

RF-979

A FUZZY HYBRID METHOD FOR TIME SERIES FORECASTING

Claudio Vasconcelos Ribeiro (Instituto Militar de Engenharia, RJ, Brasil) - claudiovas02@yahoo.com.br

Ronaldo Ribeiro Goldschmidt (Instituto Superior de Tecnologia do Rio de Janeiro, RJ, Brasil) - ronaldo.rgold@gmail.com

Ricardo Choren (Instituto Militar de Engenharia, RJ, Brasil) - choren@ime.eb.br

Decision support systems are essential tools in nowadays' global and competitive scenario. Agile and trustworthy computational resources help men in obtaining better results among competitors. Time Series Forecasting is a very important task in the field of decision support systems. Production planning, electricity demand prediction and stock market price estimative are examples of time series forecasting applications. For this work, the method developed by (Wang and Mendel, 1992), for example, became a classic one and is based on Fuzzy Logic for rules extraction from historical data. However, it has been observed that in certain situations this method is unable to predict a future data. The present work aims at proposing a change in the mentioned method in a way that it always provides a non-zero exit. The proposed solution combines the Wang-Mendel method with the Mobile Average Method and with the Exponential Smoothing Method.

Keywords: Time Series Forecasting, Fuzzy Logic, Wang-Mendel, Decision, Support

UMA PROPOSTA DE MÉTODO HÍBRIDO FUZZY PARA PREVISÃO DE SÉRIES TEMPORAIS

Diante da rapidez e da competitividade dos processos e negócios do mundo globalizado contemporâneo, existe uma grande demanda por recursos computacionais confiáveis e ágeis que auxiliem o homem em atividades de tomada de decisão. Planejamento da produção, previsão de demanda de energia elétrica e estimativa da cotação de ações na bolsa de valores são exemplos de processos de tomada de decisão que envolvem a chamada "tarefa de previsão de séries temporais". Nessa tarefa, o método desenvolvido por (Wang e Mendel, 1992) tornou-se um clássico. Tal método se baseia em Lógica Fuzzy para a extração de regras a partir de dados históricos. Contudo, observa-se que, em determinadas situações, esse método é incapaz de prever um dado futuro. O propósito deste trabalho é apresentar uma modificação no mencionado método de forma a eliminar a referida deficiência. A solução proposta permite combinar o método de Wang-Mendel com o método da Média Móvel e com o método da Suavização Exponencial.

Palavras-chave: Previsão de Séries Temporais, Lógica Fuzzy, Wang-Mendel, Decisão, Suporte

Uma Proposta de Método Híbrido Fuzzy para Previsão de Séries Temporais

¹Claudio Vasconcelos Ribeiro, ²Ronaldo Ribeiro Goldschmidt, ³Ricardo Choren

¹Instituto Militar de Engenharia (IME)
Seção de Engenharia de Computação
Pça General Tibúrcio 80, Rio de Janeiro/RJ, 22290-270, Brasil

²Instituto Superior de Tecnologia do Rio de Janeiro (IST-Rio)
Fundação de Apoio à Escola Técnica – FAETEC
Rua Clarimundo de Melo, 847 – Quintino, Rio de Janeiro/RJ, 21311-280, Brasil

³Instituto Militar de Engenharia (IME)
Seção de Engenharia de Computação
Pça General Tibúrcio 80, Rio de Janeiro/RJ, 22290-270, Brasil

¹claudiovas02@yahoo.com.br, ²ronaldo.rgold@gmail.com, ³choren@ime.eb.br

Abstract. *Decision support systems are essential tools in nowadays' global and competitive scenario. Agile and trustworthy computational resources help men in obtaining better results among competitors. Time Series Forecasting is a very important task in the field of decision support systems. Production planning, electricity demand prediction and stock market price estimative are examples of time series forecasting applications. For this work, the method developed by (Wang and Mendel, 1992), for example, became a classic one and is based on Fuzzy Logic for rules extraction from historical data. However, it has been observed that in certain situations this method is unable to predict a future data. The present work aims at proposing a change in the mentioned method in a way that it always provides a non-zero exit. The proposed solution combines the Wang-Mendel method with the Mobile Average Method and with the Exponential Smoothing Method.*

Resumo. *Diante da rapidez e da competitividade dos processos e negócios do mundo globalizado contemporâneo, existe uma grande demanda por recursos computacionais confiáveis e ágeis que auxiliem o homem em atividades de tomada de decisão. Planejamento da produção, previsão de demanda de energia elétrica e estimativa da cotação de ações na bolsa de valores são exemplos de processos de tomada de decisão que envolvem a chamada “tarefa de previsão de séries temporais”. Nessa tarefa, o método desenvolvido por (Wang e Mendel, 1992) tornou-se um clássico. Tal método se baseia em Lógica Fuzzy para a extração de regras a partir de dados históricos. Contudo, observa-se que, em determinadas situações, esse método é incapaz de prever um dado futuro. O propósito deste trabalho é apresentar uma modificação no mencionado método de forma a eliminar a referida deficiência. A solução proposta permite combinar o método de Wang-Mendel com o método da Média Móvel e com o método da Suavização Exponencial.*

1 Introdução

Conhecer previamente um valor futuro pode significar a diferença entre o sucesso e o fracasso em determinadas ocasiões. Diversos Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) empregam métodos que envolvem previsões de fatos e situações futuras. Dentre eles, podem ser citados: previsão de vendas para planejamento de produção industrial, demandas de energia elétrica assim como de outras fontes, previsões de temperaturas médias e da altura das marés, estimativa de preços de ações na bolsa de valores, entre outros.

Para que seja possível prever os valores futuros com base em valores passados, é necessário que se disponha de uma memória histórica de dados ocorridos anteriormente em um determinado contexto. Esses dados, distribuídos no tempo, compõem o que se denomina de série temporal.

Todavia, o conjunto de dados, por si só, não permite a previsão dos valores futuros. Para isso, é necessária a utilização de algoritmos, técnicas ou métodos de previsão de séries temporais, que podem envolver cálculos simples ou procedimentos complexos.

De forma análoga a outras pesquisas (Vale, 2001) (Tanscheit et al, 2005) (Silva et al, 2007), o presente trabalho utiliza para previsão de valores o algoritmo Wang-Mendel, descrito em 1992 por Li-Xin Wang e Jerry M. Mendel (Wang e Mendel, 1992) e que tem como base o paradigma da Inteligência Computacional conhecido como Lógica Nebulosa (Rezende, 2003). Através de vários experimentos, foi possível observar que, em determinadas situações, o referido método é incapaz de prever um dado futuro, produzindo uma saída nula (zero). Esse fato ocorre nas situações em que o conjunto de dados de entrada (que compõe a janela de previsão utilizada pelo método) não ocasiona a ativação de pelo menos uma das regras existentes.

Assim sendo, o propósito deste trabalho, de forma análoga, porém complementar a (Silva et al, 2007), é apresentar uma modificação no mencionado método de forma que sempre seja apresentada uma saída diferente de zero, cujo valor se aproxime do valor real futuro. A solução proposta combina o método de Wang-Mendel com os algoritmos clássicos da Média Móvel e da Suavização Exponencial. Experimentos com os diversos algoritmos, incluindo os utilizados em (Silva et al, 2007) foram comparados e comentados.

Este artigo está dividido em mais cinco seções. A segunda seção apresenta as bases teóricas para elaboração do trabalho. Na terceira, é descrito o problema encontrado na utilização do método clássico de Wang-Mendel. Na quarta, é apresentada a solução adotada. Na quinta seção são detalhados os experimentos e os resultados obtidos. A sexta e última seção contém as considerações finais deste trabalho, indicando perspectivas de trabalhos futuros.

2 Fundamentação Teórica

O algoritmo de Wang-Mendel (Wang e Mendel, 1992) oferece uma maneira simples de se obterem regras lingüísticas a partir de dados históricos, gerando uma base de conhecimento cuja adequação à previsão de séries temporais estimula seu uso.

Assim sendo, esta seção fornece uma pequena introdução à área de previsão de séries temporais e apresenta o algoritmo clássico de Wang-Mendel e, em seguida, descreve as adaptações realizadas nesse algoritmo para a construção do método proposto.

2.1 Séries Temporais

Uma série temporal é uma seqüência de dados distribuídos no tempo, resultado de um processo de observação e posterior quantificação numérica. Também é possível conceituar uma série temporal como sendo um conjunto de observações discretas, realizadas em períodos equidistantes e que apresentam uma dependência serial entre essas observações.

São feitos estudos de séries temporais para se encontrar relações de dependência das T observações de uma série $Z_T = (Z_1, Z_2, \dots, Z_T)$ através de uma análise estatística detalhada dos dados.

Para realizar a previsão de séries, existe o horizonte de previsão que representa a quantidade de valores subseqüentes da série que serão previstos. Em geral, os métodos de previsão de séries temporais são utilizados para estimar valores futuros considerando o horizonte de previsão igual a um (Souza, 1989:6). Além do horizonte de previsão, para que seja possível prever o valor futuro de uma série, é necessário também definir o tamanho da janela utilizada, ou seja, a quantidade de elementos anteriores ao horizonte de previsão.

Algumas séries são denominadas estacionárias, ou seja, ao longo do tempo, a série se mantém ao redor de uma média constante. Outras apresentam tendências, podendo ter uma inclinação positiva ou negativa, chamada de tendência linear (Morettin e Tolo, 2006).

Dentre alguns métodos de previsão de séries temporais podem ser citados a Média Móvel, a Média Móvel Ponderada (Júdice, 2005), a Suavização Exponencial e a Previsão de Séries Temporais sujeitas a fenômenos sazonais (Nogueira, 2005).

Maiores detalhes sobre previsão de séries temporais podem ser obtidos em (Statsoft, 2004), (Morettin e Tolo, 2006) e (Souza, 1989). A seguir, encontram-se detalhados os métodos utilizados nos experimentos.

2.2 Média Móvel

Esse método realiza a previsão de um novo elemento da série através da extração da média aritmética de uma seqüência de n elementos (“janela”) observados anteriormente. Considerando que o valor de um dado elemento i é observado num instante t , a previsão de um elemento em $t+1$ é dada por:

$$MM_n = \frac{\sum_{i=t-n+1}^t i}{n}$$

Para o caso específico de $n=1$, a previsão do elemento em $t+1$ será igual ao valor observado no instante t , ou seja, o cálculo do novo elemento é o valor real do elemento corrente da série. Esse caso particular é denominado *previsão trivial ou ingênua*.

Como vantagens desse método podem-se citar sua fácil aplicação e a possibilidade de ser empregado quando se tem um número pequeno de observações (Morettin e Tolo, 2006). A principal desvantagem é que as observações mais antigas recebem o mesmo peso que as observações mais recentes (Nogueira, 2005).

2.3 Suavização Exponencial

Esse método também apresenta um cálculo simples, todavia com um comportamento diferente do método de médias móveis. O valor previsto é calculado com base apenas no

valor corrente da série e na previsão efetuada para este. A fórmula que descreve tal método é definida por:

$VP_{t+1} = P_t + \alpha(R_t - P_t)$, onde VP_{t+1} é o valor a ser previsto, P_t é a previsão de valor do elemento anterior, R_t é o valor real do elemento anterior e α é uma fração do erro de previsão, sendo $\alpha \in [0;1]$. Para o caso específico da previsão do segundo elemento de uma série, pode-se assumir que o valor previsto é igual ao valor real do primeiro elemento.

O termo $\alpha(R_t - P_t)$ atua como uma parcela de ajuste para que o próximo valor previsto fique mais próximo do atual valor da série. A variável α é utilizada como um ponderador para o grau desse ajuste. Sintetizando, se o valor do elemento previsto for inferior ao valor real corrente da série, o próximo elemento previsto sofrerá um acréscimo para compensar o erro na previsão atual. De forma análoga, se o valor do elemento previsto for superior ao valor real, o próximo elemento previsto sofrerá um decréscimo.

Cabe salientar que um valor de α adequado para uma determinada série poderá produzir resultados aquém do esperado em outras séries, tornando crucial uma definição apropriada para o valor de α . Um procedimento objetivo para escolha desse valor é a seleção daquele que fornece a “melhor previsão” das observações já obtidas (Morettin e Tolo, 2006).

2.4 Algoritmo Wang-Mendel

No intuito de descrever as alterações propostas, segue adiante um resumo dos procedimentos e dos passos utilizados no método original de Wang-Mendel (Wang e Mendel, 1992) aplicado à previsão de séries temporais, onde é focalizado, predominantemente, um sistema com apenas um tipo de variável.

O objetivo do método Wang-Mendel é gerar um conjunto de regras Fuzzy a partir de dados numéricos e demonstrar como essas regras são usadas para mapear as entradas em saídas. Uma descrição sobre a teoria da Lógica Fuzzy não faz parte do escopo deste trabalho. Um tutorial completo sobre Lógica Fuzzy pode ser obtido em (Mendel, 1995), assim como outras boas referências podem ser encontradas em (Bojadziev e Bojadziev, 1997), (Cox, 1994), (Pedrycz e Gomide, 1998), (Sandri e Correa, 1999) e (Goldschmidt e Passos, 2005).

O método Wang-Mendel sugere uma seqüência de cinco passos para a geração de um sistema de regras Fuzzy:

Passo 1: Divisão do conjunto de dados de entradas e saídas em regiões (conjuntos) Fuzzy.

Para cada variável de entrada e saída, devem ser definidos os intervalos de domínio das mesmas (U^+ e U^-), os quais são obtidos por meio da inspeção dos valores da série temporal, conforme exemplificado na figura 1. A proposta contida em (Wang e Mendel, 1992) não estabelece formalmente os limites para esses intervalos, permitindo valores mais abrangentes. Adotamos o uso de intervalos com tolerância em torno de 20%, que é próxima às tolerâncias observadas nos exemplos apresentados em (Wang e Mendel, 1992), de forma a cobrir elementos acima ou abaixo desses limites. A quantidade de conjuntos fuzzy é definida pela divisão dos referidos intervalos em $2N+1$ conjuntos. O valor de N é estabelecido pelo usuário para cada variável, sendo cada conjunto denominado por SN (*Small N*), CE (*Center*) ou BN (*Big N*). SN refere-se aos elementos que estão abaixo do conjunto central (CE) e BN aqueles que se encontram acima. Para cada um desses conjuntos designa-se uma função triangular, tipicamente, onde a altura de cada triângulo

possui um grau de pertinência igual a 1(um) e a sua base valor de pertinência zero. Os conjuntos triangulares são sobrepostos, sendo a base de cada um sobreposta aos seus conjuntos vizinhos na região mediatriz desses últimos.

Passo 2: Geração das regras Fuzzy a partir dos pares de dados de entrada e saída.

Para cada variável de entrada e de saída, deve ser aplicada a função de pertinência de forma a obter o maior grau para cada uma dessas variáveis. A figura 2 ilustra esse mapeamento para uma janela de previsão com 4 elementos (X1 a X4) observados nos intervalos de t1 a t4. Em virtude dos tipos de função adotados (triangulares), serão obtidos dois graus de pertinência diferentes de zero para cada uma das variáveis, devendo ser escolhidos os graus de maior valor de pertinência para as mesmas. A regra gerada será estabelecida pela composição de uma sentença do tipo “SE – ENTÃO”, tendo as variáveis de entrada designadas como antecedentes (X1 a X4) e a variável de saída como conseqüente da regra (X5 observada no instante t5). A tabela 1 mostra a escolha dos graus de pertinência e a regra gerada para o exemplo proposto na figura 2.

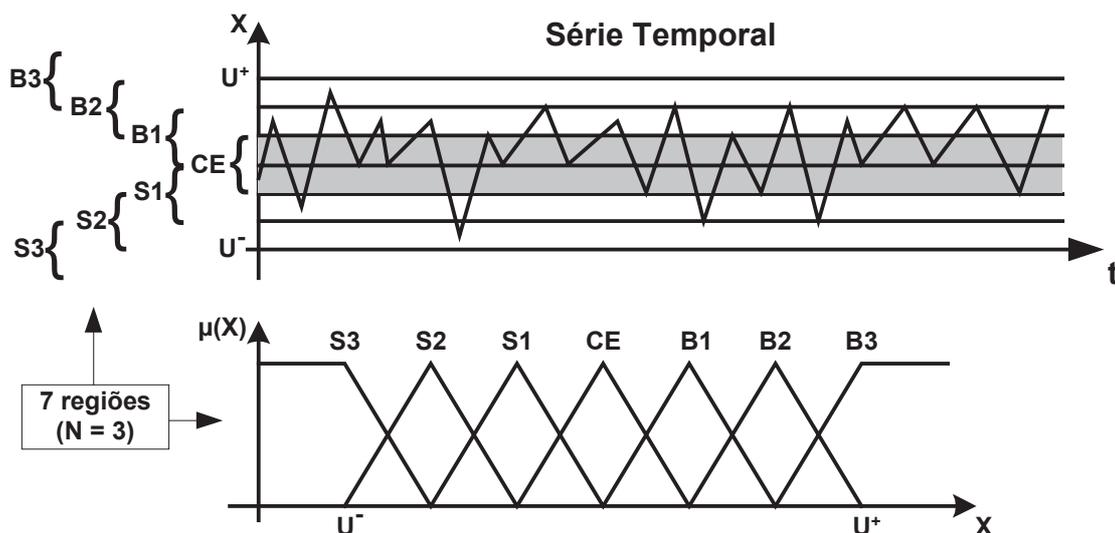


Figura 1 – Exemplo da divisão de uma série temporal em conjuntos Fuzzy

A quantidade máxima limite de regras geradas será dada pelo número de elementos (registros) alocados para treinamento subtraído do tamanho da janela de previsão incrementada em uma unidade. Porém dificilmente esse limite é atingido, em função do processo de descarte de regras conflitantes, descrito no próximo passo.

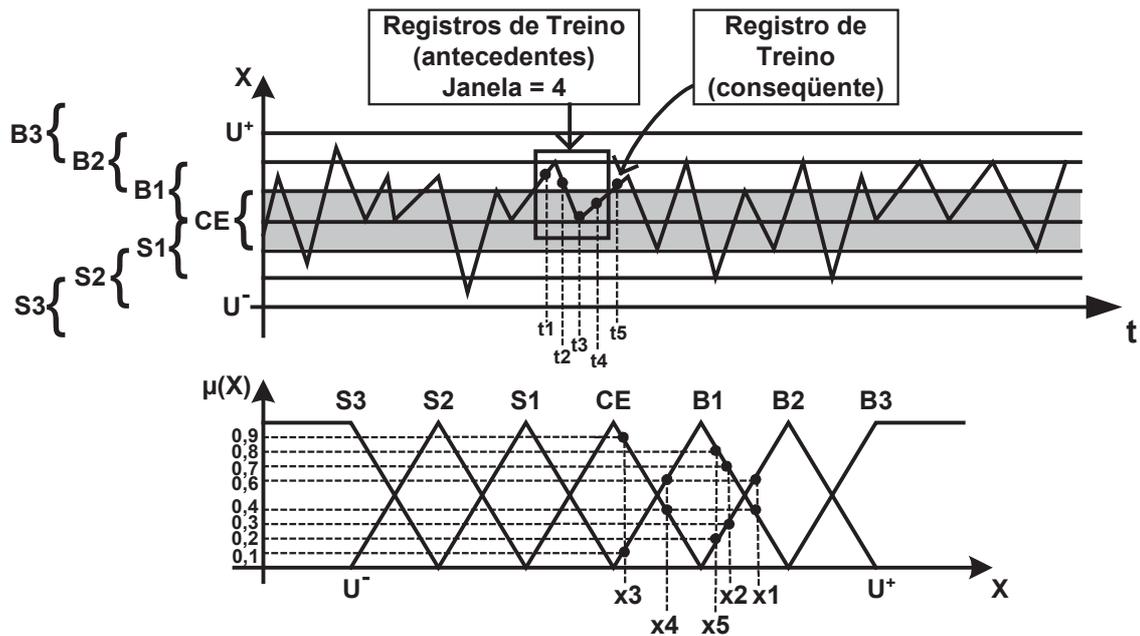


Figura 2 - Exemplo do mapeamento das variáveis de entrada e saída para uma janela de previsão = 4

Tabela 1 – Escolha dos graus de pertinência das variáveis do exemplo contido na figura 2

ANTECEDENTES		CONSEQÜENTE
$X1 = \begin{cases} B1 = 0,4 \\ B2 = 0,6 \end{cases}$	$X2 = \begin{cases} B2 = 0,3 \\ B1 = 0,7 \end{cases}$	$X5 = \begin{cases} B2 = 0,2 \\ B1 = 0,8 \end{cases}$
$X3 = \begin{cases} B1 = 0,1 \\ CE = 0,9 \end{cases}$	$X4 = \begin{cases} CE = 0,4 \\ B1 = 0,6 \end{cases}$	
Regra: SE X1 = B2 e X2 = B1 e X3 = CE e X4 = B1 ENTÃO X5 = B1		

Passo 3: Designação de um grau para cada regra gerada

Em função do elevado número de regras que podem ser geradas e de outros aspectos tais como sazonalidade, muitas regras podem ser conflitantes, isto é, possuem os mesmos antecedentes, porém conseqüentes diferentes. A solução adotada neste método para eliminar tais conflitos consiste no estabelecimento de um grau para cada regra. Desse modo, será validada apenas a regra que possuir o maior grau dentre aquelas conflitantes. A atribuição do grau para cada regra foi adotada como sendo o produto dos antecedentes e do conseqüente (Wang e Mendel, 1992). Para a regra gerada como exemplo no segundo passo, teríamos:

Grau da Regra:

$$\mu(X1) \times \mu(X2) \times \mu(X3) \times \mu(X4) \times \mu(X5) = 0,6 \times 0,7 \times 0,9 \times 0,6 \times 0,8 = 0,18144$$

Passo 4: Combinação da base de regras Fuzzy

Todas as regras geradas são armazenadas numa base de conhecimento, da qual são excluídas aquelas conflitantes.

Passo 5: Apresenta o procedimento de defuzzificação para a obtenção do mapeamento da entrada/saída da base de regras fuzzy combinadas. Neste passo temos o mapeamento dos valores numéricos das variáveis de entrada para os respectivos conjuntos fuzzy. A seguir são verificadas as regras ativadas e a saída é calculada através do método do Centróide, onde os antecedentes das regras são combinados usando a operação de produto para a determinação do grau de ativação de cada regra. A fórmula aplicada por (Wang e Mendel, 1992) para a defuzzificação por meio do centróide está expressa de forma similar abaixo:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^k \mu_C(\bar{y}_i) * \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^k \mu_C(\bar{y}_i)}$$

onde “k” é o número de regras fuzzy na base de regras combinadas, \bar{y}_i é o valor central (centróide) da variável de saída (conjunto fuzzy c) da regra i e $\mu_C(\bar{y}_i)$ é o grau de pertinência da variável \bar{y}_i no conjunto c , o qual corresponde ao grau de ativação da regra i .

Esta fórmula, adotada por (Wang e Mendel, 1992), é uma aproximação derivada do cálculo do centróide (centro de gravidade), o qual utiliza integrações ao invés do somatório. Essa modificação pode ser utilizada quando o suporte de $\mu_C(y)$ torna-se discreto (Mendel, 1995). Tal emprego torna-se possível em função da simetria da função de pertinência de saída.

Para elucidar o cálculo do centróide utilizado no método de Wang-Mendel, segue abaixo um exemplo demonstrativo.

Exemplo: Considerando o conjunto de regras descrito abaixo, os valores fornecidos como entradas ($X_1=50$ e $X_2=41$) e as funções de pertinência para as variáveis de entrada e saída, estas representadas nas figuras de 3 a 5, temos:

Regras:

- 1) **SE** $X_1 = S_1$ e $X_2 = B_2$ **ENTÃO** $Y = S_1$
- 2) **SE** $X_1 = S_1$ e $X_2 = C_2$ **ENTÃO** $Y = S_2$
- 3) **SE** $X_1 = C_1$ e $X_2 = B_1$ **ENTÃO** $Y = C_1$
- 4) **SE** $X_1 = B_2$ e $X_2 = B_2$ **ENTÃO** $Y = B_1$

Analisando-se as regras, verifica-se que as regras 1 e 3 são ativadas, promovendo o seguinte cálculo de saída do método:

Grau de ativação da regra 1: $0,3 \times 0,8 = 0,24$

Grau de ativação da regra 3: $0,7 \times 0,2 = 0,14$

$$y = (0,24 \times 11) + (0,14 \times 17) / (0,24 + 0,14) = 13,21$$

O procedimento de defuzzificação aplicado à previsão de séries temporais ocorre de forma semelhante, tendo, predominantemente, a utilização de apenas um tipo de variável, a

partir da qual derivam os conjuntos fuzzy destinados às entradas e à saída, conforme detalhes descritos no passo 2.

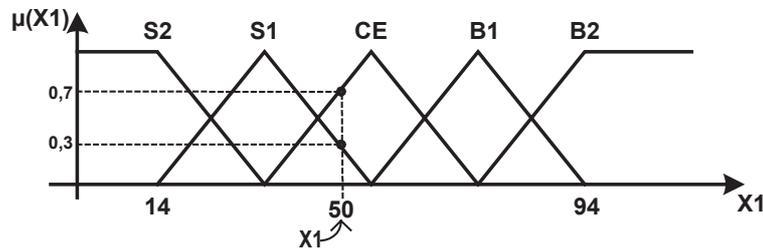


Figura 3 – Divisão do intervalo de domínio para a variável de entrada X1

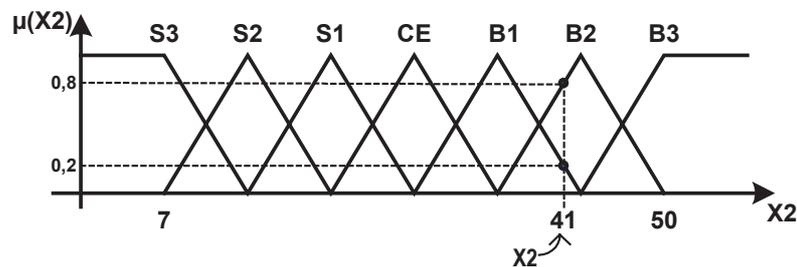


Figura 4 – Divisão do intervalo de domínio para a variável de entrada X2

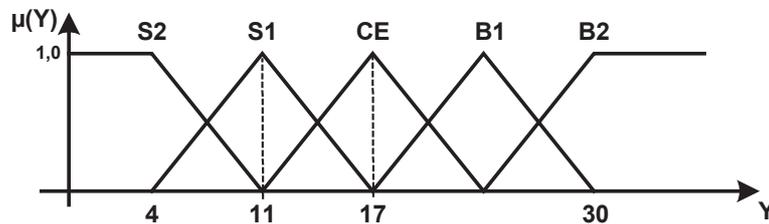


Figura 5 – Divisão do intervalo de domínio para a variável de saída Y

3 Descrição do Problema

Mediante a realização de diversos experimentos, utilizando o método proposto por Wang-Mendel, detectou-se que, em determinadas circunstâncias, esse método é incapaz de prever um dado futuro, produzindo uma saída nula (zero). Esse fato ocorre nas situações em que o conjunto de dados de entrada - que compõe a janela de previsão utilizada pelo método, não ocasiona a ativação de pelo menos uma das regras existentes.

A partir dos resultados obtidos em (Silva et al, 2007) e complementados neste trabalho, observa-se que tal fato ocorre principalmente quando se utiliza uma grande quantidade de conjuntos fuzzy (acima de 25, por exemplo) e/ou um tamanho de janela de previsão com elevado número de entradas (superior a 10). Para o primeiro caso, o sistema torna-se muito especializado. No segundo caso, uma janela maior resulta num maior número de antecedentes em cada regra, aumentando as chances de que nenhuma regra seja ativada para um determinado conjunto de entradas, dado o elevado número de antecedentes e as combinações possíveis entre os mesmos.

4 Solução Proposta – Método híbrido

O recurso proposto para eliminar o problema relatado consiste na aplicação de outro método de previsão quando o método de Wang-Mendel falhar, isto é, não ativar pelo menos uma das regras para um determinado conjunto de entradas. Para minimizar as modificações e tornar simples sua implementação, os métodos escolhidos para os experimentos foram a Média Móvel e a Suavização Exponencial.

Os métodos citados foram inseridos na quinta e última etapa do método original e não afetam a geração da base de regras pelo método de Wang-Mendel e nem interferem no processo de cálculo da previsão dos elementos por este, visto que as alterações introduzidas somente são executadas, se forem necessárias, após a conclusão dos procedimentos previstos para cada previsão no método original. As modificações propostas podem ser visualizadas graficamente nas figuras de 6 a 8.



Figura 6 – Método de Wang-Mendel

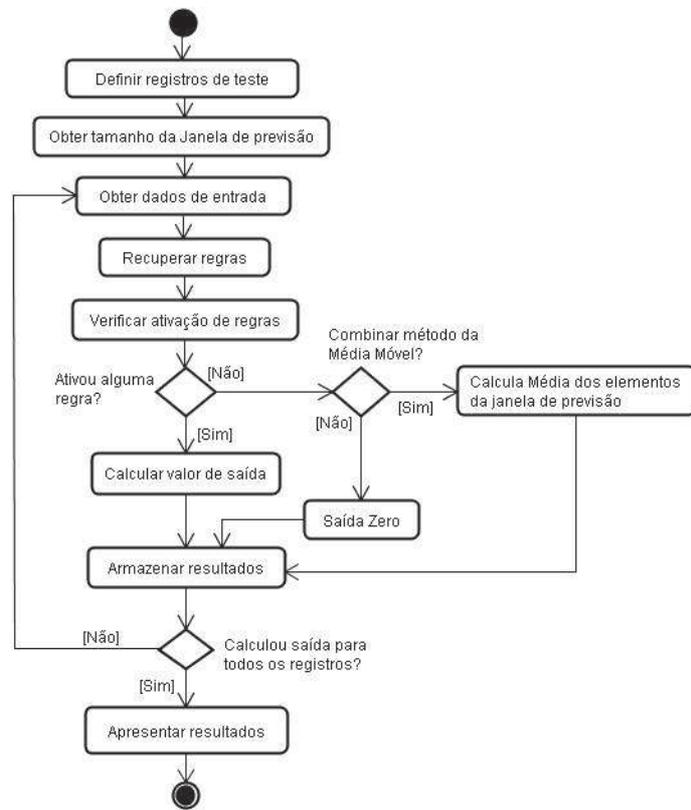


Figura 7 - Método de Wang-Mendel combinado com a Média Móvel

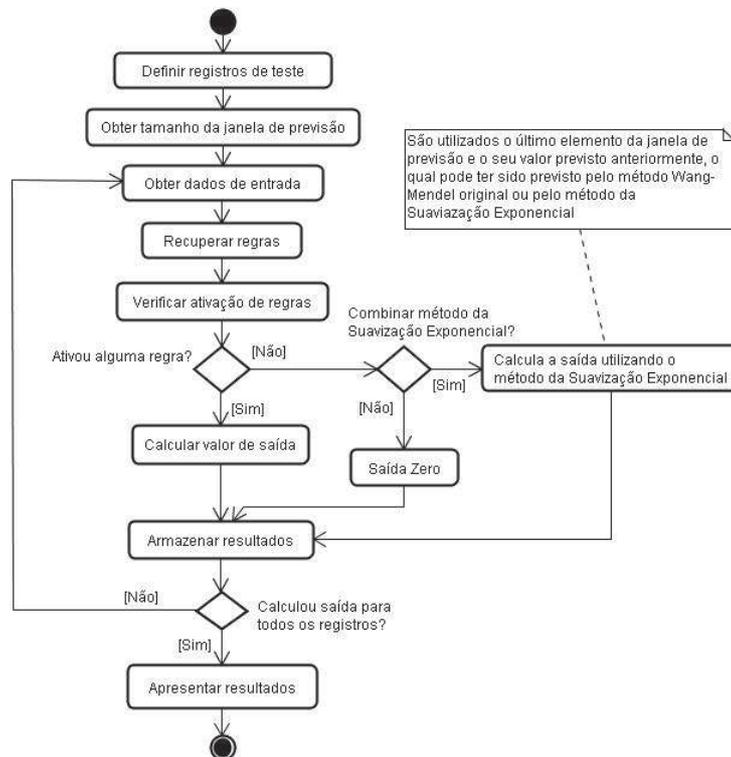


Figura 8 - Método de Wang-Mendel combinado com a Suavização Exponencial

De maneira análoga, o método proposto em (Silva et al, 2007), denominado Wang-Mendel Adaptado, foi modificado para acionar os algoritmos Média Móvel e Suavização Exponencial sempre que nenhuma regra nebulosa for ativada a partir da entrada. Tal modificação pode ser observada nas figuras 9 e 10. O Método Wang-Mendel Adaptado concentra-se também no quinto passo (*defuzzificação*) do algoritmo de Wang-Mendel, propondo a eliminação paulatina de predicados nebulosos dentre os antecedentes das regras quando não for possível ativar completamente uma regra. Sempre que não for possível ativar pelo menos uma regra da base de conhecimento para prever um valor futuro, o algoritmo modificado tenta prever o valor desprezando o primeiro predicado nebuloso dos antecedentes das regras. A escolha da remoção do primeiro predicado das regras deve-se ao fato dele se referir ao elemento mais antigo na janela, o qual representa uma informação menos valiosa que os demais. Se mesmo assim ainda não for possível ativar nenhuma regra da base de regras, são retirados o segundo predicado, o terceiro predicado e assim por diante, até que reste apenas um único predicado no antecedente da regra (Silva et al, 2007).

5 Experimentos e Resultados

Esta seção tem por objetivos: fornecer detalhes sobre a implementação da abordagem proposta, descrever a metodologia de teste adotada, além de apresentar e analisar os resultados obtidos.

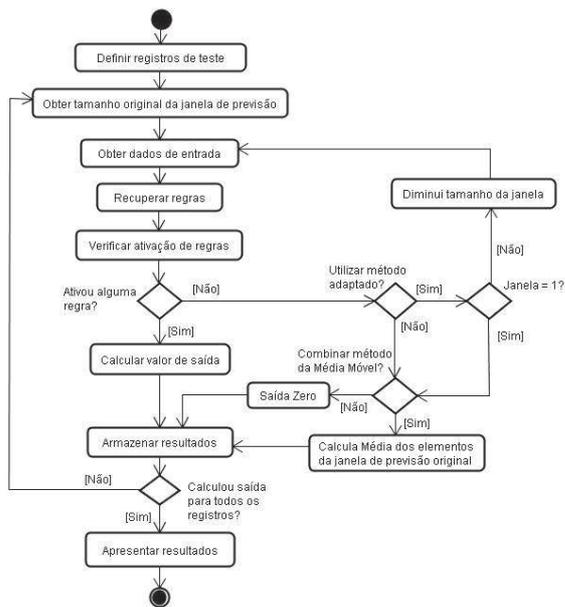


Figura 9 - Método de Wang-Mendel Adaptado e combinado com a Média Móvel

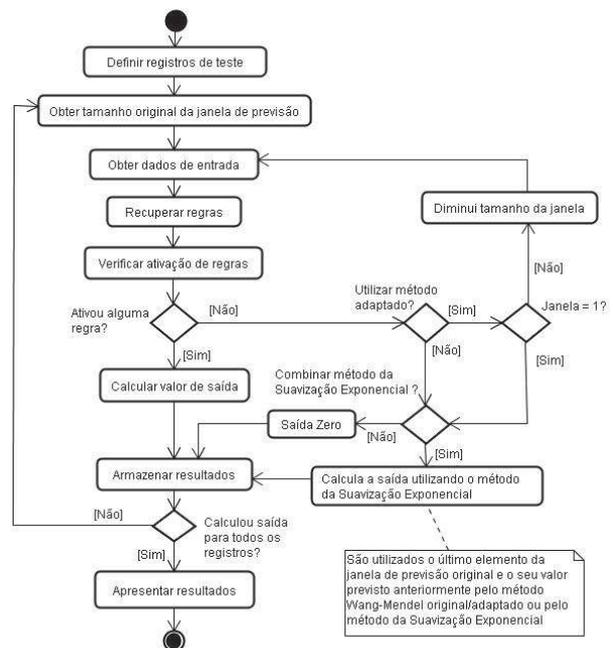


Figura 10 – Método de Wang-Mendel Adaptado e combinado com a Suavização Exponencial

5.1 Protótipo

Os experimentos foram realizados através do acoplamento de novas funcionalidades ao *framework JavaBramining* (Ribeiro et al, 2005), o qual faz uso do banco de dados MySQL 4.x (ou superior) e do ambiente *Java Run-Time Environment JRE5.0*. O *JavaBramining* foi desenvolvido pelo Núcleo de Projetos e Pesquisas em Aplicações Computacionais (NUPAC) do Centro Universitário da Cidade do Rio de Janeiro e se aplica a processos operacionais de descoberta de conhecimento e mineração de dados, incorporando diversos métodos e funcionalidades, sendo a previsão de séries temporais uma delas.

As figuras de 11 a 16 apresentam extratos das telas que implementam a previsão de séries temporais pelo método proposto originalmente por Wang-Mendel e pela abordagem descrita neste trabalho.

Figura 11 - Configuração dos atributos de previsão e de ordem dos dados

Figura 12 - Configuração dos conjuntos nebulosos

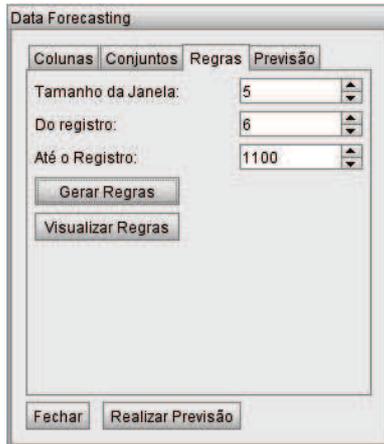


Figura 13 - Configuração dos dados de treinamento

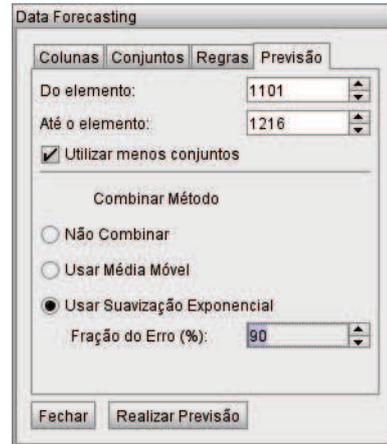


Figura 14 – Configuração dos dados de previsão

No protótipo implementado existe a possibilidade de se escolher qual atributo do banco de dados deverá ser previsto (figura 11), a quantidade de conjuntos nebulosos no formato triangular e os limites inferior e superior da variável (figura 12), o tamanho da janela e o intervalo de registros para geração da base de regras (figura 13). Para a previsão dos valores (figura 14), informam-se o intervalo de registros sobre o qual será realizada a previsão e o tipo de método que será utilizado: o algoritmo original, o algoritmo modificado (Silva et al, 2007) – opção “utilizar menos conjuntos”, e a possibilidade de combinação com o método da média móvel ou com o método da suavização exponencial. As figuras 15 e 16 demonstram trechos dos resultados da execução do programa protótipo a título ilustrativo.

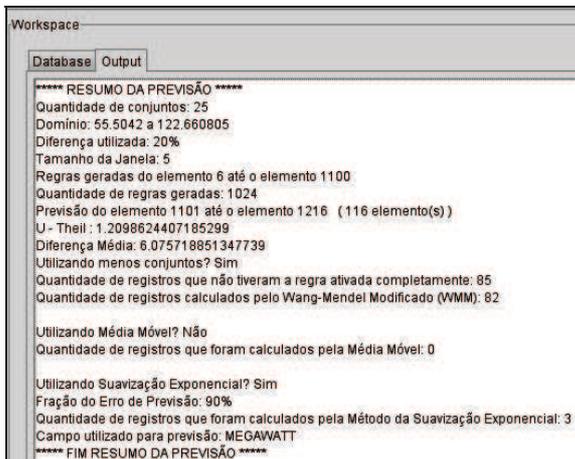


Figura 15 - Resumo das configurações

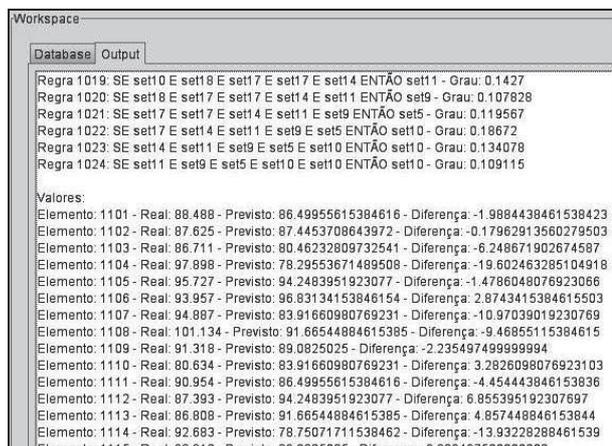


Figura 16 - Resultado da previsão dos valores

5.2 Metodologia de Teste

5.2.1 Bases de Teste

Os testes foram feitos com seis séries temporais diferentes. As cinco primeiras são as mesmas utilizadas em (Silva et al, 2007) para a realização de um estudo comparativo. A sexta série foi incluída para uma maior diversidade dos dados. A seguir encontra-se um resumo das séries adotadas nos experimentos:

a) O preço de abertura dos valores das ações PETR4F da empresa Petrobras (BOVESPA, 2006), representada na figura 17 como uma das representantes das bases de dados comerciais;

b) Série anual de manchas solares (SUNSPOT DATA, 2006), representada na figura 18 e muito utilizada pela comunidade científica mundial;

c) Série Mackey-Glass (WAN, 2006), representada na figura 19 e também bastante utilizada em trabalhos de pesquisa científica;

d) Série Dow Jones (WESSA, 2006), representada na figura 20, também de caráter comercial, representando valores de ações nas bolsas de valores;

e) Série Laser (WAN, 2006), cujos primeiros três mil elementos estão representados na figura 21. Utilizada pela comunidade científica, foi adotada nos experimentos devido ao seu tamanho: mais de dez mil registros.

f) Série Light – representada na figura 22, proveniente de informações obtidas da Universidade Pontifícia Católica do Rio de Janeiro, nas pesquisas desenvolvidas nessa universidade para estimativa da demanda de consumo em energia elétrica.

Pode-se perceber uma nítida diferença entre as seis séries escolhidas para os experimentos. Enquanto as séries **a** e **d** apresentam uma tendência linear positiva, as séries **b**, **c** e **e** apresentam certa sazonalidade. A série **f** possui um comportamento estacionário. A tabela 2 apresenta detalhes sobre as séries adotadas nos experimentos.

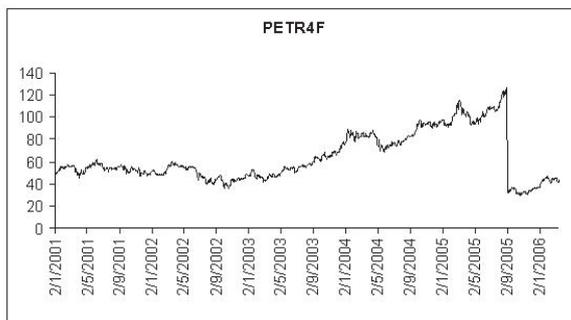


Figura 17 – Série das Ações PETR4F

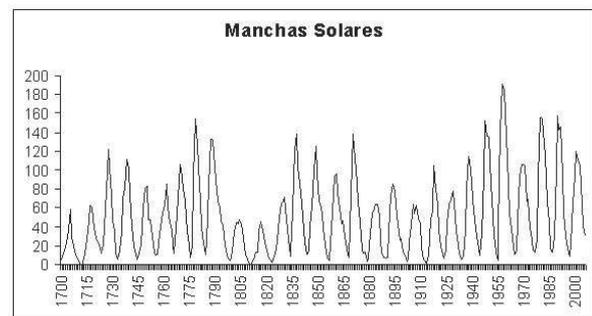


Figura 18 – Série Manchas Solares

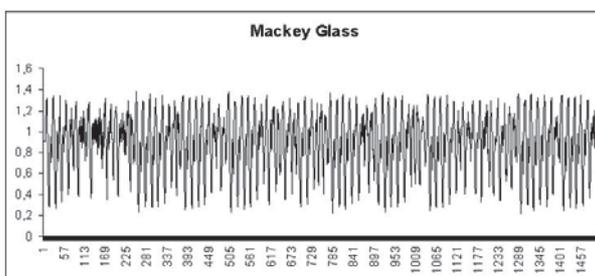


Figura 19 – Série Mackey Glass

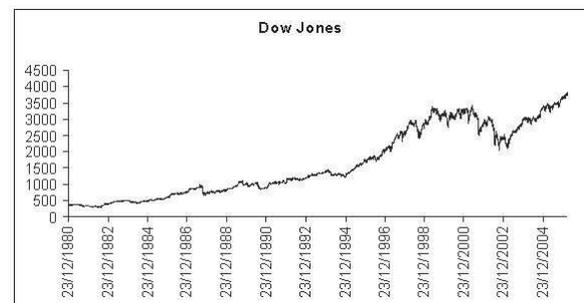


Figura 20 – Série Dow Jones

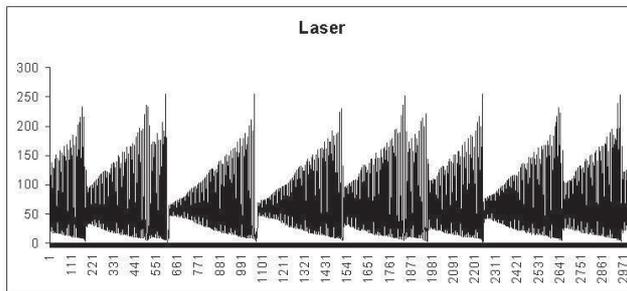


Figura 21 – Série Laser

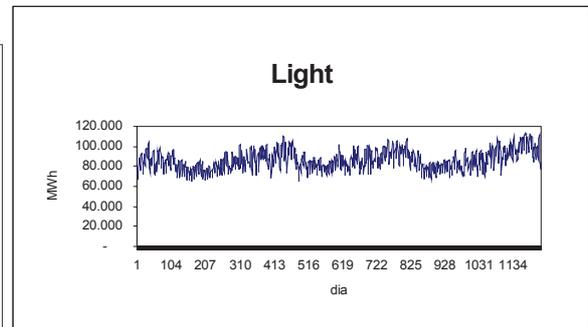


Figura 22 – Série Light

Tabela 2 – Detalhes das Séries

Série	Quantidade total de registros	Menor valor	Maior valor
PETR4F	1293	30,1	126,9
Manchas Solares	306	0	190,2
Mackey-Glass	1500	0,212559300	1,378507200
Dow Jones	6369	299,21	3833,97
Laser	10093	0	255
Light	1216	65,098	113,067

5.2.2 Abordagens de Teste

Os testes aplicados nas bases indicadas buscaram explorar a combinação de vários métodos. As características dessas combinações estão descritas na tabela 3.

Os parâmetros aplicados a cada uma das séries estão relacionados ao número de conjuntos fuzzy, ao tamanho da janela, à quantidade de registros de treino e de teste. Para efeito de comparação, a escolha de cada um desses valores foi realizada visando estabelecer o maior grau de compatibilidade com relação àqueles adotados em (Silva et al, 2007). A tabela 4 exibe uma das combinações de parâmetros utilizadas ao longo dos experimentos.

O valor da variável $\alpha = 0,9$ utilizada no método da suavização exponencial foi decorrente de uma experimentação prévia nas referidas séries temporais, onde a utilização do valor de 0,9 obteve os melhores resultados (Silva et al, 2007).

Os registros de treino foram utilizados para geração das bases de conhecimento dos algoritmos Wang-Mendel original e Wang-Mendel adaptado. Os registros de teste que consistiram no restante dos dados originais foram utilizados para avaliar o desempenho de cada um dos métodos aplicados.

Tabela 3 – Tipos de Métodos de Previsão Aplicados às Bases de Dados

Métodos de Previsão		
Nº	Tipo	Descrição
1	Wang-Mendel (original)	Corresponde ao Wang-Mendel sem qualquer tipo de alteração
2	Wang-Mendel Adaptado	O método Wang-Mendel é adaptado por meio da proposta descrita em (Silva et al, 2007).
3	Média Móvel	Corresponde somente à utilização do método da Média Móvel
4	Suavização Exponencial	Corresponde somente à utilização do método da Suavização Exponencial
5	Wang-Mendel combinado com a Média Móvel	Combina o Wang-Mendel original (1) com a Média Móvel (3)
6	Wang-Mendel Adaptado e combinado com a Média Móvel	Resultado da combinação dos métodos 2 e 3
7	Wang-Mendel combinado com a Suavização Exponencial	Combina o Wang-Mendel original (1) com a Suavização Exponencial (4)
8	Wang-Mendel Adaptado e combinado com a Suavização Exponencial	Resultado da combinação dos métodos (2) e (4)

5.3 Processo de Avaliação dos Métodos

A maneira encontrada para avaliar o desempenho dos algoritmos na previsão das séries foi utilizando o cálculo do *coeficiente U-Theil* (VEIGA, 2005). Esse coeficiente avalia o desempenho da previsão com relação à previsão trivial ou ingênua, que indica que o valor atual é a melhor previsão para o valor seguinte. O cálculo do coeficiente se dá através da fórmula:

$$U = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^N (a_k - y_k)^2}}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (a_k - a_{k-1})^2}}$$

onde a_k é o valor real da série na posição k e y_k é o valor previsto na posição k .

Quando $U > 1$, significa que o desempenho do algoritmo de previsão é pior do que o da previsão ingênua, ou seja, se na previsão de cada elemento fosse utilizado o valor anterior da série, o desempenho seria melhor. Quando $U < 1$ e mais próximo de zero, melhor o desempenho do algoritmo. A melhor previsão acontece quando $U = 0$, ou seja, todos os valores previstos são iguais aos valores reais da série.

Outra medida de desempenho adotada nos experimentos do presente trabalho é calculada através da diferença média, dada pela fórmula:

$$DM_N = \frac{\sum_{k=1}^N |a_k - y_k|}{N}$$

onde a_k é o valor real da série, y_k é o valor previsto da série e N é a quantidade de elementos a serem previstos.

Tabela 4 – Parâmetros Aplicados às Bases de Dados

Método			Base					
			PETR4F	Manchas	Mackey-	Dow Jones	Laser	Light
Nº	Tipo	Parâmetros						
1	Wang-Mendel	Nº de Conjuntos	25	51	13	51	13	51
		Tamanho da janela	5	7	9	5	10	5
2	Wang-Mendel Adaptado	Registros de Treino (%)	85,07	65,36	50	87,93	89,17	83,14
		Registros de Previsão (%)	14,93	34,64	50	12,07	10,83	16,86
3	Média Móvel	Nº de Pontos para Média (n)	5	7	9	5	10	5
		Registros de Previsão (%)	14,93	34,64	50	12,07	10,83	16,86
4	Suavização Exponencial	Fração do Erro (α)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
		Registros de Previsão (%)	14,93	34,64	50	12,07	10,83	16,86
5	Wang-Mendel + Média Móvel	Nº de Conjuntos	25	51	13	51	13	51
6	Wang-Mendel Adaptado + Média Móvel	Tamanho da janela (ou nº de pontos para Média Móvel)	5	7	9	5	10	5
7	Wang-Mendel + Suavização Exponencial	Registros de Treino (%)	85,07	65,36	50	87,93	89,17	83,14
8	Wang-Mendel Adaptado + Suavização Exponencial	Registros de Previsão (%)	14,93	34,64	50	12,07	10,83	16,86
		Fração do Erro (α)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Uma terceira medida de desempenho adotada nos testes foi a *diferença média percentual*, calculada através da fórmula $DMP = \frac{DM * 100}{Max - Min} \%$, onde *DM* é a diferença média calculada, *Max* é o maior valor da série analisada e *Min* é o menor valor da série analisada.

5.4 Resultados

A tabela 5 exhibe os resultados dos testes conforme configurações detalhadas nas tabelas 3 e 4. Segue adiante um resumo comparativo do desempenho dos métodos de previsão aplicados:

Tabela 5 – Resultados dos Experimentos

Método		Base											
		PETR4F		Manchas Solares		Mackey-Glass		Dow Jones		Laser		Light	
Nº	Tipo	U-Theil	DMP	U-Theil	DMP	U-Theil	DMP	U-Theil	DMP	U-Theil	DMP	U-Theil	DMP
1	Wang-Mende	4,74	3,51	2,68	2,31	2,00	2,81	2,31	3,21	0,26	1,88	4,00	204,11
2	Wang-Mendel Adaptado	4,19	10,01	1,25	12,03	0,41	4,29	57,57	15,04	0,21	1,82	4,03	27,77
3	Média Móvel	1,45	2,84	1,96	15,61	2,00	15,01	1,40	0,73	1,05	2,84	1,20	14,51
4	Suavização Exponencial	1,00	1,46	1,06	17,64	1,05	12,98	1,00	0,52	1,03	11,52	1,00	11,15
5	Wang-Mende + Média Móvel	1,48	3,38	1,97	15,61	0,67	6,00	1,51	0,75	0,23	1,76	1,20	14,49
6	Wang-Mendel Adaptado + Média Móvel	1,07	2,85	1,06	11,26	0,41	4,29	2,30	1,01	0,21	1,82	1,34	14,86
7	Wang-Mende + Suavização Exponencial	1,06	2,41	1,06	2,31	0,44	4,29	1,44	0,71	0,23	1,77	0,99	10,99
8	Wang-Mendel Adaptado + Suavização Exponencial	1,09	2,85	0,96	10,47	0,41	4,29	2,28	0,98	0,21	1,82	1,34	14,57

- **Método Wang-Mendel comparado com os métodos híbridos** (Wang-Mendel + Média Móvel, Wang-Mendel Adaptado + Média Móvel, Wang-Mendel + Suavização Exponencial, Wang-Mendel Adaptado + Suavização Exponencial): Pode-se perceber um desempenho superior de todos os métodos híbridos quando comparados ao método Wang-Mendel original nas séries analisadas. Dentre todos os métodos híbridos, o Wang-Mendel combinado com a Suavização Exponencial mostrou-se melhor, com ligeira vantagem sobre o método Wang-Mendel Adaptado combinado com a Suavização Exponencial.
- **Wang-Mendel Adaptado comparado com:**
 - Wang-Mendel Adaptado + Média Móvel: O último apresentou melhores resultados que o primeiro em quase todos os casos, com exceção das séries Mackey-Glass e Laser, onde o Wang-Mendel Adaptado combinado com a Média Móvel obteve desempenhos idênticos.
 - Wang-Mendel Adaptado + Suavização Exponencial: De forma análoga ao caso anterior, o Wang-Mendel Adaptado + Suavização Exponencial obteve melhor desempenho, com exceção das séries Mackey-Glass e Laser, nas quais obteve desempenhos idênticos ao Wang-Mendel Adaptado.

- **Média Móvel comparado com:**
 - Wang-Mendel + Média Móvel: este método híbrido apresentou um desempenho ligeiramente inferior ao da Média Móvel num contexto geral. Entretanto, obteve um desempenho superior nas series Mackey-Glass e Laser, com U-Theil < 1.
 - Wang-Mendel + Suavização Exponencial: desempenho superior deste método híbrido em quase todos os testes, quando comparado diretamente com a Média Móvel. Somente na série Dow Jones a Média Móvel mostrou-se ligeiramente melhor.
 - Wang-Mendel Adaptado + Média Móvel: apresentou um desempenho melhor que a Média Móvel, com exceção apenas das séries Dow Jones e Light, onde a Média Móvel mostrou-se ligeiramente superior.
 - Wang-Mendel Adaptado + Suavização Exponencial: de forma semelhante aos resultados obtidos pelo método Wang-Mendel Adaptado + Média Móvel, só obteve desempenho inferior nas séries Dow Jones e Light. Nas demais séries o desempenho mostrou-se superior.
- **Suavização Exponencial comparado com:**
 - Wang-Mendel + Suavização Exponencial: este método híbrido obteve um melhor desempenho num aspecto geral, porém resultados inferiores nas séries PETR4F e Dow Jones.
 - Wang-Mendel Adaptado + Média Móvel: este método híbrido teve um melhor desempenho nas séries Manchas Solares, Mackey-Glass e Laser, enquanto que nas séries PETR4F, Dow Jones e Light obteve resultados inferiores ao método da Suavização Exponencial.
 - Wang-Mendel Adaptado + Suavização Exponencial: também apresentou um desempenho superior nas séries Manchas Solares, Mackey-Glass e Laser, enquanto que nas demais séries obteve resultados inferiores ao método da Suavização Exponencial.
- **Wang-Mendel + Média Móvel comparado com Wang-Mendel + Suavização Exponencial**: este último método híbrido apresentou desempenho superior em todas as séries com relação ao primeiro, excetuando-se apenas o desempenho na série Laser, na qual obteve um desempenho idêntico.
- **Wang-Mendel Adaptado+Média Móvel comparado com Wang-Mendel Adaptado+Suavização Exponencial**: o mesmo desempenho entre ambos os métodos híbridos foi observado nas séries Mackey-Glass, Laser e Light. Nas demais séries o desempenho também foi semelhante, com pequena vantagem para o método Wang-Mendel Adaptado + Suavização Exponencial.

6 Considerações Finais

Como consequência da rapidez e da competitividade dos processos e negócios do mundo globalizado contemporâneo, surge uma grande demanda por recursos computacionais confiáveis e ágeis que auxiliem o homem em atividades de tomada de decisão. Planejamento da produção, previsão de demanda de energia elétrica e estimativa da cotação de ações na bolsa de valores são exemplos de processos de tomada de decisão que envolvem a chamada “tarefa de previsão de séries temporais”. Muitos dos estudos que envolvem a análise de séries temporais visam descobrir novos métodos que simplifiquem ou tornem a previsão de dados futuros mais precisa.

Um dos principais métodos utilizados na previsão de séries temporais é o algoritmo clássico de Wang-Mendel, descrito em 1992 por Li-Xin Wang e Jerry M. Mendel (Wang e Mendel, 1992), que tem como base o paradigma da Inteligência Computacional conhecido como Lógica Nebulosa (Rezende, 2003). Através de vários experimentos, foi possível observar que em determinadas situações, o referido método é incapaz de prever um dado futuro, produzindo uma saída nula (zero). Esse fato ocorre nas circunstâncias em que um conjunto de dados de entrada - que compõe a janela de previsão utilizada pelo método, não ocasiona a ativação de pelo menos uma das regras existentes.

Diante do cenário exposto acima, o presente trabalho teve por objetivo alterar o método clássico desenvolvido por Wang e Mendel de forma a garantir que, para qualquer conjunto de dados de entrada utilizado para a obtenção da previsão de um valor futuro, seja obtida uma resposta não-nula.

A estratégia utilizada foi a inclusão do método da média móvel ou da suavização exponencial para tratar a referida deficiência. Os experimentos realizados indicaram um bom desempenho para a solução adotada, tendo em vista que, além de obter dados válidos, as saídas produzidas com a utilização desses dois últimos métodos melhoraram a precisão da previsão da série.

A solução proposta atende de forma completa à falha descrita anteriormente na execução do método original, na medida em que sempre é calculado um valor previsto diferente de zero e próximo do valor real da série.

A partir da análise do desempenho dos métodos testados, conforme comentários descritos na seção anterior, conclui-se que a solução apresentada neste trabalho contribuiu, nos experimentos realizados, para uma melhora significativa do método (Wang e Mendel, 1992), tendo em vista que os valores obtidos para o coeficiente U-Theil foram bem melhores (U-Theil menor, mais próximo de zero). Além disso, a carga adicional de processamento introduzida ao final de todos os passos do referido método quando este produz uma saída nula é significativamente reduzida (inferior a 10%), sobretudo quando comparada à adaptação do Wang-Mendel proposta em (Silva et al, 2007).

Pode-se perceber que a abordagem híbrida proposta obteve resultados expressivos nas séries que não apresentam ciclos de repetição: séries “PETR4F”, “Dow Jones” e “Light”. Nas demais séries testadas, em função do bom desempenho do método de Wang-Mendel, a diferença no confronto direto entre ambos os métodos mencionados não se mostrou significativa.

Dentre os métodos propostos neste trabalho, a melhor solução, em termos de precisão (avaliada em função do U-Theil), foi obtida por meio do uso do método Wang-Mendel combinado com o método da suavização exponencial (sendo $\alpha = 0,9$).

Comparando-se com a solução proposta por (Silva et al, 2007), o nosso método também obteve um desempenho superior em todas as séries, com exceção apenas das séries Mackey-Glass e Laser. Dependendo dos parâmetros utilizados, a diferença de desempenho (U-Theil) nesta série entre ambos os métodos - método híbrido proposto e (Silva et al, 2007) tende a zero, a favor de um ou do outro.

Cabe ressaltar o bom desempenho do método Wang-Mendel Adaptado (Silva et al, 2007) nas séries Mackey-Glass e Laser, onde todas as janelas de previsão ativaram regras com a utilização deste método, tornando sem efeito os testes com os métodos Wang-Mendel Adaptado e combinado com a Média Móvel ou combinado com a Suavização

Exponencial (itens 6 e 8 da tabela 5), visto que a combinação com o método adicional não chegou a ser utilizada.

Através dos experimentos realizados com o método de Wang-Mendel, pôde-se comprovar que quanto maior for o número de conjuntos fuzzy para as variáveis de entrada, mais preciso serão os valores previstos (Wang e Mendel, 1992). No entanto, pôde-se verificar como efeito colateral, um aumento das chances e do número de janelas que não ativam regras, porque estas tornam-se muito especializadas. Apesar de não podermos estabelecer um limite ideal para essa quantidade de conjuntos, pois varia dependendo da série, não recomendamos, em função dos experimentos realizados, um número maior que 25.

Como trabalhos futuros complementares ao presente estudo, estão a avaliação de outros algoritmos de previsão de séries temporais e a utilização de outras bases de dados. Sugere-se a investigação da aplicação de comitês de aprendizado como uma forma de combinar as características de diversos algoritmos baseados em diferentes paradigmas.

O método proposto por Wang-Mendel possui vários procedimentos empíricos que, apesar de apresentarem resultados satisfatórios, poderiam ser objeto de estudos futuros. Esse é o caso do processo de descarte de regras conflitantes, o qual mantém apenas a regra que possui o maior grau de ativação, sendo este definido pelo produto dos antecedentes e do conseqüente de cada regra. Nesse processo, outros critérios poderiam ser usados, tais como a seleção das regras que possuíssem o maior grau de pertinência no conseqüente da regra, ou simplesmente aproveitar-se-iam todas as regras geradas, tendo em vista que o processo de defuzzificação pelo centróide considera a contribuição de todas as regras ativadas. Nos testes realizados, observou-se que o descarte de regras conflitantes pode ser superior a 50% das regras possíveis. Portanto, sugere-se como alternativa de trabalhos futuros uma investigação mais refinada sobre tal processo de descarte.

Adicionalmente, outras formas de conjuntos fuzzy poderiam também ser exploradas na busca de melhores resultados dos métodos Wang-Mendel e suas adaptações. Estudos envolvendo séries com duas ou mais variáveis, embora mais complexos, também se mostram como alternativas de pesquisa desejáveis na área da previsão de séries temporais.

Referências

- BOJADZIEV, G., BOJADZIEV, M., **Fuzzy Logic for Business, Finance, and Management**. World Scientific, 1997.
- BOVESPA, 2006, **Cotações Históricas**, Bolsa de Valores de São Paulo. Disponível em <http://www.bovespa.com.br/Mercado/RendaVariavel/SeriesHistoricas/FormSeriesHistorica.s.asp>. Acesso em 03/05/2006.
- COX, E., 1994, **The Fuzzy Systems Handbook**. AP Professional.
- GOLDSCHMIDT, R. R., PASSOS, E., 2005, **Data Mining: um Guia Prático**. 1ª Edição. Rio de Janeiro, Editora Campus.
- JÚDICE, P. A., 2005, **Previsão de Demanda na Gestão Logística de um Produto Percível Vendido por Máquina Automática**. Tese de Mestrado. Disponível em http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/cgi-bin/db2www/PRG_0651.D2W/SHOW?Cont=6719:pt&Mat=&Sys=&Nr=&Fun=&CdLinPrg=pt. PUC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Acesso em 16/10/2005.

- MENDEL, J. M., **Fuzzy Logic Systems for Engineering: a Tutorial**, Proc. IEEE, V. 83, No. 3, pp. 345-377, 1995.
- MORETTIN, P. A., TOLOI, C. M. C., 2006, **Análise de Séries Temporais**. 2ª Edição. São Paulo, Editora Edgard Blücher.
- NOGUEIRA, F. M. de A., 2005, **Modelos de Previsão**. Juiz de Fora. Disponível em <http://www.engprod.ufjf.br/fernando/epd042/previs%E3o.pdf>. Acesso em 16/10/2005.
- PEDRYCZ, W., GOMIDE, F., **An Introduction to Fuzzy Sets Analysis and Design**. MIT, 1998.
- REZENDE, S. O., 2003, **Sistemas Inteligentes: Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Manole.
- RIBEIRO, R. C., GOLDSCHMIDT, R., FERLIN, C., SOARES, J. A., 2005, **Apresentação Técnica do JavaBramining**, Relatório Técnico, Centro Universitário do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SANDRI, S., CORREA C., 1999, **Lógica Nebulosa**, ITA, São José dos Campos, SP.
- SILVA, P. O. M. P., GOLDSCHMIDT, R. R., SOARES, J. A., FERLIN, C., **Previsão de Séries Temporais Utilizando Lógica Nebulosa**, 4° CONTECSI - Universidade de São Paulo, Junho de 2007.
- SOUZA, R. C., 1989, **Modelos Estruturais para Previsão de Séries Temporais: Abordagens Clássica e Bayesiana**. 17° Colóquio Brasileiro de Matemática. IMPA, Rio de Janeiro.
- STATSOFT, 2004, **Electronic Statistics Textbook**, StatSoft, Inc., Tulsa, OK: StatSoft. Disponível em <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>. Acesso em 27/02/2005.
- SUNSPOT DATA, **Solar Influences Data Analysis Center**, 2006. Disponível em <http://sidc.oma.be/sunspot-data>. Acesso em 03/05/2006.
- TANSCHKEIT, R., GOLDSCHMIDT, R. R., SILVA, A. T. R. da, 2005, **Extração de Regras Fuzzy e Sistemas de Inferência para a Previsão de Séries Temporais**, PUC e IME, Rio de Janeiro, RJ.
- VALE, M. N. do, 2001, **Sistema de Inferência Fuzzy com Geração Automática de Regras**. Trabalho de Conclusão de Curso. UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- VEIGA, J., 2005, **Modelagem Temporal das Medidas de Vazão de Drenos na Barragem de Funil (RJ) Utilizando Redes Neurais e Métodos Estatísticos**, Tese de Doutorado. Disponível em http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/cgi-bin/db2www/PRG_0651.D2W/META2?CdLinPrg=pt&CdLin=pt&NrConSis=7060&CdIdeAut=JVEIGA&CdNatCon=TE. PUC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Acesso em 16/03/2006.
- WAN, E. A., **Time Series Data**, Oregon Health & Science University. Disponível em <http://www.cse.ogi.edu/~ericwan/data.html>. Acesso em 03/06/2006.
- WANG, L., MENDEL, J. M., 1992, **Generating Fuzzy Rules by Learning from Example**. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, Vol. 22, N. 6, Novembro/Dezembro.
- WESSA. P., **Free Statistics Software**, Office for Research Development and Education, versão 1.1.18. Disponível em <http://www.wessa.net/finmardata.wasp?B1=1>. Acesso em 18/03/2006.