

## 2 Revisão Bibliográfica

Antes de definir o modelo para previsão de carga elétrica, é necessário fazer um breve resumo dos mais tradicionais modelos de previsão de carga publicados nos principais periódicos da área.

A previsão de carga a curto-prazo tem merecido especial atenção dos pesquisadores da área, muitas técnicas e algoritmos foram desenvolvidos. No entanto, a maioria dos trabalhos trata somente da previsão de demanda ativa. Na literatura, encontram-se poucos trabalhos voltados para a previsão de demanda reativa, isto porque esta preocupação teve surgimento recente (Huang, 1997).

### 2.1. Modelos de Previsão de Carga Elétrica Ativa

A maioria dos modelos usuais de previsão já foi experimentado na previsão de carga: modelos auto-regressivos multiplicativos (El-Keib et al, 1995), modelos dinâmicos lineares (Douglas et al, 1998), modelos não lineares (Sadownik & Barbosa, 1999) e métodos baseados no filtro de Kalman (Silva, 2001). Entre os modelos causais, nos quais a carga é modelada como função de alguma variável exógena, têm sido tentadas as funções de transferências de Box & Jenkins (Hagan & Behr, 1987), modelos ARMAX (Yang et al, 1996), técnicas de otimização (Yu, 1996) e modelos estruturais (Harvey, 1989; Harvey & Koopman, 1993).

Apesar do grande número de alternativas, contudo, os modelos causais mais freqüentes encontrados na literatura são os modelos lineares aditivos que decompõem a carga, geralmente, em um componente básico e um componente relacionado com o clima (Bunn, 1985). O componente básico deve refletir o comportamento normal da série de cargas, e é equivalente ao valor esperado da carga, dados os valores passados da série, se não houver nenhuma circunstância anômala. O componente relacionado com o clima deve modelar a influência das variáveis meteorológicas na carga. É evidente que, parte desta influência já foi explicada pelo componente básico, já que o efeito do clima tende a se inserir nos

valores passados da série, no entanto, este componente em geral só é significativo quando ocorrem mudanças meteorológicas inesperadas. Estes métodos de decomposição são bastante úteis, porque é possível atribuir aos componentes uma interpretação física, o que permite aos operadores do sistema entenderem melhor o comportamento da série, e permite aos agentes do mercado entenderem melhor os mecanismos causadores da volatilidade.

Na década de 90, a grande presença dos sistemas inteligentes é marcante. Os modelos são baseados em rede neural (Hsu & Yang, 1991; Neto et al 1997; Khotanzad et al 1997 e 1998; Hippert, 2001), lógica nebulosa (Hsu & Ho, 1992), sistemas neuro-nebulosos (El-Sharkawi, 1997) e modelagem estatística combinada com uma ou com algumas dessas técnicas (Lourenço, 1998).

Parte dos artigos investigados se interessava por previsões pontuais: da carga uma hora à frente, da carga de pico ou da energia total um dia à frente. A outra parte dos artigos tratava do problema mais complexo de previsão: a curva de carga horária para o dia seguinte.

Quatro abordagens diferentes foram mencionadas nos artigos, para possibilitar a previsão da curva de carga horária para o dia seguinte:

- Previsão Iterativa: consiste em prever um valor horário de cada vez e agregar este valor à série de entradas do modelo, de modo que, as previsões para os valores seguintes são baseadas nas previsões anteriores (incerteza crescerá);

- Previsão por meio de curva padrão: Consiste em criar um modelo para o perfil diário e explicar os desvios de carga em relação a este modelo como consequência do efeito de variáveis exógenas;

- Previsão por Modelos em Paralelo: Consiste em modelar perfil por meio de conjuntos de modelos similares em paralelo (um modelo para cada hora do dia). Uma desvantagem desta abordagem é a de que, por considerar cada hora em separado, os modelos não exploram suficientemente a autocorrelação entre as cargas em diferentes horas do perfil.

- Previsão por modelo único (saída multivariada): Consiste em usar um modelo único com 24 saídas, cada uma responsável pela previsão do perfil diário e as entradas do modelo em geral incluem todas as cargas do perfil do dia antes da previsão. Esta última forma pode apresentar melhor desempenho, que um modelo para cada hora, já que leva em conta a dependência serial entre os dados.

## 2.2. Trabalho em Potência Reativa

Destacam-se alguns trabalhos voltados para a otimização e custo da potência reativa do sistema, tais como: Sharif et al, 1996; Bhagwan & Patvardhan, 2001; El-Sayed, 1998; Mornoh & Zhu, 1999; Daí et al, 2001; Abreu & Vilela, 2001; Jardini & Casolari, 2002; Silva, 1999; Hao & Papalexopoulos, 1997; Lamont & Fu, 1999; Warner & Misra, 1998.

Dentre os trabalhos utilizados para a previsão de demanda reativa a curto-prazo destacam-se:

- Velasco (1981) – São Empregados dois estimadores diferentes (Estimador Linear de Primeira Ordem e Estimador com Interpolação) para previsão de reativos, derivados de outros estimadores já utilizados no campo da previsão de potência ativa. É adotado que, em ambos os casos, a potência reativa em um dado instante depende apenas dela em instantes anteriores, não levando em consideração quaisquer outros fatores como condições climáticas, etc. O Estimador Linear de Primeira Ordem determina as estimativas futuras usando unicamente informações estatísticas obtidas a partir de dados históricos passados, e tem como base a suposição de correlação no padrão de geração de reativos no sistema em certos intervalos cíclicos. O Estimador com Interpolação se baseia no fato que a potência reativa em um instante particular qualquer é função, não só da potência reativa no instante imediatamente anterior, mas também em instantes anteriores, o que equivale supor que a potência reativa segue um modelo de série temporal. As previsões foram horária, diária e semanal.
- Bezerra (1988) – Este estudo tem uma abordagem para o problema da previsão “*on line*” do estado de operação de um sistema de energia elétrica caracterizado pelas injeções nodais de potências ativa e reativa em todas as barras do sistema. Ele desenvolve um modelo estocástico para as cargas ativas nodais a partir de dados históricos usando o procedimento de Box & Jenkins e gera o vetor de previsão das cargas ativas nodais em tempo real. Simultaneamente, um filtro de Kalman Adaptativo é utilizado para a obtenção das previsões dos fatores de potência, e em seguida calculam-se as previsões de cargas reativas. Esses dois procedimentos são

então combinados usando-se a regra de despacho do sistema e um programa de fluxo de potência “*on line*” para a obtenção das previsões das injeções nodais de potências ativa e reativa.

- Lima et al (1997) – Este estudo apresenta um emprego da metodologia desenvolvida por Bezerra (1988) no Centro de Operação Regional de Belém, Eletronorte, utilizando uma versão multinodal das técnicas desenvolvidas por Box & Jenkins. Os processos relatados seguem os passos do ciclo PDCA (PLAN-planejamento, DO-execução, CHECK-verificação, ACTION-ação corretiva).
- Bezerra (2002) - Este estudo apresenta um modelo de previsão de curto-prazo para cargas reativas horárias que é uma extensão do método desenvolvido por P. C. Gupta (1972 e 1966) combinando idéias e procedimentos de duas abordagens: o método de amortecimento exponencial e o modelo de Box & Jenkins. O resultado foi comparado com uma rede neural *backpropagation*. Foi feita ainda uma comparação entre a previsão feita com dados históricos reais e os dados históricos calculados a partir da relação entre as cargas ativa, reativa e o fator potência. Este último foi considerado fixo para os níveis leve, médio e pesado.

Os trabalhos desenvolvidos por Velasco (1981) e Bezerra (2002) são modelados somente pelos dados históricos da potência reativa. Porém, a carga reativa não apresenta um comportamento estatisticamente bem definido como a carga ativa. Isso se deve ao fato de que em muitas barras a carga reativa é composta não somente pelo somatório de cargas individuais (equipamentos), mas também pode incluir as próprias redes de sub-transmissão e distribuição de energia, bem como os equipamentos de suporte de reativos (capacitores, reatores, compensadores síncronos, etc..) os quais são colocados e retirados de serviço a medida que o sistema necessite de compensação reativa para manter o perfil de tensão dentro dos limites estabelecidos.

Os trabalhos de Bezerra (1988) e Lima (1997) apresentaram erros considerados grandes (na ordem de 8%) na previsão de reativos em todos os casos. Isto se deve ao fato do método indireto de previsão de carga reativa utilizados por eles. Ou seja, a previsão da carga reativa decorre da previsão da

carga ativa e da previsão do fator de potência. Mas, para a finalidade a que se propunham as aplicações dos trabalhos, os resultados foram considerados aceitáveis.

Visto isto, o objetivo deste trabalho é tentar reduzir ao máximo os erros de previsão da carga reativa, apesar de também utilizar a relação ativa e reativa.