



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

A Utilização de Ferramenta Estatística na Gestão das Perdas Não Técnicas

Cesar Eduardo Leite
Elektro
cesar.leite@elektro.com.br

Resumo

O trabalho de pesquisa utiliza o método de pesquisa-ação para desenvolver e testar um modelo estatístico que tem por objetivo subsidiar o combate às perdas não técnicas das concessionárias de energia elétrica do Brasil. Inicialmente é analisado o contexto vivido no Brasil referente às perdas na distribuição de energia elétrica, apresentando a relevância do assunto e sua contribuição para as empresas. Estuda-se o gráfico de regressão como uma ferramenta estatística que pode apresentar o resultado esperado, qual seja, a busca em selecionar clientes usuários da energia elétrica com alto potencial de terem irregularidades em suas instalações. Os clientes selecionados e suas curvas de consumo no método discutido mostram-se bastante próximas da idealizada como padrão de pesquisa, o que comprova a eficiência desta ferramenta. Mais do que a análise das curvas próximas de um padrão, a ferramenta é versátil na busca de hábitos de consumo pré-determinados pelo pesquisador dentro de qualquer premissa que se utilize.

Palavras-chave

curva de consumo; ferramenta estatística; gráfico de regressão; perdas não técnicas

1. INTRODUÇÃO

Afirmam Araújo & Siqueira (2006), ser inerente do processo de transmissão e distribuição de energia elétrica a existência de um certo nível de perdas, consideradas técnicas como aquelas decorrentes da interação da corrente elétrica e de seus campos eletromagnéticos com o meio físico de transporte de energia, e as perdas comerciais, referentes à energia entregue e não faturada. Essas últimas se originam tanto de erros de faturamento da distribuidora, quanto de ações dos consumidores e terceiros (fraudes em medidores, ligações clandestinas, etc...). Adotou-se o termo “perdas não-técnicas” para definição não apenas da perda comercial já mencionada, mas de toda perda de faturamento oriundo da utilização da energia elétrica disponibilizada pela concessionária, que por qualquer motivo, não houve registro deste consumo.

No Brasil, em função do impacto financeiro desta situação na receita das distribuidoras de energia elétrica, com óbvios reflexos nas tarifas cobradas dos consumidores finais, o problema das perdas vêm demandando especial atenção do órgão regulador e dos respectivos agentes na busca de soluções para equacioná-lo.

Segundo Araújo (2007), historicamente as perdas totais elétricas na rede de distribuição de energia elétrica do Brasil estariam em torno de 15% da energia comprada pelas distribuidoras. Em 2005, as perdas de energia reconhecidas pelo órgão regulador foram da ordem de 15% da energia requerida, equivalentes a 46.904 GWh, sendo 32% deste montante correspondente às perdas não técnicas. Os agentes do setor levam em consideração o preço médio de aquisição de energia pelas distribuidoras para valorizar as perdas na distribuição de energia elétrica (R\$ 80,01/MWh). Dentro desse critério, as perdas totalizam mais de R\$ 3,7 bilhões, sendo R\$ 1,2 bilhão oriundos de perdas não-técnicas.

Apesar dos esforços despendidos pelas distribuidoras e da atuação do órgão regulador, as perdas vêm se mantendo dentro do seu patamar histórico, apresentando, inclusive, tendência de alta, se comparadas ao ano de 2001. A regulação do serviço de distribuição de energia teria como função básica, estimular a eficiência em todos os temas relacionados à sua esfera de competência, e em particular, no nível elevado de perdas que se traduz na necessidade de incrementar a energia elétrica disponível na atividade de geração.

A experiência vivida por outros países da América Latina que passaram por reformas no setor elétrico, mostra que um enfoque regulatório que incentive a eficiência de gestão pode reduzir as perdas no serviço de distribuição, com inquestionáveis benefícios para as concessionárias, seus consumidores e para a sociedade como um todo.

As 64 concessionárias de distribuição de energia elétrica do Brasil abastecem aproximadamente 58 milhões de consumidores, o que representou, em 2006, uma receita referente ao fornecimento de energia de R\$ 243,5 bilhões. O estudo deste tema mostra ser de grande importância, visto que o problema de perdas é comum a todas as concessionárias, significando uma grande vazão de recursos financeiros, humanos e operacionais em função de sua grandeza, o que, dentro dos índices de 2005, representa R\$ 36,5 bilhões em perdas globais, e R\$ 11,69 bilhões em perdas não-técnicas.

2. PERDAS COMERCIAIS DAS DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Como analisam Almeida & Silveira & Bastos & Micheli & Dantas (2006), nos últimos 20 anos o mercado de energia elétrica do Brasil vem recebendo influências de tendências ligadas à economia mundial, as quais ditam condições e oportunidades de comércio, fluxo de capitais e inovações tecnológicas, fatores estes que determinam os fluxos de oferta e demanda da energia.

Em 1980, tínhamos a população brasileira com 119 milhões de habitantes e o consumo global de energia 122,7 TWh, cuja relação resulta num consumo de 1.031 kWh por habitante por ano. Em 2000, essa razão atingiu 1.955 kWh, representando um aumento de 90% ou 4% ao ano.

Junto com este crescimento surge também o aumento das perdas de energia elétrica que, somente a partir do final dos anos 80, passaram a ter a devida atenção das concessionárias. Isso ocorreu,

principalmente, depois da elevação dos custos médios das concessionárias para níveis anti-econômicos na manutenção dos serviços.

Pesquisas estimaram que 10% da energia gerada na América Central é perdida, o que na Ásia esse percentual atinge 21%. Mesmo em países do chamado “primeiro mundo” como Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, Austrália e Nova Zelândia, existe perda de energia elétrica. Hoje, no Brasil, 16% de toda energia produzida é perdida. No estado da Bahia a perda comercial, é estimada em 6%, porém em outros estados brasileiros esse valor alcança os 15%.

Conforme detalham Moraes & Silveira (2006), denomina-se como “Perda de Energia” a diferença existente entre a energia de entrada (comprada, requerida) e a energia de saída (vendida) em um intervalo de tempo. Essa energia “perdida” é dividida em Perdas Técnicas e Perdas Não Técnicas (ou Comerciais).

a. Perdas Técnicas: próprias da rede e inerentes ao processo de transmissão, transformação, distribuição e medição. O diagnóstico consiste basicamente no cálculo das perdas em cada um dos componentes do sistema elétrico.

b. Perdas Não-Técnicas (Comerciais): energia efetivamente entregue mas não computada nas vendas, decorrentes de erros de medição, erros de processo, fraudes (“gatos”), etc. O cálculo dessa perda consiste na diferença entre as Perdas de Energia (totais) e as Perdas Técnicas. Essas perdas são basicamente divididas em:

- ✓ Avaria: Quando os equipamentos apresentam problemas técnicos que resultam em um registro de consumo inferior ao real, sem intenção (intervenção) do cliente;
- ✓ Fraude: Quando o cliente intencionalmente provoca um registro de consumo inferior ao real ou sem registro de consumo (popularmente conhecido como “gatos”).

Cabe estudar um meio viável e eficiente, para localização e correção destas Avarias e Fraudes, já que uma visita técnica a cada uma das unidades consumidoras atendidas seria extremamente dispendiosa.

Para Gonçalves (2001), o essencial para as empresas competirem mundialmente é fato da empresa dispor de certas informações que possibilitem aumentar o valor agregado de seu produto ou reduzir seus custos em relação àquelas que não possuem o mesmo tipo de informação. As informações e o conhecimento compõem um recurso estratégico essencial para o sucesso da adaptação da empresa em um ambiente de concorrência.

As ferramentas de mineração de dados podem trabalhar com grandes bases de dados e retornar, como resultado, conhecimento novo e relevante. Seu objetivo é vasculhar grandes bases de dados em busca de padrões escondidos, e extrair informações desconhecidas e relevantes que são utilizadas para tomar decisões críticas de negócios.

A cada ano, companhias acumulam mais e mais dados em seus bancos de dados. Em alguns casos, estes dados são mantidos mesmo depois de esgotados seus prazos legais de existência. Com o passar do tempo, esta massa de dados passa a conter informações estratégicas sobre a vida dessas companhias. Toda esta informação pode ser usada para melhorar seus procedimentos, permitindo que

a empresa detecte tendências e características disfarçadas, e reaja rapidamente a um evento que ainda pode estar por vir.

A necessidade de se armazenar estes dados e transformá-los em informações significativas é óbvia, e este processo deverá trazer informações relevantes, como os hábitos de consumo dos diversos clientes da empresa. A automatização dos processos de análise destes dados, com a utilização de softwares ligados diretamente à massa de informações, tornou-se uma necessidade e será estudada nesta pesquisa.

3. UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTA ESTATÍSTICA

Como analisa Jacobi & Souza & Pereira (2002), para a identificação e a medição das variações ocorridas num processo, a utilização dos gráficos de controle mostram-se ferramentas úteis, já que servem para determinar se as variações que ocorrem são devidas a causas assinaláveis ou a causas aleatórias.

A equação de regressão empregada com o objetivo de controle, necessita que a relação existente entre a variável de interesse e as variáveis utilizadas para seu controle sejam do tipo causa-e-efeito. Assim, quando é identificada uma variação anormal do padrão de consumo de determinada unidade analisada, isto pode representar que existe uma anormalidade em suas instalações, a qual poderá influenciar no registro do consumo de energia.

Para se estabelecer o gráfico de controle de regressão, é necessário que se analise o diagrama de dispersão para verificar a linearidade da relação e detectar pontos atípicos que possam influenciar as conclusões. Logo após, estabelecer os limites de controle dos dados históricos para se sobrepor um novo conjunto de dados, e, dessa maneira, fazer a comparação se o processo atual concorda com o anterior.

O objetivo é construir um modelo de regressão que relacione o hábito de consumo de qualquer cliente, com um modelo ideal para o grupo a que ele pertence. Como exemplo pode-se afirmar que, um consumidor de energia elétrica, localizado numa localidade com hábitos turísticos, deveria manter um hábito de consumo que seria mais elevado nos finais de semana, feriados e férias escolares; e assim seria seu modelo de regressão. Desta forma chega-se a um gráfico de regressão modelo.

Quando desejamos localizar clientes que estejam manipulando seu registro de consumo, logicamente seu gráfico de consumo apresentará diferenças acentuadas do gráfico de regressão modelo, e a probabilidade de se encontrar anormalidades em suas instalações se acentua.

Ainda em Jacobi & Souza & Pereira (2002), da análise feita na atividade de uma empresa que deveria se encarregar do recolhimento dos resíduos domiciliares e comerciais de uma determinada cidade, com oito (08) caminhões compactadores, com capacidade média de 7.000 kg, cada, sendo, também, realizada a coleta do lixo hospitalar.

As variáveis do processo foram: a quilometragem diária percorrida pelos caminhões e o volume de resíduos recolhidos por dia, e o resultado mostrado pelo gráfico de controle de regressão foi que o sistema de coleta de resíduos não estava sendo realizado de forma satisfatória, pois alguns pontos estavam fora dos limites de controle. Isso indica que havia dias em que a quilometragem percorrida

pelos caminhões estava muito alta para o volume de resíduos recolhidos, ou seja, havia uma baixa produtividade.

Em Casarin & Souza & Bohm & Jacobi (2007), o modelo de regressão relaciona a dependência da quantidade de sucatas gerada com a quantidade de máquinas produzidas no período. Com a elaboração do gráfico de controle de regressão, foi possível observar que alguns pontos apresentavam-se fora dos limites de controle demonstrando que o método de produção das máquinas apresenta falhas e com isso, acaba produzindo uma quantidade de sucatas elevada para o número de máquinas produzidas no período.

Em Pedrini & Caten & Soares & Campos (2007), o estudo do modelo de regressão apresenta a aplicação dos gráficos de controle em uma etapa de produção de uma liga metálica produzida em uma indústria metalúrgica, onde a variável de qualidade em estudo é o teor de silício de determinada liga metálica.

4. MONTAR O BANCO DE DADOS

Diante da limitação apresentada pelo Excel 2002 com relação ao número máximo de linhas em 65.536, este software não atende as necessidades para uma análise da população total de consumidores. Desta forma, o Access 2002 é utilizado como recurso de informática para se estudar o comportamento de um rol de consumidores de energia.

Para facilitar a gestão do processo, divide-se a análise dos dados em três etapas distintas. Na primeira descreve-se o padrão de consumo que se espera localizar dentro da população. Na segunda etapa transformam-se os valores de consumo apurados dos clientes em índices comparáveis aos do padrão determinado. Na terceira etapa comparam-se os dois índices através da análise dos gráficos de regressão, de forma a se analisar uma hierarquia de proximidade dos índices dos clientes com o padrão.

Toda a análise baseia-se em registros históricos de consumo, os quais mostram características de regiões e grupos que se agrupam entre si. Estes grupos formatam uma curva média de hábito de consumo, a qual pode ser idealizada como o padrão. Exemplo disto conclui-se pela simples lógica de que, clientes de cidades turísticas na alta temporada aumentam seu consumo e na baixa temporada diminuem.

4.1. Definir o Gráfico de Regressão ou Curva Padrão

A primeira etapa desenvolve um modelo matemático para se definir a curva característica esperada de um determinado grupo de clientes, e a partir do qual será desenvolvido o estudo que vai determinar o grau de proximidade com os clientes do mesmo grupo.

Representa-se a relação de consumo do cliente, entre os meses de determinado período, de forma que determinado mês teria o dobro de consumo dos outros, ou o consumo se reduziria à metade do mês anterior. Assim tem-se uma seqüência numérica 10, 10, 5, 5, 1, 1... , a qual representa a característica de consumo procurada (Fig.1).

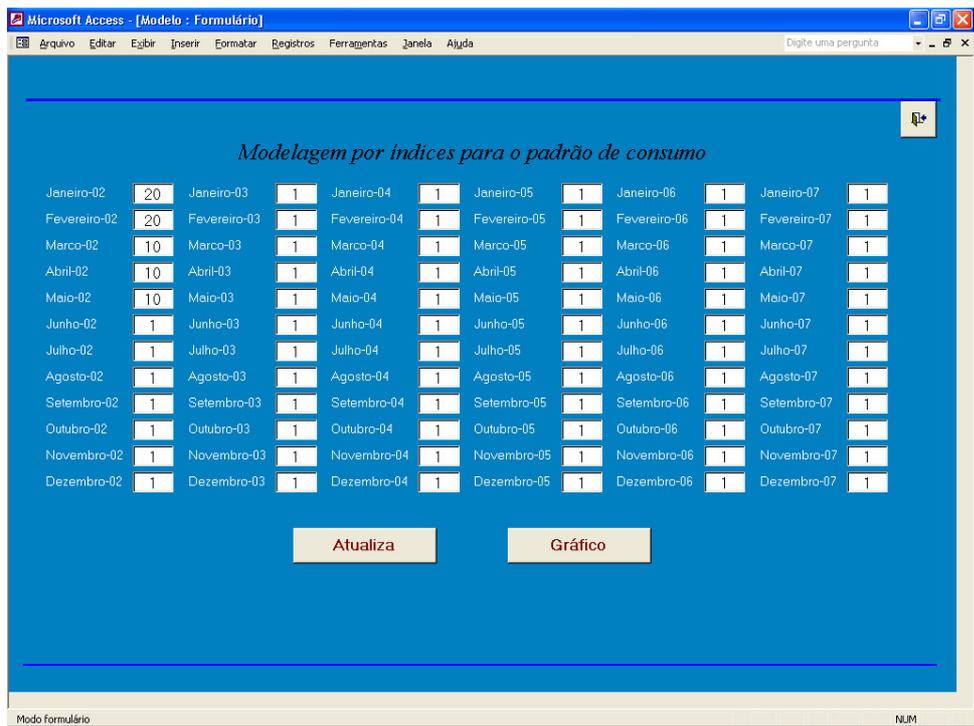


Fig.1 – Seqüência numérica representativa do consumo de energia esperado

Esta seqüência numérica define um gráfico que representa a evolução destes números e, conseqüentemente, o hábito de consumo que se deseja investigar na população de clientes (Fig.2). No Access, estes registros ficam armazenados na tabela nomeada como “Base”.

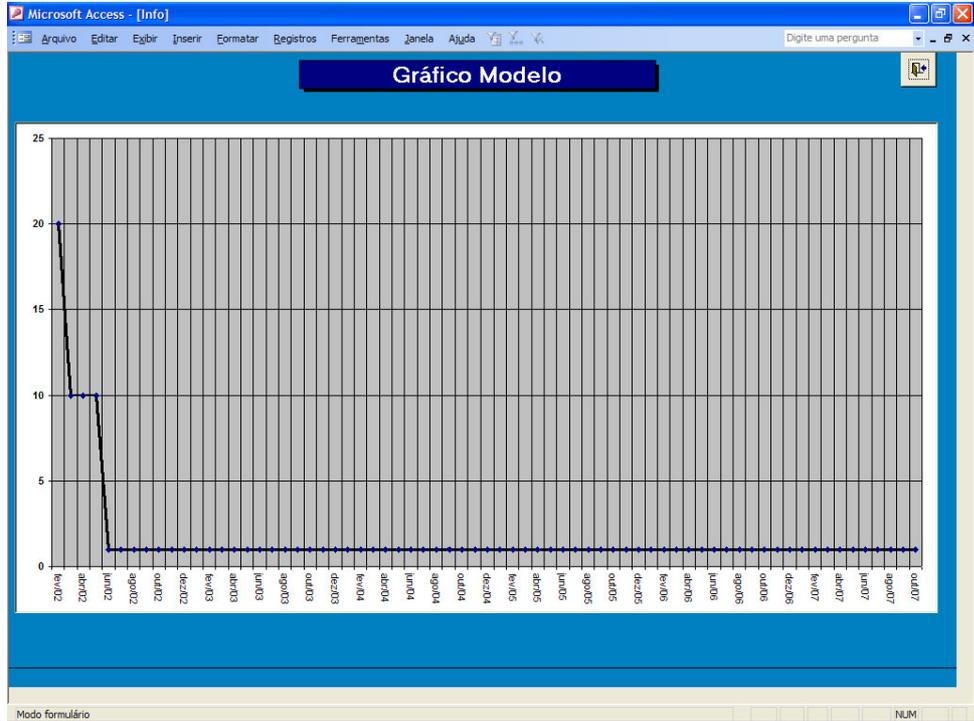


Fig.2 – Curva representativa do consumo de energia esperado

Da Tabela Base é criada a Consulta “Valor Média”, onde são replicados dos valores atribuídos a cada mês, e é calculado o valor da “Probabilidade”, que representa a unidade dividida pelo número de registros.

Probabilidade = $1/n$

Cria-se a Tabela “Valor Quadrado”, onde todos os valores são multiplicados por eles mesmo, que caracteriza o expoente 2, e também é calculado o valor da “Probabilidade”.

$V \times V = V^2$ >>>> Probabilidade = $1/n$

Em seguida são geradas as Tabelas “Valor Média x Probabilidade” e “Valor Quadrado x Probabilidade”, que representam a multiplicação de cada registro das referentes tabelas pelo seu valor de “Probabilidade”.

$V \times 1/n$ e $V^2 \times 1/n$

Com os valores obtidos da Soma dos valores da Tabela “Valor Média x Probabilidade”, calcula-se o seu quadrado, obtendo-se o Quadrado das Médias (Vm^2). E com a simples soma dos valores da Tabela “Valor Quadrado x Probabilidade”, obtém-se a Média dos Quadrados (V^2m). Da soma do Quadrado das Médias (Vm^2), subtraído da soma da Média dos Quadrados (V^2m), obtém-se a Variância (VAR).

$V^2m - Vm^2 = VAR$

Partindo da Variância (VAR), calcula-se sua raiz quadrada para obter-se o Desvio Padrão (DP).

$DP = \sqrt{VAR}$

Da etapa anterior, do “Valor Média”, calculam-se os valores de cada registro menos a Média geral na Consulta “Valor menos a Média”, da qual, no produto com o Desvio Padrão (DP), gera o índice X (Fig.3).

Fluxograma de Atividades

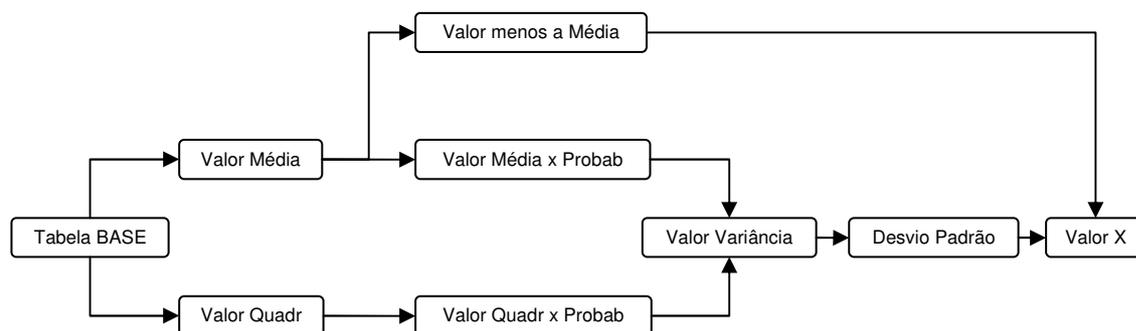


Fig.3 – Fluxograma de Operações no Access para obter X

O índice X representa o Gráfico de Regressão, ou Curva Padrão, idealizado pelo pesquisador como sendo o modelo que se deseja buscar como padrão aceitável ou como padrão não aceitável, ao qual serão comparados outros clientes que pertençam ao mesmo grupo do idealizado anteriormente, de forma a possibilitar sua comparação.

4.2. Traduzir as Curvas dos Clientes

A segunda etapa determina-se um modelo matemático para cada cliente, que seria seu perfil diante da população a que ele pertence, definido por sua curva de consumo característica que representa seu hábito de consumo de energia.

Em outro arquivo Access, a Tabela “Base” agora armazena todos os registros de consumo da população a ser analisada, representando as curvas de consumo e um modelo matemático para cada cliente. Da mesma forma como foi calculado o índice X como modelo a ser seguido, agora é calculado o índice Y que representa cada usuário, e esta seqüência numérica define os hábitos de consumo que se desejam comparar com a curva padrão (Fig.4).

No banco de dados do Access, pode-se selecionar filtros através de Consultas, como inicialmente definir o grupo de clientes que será analisado, filtrando da população os diversos itens de seu cadastro, como Localidade, Bairro, Classe de Consumo, Tipo de Fase, etc., tudo dependendo da atualização, da qualidade e confiabilidade da base de dados mantida pela empresa. Também se pode limitar consumos, calcular e limitar médias temporais deste consumo, se houve consumo zero, ou quaisquer outras variáveis que desejar, de forma a definir-se os limites geográficos e de cadastro dos clientes que se quer analisar (Fig.5).

Para a população selecionada, dos valores resultantes de cada mês são calculados os valores das médias e dos quadrados, assim como na primeira etapa, e na seqüência a Consulta “Valor Quadrado” e a Consulta “Valor Média”.

Com o mesmo fluxo da condição anterior, agora adaptado para a atual, obtém-se o produto da consulta “Valor menos a Média” com o “Desvio Padrão”, gerando-se agora o índice Y (Fig.6).

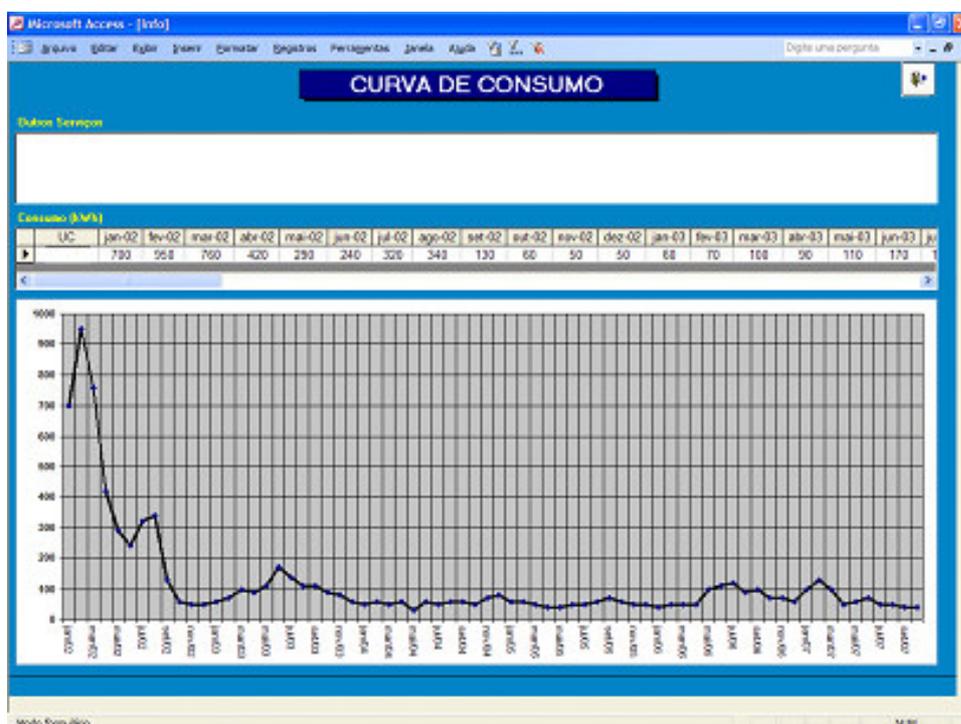


Fig.4 – Curva representativa do consumo de um determinado cliente

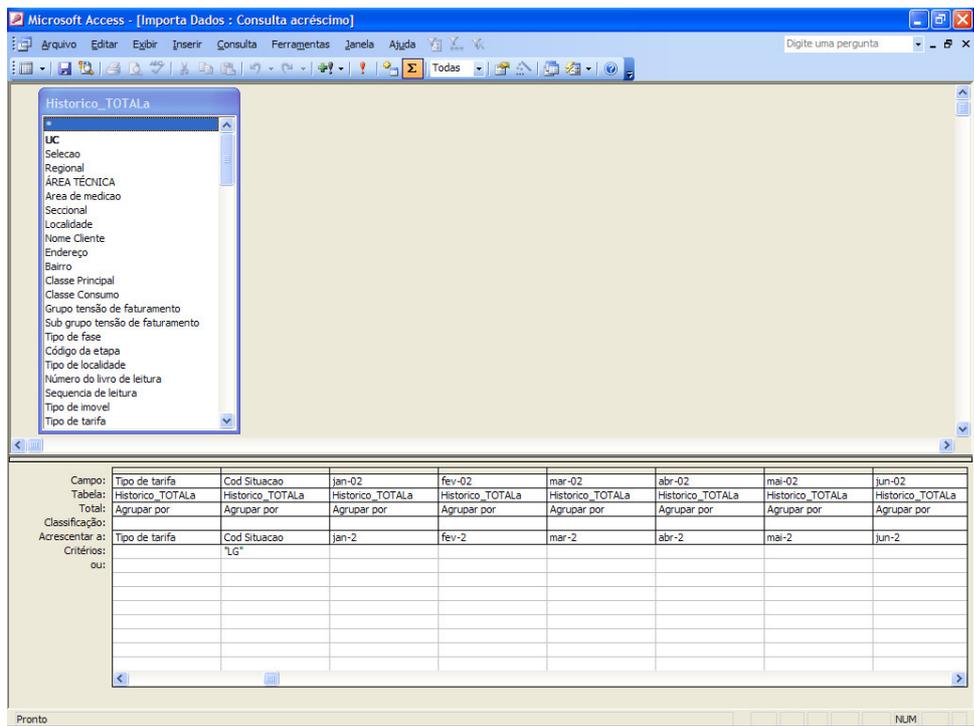


Fig.5 – Filtro para definir a população a ser analisada

Fluxograma de Atividades

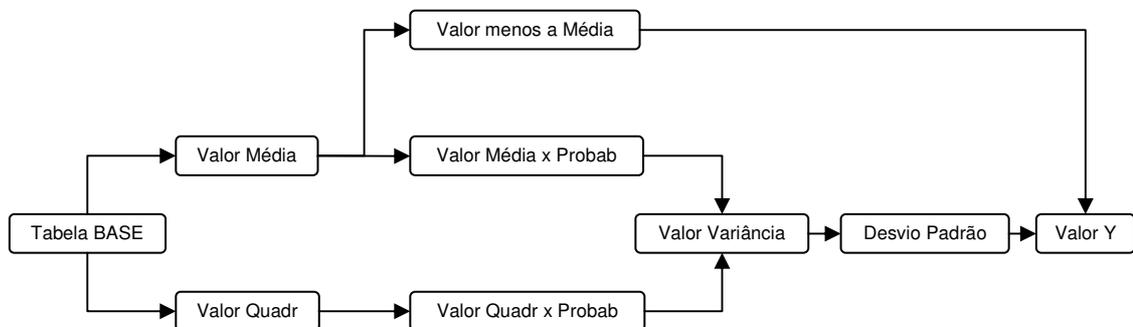


Fig.6 – Fluxograma de Operações no Access para obter Y

4.3. Calcular a semelhança entre as Curvas

Na terceira etapa, em um novo arquivo Access relaciona-se os resultados da etapa 1 – Valor X, e da etapa 2 – Valor Y, obtendo-se um índice de correlação – Valor Z – entre as duas curvas.

No Access, parte-se das Tabelas X e Y e, da média de seus produtos, calcula-se o índice de Correlação que determina a semelhança entre o hábito de consumo do cliente analisado com a curva de consumo idealizada (Fig.7).

$$X \times Y = Z \times 1/n$$

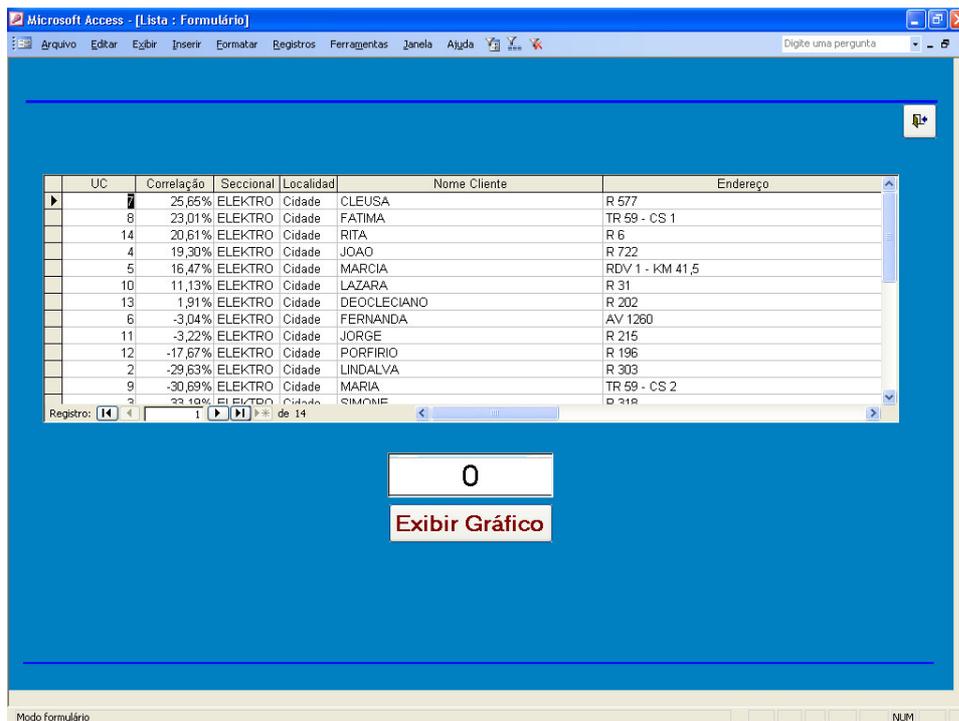


Fig.7 – Hierarquização da correlação das curvas

O maior índice de correlação corresponde à curva de consumo que mais se aproxima da curva idealizada, isto é, corresponde ao cliente que, dentro da população total, mais se aproxima das premissas utilizadas, assim como o menor índice representa o cliente que tem sua curva mais distante das premissas utilizadas (Fig.8)

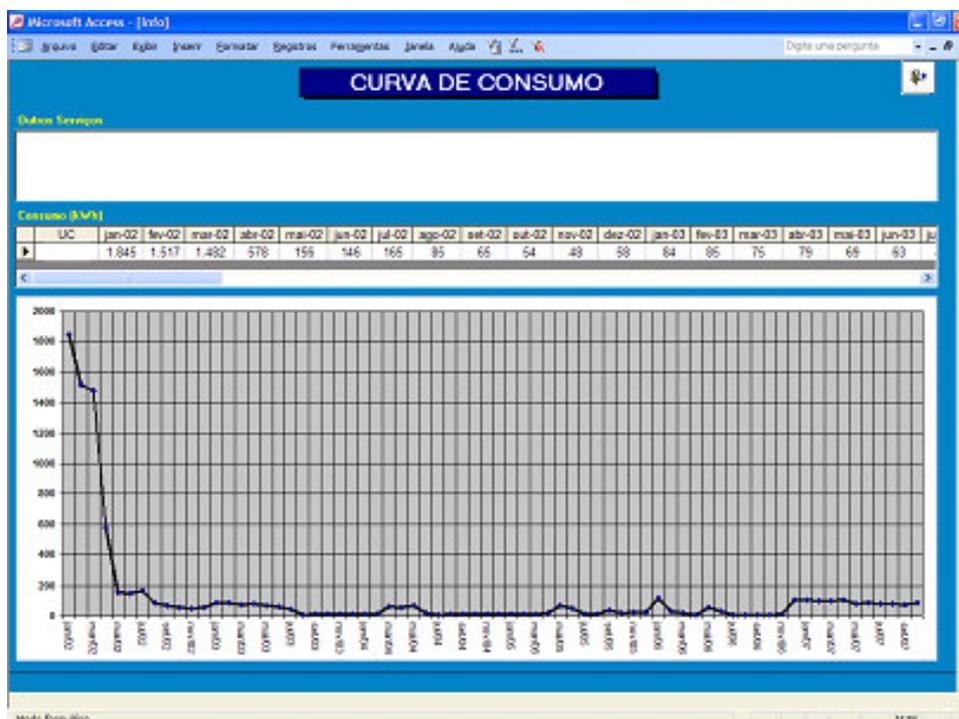


Fig.8 – Curva do cliente que tem o maior índice de correlação

Relacionando-se os resultados X e Y, conforme apresenta o fluxograma de atividade no Access, onde se calcula o índice Z desejado (Fig.9).

Fluxograma de Atividades

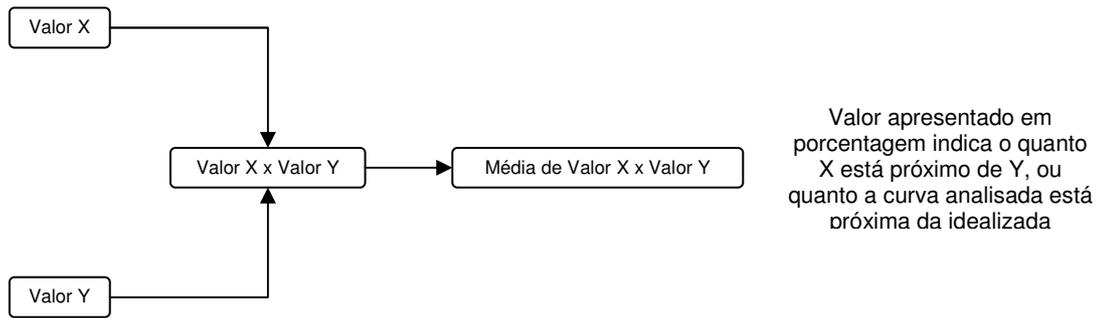


Fig.9 – Fluxograma de Operações no Access para obter o índice Z

5. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Observa-se que, através da metodologia apresentada, pode-se trabalhar a pesquisa de forma a se encontrar as curvas dos clientes com maior proximidade da curva idealizada, ou aqueles que estejam mais distantes do ideal, permitindo uma grande flexibilidade de análises.

Em diversos Gráficos de Regressão podemos idealizar o modelo típico para os clientes de localidades turísticas, industriais, de atividade rural ou para grandes centros, de forma a monitorarmos, a cada novo mês de consumo, se sua curva de consumo condiz com padrão esperado.

Identificados aqueles clientes que estão mais distantes da curva característica de seu grupo, eles podem ser considerados como aqueles com alto grau de probabilidade de se encontrarem irregularidades. Como um cliente que, vivendo em uma estância turística, mantém ou até diminui seu consumo de energia nos finais de semana, feriados e férias escolares. Ou o cliente industrial que apresenta grandes variações de consumo, que não seriam admitidas por sua atividade contínua.

Nota-se que as variações no registro de consumo podem ser resultado de autênticos hábitos de determinados clientes, porém trabalha-se na média e não nas exceções. Os hábitos de consumo particulares poderão ser mapeados para complementarem pesquisas futuras, de forma a tornar os resultados mais eficientes.

Também se identifica que as causas das irregularidades podem não ser de conhecimento e intenção dos clientes, mas algo casual provocado por terceiros, pelo desgaste do equipamento de medição, ou pela intervenção de condições atmosféricas atípicas.

6. CONCLUSÕES

Neste estudo é desenvolvida e testada, uma ferramenta que se apresenta com grande potencial de utilização na identificação de Unidades Consumidoras com irregularidades em suas instalações, as quais estariam influenciando seu registro de consumo de energia e, conseqüentemente, provocando as Perdas Não Técnicas para a concessionária de energia.

A ferramenta mostrou-se capaz de identificar, dentro de uma população, aqueles clientes que tenham suas características dentro de condições especificadas, o que permite a utilização desta ferramenta não somente na busca de perdas no sistema, mas também de grupos característicos por consumo (para

estudos de potencial energético), inadimplência (para avaliação de ações na busca de adimplência), estudos de proteção (clientes sazonais), e até gestão dos indicadores regulados pela ANEEL.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **ALMEIDA, M. A. S. ; SILVEIRA, M.; BASTOS, P. R. F. M.; MICHELI, I.; DANTAS, P. R. P.;** *Metodologia para Identificação de Perdas Não-Técnicas - Matriz de Perdas*, Trabalho apresentado no SENDI – XVII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Belo Horizonte, MG, 2006.
2. **ARAÚJO, Antônio C. M.;** *Perdas e Inadimplência na Atividade de Distribuição de Energia Elétrica no Brasil*. Tese submetida no Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro para obtenção do grau de Doutor em Ciências em Planejamento Energético, Rio de Janeiro, RJ, Abril de 2007.
3. **ARAÚJO, Antônio C. M. ; SIQUEIRA, Claudia A.;** *Considerações sobre as Perdas na Distribuição de Energia Elétrica no Brasil*. Trabalho apresentado no SENDI – XVII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Belo Horizonte, MG, 2006.
4. **CASARIN, V. A.; SOUZA, A. M.; BOHM , S. I. H.; JACOBI, L. F.;** *Aplicação de Gráficos de Controle de Regressão no Monitoramento do Processo de Montagem de Colhetadeiras*. Trabalho apresentado no XXVII ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, PR, 2007.
5. **GONÇALVES, Lóren P. F.;** *Avaliação de Ferramentas de Mineração de Dados como Fonte de Dados Relevantes para a Tomada de Decisão: Aplicação de Rede União de Supermercados, São Leopoldo-RS*. Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do grau de Mestre em Administração, Porto Alegre, RS, Junho de 2001.
6. **JACOBI, Luciane F.; SOUZA, Adriano M.; PEREIRA, João E. S.;** *Gráfico de controle de regressão aplicado na monitoração de processos*. Revista Produção v. 12 n. 1 2002.
7. **MORAES, Rodrigo T. B. ; SILVEIRA, Alex;** *Otimizando Resultados com a Gestão das Perdas Não-Técnicas de Energia Elétrica*. Trabalho apresentado no SENDI – XVII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Belo Horizonte, MG, 2006.
8. **PEDRINI, Danilo C.; CATEN, Carla S. T.; SOARES, Aurélio B.; CAMPOS, Magno S.;** *Gráficos de Controle para Média e Desvio-Padrão com Tamanho de Amostra Variável: Uma Aplicação em Uma Indústria do Setor Metalúrgico*. Trabalho apresentado no XXVII ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, PR, 2007.