

1 Introdução

1.1. Motivação

Desde os grandes motores industriais até os equipamentos eletrodomésticos, todos são projetados e construídos para funcionar dentro de certas faixas de tensão, fora das quais podem apresentar comportamento não satisfatório ou até mesmo se danificarem. Em virtude disso é imprescindível o estabelecimento dos níveis de tensão de energia elétrica a serem observados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica.

Tais níveis de tensão, regulamentados pela ANEEL [ANEEL, 1990], impõem a todos os setores relacionados à operação dos sistemas elétricos (planejamento / pré-operação, operação em tempo real e pós-operação) o atendimento de diversas regras, garantindo a realização adequada da operação.

Na fase de planejamento / pré-operação, são definidas as diretrizes e instruções de operação do sistema elétrico através dos estudos elétricos / energéticos, os quais utilizam casos de referência contendo dados passados ou previstos. Estes estudos têm como objetivo identificar possíveis problemas, como, por exemplo, carregamento em equipamentos acima do valor limite e sobre tensões, e corrigi-los para que não ocorram em tempo real. Caso tais problemas não possam ser sanados nesta fase, medidas operativas são informadas previamente para o setor de operação em tempo real, ficando este responsável em adotá-las.

A pós-operação existe para realimentar as demais fases, realizando análises e indicando falhas nos processos e possíveis soluções. Nesta fase, além dos cálculos dos índices de desempenho e qualidade do sistema elétrico, são apurados os desvios do que foi programado pelo planejamento / pré-operação em relação ao verificado em tempo real.

A fase de operação em tempo real é subsidiada pelas diretrizes da fase de planejamento / pré-operação e realimentada pela pós-operação. Além da importante função do restabelecimento do sistema elétrico após a ocorrência de falhas e desligamentos de linhas de transmissão do mesmo, a operação em tempo real é fundamental para o atendimento dos requisitos de qualidade, uma vez que os estudos elétricos são realizados utilizando-se dados aproximados, cabendo aos operadores, em tempo real, a realização dos ajustes necessários para garantir que o programado seja realizado. Tais ajustes ou controles são, dentro do possível, realizados de forma preventiva, evitando operar o sistema elétrico em condições extremas.

Um exemplo clássico do exposto no parágrafo anterior é a tarefa contínua do controle de tensão, sujeita às alterações da carga. Os casos de referência do planejamento procuram representar as condições mais severas de carga representadas pelos períodos de carga leve (período de menor demanda de energia elétrica, de 00h às 07h), de carga média (período de transição entre a carga leve e a pesada, de 07h às 17h e de 22h às 24h) e de carga pesada (período de maior demanda de energia elétrica, de 17h às 22h) [ONS, 2007]. Porém, além desses casos de referência utilizarem dados previstos e sofrerem atualizações quinzenais, não levam em consideração as alterações que ocorrem a todo o momento, observando apenas um ponto de operação (o mais severo) para cada um destes períodos. As alterações na carga, em tempo real, ocorrem continuamente, uma vez que esta é definida basicamente pelo comportamento das pessoas e pelos processos industriais.

Embora a carga varie continuamente, ela apresenta um comportamento cíclico, variando entre a condição de carga leve, passando por um período de carga média até alcançar a carga pesada. Após o término do período de carga pesada ocorrerá novamente um período de carga média, terminando o ciclo. Na Figura 1 é apresentada a curva de carga do Brasil em um dia útil.

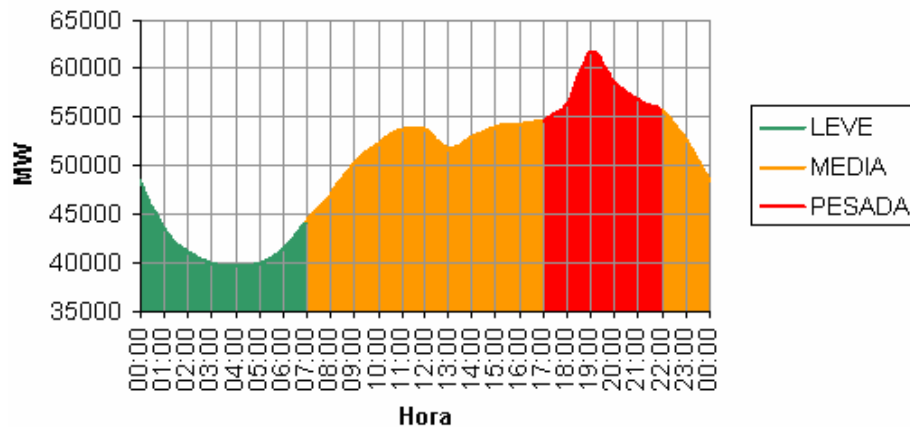


Figura 1 – Curva de carga no Brasil em um dia útil

O atendimento à carga do Brasil é realizado pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), o Sistema Elétrico de Potência (SEP) brasileiro. Um SEP é formado por três componentes principais: Usinas, Sistema de Transmissão e Sistema de Distribuição [STEVENSON, 1975]

As Usinas, através de suas unidades geradoras, geram a energia elétrica demandada pela carga. Esta energia é entregue, com valores de tensões superiores a 138 kV, ao Sistema de Transmissão, composto por linhas de transmissão e subestações. As linhas de transmissão conectam as Usinas às subestações do Sistema de Transmissão e estas ao Sistema de Distribuição. No Sistema de Distribuição as tensões são reduzidas para valores inferiores a 138 kV nas suas subestações, de forma a atender o consumidor final.

As variações de carga causam a variação dos valores de tensão dos barramentos das subestações do SEP. O aumento da demanda de energia elétrica em um sistema elétrico causa a redução das tensões de seus barramentos e em caso contrário, a elevação. Para garantir a qualidade da tensão fornecida aos consumidores, os operadores de sistema elétrico agem nos equipamentos de controle de tensão (ECT) presentes nas subestações com o intuito de mantê-la e/ou retorná-la aos valores permitidos [ONS, 2007].

Atualmente o controle de tensão do SIN é realizado pelas equipes de operadores de tempo real dos Centros de Operação presentes neste Sistema Elétrico de Potência SEP. O operador realiza este controle com base em diversas informações, tais como:

- ✓ valores atuais e tendências das grandezas elétricas (na maioria das vezes tensões, em kV, e potências reativas, em *Mvar*);

- ✓ topologia do sistema (se o SEP apresenta condições diferentes do programado e quantos e quais equipamentos estão disponíveis para uso);
- ✓ período de carga (mínima / leve, média ou pesada);
- ✓ influências dos ECT (valor da variação do valor de tensão dos barramentos em virtude da manobra do ECT);
- ✓ diretrizes do planejamento / pré-operação;
- ✓ características de cada região ou subsistema do SEP de modo a realizar o controle de tensão de forma preventiva, uma vez que cargas de regiões próximas podem apresentar comportamentos distintos (uma região com comportamento predominantemente comercial - maior demanda no período de carga pesada - próxima a outra com característica industrial - maior demanda no período de carga mínima/leve), enquanto que regiões distantes podem apresentar cargas com comportamentos equivalentes;
- ✓ influências entre subsistemas (uma ação em um dado subsistema pode prejudicar ou contribuir na operação de outro); e
- ✓ suas experiências passadas.

Deste modo, o controle de tensão depende, fundamentalmente, da interpretação destes diversos dados por um especialista, o operador de tempo real. O tempo necessário para a formação de um operador é de um a dois anos; durante este período o operador em treinamento acompanha as ações de um operador mais experiente, aprendendo as diretrizes da operação em tempo real e as relações entre as influências das manobras dos ECT e as grandezas elétricas das diversas regiões e subsistemas do SIN. Alcançando a metade do período de treinamento o operador já está apto para atuar de forma supervisionada, sugerindo e realizando ações. Após esta última fase o operador já realiza o controle de tensão por si só.

Os operadores, para a realização do controle de tensão, não possuem um sistema que os auxilie no processo de decisão. A existência de tal sistema de apoio à decisão reduziria bastante o tempo de treinamento, além de contribuir com a redução do tempo de tomada de decisão, uma vez que este sugere ao operador como e quando realizar uma manobra para o controle de tensão.

Além de auxiliar os operadores, o sistema também pode ser usado em treinamentos de outras pessoas (técnicos ou engenheiros) que estejam ligadas ao assunto do controle de tensão.

1.2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de apoio à decisão que auxilie o operador de tempo real na determinação de como e onde agir durante a realização da tarefa contínua do controle de tensão. Este trabalho, motivado pela não linearidade das variáveis relacionadas ao problema, utiliza um sistema baseado na técnica de Redes Neurais Artificiais (RNA).

1.3. Descrição do Trabalho

Este trabalho foi realizado em cinco etapas principais: pesquisa bibliográfica; modelagem e desenvolvimento do sistema de apoio à decisão; obtenção de uma base de dados históricos; análise e pré-processamento da base de dados; testes e análise de desempenho. Essas etapas são descritas de forma resumida a seguir.

Pesquisa bibliográfica – nesta primeira etapa foi realizada a pesquisa de material bibliográfico ligado aos assuntos de controle de tensão em tempo real e à utilização de técnicas de inteligência computacional, como RNA e Lógica *Fuzzy*, em sistemas elétricos de potência.

Definição e desenvolvimento do modelo do sistema de apoio à decisão – De forma a determinar a melhor modelagem para o sistema de apoio à decisão, foram desenvolvidos três modelos diferentes, todos baseados em redes neurais, as quais indicam para o operador se algum ECT deverá ser manobrado ou não. Essas modelagens se diferenciam em função do uso de uma única rede ou de múltiplas redes neurais para cada um dos ECTs.

Definição e obtenção do banco de dados históricos – de forma a avaliar os modelos propostos de controle de tensão, os dados foram obtidos de um histórico real, evitando, assim, a utilização de dados simulados ou previstos. Nesta etapa foi criado o banco de dados históricos com as informações utilizadas pelos

operadores durante as ações de controle de tensão de uma área do SIN, eliminando-se os padrões com informações inválidas.

Pré-processamento dos dados – de posse do banco de dados, para utilização dos mesmos na RNA, os padrões de entrada foram normalizados entre 0 e 1 e associados à classe de saída correspondente (Ligar / Elevar, Desligar / Reduzir ou Não manobrar).

Testes e análises de desempenho – Nesta última etapa foram realizados testes para verificar o percentual de acerto de cada modelagem, com o objetivo de indicar a mais adequada ao procedimento de controle de tensão.

1.4. Organização do Trabalho

Esta dissertação está dividida em quatro capítulos adicionais, descritos a seguir.

O Capítulo 2 apresenta o estado da arte do controle de tensão, descrevendo de que forma um operador pode controlar a tensão em tempo real. Além disso, o capítulo apresenta um pequeno resumo sobre a utilização de técnicas inteligentes nos SEPs.

O Capítulo 3 apresenta o sistema de apoio à decisão ao controle de tensão (SADECT), descrevendo em detalhes as diferentes modelagens propostas neste trabalho.

O Capítulo 4 detalha a base de dados utilizada, o ambiente de teste, os resultados de cada modelo proposto e apresenta uma discussão final de todos os resultados obtidos.

Finalmente, o Capítulo 5 traz as conclusões do trabalho e identifica possíveis trabalhos futuros.