

## 5

### Conclusões e trabalhos futuros

#### 5.1

##### Conclusões

O principal objetivo deste trabalho foi criar um modelo híbrido neuro-fuzzy intervalar do tipo 2 capaz de modelar os diferentes tipos de incertezas existentes em situações reais, minimizando os efeitos destas para produzir um melhor desempenho. Além disso, pretendeu-se que o modelo proposto tivesse a capacidade autônoma de criar e expandir automaticamente a sua própria estrutura, de reduzir a limitação quanto ao número de entradas e de extrair regras de conhecimento a partir de um conjunto de dados. Isto foi viabilizado através da combinação dos paradigmas de modelagem dos sistemas de inferência fuzzy do tipo 2 e de redes neurais com técnicas de particionamento recursivo BSP. Desta forma, conseguiu-se superar as limitações dos sistemas de inferência fuzzy do tipo 2, dos sistemas de inferência fuzzy do tipo 1 e dos sistemas neuro-fuzzy hierárquicos que usam conjuntos fuzzy do tipo 1 até então existentes.

Uma outra característica importante do modelo é além disso, a obtenção de intervalos de confiança para as saídas defuzzificadas através do cálculo dos conjuntos tipo-reduzidos correspondentes. Desta forma, obtém-se informação relevante para aplicações reais e aumenta-se a credibilidade deste novo modelo.

Desenvolveu-se um ambiente computacional de testes para o modelo NFHB-T2, em linguagem Delphi 5. Este ambiente possui uma interface amigável que permite especificar os parâmetros de aprendizado, tipos de particionamento (fixo ou adaptativo), método de seleção da seqüência de variáveis de entrada (ANFIS, LSE ou SIE), e opção para o particionamento das células filhas com a mesma variável de entrada. Além disso, permite acompanhar o treinamento mediante informação gráfica e numérica, e visualizar os resultados de aproximação ou de previsão. Desta forma, este ambiente facilita a realização de experimentos com o objetivo de demonstrar a potencialidade e aplicabilidade do modelo.

Efetou-se um trabalho de pesquisa envolvendo os diferentes sistemas de inferência fuzzy do tipo 2 existentes na literatura. A pesquisa desenvolveu-se na direção de aprofundar o conhecimento dos fundamentos teóricos destes modelos, assim como de determinar as principais vantagens e limitações destes. Deste modo, foi definido e implementado o novo modelo neuro-fuzzy hierárquicos do tipo 2, denominado NFHB-T2 (Neuro-Fuzzy Hierárquicos BSP do Tipo 2), com os atributos de interpretabilidade e autonomia. Este modelo foi implementado com duas opções de particionamento: particionamento fixo, onde o método do “*Gradient Descent*” ajusta apenas os parâmetros consequentes das regras fuzzy do tipo 2, e o particionamento adaptativo, onde o método do “*Gradient Descent*” ajusta os parâmetros dos antecedentes e dos consequentes das regras fuzzy do tipo 2.

Este novo modelo foi testado na simulação de várias aplicações comuns à área de Inteligência Computacional. O estudo de casos, realizado com diferentes bases de dados “*benchmark*” e aplicações reais em diferentes áreas, confirmou a boa aplicabilidade deste modelo na tarefa de previsão e aproximação de funções.

Os resultados encontrados mostraram a boa aplicabilidade do modelo NFHB-T2. O novo modelo NFHB-T2 obteve resultados próximos e em vários casos superiores aos melhores resultados encontrados pelos outros modelos com os quais foi comparado para o caso de previsão e aproximação de funções. O desempenho deste modelo em relação ao tempo computacional de processamento também se mostrou muito bom, apresentando custo computacional menor do que o do modelo de redes neurais, e semelhante ao do NFHB que usa conjuntos fuzzy do tipo 1.

Na previsão e aproximação de funções, os intervalos de confiança obtidos para as saídas defuzzificadas mostraram ser coerentes sempre e ofereceram maior credibilidade na maioria de casos quando comparados com intervalos de confiança obtidos por métodos tradicionais.

A seção 5.2, a seguir, apresenta sugestões para trabalhos futuros, visando manter uma continuidade na pesquisa do modelo NFHB do tipo 2.

## 5.2

### Trabalhos futuros

Os possíveis trabalhos futuros são listados a seguir:

- Desenvolver um algoritmo de extração de regras fuzzy do tipo 2 a partir da estrutura NFHB-T2 já treinada. Este algoritmo deve seguir um caminho pré-fixado na árvore BSP-T2.
- Avaliar o desempenho do modelo NFHB-T2 utilizando as outras duas opções para a seleção da seqüência de variáveis de entrada, isto é, a opção 2 baseada no algoritmo do Estimador de Mínimos Quadrados (LSE) e a opção 3 baseada na Efetividade de uma Entrada Singular (SIE).
- Avaliar o desempenho do modelo NFHB-T2 utilizando diversas bases de dados *benchmark* e aplicações reais de classificação.
- Otimizar a estrutura hierárquica do modelo NFHB-T2 por técnicas evolucionárias.
- Ampliar a capacidade do novo modelo NFHB do tipo 2 incluindo a modelagem das entradas como números fuzzy do tipo 2 (similar aos SIF do tipo 2 Mamdani com entradas não singleton do tipo 2), visando a considerar explicitamente as incertezas nas medidas das entradas.
- Desenvolver um novo modelo neuro-fuzzy do tipo 2 com inferência Mamdani.