



## XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2010 – 22 a 26 de novembro

São Paulo - SP - Brasil

### Automatização da Substituição do Lote de Medidores

<b>Carlos A. Fróes</b>	<b>Antônio Roberto Donadón</b>	<b>José Ricardo P. Navas</b>
<b>KNBS</b>	<b>CPFL</b>	<b>KNBS</b>
froes@knbs.com.br	donadon@cpfl.com.br	navas@knbs.com.br
	<b>Marley Saraiva</b>	
	<b>UNICAMP</b>	
	<a href="mailto:marley@ime.unicamp.br">marley@ime.unicamp.br</a>	

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Análises Estatísticas

Automação da Medição

Curvas de Aferição

Energia Elétrica

Medidores de Energia Elétrica

#### **RESUMO**

O Sistema de Automatização da Substituição do Lote de Medidores permite que se realize uma análise contínua do parque de medidores através do uso de metodologias de monitoramento da curva de aferição dos medidores, em atendimento às normas dos órgãos responsáveis pelas padronizações e controle dos equipamentos instalados. Estes objetivos são ampliados com a introdução de métodos e algoritmos que permitem decidir, planejar, controlar e gerenciar a substituição de lotes de medidores no parque instalado. Caracteriza os potenciais resultados financeiros e de energia antes da substituição (planejamento), realiza um estudo de viabilidade econômica para a substituição (análise do retorno do investimento) e disponibiliza ferramentas de acompanhamento de resultados depois de efetivada a substituição (indicadores).

Estas funcionalidades ampliam a eficiência, o controle das substituições e os resultados possíveis (físicos e financeiros). Agrega-se a solução um *datawarehouse* (base de informação) mantendo um nível elevado de qualidade de registro que permite identificar as tendências de variáveis associadas aos lotes de medidores como tipos de fraudes e tipos de medidores mais vulneráveis aqueles tipos de fraudes, obsolescência e tamanho do parque instalado e uma avaliação acurada do parque instalado. Isto reflete na operação, no relacionamento empresarial com os consumidores e no planejamento operacional-financeiro.

## 1. INTRODUÇÃO

O Sistema de Automatização da Substituição do Lote de Medidores (**SASubsMed**) usa o fato de que a concessionária de energia elétrica possui em sua base de sistemas legados um módulo de gestão de medidores com informações sobre fabricante, tipos, grupos e dados de manutenção, dados de consumidores, com informações de histórico de consumo, demandas, atividades econômicas e classificação tarifária [1]. A concessionária realiza testes nestes equipamentos e pontua as aferições considerando critérios adotados segundo normas e regulamentação vigentes [2, 3, 4, 5].

Os dados de aferição de cada um dos medidores correspondem a desvios percentuais da corrente nominal aplicadas ao medidor. Uma característica da implementação é que esses dados, bem como as informações dos medidores, notas, testes e aferições podem ser incorporados ao sistema de forma automática, a partir de um arquivo com formato pré-definido a partir do sistema da concessionária. Em etapas de simulação ou estudos de avaliação técnico-estatística, condições de inserção individual e manual no sistema também são disponibilizadas.

Dessa forma, pode-se constituir uma base de informações com os dados dos medidores e de estudos realizados, incluindo-se cálculos para o tamanho da amostra necessária para validar uma determinada ação de troca de lotes.

Com base nos erros de medição da amostra selecionada, dentro do universo do lote, o sistema permite simulações onde são estimados os erros do lote de medidores, através da aproximação dos dados a uma distribuição normal, com um grau de confiança pré-determinado e considerando condições extremas para a concessionária e para o consumidor. Assume-se que o medidor de referência utilizado nas aferições, valida os valores daquela aferição.

Assim é possível verificar o comportamento ou tendência do lote, acompanhar o desempenho dos equipamentos de medição e propor programas de inspeção em unidades consumidoras e avaliação geral de grupos, fabricantes e tipos de medidores.

A metodologia permite identificar lotes de medidores que devem ser substituídos para manutenção preventiva de forma a atingir aos seguintes objetivos:

- Salvar os direitos dos consumidores no caso de medidores que por qualquer motivo apresentam tendência de registrar a mais;
- Salvar a receita da empresa no caso de medidores que por qualquer motivo apresentam tendência de registrar a menos;
- Manter em nível elevado a qualidade dos registros de todos os medidores e conseqüentemente manter em nível elevado a imagem da CPFL;
- Proteção da receita;
- Atender a legislação vigente.

O sistema **SASubsMed** atende as características inerentes ao ambiente CPFL, possuindo controle de acesso por área de concessão e permissão de usuários para seu acesso. Foi projetado de forma modular, contemplando as funcionalidades que refletem o mapeamento das ações, ou seja: Estudos, Aferições, Estatísticas, Relatórios, Consultas, Cadastro, Importações e Interfaces, Análise de Viabilidade Financeira de Substituição de Medidores, Inteligência de Negócios com Funcionalidades Analíticas e preditivas sobre a base de notas de aferição e medidores, Camada Inteligente de Processamento e interface com banco de dados. Estas funcionalidades são representadas na Figura 1.

Os resultados já obtidos com esta abordagem propiciam a manutenção de um nível de conhecimento diferenciado com relação à qualidade dos registros dos medidores na base atual, fornecendo uma visão financeira do investimento a ser realizado com a substituição, bem como a possível receita a ser recuperada, calculada a partir do erro de medição do lote. Agrega-se o acompanhamento do resultado econômico a partir do início da substituição de medidores, acompanhando-se o consumo posterior as

trocas, eficientizando processos, planos de substituições e a garantindo rastreabilidade da execução e indicadores de resultados.

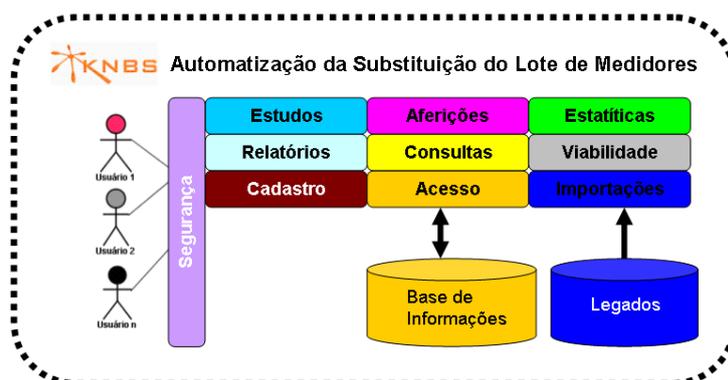


Figura 1: Framework de Automatização da Substituição do Lote de Medidores

O sistema trabalha com conceitos estatísticos inovadores para a concessionária, porém foi construído de forma a apresentar uma interface de uso muito simples. Isto foi tomado como objetivo durante a fase de concepção e qualificação de requisitos, visando a sua rápida incorporação pelas equipes da concessionária, com qualidade e resultados ágeis.

## 2. DESENVOLVIMENTO

A automatização da substituição do lote de medidores pressupõe uma avaliação do parque de medidores, que é realizada através do conhecimento dos erros de medição dos medidores instalados e o reflexo destes sobre o montante da energia faturada. Isto permite ações corretivas e preventivas para evitar a existência de medidores que apresentem tendências de registrar a menor (salvaguardando a receita da empresa) ou a maior (salvaguardando os direitos dos consumidores). Estas ações têm um impacto direto na concessionária porque contribuem para minimizar as perdas não técnicas e contribuem para manter e melhorar a imagem da empresa frente aos seus clientes.

Para efeitos de análise, os medidores do parque instalado, são segregados em grupos, por fabricante, modelo, características técnicas e operacionais semelhantes, denominados de Lotes.

Na avaliação de cada um dos lotes, após a identificação do universo de medidores e da determinação do tamanho da amostra, é realizado todo um processo através do qual são obtidos os dados de aferição daqueles medidores selecionados aleatoriamente no lote, que são chamados de amostra.

Nos dados de aferição de cada medidor, são considerados os testes relativos à corrente nominal (A), em oito faixas percentuais de 10%, 20%, 50%, 100%, 150%, 200%, 300% e 800%, obtidas à tensão nominal (V) e FP igual ao valor um.

Com os dados de aferição, é realizada uma análise estatística para determinação da qualidade dos registros de medição que representa o comportamento do lote sob avaliação.

As características mais relevantes deste Sistema dizem respeito a:

- Os testes estatísticos consideram a proporção de medidores com defeito, além de determinar o erro médio de medição dentro de um limite pré-estabelecido, oferecendo uma maior assertividade na avaliação da qualidade do lote.
- Introdução de um processo de apoio durante a fase de estudos iniciais, baseado em ferramentas de *datamining*, permitindo a investigação temporal da correlação de diversos parâmetros do lote de medidores. Entre esses dados estão: data de instalação, dados de inspeções, defeitos mais comuns em medidores, histórico de fraudes. Este processo adicional visa contribuir com um acervo de

informações, onde é possível, através da correlação de dados, a obtenção de vários tipos de inferências, como por exemplo, se um determinado modelo possui maior propensão a realização de fraudes, baseado em informações de inspeções realizadas. Desta forma, o usuário conta com facilidades de apoio à tomada de decisão que lhe permitem verificar outros indicadores de vulnerabilidade dos lotes em questão, antes mesmo, da realização de um estudo estatístico do lote.

- Introdução de um processo para a realização de estudos de viabilidade econômica que suportem a tomada de decisão adequada com relação a substituição ou não dos medidores do lote sob análise. O foco principal da análise econômica é fornecer uma visão financeira do investimento realizado com a substituição dos medidores e a receita recuperada, calculada a partir do erro de medição do lote, de acordo com as taxas de juros praticadas no mercado ou o prazo de retorno de investimento desejado. No entanto, é importante ressaltar que a tomada de decisão final, cabe ao analista, baseado na sua experiência e nas informações fornecidas pelo sistema.
- Acompanhamento do resultado econômico a partir do início da substituição de medidores, para melhorar a visibilidade dos processos, planos de substituições e a rastreabilidade da execução, oferecendo facilidades para comparação dos valores recuperados após a substituição, com a previsão de receita e energia realizada durante o processo de análise de viabilidade antes da troca.

### ***2.1. O problema básico***

O problema básico e principal consiste em determinar se pelo menos 5% dos medidores de um determinado lote em análise, estão com erro médio de medição maior do que 3%, ou menor do que -3%, isto é, se pelo menos 5% dos medidores sob estudo estão com erros significativos de medição.

Desta forma, a metodologia considera, através dos testes estatísticos realizados, dois critérios para avaliação da qualidade do lote: o erro médio de medição do lote e a proporção de medidores com defeito dentro do lote.

Assim, com o erro médio de medição do lote, os testes estatísticos têm o objetivo de testar se o erro médio do lote se encontra dentro de um limite pré-estabelecido, considerando a proporção de medidores com defeito. Com este procedimento se, filtram aquelas possibilidades onde, uma pequena quantidade de medidores, menor do que 5% do lote possam apresentar um erro de medição grande o suficiente, para afetar a média do lote, de tal forma que induza a considerar o lote como inadequado, quando na verdade não deveria ser classificado dessa forma.

Isto é possível porque com a solução proposta, se introduz um teste seqüencial da razão de verossimilhança para proporção de medidores com defeito no lote [6]. Paralelamente a este método, é também introduzido um teste para proporção usual, que tem tamanho de amostra estabelecido previamente, e será executado apenas nos casos em que o tamanho da amostra do teste seqüencial for maior do que este valor pré-estabelecido [7].

Os benefícios conseguidos com esta metodologia referem-se aos seguintes pontos: os testes estatísticos são realizados para determinar a proporção de medidores com erros no lote e não somente para se determinar o erro médio de medição do lote. Com isto, os lotes considerados defeituosos estatisticamente, serão aqueles que apresentem um percentual maior que 5% de medidores com erros de medição. O teste seqüencial, na maior parte das vezes, necessita de amostras com tamanho menor do que o teste usual. Em estudos de simulação, o tamanho da amostra do teste seqüencial é menor do que no teste usual, em cerca de 80% das vezes.

### ***2.2. Módulo de Estudos***

O módulo de estudos caracteriza as estatísticas realizadas sobre a base de informação e de aferições dos medidores. São definidos neste modulo, os dados representativos do lote do medidor, tais como,

fabricante, modelo do medidor e a data de fabricação. O módulo de estudos é cliente do módulo estatístico que faz cálculo e valida a amostragem. Os estudos fazem a plotagem de gráficos de análises de erros percentuais e estatísticas do cadastro de medidores. Para montagem das amostras podem ser considerados os seguintes parâmetros:

- Concessionária (se existir mais de uma cadastrada no sistema)
- Fabricante, Marca e Tipo do medidor
- Localidade
- Atividade econômica
- Período de Fabricação
- Período de Aferição

Os estudos, depois de concluídos, ficam armazenados no sistema permitindo verificar informações relativas aos dados da sua criação, universo da análise, tamanho da amostra, número de aferições do lote, desvio padrão da amostra, sua significância, erro de estimação, erro médio da amostra, e número de medidores que estão fora da faixa estipulada pela concessionária considerando os padrões e normas.

### 2.3. Módulo de Estatísticas

O módulo de estatísticas foi constituído através de estudos realizados pela concessionária e sua experiência de negócio, visando o modelo estatístico da aplicação.

A elaboração do algoritmo de criação das amostras foi respaldada por conceitos estatísticos [8]. Nesse sentido, a metodologia segue os seguintes passos:

- Separação dos medidores em lotes homogêneos de acordo com o tipo (modelo), fabricante, número de fios e fases, ano de fabricação.
- Estimativa do número de amostra para cada lote e seleção das amostras armazenadas no banco de dados do sistema.
- Dados de aferição de cada um dos medidores da amostra, nos percentuais já referidos da corrente nominal, FP=1 e tensão nominal. O erro médio de cada medidor será a média aritmética dos valores obtidos na aferição.
- Com base nos erros da amostra, serão estimados os erros do lote através da aproximação dos dados à distribuição normal, com nível de confiança de 95% e considerando duas condições extremas, denominadas “pior hipótese para a CPFL” e “Pior hipótese para o consumidor”.
- Avaliação da qualidade do registro do lote para cada condição extrema, considerando os limites abaixo relacionados na Tabela 1:

Tabela 1: Limites do lote

Erro (%)	Entre +/- 3%	Positivo 3%	Negativo - 3%
Lote Admissível do Medidor	90%	5%	5%

Em função dos resultados da avaliação de cada lote, recomenda-se a seguinte política de substituição dos lotes de medidores para manutenção e recalibração:

- Os lotes que apresentam mais de 5% dos medidores registrando erros positivos superiores a + 3%, deverão ser substituídos para recalibração (salvaguardar os direitos dos consumidores).
- Os lotes que apresentam mais de 5% dos medidores registrando erros negativos inferiores a -3% poderão ser substituídos para a recalibração em função de análise custo benefício (salvaguardar a receita da Empresa).

Na aplicação dessa metodologia, inicialmente o módulo realiza a caracterização do lote de medidores, baseado nos parâmetros de entrada fornecidos para o estudo, para um determinado valor  $N$  do universo de medidores.

Para o cálculo do tamanho da amostra  $n$ , é necessário conhecer o valor do desvio padrão  $\sigma$  do conjunto de medidores. Uma vez que este valor é desconhecido, utiliza-se em seu lugar o desvio padrão

amostral  $s$ . Quanto maior for o valor de  $n$ , melhor será a estimativa de  $\sigma$  dada por  $s$ . Por esta razão, o valor de  $n$  é calculado de forma iterativa, pois, uma vez que se tenha um valor de  $s$  mais próximo do verdadeiro valor  $\sigma$ , mais confiável será o cálculo de  $n$ .

Para este cálculo iterativo, é necessário um valor inicial para  $\sigma$ , que neste estudo foi fornecido pela concessionária como sendo de 0,05, baseado na sua experiência anterior. A partir deste valor e dos demais componentes necessários, é feito o primeiro cálculo de  $n$ , utilizando (1). No algoritmo, a quantidade de amostras é inicialmente menor que  $n$ . A partir dos dados dessas amostras é feito um novo cálculo de  $s$  e com este valor calcula-se novamente o valor de  $n$  (1).

Se a quantidade de amostras for menor que  $n$ , continua-se amostrando, e a cada nova amostra incluída no estudo calcula-se  $s$  e  $n$ . A amostragem será suficiente quando a quantidade de amostras for igual ou maior que o valor de  $n$  obtido no último cálculo.

$$n = \frac{N\sigma^2(Z_{\alpha/2})^2}{(N-1)E^2 + \sigma^2(Z_{\alpha})^2} \quad (1)$$

Onde:

$n$  – Tamanho da amostra

$N$  – Tamanho do lote

$\sigma$  - Desvio padrão das amostras anteriores ou determinado pelo pesquisador (inicialização).

$Z_{\alpha}$  - Nível ou grau de confiança (baseado em uma significância  $\alpha = 0,05$ )

$E$  – Erro que se admite cometer na estimativa da média (amplitude do intervalo de confiança para a média, para populações finitas).

Por questões de convergência, o valor de  $n$  deverá ser maior ou igual que 30. No caso do estudo dos medidores, a variável usada é o erro médio percentual dos medidores. Assim, estão sendo usados os seguintes valores, como dados de entrada para (1), durante a inicialização do algoritmo:

$\sigma = 0,05$  (determinado pela concessionária)

$Z_{\alpha} = 1,96$  (significância de 5%)

$E = 0,01$  (erro admissível)

Estes valores podem ser alterados mediante novos estudos e testes e comprovação de adequação, ou por indicação da concessionária. Os valores propostos foram sugeridos pela concessionária como valores iniciais, baseados no seu conhecimento e experiência sobre o assunto.

Para consolidar a análise do lote, é realizado o teste de hipótese considerando-se duas hipóteses [7] representadas pelo Teste 1 e pelo Teste 2 conforme Tabela 2. O Teste 1 verifica se há indícios de que o conjunto de medidores sob estudo esteja com erros maiores do que 3% e o Teste 2 verifica se há indícios de erros menores do que -3%, nas proporções definidas na Tabela 2.

**Tabela 2: Testes de Hipótese**

Teste 1	Teste 2
$\begin{cases} H_0 : \mu = 0,03 \\ H_1 : \mu > 0,03 \end{cases}$	$\begin{cases} H_0 : \mu = -0,03 \\ H_1 : \mu < -0,03 \end{cases}$

Onde:

$\mu$ : é a média percentual de erro do lote de medidores.

$H_0$ : Hipótese nula dos testes 1 e 2

$H_1$ : Hipótese alternativa dos testes 1 e 2

No Teste 1 é verificado se a média de erros do conjunto de medidores é maior que 3%. Uma vez o Teste 1 não seja conclusivo, o Teste 2 é realizado. O Teste 2 verifica se a média de erros do conjunto de medidores é menor que -3%. Se esta hipótese não for verificada, conclui-se que o conjunto de

medidores está com uma qualidade de medição adequada. Para que se chegue a alguma das conclusões citadas acima, é necessário o cálculo da estatística de teste, que é dada pela equação (5):

$$t = \frac{(\bar{x} - \mu_0)}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (5)$$

Onde:

$\mu_0$ : valor de  $\mu$  sob a hipótese H0.

n: tamanho da amostra

s: desvio padrão

$\bar{x}$ : erro médio da amostra com medidores que possuem aferições.

Desta forma, deverão ser calculados dois valores para a estatística de teste, representados pelas Estatística 1 e 2, considerando que será utilizada como referência a Distribuição de Probabilidade t-Student, conforme a Tabela 3.

**Tabela 3: Estatísticas**

Estatística 1	Estatística 2
$t_1 = \frac{(\bar{x} - 0,03)}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$	$t_2 = \frac{(\bar{x} + 0,03)}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$

Para concluir o teste de hipótese são adotados os critérios representados pela Tabela 4, isto é, se o valor da estatística de teste  $t_1$  (Teste 1) for maior que  $t_0$  (valor crítico), então há evidências de que o conjunto de medidores está com erros maiores do que 3%. Se  $t_2$  (Teste 2) for menor do que  $-t_0$  (valor crítico negativo), então há evidências de que o conjunto está com erros menores do que -3%. Caso contrário, há evidências de que o conjunto de medidores não está com erros significativos.

**Tabela 4: Critérios de decisão testes de Hipótese**

Resultado dos Testes	Conclusão
$t_1 > t_0$ e $t_2$ qualquer	$\mu \geq 3\%$ , isto é, Conjunto medindo a mais. Pior hipótese para o consumidor.
$t_1 \leq t_0$ e $t_2 \leq -t_0$	$\mu \leq -3\%$ , isto é, Conjunto medindo a menos. Pior hipótese para a concessionária.
$t_1 \leq t_0$ e $t_2 \geq -t_0$	$-3\% < \mu < 3\%$ , isto é, Conjunto sem problemas

Com o procedimento descrito até este ponto, o método garante apenas se o erro médio de medição do lote está fora ou dentro dos limites aceitáveis. No caso do resultado indicar que está fora dos limites aceitáveis, o próximo passo consiste em determinar a proporção de medidores com defeitos no lote sob estudo para verificar se essa proporção é maior do que o limite previamente estabelecido.

As hipóteses a serem testadas neste procedimento são denotadas da seguinte forma:

$H_0: p \leq 5\%$ ;  $H_1: p > 5\%$ , com  $p$ , sendo a proporção de medidores do lote com erros significativos.

Neste Sistema, foi procurada a solução estatística que conseguisse uma taxa de acertos adequada utilizando a menor quantidade de amostras. Devido a isto, o Sistema tem dois métodos estatísticos elaborados em paralelo para se testar as hipóteses acima mencionadas e é executado aquele que apresenta menor tamanho de amostra.

O primeiro deles é o teste binomial para proporção, que utiliza o procedimento de amostragem aleatória simples, e o fato de que a distribuição de probabilidade binomial pode ser aproximada pela distribuição de probabilidade normal. Este teste tem tamanho de amostra calculado previamente com base nos parâmetros definidos para o teste, como  $\alpha$  e  $E$ . Neste Sistema, este teste é denominado de teste gaussiano. A estatística do teste neste caso é:

$$z = \frac{(\bar{p} - 0,05)}{\sqrt{\frac{(0,05)(0,95)}{n}}}$$

onde:

$\bar{p}$  é a proporção de medidores com defeito na amostra;

$n$  é o tamanho da amostra;

$z$  tem aproximadamente, distribuição normal com média 0 e desvio-padrão 1.

Uma descrição mais detalhada do teste binomial para proporção pode ser encontrada em [7].

O segundo modelo estatístico é construído segundo um método sequencial, o qual é utilizado para testar se um dado lote está ou não com defeito segundo um critério pré-determinado. Este teste exige que a distribuição de probabilidade do objeto em estudo, que neste caso, é a proporção de medidores com erros significativos, seja binomial. O procedimento se encerra quando o teste leva a uma das duas hipóteses indicadas acima. O procedimento sequencial, na maioria das vezes, leva a uma conclusão acertada com tamanho de amostra menor do que o teste binomial para proporção. Este teste não tem tamanho da amostra definido previamente. Uma descrição mais detalhada do método sequencial pode ser obtida em [6].

Cada observação é classificada em uma de duas categorias (defeito ou sem defeito). Considera-se que o lote tenha um número de elementos suficientemente grande, de modo que possa ser considerado teoricamente como infinito. Seja  $p$  a proporção desconhecida de medidores com erros significativos no lote. Determinam-se dois valores  $p_0$  e  $p_1$  ( $p_0 < p_1$ ) de tal modo que se a proporção desconhecida  $p$  estiver entre  $p_0$  e  $p_1$ , não se tem preferência significativa por  $H_0$  ou  $H_1$ . O valor de  $\alpha$  (significância) também deve ser determinado. Considera-se aqui que o valor de  $E$  (erro de estimação) será igual ao comprimento do intervalo  $[p_0, p_1]$ .

Denota-se por  $d_m$  o número de unidades defeituosas encontradas nas  $m$  primeiras unidades inspecionadas e calcula-se o valor  $A_m$ , chamado de valor de aceitação, e o valor  $R_m$ , chamado valor de rejeição [6]. Estes valores são calculados antes do início das inspeções, pois dependem apenas dos valores de  $\alpha$ ,  $p_0$  e  $p_1$ . Se  $A_m$  não for um número inteiro, ele será substituído pelo maior inteiro menor que ele. Se  $R_m$  não for um número inteiro, ele será substituído pelo menor inteiro maior que ele. O procedimento de inspeção será repetido enquanto  $A_m < d_m < R_m$ .

Se  $d_m \leq A_m$ , então aceita-se  $H_0$ .

Se  $d_m \geq R_m$ , então aceita-se  $H_1$ .

Os benefícios apresentados pelo modelo descrito acima se refletem, principalmente, nos seguintes pontos:

- O modelo estatístico proposto atende com boa assertividade a necessidade da concessionária, diminuindo a probabilidade de inferir de forma inadequada sobre um lote de medidores em estudo, por considerar apenas o erro médio de medição como variável de decisão. O método considera também a proporção de medidores com erros significativos.

- O método sequencial proporciona um grande ganho financeiro, uma vez que a quantidade de aferições necessárias é, em geral, menor do que o método gaussiano. Desta forma, obtém-se um método estatístico que inferi, com um nível de confiança especificado, sobre a real qualidade do lote de medidores e, para isso, utiliza uma quantidade de aferições menor quando utilizado apenas o método gaussiano.

#### **2.4. Benefícios do Sistema Proposto**

Dentre os benefícios já constatados com o Sistema de Automatização da Substituição do Lote de Medidores, citam-se:

- Maior assertividade do critério de decisão na análise dos lotes considerados estatisticamente com defeito;
- Os testes estatísticos permitem determinar a proporção de medidores com erros no lote e não somente o erro médio de registros do lote;
- O teste seqüencial, na maioria dos casos (da ordem de 80%), apresenta um tamanho da amostra menor que o teste normal (Gaussiano). Este fato é de muita relevância, pois acarreta uma redução de custos operacionais;
- Análise da viabilidade econômica, como suporte na tomada de decisão da substituição do lote de medidores;
- Facilidades para comparação dos valores reais após troca, com a previsão de receita e de energia, realizada durante o processo de análise de viabilidade antes da troca.

### **3. RESULTADOS**

O sistema foi submetido a testes para validação dos métodos estatísticos descritos conforme as especificações realizadas previamente para o Sistema, garantindo-se a sua robustez e efetividade.

Inicialmente, foram realizados estudos de simulação para vários lotes de medidores, gerados com informações previamente conhecidas: tamanho do lote, erros médios, quantidade de medidores com erro e porcentagem de medidores com erro. O objetivo foi verificar se os métodos implementados indicavam aquela situação do lote, também, previamente conhecida: lote com erro ou lote sem erro. Cada um dos lotes gerados foi testado 5000 (cinco mil) vezes e em cada vez, foi verificado se o teste executado foi o sequencial ou o gaussiano e se a decisão tomada pelo teste foi acertada.

As simulações mostraram que efetivamente, o teste seqüencial, na maioria dos casos, apresenta um tamanho da amostra menor que o teste normal (Gaussiano). O impacto desta diferença se reflete diretamente numa redução de custos operacionais, visto que o conjunto de medidores a serem analisados e aferidos é muito menor no teste seqüencial.

Conclui-se que o sistema oferece condições que maximizam os resultados e minimizam os custos da concessionária no processo de avaliação do parque de medidores, sem perda de eficiência e confiabilidade.

Posteriormente, foram utilizados diversos pilotos e hipóteses para verificação da curva de aferição e do estudo estatístico respectivo.

Na verificação da maturidade dos estudos gerados pelo sistema, foi utilizado o conjunto de aferições realizadas em campo, e em laboratório pela concessionária, e informações colhidas junto aos fabricantes de medidores.

Foram feitos vários estudos com diferentes tamanhos de amostras para que fossem verificadas as três hipóteses básicas:

- **Situação 1** - Conjunto sem problemas
- **Situação 2** - Pior hipótese para a CPFL
- **Situação 3** - Pior hipótese para o consumidor

Como resultado da análise destes estudos, a concessionária tem o suporte necessário para definir se um determinado lote de medidores deve ser substituído ou não, ou se, medidores com erros de aferição muito grandes devem ser tratados individualmente.

A Figura 2 representa um estudo realizado com o Sistema, onde o lote foi avaliado de forma neutra sem apresentar problemas, realizados com medidores monofásicos. A Figura 3 representa a curva de distribuição dos dados do lote dos medidores, onde é possível verificar em qual faixa estão localizados os erros e suas respectivas frequências.

### Situação 1 - Conjunto sem problemas

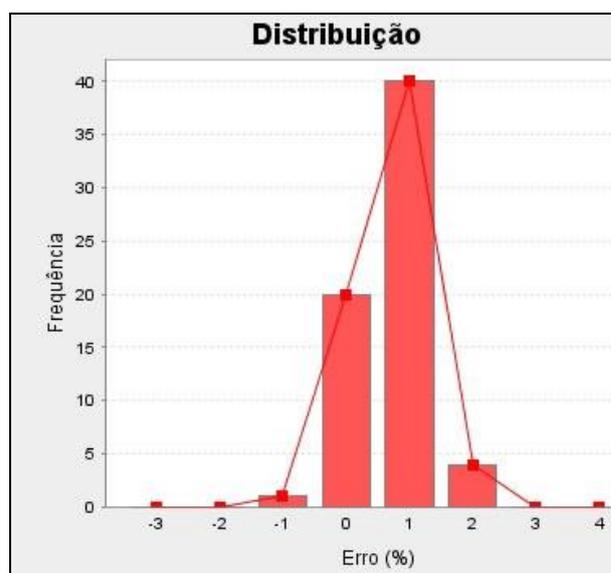
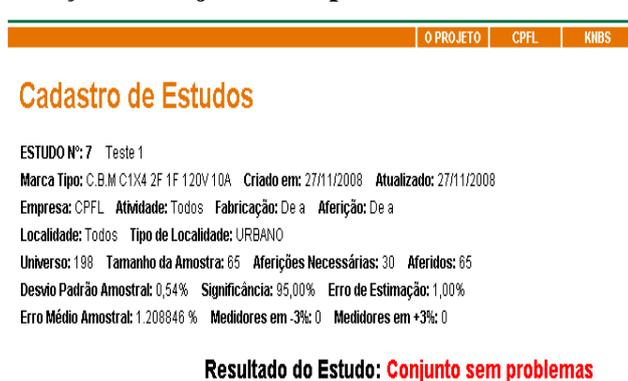


Figura 2. Tela de Resultados da Análise do Lote de Medidores

Figura 3. Resultados da Análise do Lote de Medidores

As curvas de todas as aferições individuais que foram utilizadas para julgamento do lote, estão representadas pela Figura 4.

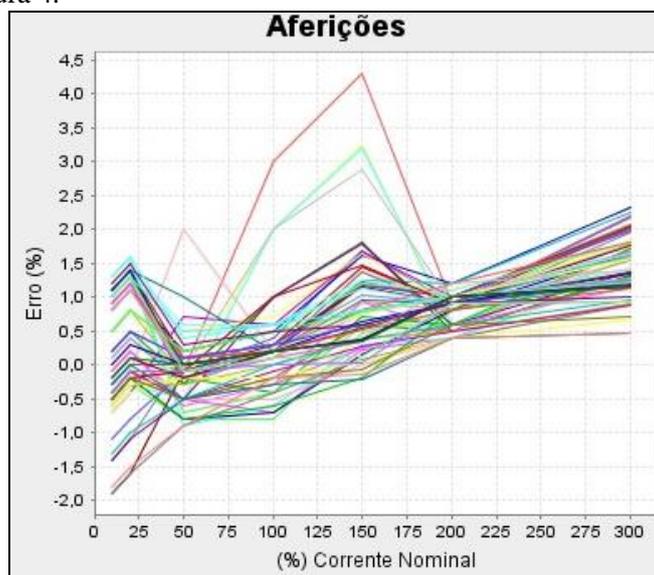


Figura 4. Qualidade da Aferição do Lote de medidores Monofásico correspondente à Situação 1

A Figura 5 representa outro estudo realizado com o Sistema de Gestão Estatística, onde o lote foi avaliado de forma “pior hipótese para a CPFL” correspondente à situação 2. Neste lote pode-se verificar que os erros de aferição estão em uma faixa fora do intervalo  $[-3\%, 3\%]$ , conforme o teste de hipótese apresentado pela Tabela 4 e ilustrado na Figura 6.

## Situação 2 - Pior hipótese para a CPFL



Figura 5. Tela de Resultados da Análise do Lote de Medidores

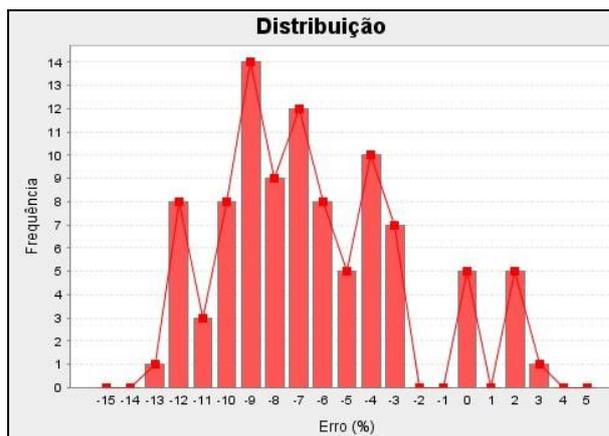


Figura 6. Resultados da Análise do Lote de Medidores

A mesma verificação foi feita através das curvas de aferição utilizadas, as quais apresentaram uma concentração das médias de aferição fora do intervalo -3% a +3%.

A Figura 7 representa outro estudo realizado com o Sistema, onde o lote foi avaliado de forma “pior hipótese para o Consumidor” correspondente à situação 3. Na Figura 8 podem-se observar vários medidores possuem suas médias de erros de aferição em uma faixa acima de 3%. Com esta frequência o lote está caracterizado como “ofensor” do consumidor.

## Situação 3 - Pior hipótese para o consumidor



Figura 7. Tela de Resultados da Análise do Lote de Medidores

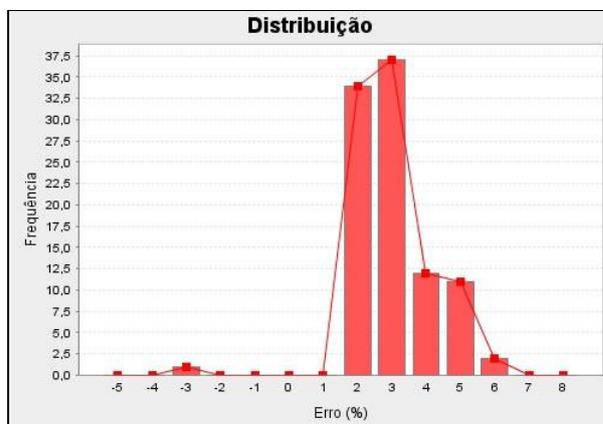


Figura 8. Resultados da Análise do Lote de Medidores

## 4. CONCLUSÕES

O Sistema de Automatização da Substituição do Lote de Medidores (**SASubsMed**) demonstrou e qualificou que as condições de análise construídas e disponibilizadas. Reforça a melhora na assertividade para a concessionária, tornando-se uma ferramenta consolidada para o apoio à tomada de decisões no processo de substituição de lotes de medidores.

Atua na identificação dos lotes de medidores que geram uma redução de perdas de faturamento para a concessionária, naqueles casos onde apresentem tendência em registrar a menor, ou na identificação daqueles casos, onde os medidores apresentem uma tendência de registrar a maior, salvaguardando os direitos dos usuários.

Este sistema, além de promover a redução da quantidade de reclamações, também reduz consideravelmente os custos operacionais, em função da escolha de amostras com menor, resultante do teste seqüencial ser menor. Reforça o interesse da concessionária em investigar e solucionar problemas para/com os consumidores, um grande valor de relacionamento.

Os resultados obtidos propiciam adicionalmente, a manutenção da qualidade dos registros dos medidores instalados na sua planta, fornecendo uma prévia visão financeira dos investimentos a serem realizados com a substituição dos medidores e uma estimativa da receita a ser recuperada, calculada a partir do erro de medição do lote. Adicionalmente, permitem o acompanhamento econômico, com indicadores e processos, planos de substituições e a rastreabilidade da execução, oferecendo facilidades para comparação dos valores recuperados após a substituição, com a previsão de receita e energia feitas.

O sistema trabalha com conceitos estatísticos inovadores para a concessionária, porém foi concebido de forma a ter uma utilização facilitada e interfaces de acesso simples e funcionais.

Ressalta-se que os testes de viabilidade econômica e de acompanhamento de resultados, após o início da substituição, geraram uma abordagem de negócios muito interessante e que será referendada oportunamente.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FRÓES LIMA, C.A. (KNBS) & NAVAS, J.R.P. (KNBS) & DONADON, A. R. (CPFL) & CARVALHO, T.(KNBS) & MÜLLER H. H. (KNBS) & SARAIVA, M. (KNBS) - *Gestão Estatística de Medidores*- V CITENEL, 2009 – 8p.
- [2] IMETRO, *Regulamento Técnico Metrológico de Medidores de Energia Ativa baseados no Princípio de Indução, Eletromecânicos*, Portaria do INMETRO No. 88, abril de 2006
- [3] ABNT, *NBR8377: Medidor de energia ativa - Especificação, NBR8378: Medidores de energia ativa – Método de ensaio, NBR5313: Aceitação de lotes de medidores de energia ativa - Procedimento, NBR8372: Medidor de energia reativa – Especificação, NBR8374: Medidor de energia reativa, - Método de ensaio, NBR8373: Aceitação de lotes de medidores – Procedimento, NBR8379: Medidor de energia ativa e reativa – Valores nominais – Disposições dos terminais, Dimensões e Ligações, NBR6509: Eletrotécnica e eletrônica – Instrumentos de medição - Terminologia*
- [4] ABNT, *NBR14519: Medidores Eletrônicos de energia elétrica (estáticos) – Especificação, NBR14520: Medidores Eletrônicos de energia elétrica (estáticos) - Método de Ensaio.*
- [5] IEC-60687:1993 - *Alternating Current Static Watt-Hour Meters for Active Energy (Classes 0,2 S e 0,5 S)*
- [6] WALD, A. - *Sequential Method of Sampling for Deciding Between Two Courses of Action*, Journal of the American Statistical Association, September, 1945. Volume 40, no.231 - pp. 277-306
- [7] TRIOLA, M. F. (2008). *Estatística* - 10 .ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. VOL, 6
- [8] MANN, N. R., SCHAFER, R. E., SINGPURWALLA, N. D. *Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data*. New York: John Wiley & Sons, 1974. 564p