



XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Ricardo Haus Guembarovski	Jefferson Kessin Geraldi	Jose Leomar Todesco
CELESC Distribuição S.A.	CELESC Distribuição S.A.	Universidade Federal de Santa Catarina
ricardohg@celesc.com.br	jeffegeraldi@gmail.com	tite@egc.ufsc.br

Gestão da Distribuição Secundária de Energia Elétrica utilizando um Sistema de Conhecimento

Palavras-chave

Circuitos de Baixa Tensão
Gestão da Distribuição de Energia
Sistema de Conhecimento

Resumo

Para o gerenciamento eficiente da rede de distribuição de energia, os especialistas geralmente tratam uma diversidade bastante grande de variáveis, muitas das quais são lingüísticas, mais adequadas no tratamento de sistemas fortemente influenciados pela experiência, percepção e raciocínio humano. O tratamento adequado de tais sistemas deve levar em consideração os fatores humanos, os quais mal definidos, ambíguos e imprecisos. Um sistema para apoiar a gestão da distribuição de energia elétrica está sujeito aos fatores humanos anteriormente citados, o que faz com que seja muito difícil de ser modelado através de uma ferramenta matemática. No entanto, este problema é resolvido pelos especialistas de forma adequada, em função da experiência acumulada e do tratamento adequado dos fatores que influenciam no problema, como recursos limitados ou inexistentes. O presente artigo apresenta um sistema de conhecimento desenvolvido para capturar o conhecimento dos especialistas da área de distribuição de energia de baixa tensão, considerando os problemas frequentemente abordados por eles, bem como as variáveis associadas, seus domínios e as ações mais adequadas aos problemas. A resolução de conflito das regras e o motor de inferência empregado são discutidos no artigo. Após alguns testes o sistema se mostrou satisfatório frente às situações apresentadas.

1. Introdução

As empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil estão, cada vez mais, preocupadas com a evolução de seus serviços. O fator motivador é o nível de competitividade crescente, e o fator condicionante é a sobrevivência da empresa no mercado. Os investimentos em redes de distribuição secundária representam uma parcela significativa dos orçamentos anuais das empresas de distribuição de energia elétrica, além de lidar diretamente com o consumidor e em decorrência com a imagem da empresa na sociedade. Soma-se a

isto, gastos devido a redução de vida útil dos equipamentos e multas relacionadas à violação dos níveis de tensão (volts) ao consumidor, impondo às concessionárias necessidades crescentes de melhorias, visando a eficiência do sistema de distribuição.

Um dos principais fatores diferenciais no posicionamento de mercado das organizações será o descobrimento de oportunidades de alto retorno e no apontamento de soluções para problemas operacionais e estratégicos em rápido espaço de tempo. Diversas organizações têm alcançado diferenciais competitivos através da formalização do conhecimento de seus técnicos e especialistas através de sistemas computacionais de apoio a decisão. Esta atividade vem ao encontro da Gestão do Conhecimento nas organizações.

Na CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina), os parâmetros técnicos e não técnicos referentes à distribuição secundária de energia estão armazenados nos sistemas computacionais da empresa. Estas informações estão organizadas num banco de dados relacional, podendo subsidiar a implementação de técnicas computacionais, como as de Inteligência Artificial, visando a eficiência dos processos correlatos a melhoria do sistema secundário de distribuição.

A configuração da rede de distribuição pode ser bem determinada através de sistemas de cadastros mantidos nos sistemas operacionais da empresa, e que são cuidadosamente atualizados conforme processos implementados nas áreas fins, através do controle e fiscalização das intervenções no sistema de distribuição, como por exemplo às novas obras. Por outro lado, o comportamento dos consumidores é altamente variável e diversificado, o consumo varia segundo as estações do ano, segundo o perfil de sua atividade (residencial, comercial e industrial), segundo a renda dos consumidores, sua distribuição geográfica, entre outros fatores. Aliado a estes parâmetros não técnicos, ainda existe uma combinação de parâmetros técnicos associados aos transformadores, circuitos e consumidores, estabelecendo aos especialistas uma situação de análise complexa, dificultando sobremaneira a identificação das soluções mais viáveis, tendo em vista a melhora da qualidade de fornecimento, otimização dos recursos e a minimização dos investimentos.

O presente artigo, apresenta um sistema de conhecimento desenvolvido para capturar o conhecimento dos especialistas da área de distribuição de energia de baixa tensão, levantando os vários problemas frequentemente abordados pelos mesmos, bem como as variáveis associadas a estes problemas, seus domínios, assim como as soluções mais adequadas aos diversos problemas apresentados. O levantamento dos problemas, variáveis e soluções foram efetuados através de sessões coordenadas com os especialistas da área. O sistema de conhecimento é utilizado como apoio a soluções da gestão da rede secundária, e para formalizar os procedimentos efetuados pelos diversos especialistas técnicos.

2. Desenvolvimento

1. Gerência de Redes de Baixa Tensão

Em face da crescente competitividade e dos critérios de qualidade e de formulação de preço impostos pela agência de regulação do setor (ANEEL), as empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil são forçadas a buscarem alternativas para a melhoria do processo de gestão dos circuitos de alta e baixa tensão.

Para o gerenciamento eficiente da rede de distribuição de energia, os especialistas geralmente tratam uma grande diversidade de variáveis, problemas e diversas soluções, para um plano de gestão da distribuição de energia elétrica. Outro fator que interfere no processo de gestão é a dificuldade no acesso às informações necessárias ao processo decisório. Normalmente os dados que deveriam subsidiar o processo de gestão estão espalhados em vários sistemas computacionais em formatos diferentes, dificultando ou inviabilizando o acesso.

As concessionárias de distribuição de energia elétrica, enfrentam dificuldades quanto à tomada de decisão,

visando a adequação do circuito secundário de distribuição. Frequentemente, ocorrem interrupções devido a sobrecarga imposta aos circuitos e transformadores assim como problemas de tensão, devido ao crescimento vegetativo e a ausência de ferramentas eficazes de gestão. Neste contexto, as obras ou intervenções na rede de distribuição visam aumentar a eficiência da rede, garantindo a qualidade de fornecimento. São obras de competência das áreas de engenharia, tais como equilíbrio das cargas, deslocamento do transformador, acréscimo de fases, etc. São obras obrigatórias e deve preceder impreterivelmente qualquer outra, tendo em vista as obrigações contratuais firmadas junto a ANEEL.

Outro fator complicador na gestão da distribuição de energia elétrica são os recursos limitados e os investimentos essenciais de expansão de linhas e remanejamento de equipamentos. É preciso oferecer aos gestores de redes ferramentas que possam apresentar todas as informações necessárias e que possam identificar conhecimento útil para a gestão a partir de uma análise automatizada dos dados mantidos nos sistemas computacionais das concessionárias.

A identificação da solução viável frente aos problemas do sistema secundário, realiza-se através de um processo contínuo, e acontece de forma não sistemática e padronizada, com muitas confrontações e interações entre as preferências dos especialistas, impondo às concessionárias o desperdício de tempo e recursos, devido a ausência de um procedimento formal.

A pesquisa proposta visa implementar um sistema baseado nas experiências dos técnicos especialistas da área, para o apoio a decisão, quanto às intervenções a serem realizadas no sistema secundário, tendo em vista o estado atual dos circuitos. O conhecimento dos especialistas das situações, ou seja, os parâmetros técnicos e os vários casos ocorridos e as soluções já enfrentadas são os maiores meios para a solução de novos problemas. Portanto, o sistema identifica qual a ação ou quais as ações necessárias à melhoria do sistema dadas as características do problema.

2. Introdução aos Sistemas de Conhecimento

Em resumo podemos afirmar que os Sistemas de Conhecimento (SC) são técnicas de Inteligência Artificial desenvolvida para resolver problemas em um determinado domínio cujo conhecimento utilizado é obtido de pessoas que são especialistas naquele domínio.

A especialização requerida por estes sistemas é definida como consistindo do conhecimento sobre um domínio específico, bem como da compreensão do domínio do problema e habilidade para resolver alguns destes problemas. O conhecimento é definido como: “informação armazenada, ou os modelos usados pela pessoa ou máquina para interpretar, predizer e responder apropriadamente ao mundo exterior. “

O SC é composto basicamente por três componentes: base de conhecimento, motor de inferência e quadro negro, conforme pode ser visto na Figura 1.

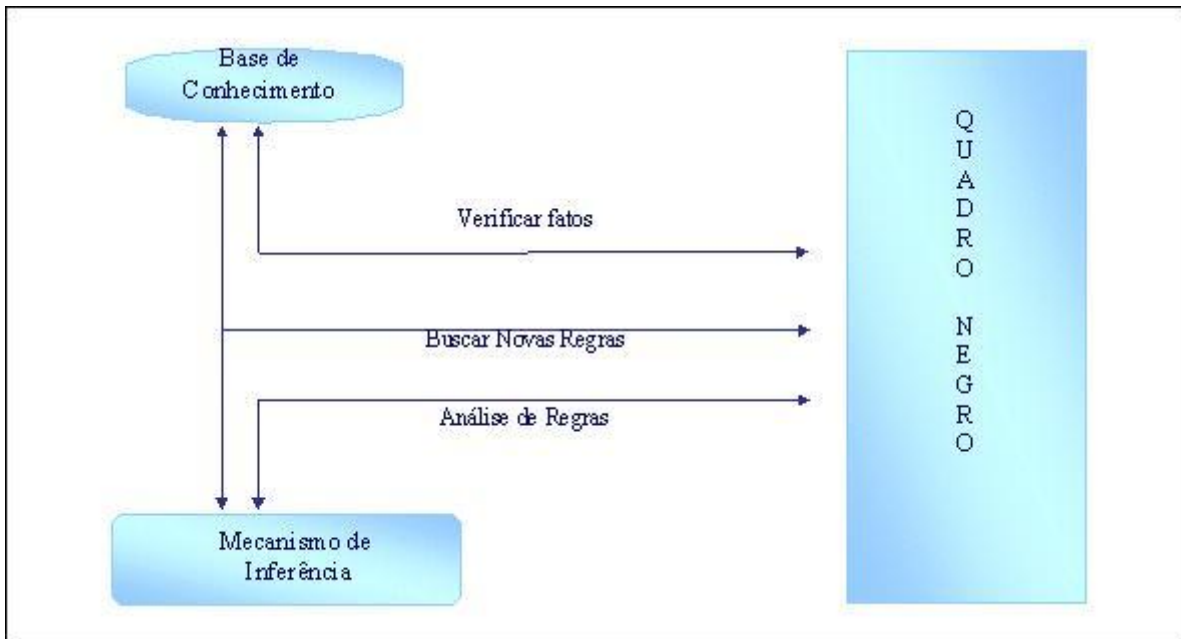


Figura 1 – Componentes básicos de um SE

A base de conhecimento (BC) é o elemento que armazena o conhecimento abstrato. Normalmente, a BC é conhecida como base de regras onde o conhecimento abstrato é armazenado em um conjunto de regras de produção do tipo :

Se (situação) Então (conclusão ou ação).

A BC é onde estão armazenadas as informações de um sistema especialista, ou seja os fatos e as regras. Um novo fato pode modificar todo um processo de inferência de acordo com as regras utilizadas sobre ele , e também pelos novos fatos que podem ser gerados a partir da avaliação dessas regras. As informações armazenadas de um determinado domínio fazem do sistema um especialista neste domínio.

A memória de trabalho (MT) ou quadro negro é o elemento que armazena o conhecimento concreto, ou seja, o conhecimento que pode ser considerado fato antes do processo de inferência. Esta memória é de caráter transitório pois, novos fatos estão sendo acrescentados continuamente ou fatos existentes são apagados. É uma área de memória usada para fazer avaliações das regras que são recuperadas da base de conhecimento para se chegar a uma solução.

O mecanismo de inferências (MI) é o processador ou interpretador de conhecimento, sendo considerado o coração do SC . Este é responsável por buscar, selecionar e avaliar as regras que foram pegadas na base de conhecimento. A sua principal função é combinar o conhecimento abstrato contido na base de regras, com o conhecimento concreto armazenado na base de fatos, inferindo conclusões e gerando novos fatos.

3. Aplicação de um Sistema de Conhecimento Para Apoiar na Gestão de Redes de Distribuição

A. Introdução

Para o gerenciamento eficiente da rede de distribuição de energia, devem-se considerar dados disponíveis em diversos sistemas computacionais que dão suporte às atividades operacionais do dia-a-dia das empresas concessionárias.

Neste sentido, identificou-se primeiramente os vários problemas envolvidos na manutenção e distribuição de energia elétrica de BT, ou seja, a gestão da distribuição, classificando-os segundo sua origem e particularidades.

Para tal, foi necessário levantar as variáveis envolvidas em cada uma dos problemas, para identificar e construir o domínio de cada um dos problemas. As variáveis levantadas são endógenas e exógenas, ou seja, variáveis que atuam diretamente no problema e àquelas que estão no ambiente do problema.

O domínio de cada uma das variáveis foi determinado com a participação efetiva dos especialistas. O sistema em uma das suas etapas, realizou a aquisição do conhecimento dos especialistas da área de manutenção e distribuição de energia elétrica em redes de BT, para que o mesmo pudesse ser representado em uma forma lógica e que posteriormente possa ser recuperado em uma maneira eficiente para a solução de problemas. A Figura 2 apresenta uma visão esquemática da abordagem usada na pesquisa.

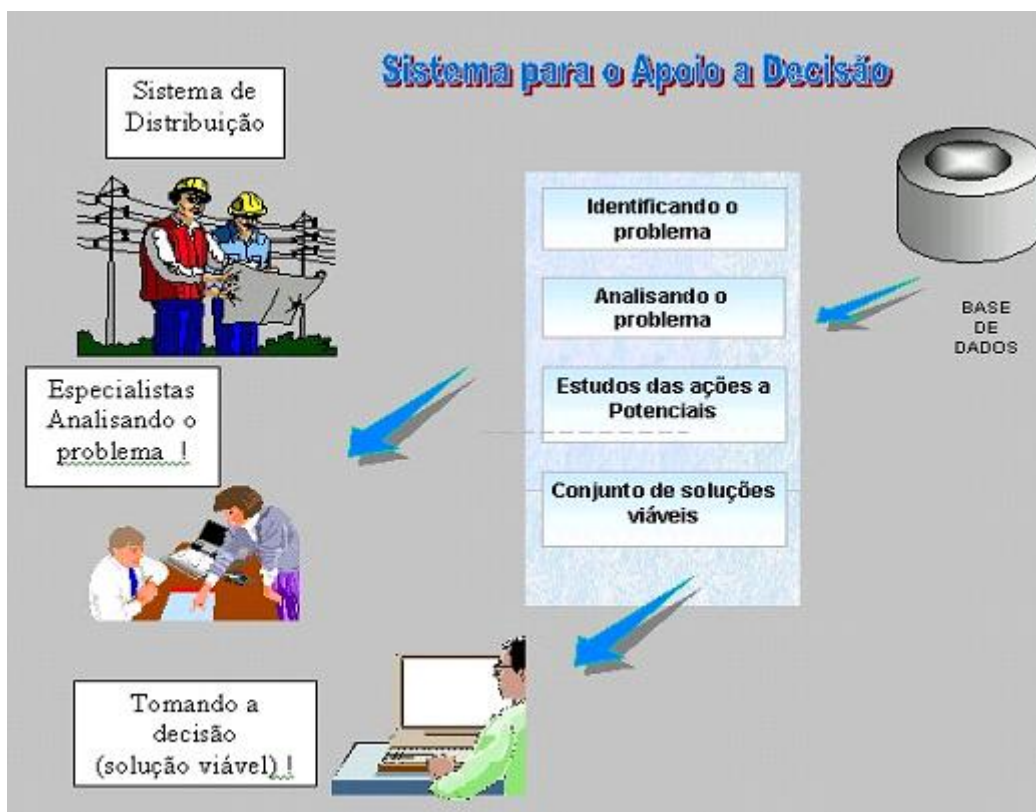


Figura 2 – Visão esquemática da organização do SE

A. Componentes identificados para tratamento no SC

Para a concepção do SC desenvolvido para a gestão das redes secundárias, o primeiro passo foi identificar os vários problemas envolvidos na manutenção e distribuição de energia elétrica de baixa tensão, ou seja, a gestão da distribuição, classificando-os segundo sua origem e particularidades.

Para tal, foi necessário levantar as variáveis envolvidas em cada uma dos problemas, para identificar e construir o domínio de cada um dos problemas. As variáveis levantadas são endógenas e exógenas, ou seja, variáveis que atuam diretamente no problema e àquelas que estão no ambiente do problema.

A partir da identificação dos potenciais problemas relacionados a gestão da distribuição de energia de baixa tensão, e da análise dos circuitos elétricos foram levantadas as soluções viáveis para estes problemas. Todas as possibilidades de análise na obtenção de conhecimento, a partir da aquisição do conhecimento dos técnicos, baseadas nas informações constantes nos sistemas de informação da CELESC foram utilizadas na abordagem do problema.

Para tanto, foi concebida um sistema de conhecimento, denominado Sistema Especialista de Distribuição (SED), onde foi formalizado o conhecimento dos especialistas para apoiar na decisão à gestão da rede de distribuição de baixa tensão.

O problema de gestão de um circuito elétrico de baixa tensão qualquer foi dividido em três sub-problemas, a Figura 3 mostra o diagrama esquemática da arquitetura do SED. Conforme pode ser visto no diagramas, o SED foi dividido em três problemas, ou seja, problema de Carregamento, de Tensão e as Ações Viáveis.

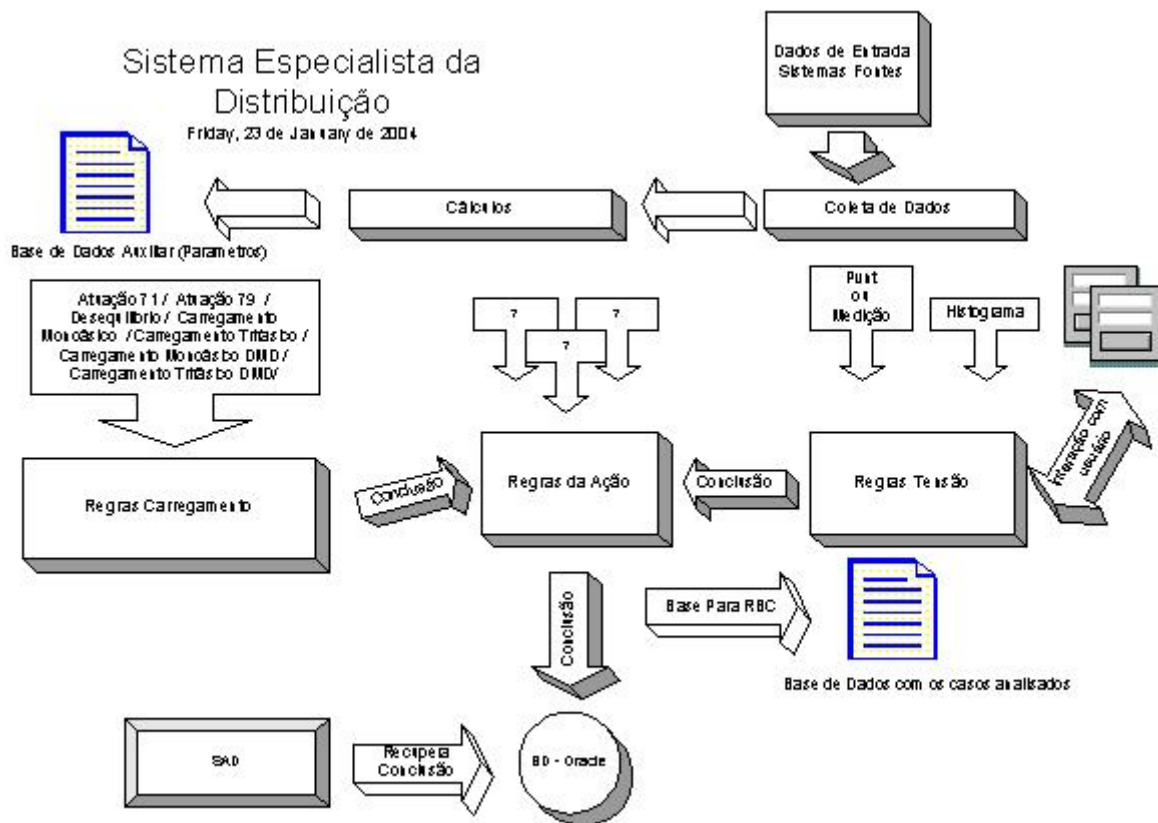


Figura 3 - Diagrama esquemática da arquitetura do SE.

A. Problema de Carregamento

O carregamento é um problema clássico nos circuitos de baixa tensão, sua identificação se dá através da medição ou estimativa através dos parâmetros (variáveis) da rede. Neste sentido, foram identificadas variáveis primitivas (extraídas dos sistemas operativos e do DW de Distribuição da Celesc) e derivadas (cálculos estatísticos) para apoiar a conclusão do carregamento.

A modelagem de dados para as regras foi baseado no esquema estrela, técnica de modelagem utilizado na implementação de Data Marts, ou seja, as premissas e a conclusão das regras são as dimensões e a composição das premissas e a conclusão são os fatos.

A Figura 4 mostra o modelo de dados implementado para as regras de carregamento. Existem 7 tabelas, conhecidas como dimensões na modelagem dimensional, que são as premissas da regra e uma tabela central, conhecida com tabela de fato, sendo a conclusão da regra.

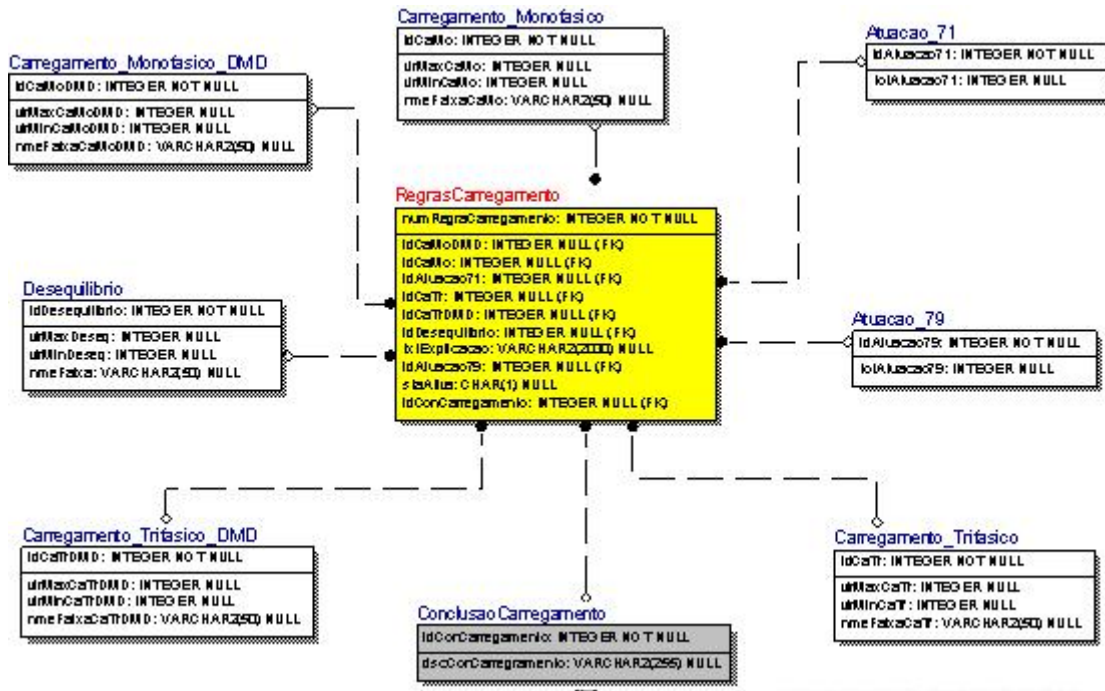


Figura 4 – Modelo dimensional para as regras de carregamento.

Os cálculos das variáveis derivadas para nas regras de carregamento com certeza detêm o maior esforço de implementação do sistema.

O problema de carregamento conta com 436 regras, as quais foram testadas e validadas por especialistas designados para esta tarefa. Estes técnicos não participaram da etapa de aquisição do conhecimento.

A. O Problema de Tensão

A tensão baixa ou alta é outro problema freqüente que deve ser observado nos circuitos de baixa tensão. Também foram utilizadas variáveis primitivas e derivadas para apoiar a análise do circuito quanto a tensão.

Para o problema de tensão há dois procedimentos a serem consideradas, um é a possibilidade de medição no circuito que caracteriza automaticamente o circuito em uma das possíveis faixas (Alta Crítica, Alta Precária; Tensão Baixa Precário, Tensão Baixa Crítica e Adequada).

O outro procedimento é caracterizar a condição de tensão através do Histograma X percentual de trechos D V/faixa e inferir se a tensão encontra-se em uma das faixas: Tensão: Baixa Crítica, Baixa Precária, Baixa e Adequada. Também foi empregado a modelagem dimensional para o problema da tensão. Vale ressaltar que o procedimento Histograma X percentual de trechos DV/faixa foi elaborado pelo grupo deste projeto a partir da quantidade de trechos no circuito por faixas de queda de tensão (0 a 3%, 3 a 5%, 5 a 7.5% e Maior que 7.5%). Com as quantidades, foi utilizado o percentual em cada faixa e construído um histograma e usada uma média ponderada para as faixas, chamando-se o valor da média de centróide. Em função do valor do centróide, o circuito é classificado em uma das faixas acima utilizando-se valores de corte, ou seja, 0 – 150, 150 – 470, 470 – 500 e acima de 500. A Figura 5 mostra um exemplo de histograma de tensão de um circuito.

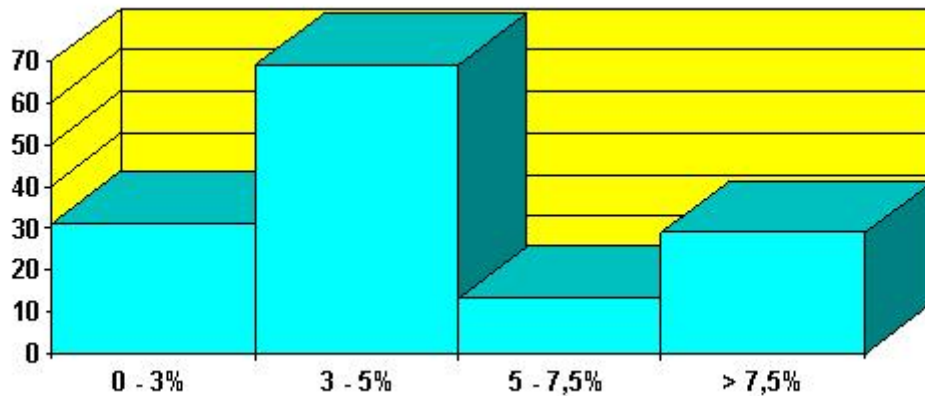


Figura 5 – Histograma de faixa de tensão

A identificação dos valores de corte foram encontrados através da análise exaustiva de uma amostra de dados de medições e seu ajuste e calibração envolveu várias horas de trabalho. Esta análise também auxiliou no sentido de encontrar os valores dos pesos (ponderações) utilizado para cada faixa. Os pesos estabelecidos são: 1,5; 3,0; 6,25 e 12.

A. Ações Viáveis

A partir das conclusões quanto ao carregamento e tensão, e de outras informações importantes a decisão (carregamento dos trechos, acréscimo de fase, centro de carga, taxa de crescimento anual, desequilíbrio no transformador ou barramento, e limite inferior do carregamento trifásico) são elaboradas as potenciais ações para a gestão do circuito. De acordo com o modelo proposto, os dados foram extraídos dos sistemas operacionais da CELESC, passaram por processos de transformação e reestruturação, para então serem usados pelo SC. As variáveis necessárias para os cálculos e os resultados dos vários cálculos ficam também armazenadas na base de dados, assim como os parâmetros de configuração de uso do sistema.

A. Implementação do SC e Resultados

O sistema de conhecimento foi implementado na linguagem Java, usando JSP e HTML, baseado no padrão Model-View-Controller (MVC). A grande vantagem deste padrão é a separação da implementação em três camadas, ou seja, a camada da visão, do controle e do modelo também conhecida como a camada da persistência. Além disso, este padrão distingue muito bem o fluxo da aplicação do modelo de objetos de negócio e da geração da interface do usuário, o que permite fazer uso dos princípios de reusabilidade e manutenibilidade.

O padrão da arquitetura MVC não está diretamente relacionado a aplicações Web, tendo em vista que podemos encontrar diversas aplicações que seguem essa arquitetura e não estão relacionadas com a internet, como é o caso das aplicações desenvolvidas em Smalltalk.

As três camadas do modelo MVC são:

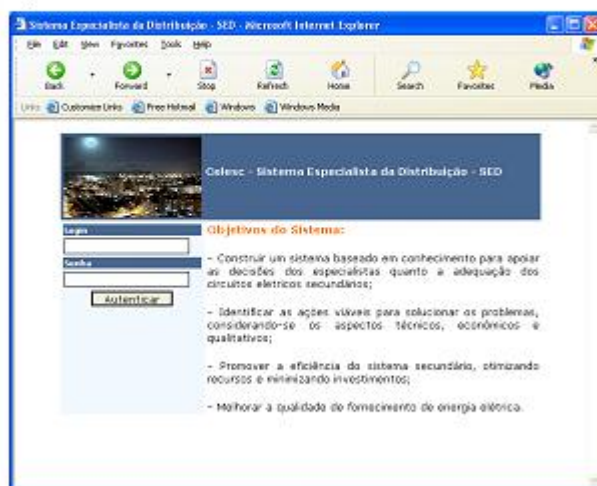
Model: é a camada que compreende todos os objetos de negócio que devem representar a lógica da aplicação, devendo suportar também todos os requisitos e as funcionalidades do sistema;

View: é a camada que interage com o usuário da aplicação, recebendo informações do modelo e apresentando a visão do domínio de negócios;

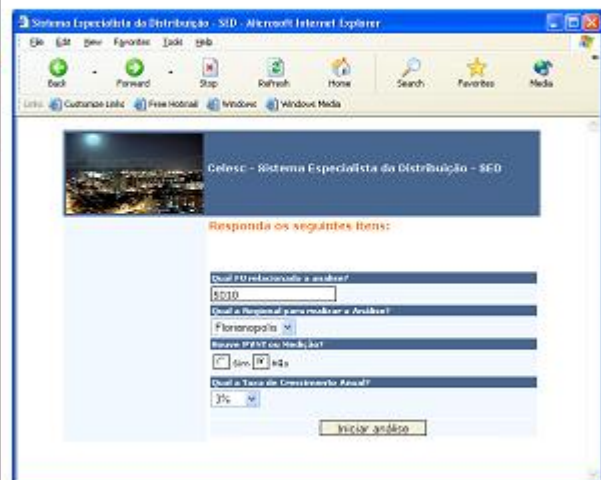
Controller: é a camada responsável por controlar o fluxo e os estados das chamadas do usuário.

A Figura 6 mostra a tela principal do sistema e algumas outras de navegação.

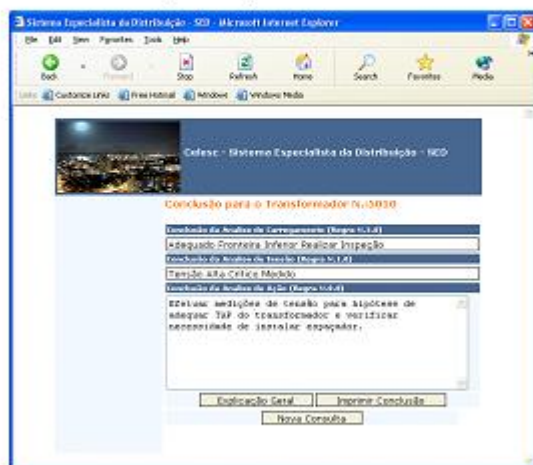
Tela inicial de acesso ao SE. Após digitar o Login e Senha do usuário basta clicar em Autenticar para o usuário ir para a página seguinte. Somente os técnicos cadastrados poderão fazer uso do sistema especialista.



Na janela seguinte, será solicitado o nº de identificação do circuito, a regional do circuito, se houve medição e a taxa de crescimento da região onde se encontra o circuito.



Ao clicar Iniciar Análise na página anterior, é iniciada uma consulta no sistema Gênesis e no DW de Distribuição (variáveis primitivas) e realizado os vários cálculos e apresentado as conclusões do problema de carregamento, de tensão e o conjunto de ações viáveis. Neste momento, também é possível obter explicações para as conclusões, baseadas nas regras disparadas..



As explicações quanto as regras disparadas com os valores calculados e as faixas para cada uma das premissas das regras é apresentado nesta página. Além das faixas das variáveis também é possível obter explicações sobre cada uma das variáveis clicando sobre o nome das mesmas.



Figura 6 - Telas do sistema especialista.

Para a validação das regras de carregamento, tensão e ação foram empregados inicialmente 10 circuitos conhecidos, ou seja, circuitos com valores de variáveis primitivas disponíveis nos sistemas operacionais da empresa com medições e amplo conhecimento dos especialistas. Estes circuitos também foram empregados para a validação dos cálculos. Posteriormente, foram empregados mais 3 circuitos conhecidos para validação final.

No momento, o sistema de conhecimento se encontra em uso no departamento de Operação da Celesc em Florianópolis.

3. Conclusões

Os Sistemas de Conhecimento vêm sendo empregado com sucesso em várias aplicações comerciais, industriais e no setor elétrico.

Neste artigo foram apresentados os aspectos relacionados à implementação de um sistema de conhecimento para apoiar na gestão da distribuição de energia elétrica de baixa tensão, iniciada em um ciclo de pesquisa e desenvolvimento na CELESC. Foram resgatados os elementos teóricos das técnicas utilizadas no desenvolvimento aprimorando consideravelmente e envolvendo os técnicos e especialistas da CELESC no processo de formalização do conhecimento especializado. Alguns resultados se destacam.

No processo de aquisição e representação do conhecimento, novos conhecimentos foram descobertos, destaca-se o uso dos histogramas de faixa de tensão, que possibilitou inferir resultados do circuito a partir da análise da faixa de tensão por trechos. Além disso, as sessões coordenadas possibilitaram a troca de experiências e discussões riquíssimas, aprimorando o conhecimento técnico e possibilitando o consenso.

Outro resultado interessante é a possibilidade de treinar novos técnicos com o uso do SC, principalmente frente a realidade que vive a CELESC com o Plano de Demissão Voluntária (PDI). Este plano tem levado vários técnicos, com larga experiência e conhecimento, a solicitar a aposentadoria, levando consigo este vasto conhecimento. Este é o grande desafio a nova ciência Gestão do Conhecimento, e certamente este projeto foi ao encontro desta possibilidade, ou seja, guardar a memória da organização enquanto gestão da distribuição de energia elétrica de baixa tensão.

4. Referências bibliográficas

BETTIOL, Arlan Luiz; SOUZA, Adriano; TODESCO, José Leomar; TESH JR, José Roberto. Estimation of Critical Clearing Times Using Neural Networks. *IEEE Proceedings On Electric Power Applications*, Bologna, Italia, v. 1, n. 1, p. 392-398, 2003.

BETTIOL, A. L.; TESH JR, J. R.; TODESCO, J. L. Classificação de Contingências para Avaliação de Estabilidade Transitória em Sistemas Elétricos Usando Redes Neurais Artificiais. In: XVI SNPTEE - SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2001, Campinas - São Paulo. XVI SNPTEE. 2001.

DURKIN, John. *Expert System: Design and Development*. Prentice Hall, NJ, 1994.

DABBAGHCHI, I. et al. AI Application Areas in Power Systems. *IEEE Expert*, v. 12, n. 1, p. 58-66, 1997.

ELLER, N. A. *Arquitetura de informação para o gerenciamento de perdas comerciais de energia elétrica*. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

FULLER, J. F.; FUCHS, E. F.; ROESLER, K. J. Influence of harmonics on power distribution system protection. *IEEE Trans. Power Delivery*, v. 3, p. 549-557, Apr. 1988.

FEIGENBAUM, E. A. Knowledge Engineering: The applied Side of Artificial Intelligence, Tech Rep. STAN-CS-80-812 (HPP-8021), Dept. of Computer Sci. Stanford University, 1980.

KLIR, G. J & YUAN, B. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. Prentice Hall, NJ, 1995

SCHALKOFF, Robert. Pattern Recognition: Statistical, Structural and Neural Approaches. John Wiley & Sons, 1992.

TODESCO, J. L.; BETTIOL, A. L.; TESH JR, J. R. Transient Stability Analysis of Power Systems Using Neural Networks. In: VIII SEPOPE, 2001, São Carlos - SP. VIII SEPOPE. 2001.

TODESCO, J. L. S. Um Sistema Especialista para Auxílio na Elaboração de Recomendações para Agricultores no Controle da Sarna da Macieira. Florianópolis, 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC. Orientador: Edgar Augusto Lanzer.
