

Título	Análise Geográfica do Comportamento da Carga no Âmbito do Planejamento de Redes Elétricas de Distribuição
---------------	--

Nº de Registro (Resumen)	175
---------------------------------	-----

Empresa o Entidad
Daimon Engenharia e Sistemas Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – COELBA

Autores del Trabajo		
Nombre	País	e-mail
Fábio Sismoto El Hage	Brasil	fabioseh@daimon.com.br
Cláudio Marcelo Brunoro	Brasil	cbrunoro@daimon.com.br
Rodrigo Carareto	Brasil	carareto@daimon.com.br
Cristiano da Silva Silveira	Brasil	cristiano@daimon.com.br
Paulo Francisco Bruno Júnior	Brasil	jrbruno@daimon.com.br
Aurino Almeida Filho	Brasil	aalmeida@coelba.com.br
Eduardo Silva Almeida	Brasil	esalmeida@coelba.com.br

Palabras Clave
previsão de mercado; planejamento de redes de distribuição; mercado espacial; mapas temáticos

RESUMEN

O software *AGC - Análise Geográfica da Carga* foi desenvolvido com a finalidade de ser uma ferramenta direcionada para estudos de mercado fazendo uso de informações georeferenciadas para alocação espacial da carga, do consumo de energia e de outras informações elétricas obtidas via medição ou cálculo. Com a organização de informações elétricas em séries históricas armazenadas em banco de dados, a aplicação da metodologia direciona-se para a análise do mercado consumidor da distribuidora de energia elétrica COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia), contribuindo para os estudos de planejamento do plano de obras de sua rede de distribuição e para a previsão de demanda e consumo de energia em nível global ou espacial. O modelo é baseado na aquisição de dados externos: valores mensais medidos (curvas de carga diárias em kW e fator de potência por ponto de suprimento e por subestação de distribuição); e dados elétricos georeferenciados (consumo e número de consumidores por classe para cada transformador de distribuição). Quanto ao armazenamento de informações, para as subestações de distribuição e pontos de suprimentos, identifica-se a demanda máxima ocorrida no mês, tanto individual quanto coincidente, além da curva de carga do dia de máxima potência. Para os dados de consumo, as informações são armazenadas de forma agregada por quadriculas. É possível realizar previsões globais ou espaciais de determinada entidade elétrica ou geográfica a partir da construção de uma série histórica. O método de previsão de consumo, demanda máxima e número de consumidores por quadricula, município ou subestação é baseado em modelos ARMAX (*Autoregressive Moving Average with Exogenous Inputs*). Pelo fato do modelo de previsão ter um módulo desenvolvido especificamente para este fim, não é necessário o uso de softwares estatísticos externos.

Introdução

No contexto atual do Setor Elétrico Brasileiro (SEB), o estudo de mercado auxilia na construção da previsão de demanda e de consumo de energia, subsidiando a realização dos mais variados planejamentos deste setor. Dependendo do objetivo a ser atingido, tais planejamentos podem ser realizados com diferentes horizontes: longo, médio ou curto prazo. Geralmente, considera-se como longo prazo horizontes superiores a cinco anos; como médio prazo horizontes anuais; e como curto prazo horizontes mensais ou semanais [1].

Além disso, dependendo dos objetivos almejados pelos agentes responsáveis pelo planejamento, as informações sobre o mercado podem apresentar diferentes níveis de abrangência. As informações podem ser requisitadas em um nível global de abrangência, utilizando-se, por exemplo, dados sintéticos de uma região (país, estado, município, uma área de concessão); ou em um nível espacial de especificidade, com dados detalhados localmente em uma base georeferenciada. Para uma distribuidora, a previsão global de crescimento de consumo de energia da sua área de concessão pode auxiliar, por exemplo, na construção das estratégias necessárias para o estabelecimento de contratos de energia (em quantidade, preço e prazo), de forma a garantir o atendimento de 100% da demanda futura de seu mercado consumidor [2].

Para garantir o funcionamento adequado do Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN), algumas entidades do SEB, como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e Operador Nacional do Sistema (ONS) desenvolvem planejamentos que requerem a previsão da demanda e do consumo de energia do sistema. Para isso, solicitam das distribuidoras informações relevantes provenientes da análise de seu mercado consumidor, por exemplo:

- Estudo de Mercado Decenal: tem como objetivo definir, de acordo com as previsões decenais, as necessidades futuras de geração de energia elétrica e expansão do SEB.
- Estudo de Mercado Quinquenal: busca capturar o comportamento da carga no médio prazo, em um horizonte de quatro anos, com nível de discretização mensal, com o objetivo de subsidiar a realização de estudos de ampliação e reforços da Rede Básica [3].
- Estudo de Mercado Anual, Quadrimestral e Mensal: destinado ao atendimento dos planejamentos anual, quadrimestral e mensal

realizados pelo ONS. A previsão anual visa atender aos estudos relacionados ao planejamento da operação de médio prazo. As previsões quadrimestral e mensal possuem relevância na formulação de estratégias que nortearão o planejamento da operação do SEB [4].

Como há uma distribuição espacial heterogênea de consumidores no território brasileiro, tanto na quantidade de consumidores quanto no perfil de consumo, cada distribuidora deve atuar de acordo com a realidade de seus consumidores, considerando as particularidades do mercado de sua área de concessão. Sendo assim, faz-se necessária a avaliação detalhada dos dados e informações, o que requer a estruturação dos processos de levantamento, tratamento, armazenamento e análise destes dados e informações.

Para um melhor conhecimento do comportamento dos consumidores torna-se relevante a aquisição de dados históricos e informações [5].

Descrição geral

De maneira geral, o AGC busca atender às necessidades da análise geográfica da carga que viabilize estudos voltados para a previsão de mercado em diversos níveis, sendo eles: global, por ponto de suprimento ou subestação de distribuição e espacial. Cada um deles se destina tanto ao atendimento das necessidades externas à distribuidora – por exemplo, envio de informações à EPE, ANEEL e ONS; quanto internas. Neste sentido, de acordo com o nível de previsão, o software AGC visa auxiliar na:

- Previsão global: comercialização (compra e venda) de energia, revisão tarifária e previsão de receita.
- Previsão por ponto de suprimento ou por subestação: atendimento do PAR (Plano de Ampliação e Reforço da Rede Básica) e das necessidades da área de planejamento da rede de distribuição.
- Previsão espacial: atendimento ao PRODIST [2] (Procedimentos da Distribuição) e a estudos internos direcionados à expansão da rede do sistema elétrico de distribuição.

Para isso, o software possui um banco de dados com informações elétricas mensais medidas e faturadas, sendo elas: curvas de carga dos pontos de suprimentos e das subestações de distribuição e dados georeferenciados de consumo de energia e número de consumidores de baixa e média tensão.

Há também informações associadas às entidades elétricas da rede. Estes dados estão

separados por transformador de distribuição MT/BT e transformador particular, e podem ser reagrupados a partir de uma nova unidade elementar. Para o armazenamento de dado em nível espacial, a unidade elementar utilizada é a quadrícula.

Desta forma, torna-se possível analisar geograficamente a carga por quadrícula, por município ou região e, também, por subestação de distribuição.

Metodologia de Previsão de Mercado

Para a distribuidora, a análise do mercado consumidor de energia elétrica envolve, de maneira geral, a previsão do consumo e da demanda de um sistema elétrico associado a uma região geográfica ou a uma entidade elétrica. Estas previsões podem ser realizadas em diferentes intervalos de tempo e horizontes, dependendo do objetivo final do planejamento, atendendo às diferentes necessidades da distribuidora de energia.

A maioria dos modelos relacionados com a previsão de demanda apresenta como ponto de partida uma série histórica da carga do mercado consumidor (ou de uma entidade elétrica ou geográfica), sendo que alguns desses modelos agregam a análise de séries temporais de outras informações para a realização da previsão. Segundo [6], estes modelos de previsão que incorporam especificamente o tratamento de séries temporais – denominados modelos estatísticos pelo autor – podem ser classificados em duas categorias: univariados e multivariados. Além deles, a previsão pode-se valer de outras categorias de modelos, como por exemplo: de julgamento, consulta e outros.

Para aplicação no software AGC, optou-se pelos modelos ARMAX [7]: modelos multivariados de previsão com base em dados de séries de tempo. Estes modelos têm bom desempenho em explicar relações de simultaneidade entre fenômenos.

Os modelos ARMAX (*Autoregressive Moving Average with Exogenous inputs*) são extensões dos modelos ARMA (ou Box-Jenkins), uma vez que consideram a possibilidade de inclusão de variáveis exógenas como regressores.

Módulos do AGC

De uma forma geral, os seguintes processos/módulos computacionais estão presentes no AGC:

A. *Importação de dados*: destinado à aquisição (extração) dos dados brutos necessários para a análise geográfica da carga. Para isso, faz-se necessário que o usuário informe o tipo de dado a ser importado, o formato do arquivo (extensão) e o local (diretório). Para preservar a eficiência da

ferramenta de extração, esses dados devem ser disponibilizados de acordo com o padrão determinado pela especificação do protocolo de dados a serem importados. O módulo de importação realizará a varredura dos dados brutos, verificando a eventual duplicidade, bem como a existência prévia dos dados no banco para, em seguida, importá-los.

Os dados importados são divididos em dois grupos: 1) dados provenientes de medições de curva de carga [8] e 2) dados provenientes de medições de consumo de energia de clientes de baixa e média tensão (BT/MT).

A separação em dois grupos se justifica tanto pela diferença do tipo de dado importado quanto pela forma de importação. Além disso, a metodologia associada às lógicas existentes nos processos de tratamento e armazenamento dos dados e estudos de previsão também são distintas. Entretanto, independentemente do grupo de dados, os mesmos são importados e, posteriormente, armazenados em uma base temporal mensal.

B. *Tratamento dos dados*: destinado a testar a consistência dos dados e podendo ser executado concomitantemente com o módulo de importação. Segundo critérios pré-estabelecidos testa-se a consistência e adequação dos dados, podendo estes serem modificados automaticamente ou por intermédio do usuário. Após seu tratamento, os dados são processados para obtenção de informações adicionais para a análise geográfica de carga.

C. *Visualização de dados*: destinado à visualização das informações que estão armazenadas no banco de dados. Pode ser feita por meio de tabelas, gráficos e mapas temáticos georeferenciados, gerados a partir de filtros de pesquisa.

Com todas as informações armazenadas na base de dados, é possível construir um histórico contendo a evolução do mercado consumidor da COELBA, podendo os mesmos serem visualizados por entidade elétrica e geográfica.

- Informações mensais: consumo de energia total e por classe de consumo; curva de carga; perda global; perda na subtransmissão; comparação entre curvas de carga medidas e obtidas via cálculo.
- Informações de históricos: as informações mensais podem ser visualizadas na forma de históricos. Além disso, aproveitando o histórico

de dados, torna-se possível calcular taxas de crescimento (porcentuais) e variações (absolutas) que podem mostrar a evolução dinâmica dos dados, entre uma data inicial e uma final, como por exemplo: crescimento do consumo de energia total e por classe de consumo; crescimento de consumidores total e por classe de consumo; crescimento de demanda máxima.

- Informações de estudos de previsão de mercado: previsão de consumo de energia; previsão de demanda máxima; previsão de número de consumidores.

Com os dados históricos e previstos estruturados espacialmente, também é possível visualizar densidades de carga; densidades de crescimento; indicações de migração; previsões em regiões por classe de consumo e outros.

Dependendo da informação a ser visualizada, sua agregação é realizada da seguinte forma:

- Por entidade geográfica: quadrícula, município, região, área da distribuidora.
- Por entidade elétrica: subestação de distribuição, regional elétrica, ponto de suprimento.

D. Estudos de previsão: possibilita a realização de estudos de previsão por subestação, por ponto de suprimento e por região geográfica, inclusive, por quadrícula. Ou seja, havendo a possibilidade de extração de uma série histórica qualquer, um estudo de previsão pode ser efetuado.

E. Geração de relatórios: módulo que gera relatórios de acordo com a especificação determinada segundo protocolo para tal fim.

F. Exportação de dados: módulo que exporta para arquivos em formato texto (txt) ou excel (xls) informações armazenadas no banco de dados.

Estudo de Previsão no AGC

Neste item apresenta-se um estudo de previsão do consumo de energia via AGC e suas conseqüências quanto à distribuição espacial da carga. O estudo de caso foi feito para a cidade de Juazeiro, no estado da Bahia, atendida pela COELBA.

Primeiramente, apresentam-se as premissas básicas para a previsão de qualquer mercado de energia elétrica. Em seguida, analisa-se a situação atual da economia do município de Juazeiro, pois, assim como na maioria dos casos, a economia do município determina o padrão de consumo de sua população. A partir das características evidenciadas,

encontram-se os modelos finais de previsão para cada classe de consumo.

A. *Premissas básicas para a previsão de mercado*

Existem três premissas básicas que envolvem a análise técnica:

1. A dinâmica do mercado de energia elétrica envolve diversos fatores (internos e externos) que influenciam no seu consumo.
2. O consumo de energia move-se em tendência.
3. A história se repete.

A primeira premissa se auto-explica. A segunda e a terceira fazem referências a comportamentos que podem ser abstraídos do funcionamento de qualquer mercado. A segunda premissa se refere ao comportamento gráfico observado do consumo de energia de um determinado mercado. A terceira premissa se baseia na constatação de que variações detectadas num passado distante também foram evidenciadas num passado mais recente, e assim continuarão a ocorrer a menos da existência de algum fator externo que cause alterações no padrão até então identificado.

Para que seja possível estimar os modelos de séries de tempo faz-se necessário decompor uma série temporal, ou seja, extrair dela os componentes sazonalidade, ciclo, tendência e irregularidade.

Adicionalmente, a série de tempo a ser utilizada deve apresentar características desejáveis como estacionariedade e possuir ruído branco.

B. *Aspectos econômicos da cidade de Juazeiro*

Atualmente, o Brasil é responsável por 14,4% de toda a exportação de mangas no mundo, sendo que 62,8% dessas são provenientes da Bahia. A produção desse estado deve-se principalmente ao Vale São Francisco, no qual o pólo de Petrolina/Juazeiro participa com 57,3% da produção. Assim, a cidade de Juazeiro possui grande importância na venda desse produto no mercado internacional. Outro produto que se destaca no município é a produção da uva para exportação.

Essa representatividade no mercado internacional deve-se principalmente à utilização de métodos avançados de produção, que aumentam a qualidade da manga produzida para atingir os padrões do mercado consumidor europeu. Outro fator de grande influência no sucesso do pólo produtor frutífero é o período de produção brasileiro (setembro a março, no caso da manga), que confere vantagens comerciais

na exportação à Europa. No caso da uva, devido ao clima favorável à produção dessa fruta na região nordeste (necessitando apenas da irrigação adequada), a produção pode ocorrer durante todo o ano, tendo apenas um período de 120 dias entre uma safra e outra.

Os métodos avançados de produção agrícola citados anteriormente conferem à região um forte desenvolvimento nos outros setores (serviços e industrial). O PIB da cidade de Juazeiro nos últimos anos tem se distribuído nos setores da seguinte maneira: 65% - serviços, 20% - agropecuário e 15% - industrial. Isso demonstra que existe toda uma infraestrutura para a produção agrícola que gera mais renda que a própria atividade em si responsável por todo o desenvolvimento da região, a agricultura.

Apesar da maior parte da renda da região ser proveniente do setor de serviços, como a produção regional baseia-se em um produto sazonal (entre setembro e março no caso da manga), existe uma grande sazonalidade nos empregos da região. Embora, a produção da uva não tenha um período específico, a sazonalidade da manga garante a sazonalidade dos empregos.

C. Resultados da previsão

Tradicionalmente, em estudos de previsão de mercado de energia elétrica, são estimados modelos para cada classe envolvida: residencial, comercial, industrial, rural e outros.

Cada uma dessas classes apresenta características que lhes são peculiares uma vez que seu comportamento está intimamente ligado ao hábito de consumo de seus consumidores.

Para o estudo da cidade de Juazeiro, concluiu-se que um estudo abrangendo as classes residencial, industrial, rural e outros (classes comercial, iluminação pública, poder público, serviço público e consumo próprio da COELBA inclusos na classe “outros”) representariam, de forma adequada e suficiente, o mercado daquele município.

A classe residencial representa, em média, 23,7% do consumo de energia elétrica; a classe industrial 10,6%; e a classe rural 44,6%. O setor rural mostra-se como um grande consumidor devido à irrigação das plantações frutíferas (manga e uva principalmente).

Dessa maneira, o consumo de energia elétrica de Juazeiro pode ser bem explicado pela precipitação da região. No entanto, não é razoável determinar previsões do comportamento da precipitação de uma região a médio e longo prazos. Por esse motivo, preferiu-se utilizar os modelos autoregressivos (e médias móveis) da própria série e a variável de estoque formal de emprego de Juazeiro em detrimento

da utilização da variável “precipitação”.

Embora as classes de consumo analisadas possuíssem informações históricas confiáveis do consumo faturado a partir de janeiro de 2000, uma vez que para o emprego só foi possível obter o histórico a partir de janeiro de 2002, o histórico do consumo faturado anterior a esta data foi desconsiderado. Apesar da diminuição da base de dados, o período resultante é adequado para a realização do estudo.

Assim, obteve-se um modelo final para cada classe de interesse para posterior estudo de previsão a longo prazo do consumo faturado das classes (horizonte de 10 anos).

As variações percentuais do consumo de energia para os anos de 2009 e 2010 são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Variações percentuais do consumo de energia.

	Var % Consumo Energia			
	Residencial	Industrial	Rural	Outros
2009	5.22%	-6.88%	-3.45%	8.46%
2010	5.75%	3.77%	5.66%	5.22%

Os valores negativos para as classes industrial e rural refletem as consequências da crise financeira mundial (que teve seu auge em 2009) no consumo de energia elétrica do município de Juazeiro, que está voltado para a fruticultura, sendo que 90% da produção daquele pólo é destinada ao mercado externo.

D. Visualização espacial

A partir dos resultados apresentados no item anterior, o AGC permite ao usuário a visualização espacial da carga prevista para os anos considerados como horizonte do estudo. Tal visualização é feita a partir das taxas históricas de crescimento médio mensal, do consumo total ou por classe, calculadas para cada quadrícula pertencente ao município de Juazeiro.

A distribuição da carga futura é realizada somente naquelas quadriculas que apresentarem taxas positivas e é feita mantendo-se as ponderações de maior ou menor taxa de crescimento específicas para cada quadrícula. Nas demais quadriculas, isto é, naquelas com taxa nula ou negativa, a carga futura é calculada conforme se apresentam estas taxas. Desta forma, descontando-se a carga anual futura destas quadriculas da carga prevista total, aplica-se o crescimento somente naquelas quadriculas que realmente crescem. E, além disso, atribuindo uma parcela maior da carga futura àquelas quadriculas que tem apresentado recentes taxas de crescimento mais elevadas que outras.

Uma observação importante a ser feita é que

não são considerados critérios de saturação das quadrículas, assim como conceitos de atratividade ou repulsão do crescimento. A única informação adotada refere-se ao comportamento histórico identificado em cada quadrícula, o qual é mantido no futuro, porém, com visualização espacial. A Figura 1 ilustra tal procedimento.

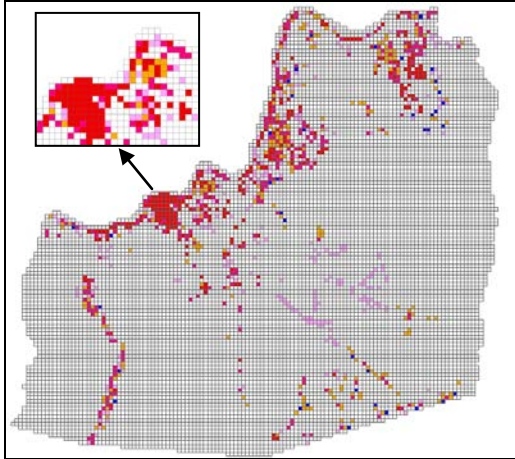


Figura 1 - Mapa temático: consumo residencial de Juazeiro.

E. Impactos na rede

O AGC incorpora todas as informações de consumo total ou por classe, históricas ou resultantes de estudos de previsão, às quadrículas. Sendo assim, torna-se factível realizar estudos de impactos na rede a partir destas informações e do ano associado a elas.

Uma vez que o consumo futuro previsto é distribuído de forma ponderada pelas quadrículas, e por classe, conforme descrito no item anterior, pode-se proceder a uma distribuição deste consumo a cada transformador pertencente à sua respectiva quadrícula. Este rateio, na presença de vários transformadores numa mesma quadrícula, leva em consideração a participação total das classes daquela quadrícula em cada transformador. Além disso, a simulação de rede considera o maior consumo do ano a partir de ajustes sazonais.

Uma vez especificadas as informações futuras de consumo de energia provenientes de um estudo de previsão de mercado e alocadas espacialmente, o AGC disponibiliza um arquivo que, posteriormente, é carregado num software de simulação de fluxo de potência em redes de distribuição (Interplan®). Este software de simulação transforma consumo em demanda a partir da utilização de curvas de carga típicas, permitindo uma análise detalhada do carregamento de alimentadores e subestações.

Conclusões

Como consequência do desenvolvimento do

AGC, pode-se destacar a melhoria na forma de organização e no armazenamento das informações. Apesar da maioria das informações utilizadas no modelo já serem armazenadas em banco de dados corporativo, geralmente eles são utilizados de forma desagregada e por softwares distintos, dificultando a integração do trabalho.

Ressalta-se, também, a possibilidade de visualização de informações de forma georeferenciada, o que beneficia o usuário engajado no planejamento da rede de distribuição. Além disso, a existência do módulo de previsão na própria ferramenta viabiliza a maioria dos estudos de crescimento de mercado, essenciais para o planejamento estratégico e tático da distribuidora.

Com os dados históricos e resultados previstos estruturados espacialmente é possível observar o comportamento da carga, densidades de carga, indicações de migração, previsões de consumo em regiões por classe de consumo e outros.

Bibliografia

- [1] Ribeiro, P.M., Garrido, D.A., Velásquez, R.M.G., Sistema Computacional para Previsão de Demanda por Energia em Pontos de Suprimento e Subestações da COELBA. XVII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica – SENDI. Belo Horizonte, Agosto de 2006.
- [2] ANEEL - PRODIST – Procedimentos de Distribuição, Módulo 2. ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>.
- [3] Procedimentos de Rede – Ampliações e Reforços, Módulo 4. Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. Disponível em: <http://www.ons.gov.br>.
- [4] Procedimentos de Rede – Consolidação da Previsão de Carga, Módulo 5. Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. Disponível em <http://www.ons.gov.br>.
- [5] Matsudo, E., A reestruturação setorial e os reflexos sobre o planejamento e os estudos de mercado das distribuidoras de energia elétrica. 2001. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- [6] Armstrong, *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners*. 2nd ed., Ed. Springer, 2001.
- [7] Box, George E.; Jenkins, Gwilyn M.; Reinsel, Gregory C. *Time series analysis: forecasting and control*. 2. ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1994.
- [8] ANEEL - PRODIST – Procedimentos de Distribuição, Módulo 12. ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>.