Em Perigo”(verde) e “Vulnerável” (Azul), em função da Área de Ocupação

As equações com estes valores para as categorias “Criticamente em Perigo”, “Em Perigo” e “Vulnerável” são dadas pelas equações 4.7, 4.8 e 4.9, respectivamente e a superposição desses gráficos está na figura 4.3.

$$f(x) = \begin{cases} 1 & x < 80 \\ -\frac{x}{40} + 3 & 80 \leq x \leq 120 \\ 0 & x > 120 \end{cases} \quad (4.7)$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & x < 4800 \\ -\frac{x}{400} + 13 & 4800 \leq x \leq 5200 \\ 0 & x > 5200 \end{cases} \quad (4.8)$$

$$g(x) = \begin{cases} 1 & x < 18000 \\ -\frac{x}{4000} + \frac{11}{2} & 18000 \leq x \leq 22000 \\ 0 & x > 22000 \end{cases} \quad (4.9)$$

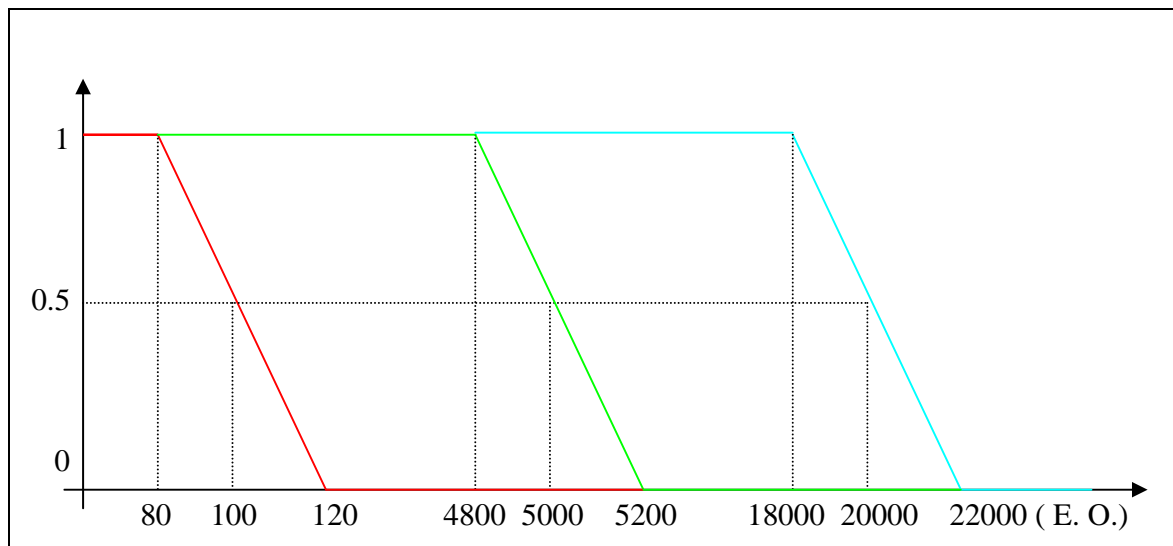


Fig. 4.3 Superposição das funções de pertinência para as categorias “Críticamente em Perigo”(vermelha), “Em Perigo”(verde) e “Vulnerável” (Azul)

Desta forma, pode-se associar a cada espécie E_i um vetor R_i , como sendo uma união *fuzzy* dos vetores EO_i e AO_i , definido por :

$$R_i = (\text{máx}\{a_1, b_1, \text{máx}\{a_2, b_2, \text{máx}\{a_3, b_3\}\})$$

Como exemplo, pode-se considerar o caso hipotético de quatro espécies como na tabela 4.2, onde são dados a Extensão de Ocorrência e a Área de Ocupação das mesmas.

Tabela 4.2. Extensão de Ocorrência e Área d Ocupação

Espécie	E de Ocorrência	A de Ocupação
E ₁	105Km ²	8.5Km ²
E ₂	4900Km ²	11Km ²
E ₃	110Km ²	11Km ²
E ₄	19000Km ²	500Km ²

Tem-se os seguinte vetores, para as espécies da Tabela 4.2.

$$\begin{aligned}
 AO_1 &= (0.75, 1.0, 1.0) & AO_2 &= (0.25, 1.0, 1.0) & AO_3 &= (0.25, 1.0, 1.0) & AO_4 &= (0.0, 0.5, 1.0) \\
 EO_1 &= (0.25, 1.0, 1.0) & EO_2 &= (0.75, 1.0, 1.0) & EO_3 &= (0.25, 1.0, 1.0) & EO_4 &= (0.0, 0.0, 0.24) \\
 R_1 &= (0.75, 1.0, 1.0) & R_2 &= (0.75, 1.0, 1.0) & R_3 &= (0.25, 1.0, 1.0) & R_4 &= (0.0, 0.5, 1.0)
 \end{aligned}$$

Cada vetor R_i que é uma união *fuzzy* dos vetores AO_i e EO_i , fornece o resultado final do grau de risco da espécies i .

4.4 Implementação do Modelo de Classificação de Espécies

Este Modelo classifica as espécies em três classes e fornece a pertinência das mesmas em cada classe através de um vetor R_i (Risco da espécie de índice i). Para que o mesmo seja aplicado a uma espécie é necessário ter o Declínio Populacional da mesma e/ou a Extensão de Ocorrência juntamente com Área de Ocupação. Quando tem-se o Declínio Populacional encontra-se de imediato o vetor R_i . Quando tem-se a Extensão de Ocorrência e a Área de Ocupação encontra-se, primeiro os vetores EO_i e AO_i é a união *fuzzy* entre eles produz o vetor R_i . Os vetores R_i vindos do Declínio Populacional são semelhantes aos vetores R_i vindos da união *fuzzy* entre EO_i e AO_i , logo eles podem ser unidos num só Domínio. As espécies mais arriscadas, são aquelas que têm o valor mais alto na primeira coordenada. Se R_i tem a primeira coordenada nula, significa que a espécie não está na categoria “ criticamente em Perigo”, se todas as espécies têm a primeira coordenada nula no

vetor R_i , nenhuma delas está na categoria “Críticamente em Perigo” e as espécies mais arriscadas são aquelas que têm o valor mais alto na segunda coordenada e assim por diante.

Este Modelo, ilustrado na fig.4.4, foi implementado no MATLAB em dois programas: um que classifica espécies tendo o Declínio Populacional e outro que classifica espécies tendo a Área de Ocorrência juntamente com a Extensão de Ocorrência.

Para a classificação de n espécies tendo-se seus Declínios Populacionais é necessário inseri-los no ambiente do MATLAB através de uma matriz

$$A_{1 \times n} = [a_{11} \ a_{12} \ \dots \ a_{1n}],$$

onde $a_{11} < a_{12} < a_{13} \dots < a_{1n}$ (a ordem crescente é para que a classificação fornecida pela MATLAB seja em ordem crescente de risco). O MATLAB fornece, para cada espécie, um vetor com cinco coordenadas, $V = [k \ x \ e_3 \ e_2 \ e_1]$, onde :

k é o índice da espécie

x é o Declínio Populacional da espécie

e_3 é a pertinência da espécie na categoria “Críticamente em Perigo”

e_2 é a pertinência da espécie na categoria “Em Perigo”

e_1 é a pertinência da espécie na categoria “Vulnerável”

Um exemplo de classificação através de Declínio Populacional, usando as equações 4.1, 4.2 e 4.3, com 15 espécies, com Declínios Populacionais dados pela matriz $A_{1 \times 15} = [15 \ 17.5 \ 21 \ 22.5 \ 45 \ 43 \ 46 \ 54 \ 73 \ 79 \ 80 \ 82 \ 83 \ 84 \ 90]$ é feito usando o programa abaixo e os resultados mostrados na Tabela 4.3.

```
Commands to get started: intro, demo, help help
Commands for more information: help, whatsnew, info, subscribe

» clear all
% Cálculo Fuzzy - Classificação de Espécie - 08/08/2000 - especie.m
% z = Declínio Populacional
z = [15;17.5; 21 ;22.5; 45; 43; 46; 54; 73; 79; 80; 82; 83; 84;90 ];
for k =1:15
r = z(k,:);
x = r';
% primeira função
    if x < 15
        e1 = 0;
    end
        if x >= 15 & x <= 25
            e1 = x/10 -1.5;
        end
    if x > 25
        e1 = 1;
    end
% segunda função
    if x < 45
        e2 = 0;
    end
        if x >= 45 & x <= 55
            e2 = x/10 -4.5;
        end
    if x > 55
        e2 = 1;
    end
% terceira função
    if x < 75
        e3 = 0;
    end
        if x >= 75 & x <= 85
            e3 = x/10 -7.5;
        end
    if x > 85
        e3 = 1;
    end

V = [k x e3 e2 e1]
end
```

Tabela 4.3. Resultado do cálculo para o Declínio Populacional

Espécie	DP	e3	e3	e1
1	15	0	0	0
2	17.5	0	0	.25
3	21	0	0	.60
4	22.5	0	0	.75
5	43	0	0	1
6	45	0	0	1
7	46	0	.10	1
8	54	0	.90	1
9	73	0	1	1
10	79	0.40	1	1
11	80	0.50	1	1
12	82	0.70	1	1
13	83	0.80	1	1
14	84	0.90	1	1
15	90	1	1	1

Para o classificação de n espécies, tendo-se a Extensão de Ocorrência juntamente com a Área de Ocupação, inseri-se os dados no MATLAB através de uma matriz

$$A_{2 \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \end{bmatrix}, \quad (4.11)$$

onde os elementos a_{1j} e a_{2j} representam, respectivamente, a Área de Ocupação e a Extensão de Ocorrência da espécie j . Os elementos da linha 1 devem ser ordenados da forma $a_{11} > a_{12} > a_{13} > \dots > a_{1n}$, isto é, a Extensão de Ocorrência é inserida em ordem crescente de risco. Deve-se observar que a Área de Ocupação não é inserida, necessariamente, em ordem crescente de risco, isto significa que o resultado final fornecido pelo programa pode eventualmente ter uma ordem que não é a ordem crescente de risco. Tal situação pode ocorrer quando o grau de risco de uma espécie for maior pela Área de Ocupação do que

pela Extensão de Ocorrência. Para cada espécie k o MATLAB fornece um vetor com quatro coordenadas $V = [k \ c_1 \ c_2 \ c_3]$, onde :

k é o índice da espécie

c_1 é a pertinência da espécie na categoria “Criticamente em Perigo”

c_2 é a pertinência da espécie na categoria “Em Perigo”

c_3 é a pertinência da espécie na categoria “Vulnerável”

Um exemplo de cálculo com dados hipotéticos de 7 espécies fornecidos pela matriz

$$A_{2 \times 7} = \begin{bmatrix} 11 & 482 & 490 & 505 & 1810 & 2100 & 2150 \\ 90 & 490 & 4950 & 5100 & 5300 & 19000 & 2100 \end{bmatrix}, \quad (4.12)$$

usando as equações 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9, é feito usando o programa abaixo e os resultados mostrados na Tabela 4.4:

```

Commands to get started: intro, demo, help help
Commands for more information: help, whatsnew, info, subscribe

» clear all
% Cálculo Fuzzy - Espécies Área/Extensão - 09/08/2000 - especie.m
% z= Área de ocupação
% y= Extensão de Ocorrência

z = [11;482; 490; 505;1810; 2100;2150];
y = [90;490;4950;5100;5300;19000;2100];

for k =1:7
r = z(k,:);
s = y(k,:);
x = r';
t = s';

% primeira função
if x > 12
    e1 = 0;
end
if x >= 8 & x <= 12

```

```
                e1 = -x/4 +3;
            end
        if x < 8
            e1 = 1;
        end

% segunda função
        if x > 520
            e2 = 0;
        end
            if x >= 480 & x <= 520
                e2 = -x/40 +13;
            end
        if x < 480
            e2 = 1;
        end

% terceira função
        if x > 2200
            e3 = 0;
        end
            if x >= 1800 & x <= 2200
                e3 = -x/400 +11/2;
            end
        if x < 1800
            e3 = 1;
        end

% quarta função
        if t > 120
            e4 = 0;
        end
            if t >= 80 & t <= 120
                e4 = -t/40 +3;
            end
        if t < 80
            e4 = 1;
        end

% quinta função
        if t > 5200
            e5 = 0;
        end
            if t >= 4800 & t <= 5200
                e5 = -t/400 +13;
            end
        if t < 4800
            e5 = 1;
        end

% sexta função
        if t > 22000
```

```

        e6 = 0;
end
    if t >= 18000 & t <= 22000
        e6 = -t/4000 + 11/2;

    end
    if t < 18000
        e6 = 1;
    end
    c1 = max(e1,e4);
    c2 = max(e2,e4);
    c3 = max(e3,e6);
C = [k c1 c2 c3]
end

```

Tabela 4.4. Resultado do cálculo para Extensão de Ocorrência e Área de Ocupação

Espécie	c1	c2	c3
1	.70	1	1
2	0	.95	1
3	0	.75	1
4	0	.38	1
5	0	0	1
6	0	0	.75

O programa acima trabalha simultaneamente com Área de Ocupação e Extensão de Ocorrência, conforme definido na seção 2.2. Deve-se observar que quando tem-se a Área de Ocupação tem-se também a Extensão de Ocorrência e vice versa.

Ambos os programas, tanto o que classifica espécies por meio do Declínio Populacional quanto o que classifica espécies através da Área de Ocupação juntamente com a Extensão de Ocorrência, foram implementados no MATLAB e são extremamente rápidos. Foram feitos alguns testes e os resultados foram fornecidos praticamente de forma instantânea. Deve-se salientar que esses programas trabalharam com funções lineares entre

os Limites Superior e Inferior, mas estas funções podem ser modeladas de acordos com as necessidades, assim como os Limites Superior e Inferior podem assumir outros valores.

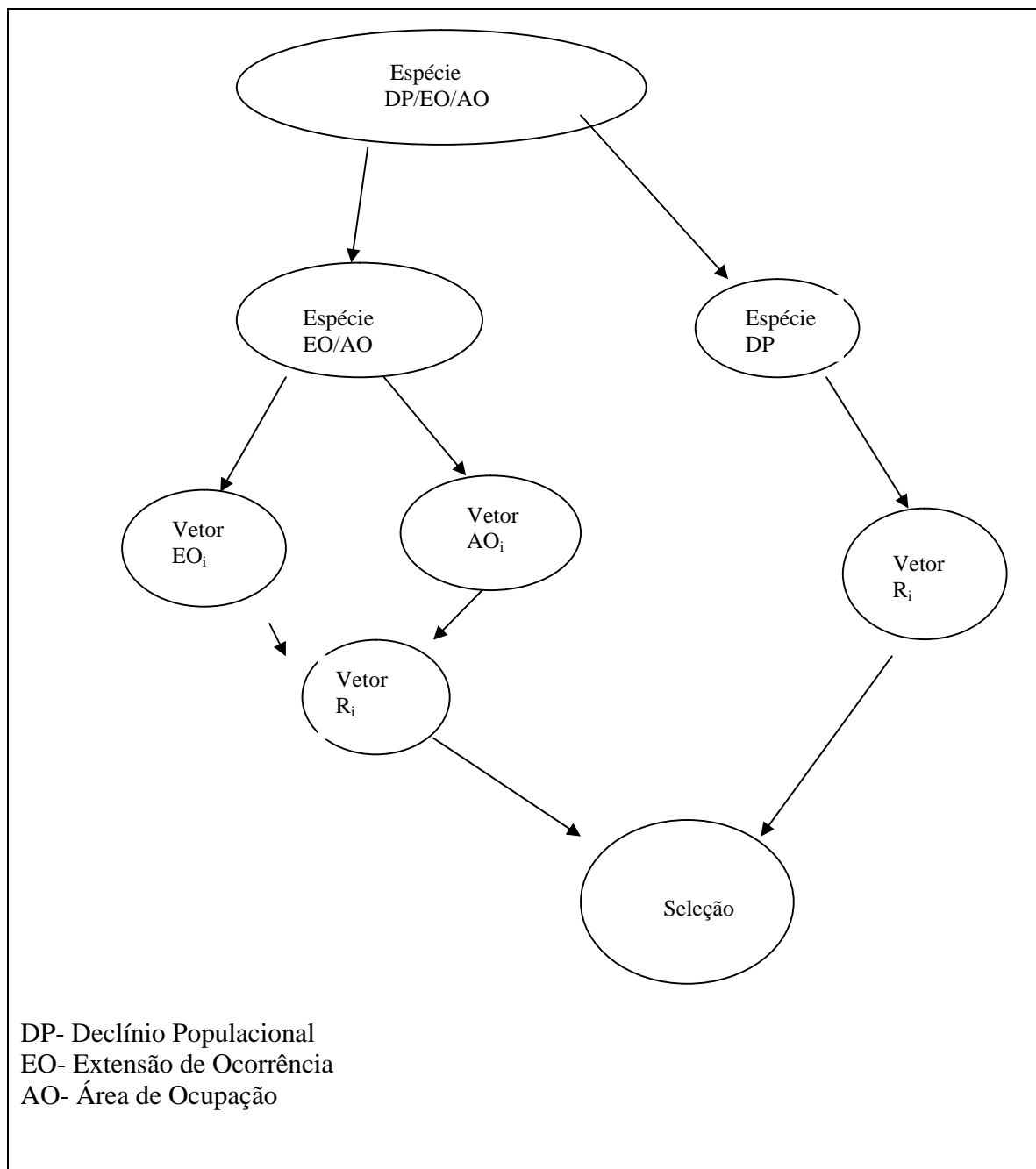


Fig.4.4 Modelo da classificação das espécies

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

Neste trabalho, estudou-se um Modelo para a classificação de espécies, na construção de uma reserva para preservação, em função do grau de risco de extinção. O Modelo estudado é para classificar espécies em três categorias e fornecer o grau de pertinência da espécie em cada uma delas. Na elaboração do Modelo procurou-se tratar, de forma *fuzzy*, os critérios da IUCN afim de contornar algumas incertezas que aparecem na classificação das espécies em extinção. No término deste trabalho pode-se concluir o seguinte:

1) A IUCN classifica as espécies quanto ao risco de extinção em cinco categorias. Tal classificação considera dados como Declínio Populacional, Extensão de Ocorrência, Área de Ocupação etc. É muito difícil avaliar com precisão o número de indivíduos de uma espécie em todo o planeta, impossibilitando assim fazer uma classificação com um alto grau de certeza. Por outro lado, há uma fronteira bem definida entre duas categorias, que faz uma mudança brusca de uma para outra, fazendo com que uma insignificante variação nos dados mude significativamente o grau de risco.

2) Quando defini-se uma categoria da IUCN através de uma função de pertinência, pode-se evitar a mudança brusca de uma para outra. Desta forma pode-se assumir que todas as espécies pertencem a todas as categorias, o que muda é o grau de pertinência, que pode variar de zero a um.

3) Pode-se propor um Modelo que classifica as espécies, fornecendo assim, a categoria que a espécie pertence e a sua pertinência na mesma, simultaneamente. O Modelo associa a

cada espécie E_i um vetor R_i cuja n -ésima coordenada representa a n -ésima categoria e o valor da n -ésima coordenada fornece a pertinência da espécie na mesma.

4) Tendo-se as funções de pertinência definidas para as categorias pode-se implementar no MATLAB um programa capaz de classificar uma infinidade de espécies, fornecendo a categoria e a pertinência na mesma de cada espécie.

5) O tratamento *fuzzy* que foi dado nas categorias para uso dos critérios de classificação não viola as regras da IUCN já existentes, apenas melhora, pois a função de pertinência assume o valor $1/2$ nas fronteiras entre duas categorias.

6) O Modelo estudado pode trabalhar com todos os critérios, simultaneamente.

5.2 Recomendações

No Modelo estudado neste trabalho, as funções de pertinência utilizadas foram na maioria das vezes lineares, dando-se mais enfoque ao aspecto matemático do problema. Seria interessante estudar com detalhes, os fatores biológicos que podem interferir na modelagem destas funções, de forma que o Modelo proposto possa funcionar com maior fidelidade em situações reais.

Na classificação da IUCN, em cada critério existem pontos fixos que são fronteiras entre duas categorias. Para o Declínio Populacional, por exemplo, esses pontos são 30, 50 e 80 por cento. Seria interessante discutir melhor estes valores em cada critério e verificar como esses pontos se relacionam nos vários critérios.

Nas funções de pertinência trabalhou-se com Limites Superior e Inferior, isto é, um valor acima do qual pode-se garantir que uma espécie está definitivamente numa categoria e um valor abaixo do qual pode-se garantir que a espécie está definitivamente

fora da mesma. Nota-se que quanto menores forem estes valores maior será a precisão na classificação, logo seria bom estudar quais são os valores mais adequados.

Na seção 3.4 considerou-se a questão de trabalhar com todos os critérios, simultaneamente, na classificação de espécies. É interessante implementar um programa para fazer esta classificação, trabalhando-se com todos critérios. Tal programa pode ser implementado no MATLAB e pode ser feito montando-se adequadamente módulos equivalentes aos usados para o Declínio Populacional e para a Extensão de Ocorrência juntamente com a Área de Ocupação.

5.3 Dificuldades Encontradas

O Modelo proposto é para classificar espécies, em função do grau de risco de extinção, na construção de uma reserva. O mesmo classificar as espécies em Categorias da IUCN. Apesar da IUCN classificar as espécies em extinção em cinco Categorias: “Extinto”, “Provavelmente Extinto”, “Criticamente em Perigo”, “Em Perigo” e “Vulnerável”, o Modelo trabalha apenas com as três últimas, pois, as espécies que estão na primeira categoria, já estão extintas e não precisam mais de preservação; para as espécies que estão na segunda, não se sabe nem mesmo se elas existem, logo, não se conhece os dados necessários para sua aplicação. Por esses motivos, o Modelo trabalha somente com três categorias.

Outro dificuldade foi com a modelagem das funções de pertinência. Estas funções em situações reais devem sofrer várias influências de fatores biológicos que afetam suas modelagens e neste trabalho foram consideradas apenas os aspectos matemáticos dessas funções. Além disso trabalhou-se na maioria das vezes com funções lineares.

BIBLIOGRAFIA

ALENCAR, E. **Lógica Matemática**. Ed. Nobel, São Paulo, 1986.

BARRETO, J. **Conjuntos Nebulosos**. Notas de Aulas/ UFSC, Florianópolis, 1995.

BRASIL, A. **O que são Reservas da Biosfera**. 1995. [On line]

URL:<http://www.lsi.usp.br/econet/econet.htm> [Abril, 2000]

CHAIBEN, H. **Inteligência Artificial na Educação**. Universidade Federal do Paraná [On line]. URL:<http://www.cce.ufpr.br/~hamilton/> [Agosto, 2000].

CHARBONNEAU, J; CORAJOURD, M; DAJOZ, J. **Enciclopédia de Ecologia**. Editora Pedagógica e Universitária. São Paulo, 1979.

CHURCH, R; STOMS, D; HOLLANDER, A; et al. **Planning Management Activities to Protect Biodiversity with a GIS and na Integrated Optimizatiom Model** [On line].

URL:http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CDROM/sf_papers/church_richard/my_paper.html [Fevereiro, 2000]

CLEMENS, M.; WILLIAMS, J.; RE VELLE, C. **Reserve design for speceis preservation**. European Journal of Operational Research-112, 273-283, 1999.

CRISTINA, M.; PIMENTEL, G. **Teoria dos Grafos**. Departamento de Computação e Estatística/USP [On line]

URL:<http://www.icmsc.sc.usp.br/manuals/sce183/gfint.html> [Agosto, 2000]

DAVIS, F. **A Spatial Modeling and Decision Support System for Conservation of Biological Diversity**. [On line]

URL:<http://www.biogeog.ucsb.edu/projects/ibm/report/sciconpln.html>. [Fevereiro, 2000]

ERICKSON, J. **Nosso Planeta está Morrendo - A Extinção das Espécies e a Biodiversidade**. Editora McGraw-Hill Ltda, São Paulo, 1995.

FERNANDES, A. **Sistemas Especialista Difuso Aplicado ao Processo de Análise Química Qualitativa de Amostras de Minerais**. Dissertação de Mestrado/UFSC, Florianópolis, 1996.

FERREIRA, L; BUSCHBACCHER, R; SÁ, R; et al. **Áreas Protegidas ou Espaços Ameaçados?** Relatório da WWF sobre o grau de implementação e vulnerabilidade das Unidades de Conservação Federais Brasileiras de Uso Indireto. Brasília, 1999.

GUIMARÃES, K. **Algoritmos de Aproximação em Grafos**. [On line]

URL:<http://www.di.ufpe.br/~katia/projetos/grafos.html> [Julho, 2000]

HANSELMAN, D; BRUCE, L. **MATLAB 5. Guia do Usuário**. Makron Books. São Paulo, 1999.

IEZZI, G. **Matemática vol. 1**. Atual Editora Ltda. São Paulo, 1974.

JACUBOVIC, J; LELLIS, M. **Matemática na Medida Certa**. Editora Scipione, São Paulo, 1997.

KLIR, I; CLAIR, U; YUAN, B. **Fuzzy set theory: foudations and applications**. Prentice Hall, New Jersey, 1997.

KOSCO, B. **Fuzzy Thinking**. The new science of fuzzy logic. Hyperion. New York, 1993.

LIPSCHUTZ, S. **Álgebra Linear**. Makron Books. São Paulo, 1994.

LIPSCHUTZ, S. **Teoria dos Conjuntos**. McGraw-Hill. São Paulo, 1972.

MANCHINI, D; PAPP, G. **Lógica Difusa**. [On line]

URL:<http://www.din.uem.br/ia/intelige/fuzzy/> [Julho, 2000]

MARTINS, M.; HÜLLE, N. **Laboratório de Ecologia e Evolução de Vertebrados**. [On line] URL: <http://www.eco.ib.usp.br/labvert/> [Abril, 2000]

MELLO, L. **Um Modelo para Identificação de Nematóide Baseado na Estrutura de Estilete**. Dissertação de Mestrado/UFSC, Florianópolis, 1996.

OCHI, L. **Algoritmo Genético: Origem e Evolução** [On line].

URL:http://www.info.lncc.br/sbmac/sem-fig/public/bol/BOL_2/artigos/satoru/satoru.html [Julho, 2000]

PÁDUA, M. **Preservação da Biodiversidade *in Situ* no Brasil**. 1993, [On line]

URL:<http://www.lsi.usp.br/econet/snuc/problema/snucreal.html> [Julho, 2000]

PARAISO, E. **Lógicas Não Convencionais**. Pontifícia Universidade Católica do Paraná

[On line] URL:<http://www.milenio.com.br/vitalis/logica/Index.html> [Julho, 2000]

PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. **An Introduction to Fuzzy set: Analisis and Design**. MIT, 1998.

PET, G. **Curso de MATLAB**. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. [On line]
URL:<http://www.del.ufms.br/tutoriais/matilab/apresentacao.htm> [Agosto, 2000]

REGAN, H.; COLYVAN, M.; BURGMAN, M. **A proposal for fuzzy International Union for the Conservation of Nature (IUCN) categories and criteria**. Biological Conservation-92, 101-108, 2000.

ROSING, K.; REVELLE, C. **Heuristic Concentration: Two stage solution construction**. European Journal of Operational Research-97, 75-86, 1997.

SANTOS, J. **Introdução ao MATLAB**. Universidade Federal de Minas Gerais [On line]
URL:<http://www.mat.ufmg.br/~regi/topicos/intmatl.html> [Agosto, 2000]

SIMMONS, G. **Cálculo com Geometria Analítica**. Volume II. Makron Books. São Paulo, 1988.

TAKEMURA, R. **Lógica Difusa**. [On line]
URL:http://www.din.uem.br/ia/control/fuz_prin.html [Julho, 2000]

WILLIAMS, J; REVELLE, C. **A 0-1 Programming Approach to delineating protected reserves**. Environmental and Planning B: Planning and design 23, 607- 624, 1996.

WILLIAMS, J; REVELLE, C. **Reserve Assembly of Critical Areas: A 0-1 Programming Approach**. European Journal of Operational Research-104, 497-509, 1998.

WWF(World Wildlife Fund), 2000/Brasil [On line].
URL:<http://www.wwf.org.br/wwfpr34.htm> [Abril, 2000]

ZIMMERMANN, H. **Fuzzy Set Theory - and its Applications**. Kluwer Academic Publisher, USA, 1991.

APÊNDICE

AS CATEGORIAS DA IUCN (Martins, 2000)

Categoria "Extinto"

Um táxon está Extinto quando não há dúvidas razoáveis de que o último indivíduo morreu.

Categoria "Provavelmente Extinto"

Um táxon está Provavelmente Extinto quando existem apenas suspeitas de que o táxon está extinto.

Categoria "Criticamente em Perigo"

Um táxon está Criticamente em Perigo quando está enfrentando, em futuro imediato, um risco extremamente alto de extinção na natureza, como definido por qualquer dos seguintes critérios (A a E):

A. Redução da população por qualquer das seguintes formas:

1. Uma redução observada, estimada, inferida ou suspeita de pelo menos 80% durante os últimos 10 anos ou três gerações, qualquer que seja a mais longa, baseada (e especificada) em qualquer um dos seguintes:

- a) observação direta
- b) um índice de abundância apropriado para o táxon
- c) um declínio na área de ocupação, na extensão de ocorrência e/ou na qualidade do habitat
- d) níveis reais ou potenciais de exploração

e) efeitos da introdução de táxons, hibridação, patógenos, poluentes, competidores ou parasitas.

2. Uma redução de pelo menos 80%, projetada ou suspeita a ser alcançada dentro dos próximos 10 anos ou três gerações, qualquer que seja a mais longa, baseada (e especificada) em qualquer um dos itens (b), (c), (d) ou (e) acima.

B. Extensão de ocorrência estimada em menos de 100 km² ou área de ocupação estimada em menos de 10 km², e estimativas que indiquem quaisquer dois dos seguintes:

1. Severamente fragmentada ou conhecido de uma única localidade.
2. Declínio contínuo observado, inferido ou projetado em qualquer dos seguintes:
 - a) extensão de ocorrência
 - b) área de ocupação
 - c) área, extensão e ou qualidade do hábitat
 - d) número de localidades ou subpopulações
 - e) número de indivíduos maduros.
3. Flutuações extremas em qualquer dos seguintes:
 - a) extensão de ocorrência
 - b) área de ocupação
 - c) número de localidades ou subpopulações
 - d) número de indivíduos maduros.

C. População estimada em menos de 250 indivíduos maduros e qualquer dos seguintes:

1. Um declínio contínuo estimado em pelo menos 25% no período de três anos ou de uma geração, qualquer que seja o mais longo, ou
2. Um declínio contínuo, observado, projetado ou inferido, do número de indivíduos maduros e da estrutura populacional em qualquer das seguintes formas:
 - a) severamente fragmentada (ex.: quando estima-se que nenhuma subpopulação contém mais de 50 indivíduos maduros)
 - b) todos os indivíduos estão em uma única subpopulação.

D. População estimada em menos de 50 indivíduos maduros.

E. Análise quantitativa mostrando que a probabilidade de extinção na natureza é de pelo menos 50% nos 10 anos seguintes ou em três gerações, qualquer que seja o mais longo.

Categoria "Em Perigo"

Um táxon está Em Perigo quando não está Criticamente Em Perigo, mas enfrenta um alto risco de extinção na natureza, em futuro próximo, como definido (e especificado) por qualquer dos seguintes critérios (A até E):

A. Redução da população por qualquer das seguintes formas:

1. Uma redução observada, estimada, inferida ou suspeita de pelo menos 50% durante os últimos 10 anos ou três gerações, qualquer que seja o mais longo, baseada (e especificada) em qualquer um dos seguintes:

- a) observação direta
- b) um índice de abundância apropriado para o táxon
- c) um declínio na área de ocupação, na extensão de ocorrência e/ou na qualidade do hábitat
- d) níveis reais ou potenciais de exploração
- e) efeitos da introdução de táxons, hibridação, patógenos, poluentes, competidores ou parasitas.

2. Uma redução de pelo menos 50%, projetada ou suspeita a ser alcançada dentro dos próximos 10 anos ou três gerações, qualquer que seja a mais longa, baseada (e especificada) em qualquer um dos itens (b), (c), (d) ou (e) acima.

B. Extensão de ocorrência estimada em menos de 5.000 km² ou área de ocupação estimada em menos de 500 km², e estimativas que indiquem quaisquer dois dos seguintes:

1. Severamente fragmentada ou conhecida em menos de cinco localidades.
2. Declínio contínuo observado, inferido ou projetado em qualquer dos seguintes:

- a) extensão de ocorrência
- b) área de ocupação
- c) área, extensão e ou qualidade do hábitat
- d) número de localidades ou subpopulações
- e) número de indivíduos maduros.

3. Flutuações extremas em qualquer dos seguintes:

- a) extensão de ocorrência
- b) área de ocupação
- c) número de localidades ou subpopulações
- d) número de indivíduos maduros.

C. População estimada em menos de 2.500 indivíduos maduros e qualquer dos seguintes elementos:

1. Um declínio contínuo estimado em pelo menos 20% no período de cinco anos ou de duas gerações, qualquer que seja o mais longo, ou
2. Um declínio contínuo observado, projetado ou inferido, no número de indivíduos maduros e na estrutura populacional em qualquer das seguintes formas:
 - a) severamente fragmentada (por exemplo: quando estima-se que nenhuma subpopulação contém mais de 250 indivíduos maduros)
 - b) todos os indivíduos estão em única subpopulação.

D. População estimada em menos de 250 indivíduos maduros.

E. Análise quantitativa mostrando que a probabilidade de extinção na natureza é de pelo menos 20% nos 20 anos seguintes ou em cinco gerações, qualquer que seja o mais longo.

Categoria "Vulnerável"

Um táxon está Vulnerável quando não está Criticamente em Perigo ou Em Perigo, mas enfrenta um alto risco de extinção na natureza, a médio prazo, conforme definido (e especificado) por qualquer dos seguintes critérios (A até E):

A. Redução da população por qualquer das seguintes formas:

1. Uma redução observada, estimada, inferida ou suspeita de pelo menos 20% durante os últimos 10 anos ou três gerações, qualquer que seja o mais longo, baseada (e especificada) em qualquer um dos seguintes:

- a) observação direta
- b) um índice de abundância apropriado para o táxon
- c) um declínio na área de ocupação, na extensão de ocorrência e/ou na qualidade do hábitat
- d) níveis reais ou potenciais de exploração
- e) efeitos da introdução de táxons, hibridação, patógenos, poluentes, competidores ou parasitas.

2. Uma redução de pelo menos 20%, projetada ou suspeita a ser alcançada dentro dos próximos 10 anos ou três gerações, qualquer que seja a mais longa, baseada (e especificada) em qualquer um dos itens (b), (c), (d) ou (e) acima.

B. Extensão de ocorrência estimada em menos de 20.000 km² ou área de ocupação estimada em menos de 2.000 km², e estimativas que indiquem quaisquer dois dos seguintes:

- 1. Severamente fragmentada ou conhecida em menos de dez localidades.
- 2. Declínio contínuo observado, inferido ou projetado em qualquer dos seguintes:
 - a) extensão de ocorrência
 - b) área de ocupação
 - c) área, extensão e ou qualidade do hábitat
 - d) número de localidades ou subpopulações
 - e) número de indivíduos maduros.

3. Flutuações extremas em qualquer dos seguintes:

- a) extensão de ocorrência
- b) área de ocupação
- c) número de localidades ou subpopulações
- d) número de indivíduos maduros.

C. População estimada em menos de 10.000 indivíduos maduros e qualquer dos seguintes elementos:

- 1. Um declínio contínuo estimado em pelo menos 10% no período de 10 anos ou de 3 três gerações, qualquer que seja o maior, ou
- 2. Um declínio contínuo observado, projetado ou inferido do número de indivíduos maduros e da estrutura populacional em qualquer das seguintes formas:
 - a) severamente fragmentada (por exemplo: quando estima-se que nenhuma subpopulação contém mais 1.000 indivíduos maduros)
 - b) todos os indivíduos estão em única subpopulação.

D. População muito pequena ou restrita em uma das seguintes formas:

- 1. População estimada em menos de 1.000 indivíduos maduros.
- 2. População caracterizada por uma séria restrição em sua área de ocupação (tipicamente menor que 100 km^2) ou no número de localidades (tipicamente menos de cinco). Um táxon nessa condição estaria sujeito aos efeitos de atividades humanas (ou por eventos ao acaso, cujo impacto é agravado por atividades humanas) dentro de muito pouco tempo e em futuro imprevisível e, deste modo, pode se tornar Criticamente em Perigo ou mesmo Extinto em muito pouco tempo.

E. Análise quantitativa mostrando que a probabilidade de extinção na natureza é de pelo menos 10% nos próximos 100 anos.