



XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2010 – 22 a 26 de novembro

São Paulo - SP - Brasil

Sistema Especialista para a Monitoração do Processo de Degradação de Medidores de Energia Elétrica Ativa, tipo Indução

Carlos Alberto Canesin	Marcelo R. Silva	Luigi Galloto Jr.
UNESP - Ilha Solteira(SP)	UNESP - Ilha Solteira(SP)	UNESP - Ilha Solteira(SP)
canesin@dee.feis.unesp.br	marcelo.rubia@terra.com.br	lgallotto@gmail.com

Sebastião Amorim	Ediléu H. Cardoso Jr.	Márcio Sciamana
TecnoMétrica – Campinas(SP)	ELEKTRO – Campinas(SP)	ELEKTRO – Campinas(SP)
amorim@tecnometrica.com.br	edileu.junior@elektro.com.br	marcio.sciamana@elektro.com.br

Palavras-chave

Modelo de Risco

Probabilidade de Falha

Inteligência Artificial

Medidores tipo indução de energia elétrica ativa

Sistema Especialista para Amostragem

Resumo

Este artigo apresenta uma metodologia e um aplicativo para a análise da Probabilidade de Falha de medidores de energia elétrica ativa, tipo indução, considerando-se as principais variáveis correlacionadas com o processo de degradação destes medidores de energia elétrica, na área de concessão da Elektro. A modelação desenvolvida para o cálculo da Probabilidade de Falha dos medidores de energia elétrica ativa foi implantada em uma ferramenta (*software*) com plataforma amigável ao usuário, em linguagem Delphi, possibilitando não somente a análise das probabilidades de falha, mas também a classificação por faixas de risco, a localização no parque Elektro, e, permitindo, através de um sistema especialista, a amostragem de medidores de energia elétrica ativa, tipo indução, baseada em modelo de risco desenvolvido com inteligência artificial, com a finalidade principal de acompanhar e gerenciar o processo de degradação, manutenção e substituição destes medidores.

1. Introdução

Os medidores de energia ativa, baseados no princípio de indução, são os equipamentos em maior utilização no parque metrológico brasileiro. Segundo dados da ANEEL [1], em 2009, o parque de medição nacional era constituído de 92,61% de medidores eletromecânicos. A tabela 1 apresenta a distribuição de todos medidores (eletromecânicos e eletrônicos), no Brasil, por faixa de idade.

Os medidores eletromecânicos possuem uma vida útil econômica estimada em 25 anos [2], porém não existe na literatura estudos que determinem a vida útil metrológica dos medidores, isto é, estudos que apontem quantos anos os medidores conseguem medir corretamente a energia, dentro de sua classe de exatidão.

Tabela 1: Distribuição de medidores de acordo com a faixa de idade.

Faixa de idade	Freqüência
Estoque	3,12%
0 a 5 anos	29,86%
6 a 10 anos	21,05%
11 a 15 anos	12,98%
16 a 20 anos	8,31%
21 a 25 anos	7,82%
+ de 25 anos	16,86%

O medidor de energia eletromecânico é um equipamento que pode ter seu funcionamento e precisão influenciados pelas seguintes características externas [2-19]:

- Variações de temperatura ambiente: segundo [2], um aumento de temperatura de 10°C pode ocasionar uma redução de 4% de torque motor e redução de 5% de torque frenante;
- Variações da tensão da rede: sobre-tensões fazem com que o medidor indique um valor de consumo menor do que o real, já sub-tensões acarretam em medição superior ao valor real;
- Variações da freqüência da rede: as pequenas variações de freqüência não afetam o funcionamento do medidor, mas para freqüências maiores que a nominal a rotação do elemento motor tende a diminuir e para freqüências menores que a nominal a rotação do elemento motor tende a aumentar;
- Campos magnéticos externos: devido o princípio de funcionamento ser através da indução eletromagnética, campos magnéticos intensos podem causar erros de medição nos equipamentos;
- Distorções harmônicas: os medidores baseados no princípio de indução eletromagnética apresentam erros de medição perante distorções harmônicas, podendo estes chegar até 10%, ou mais.

De acordo com [3], dois itens que podem gerar erros de medição no decorrer dos anos são as engrenagens e o freio magnético. Sob fricção excessiva o elemento móvel tende a girar de maneira mais lenta registrando medição inferior ao valor real. Caso o freio magnético diminua sua intensidade, o medidor tenderá a permanecer girando após diminuição de carga.

Em consulta com os laboratoristas da Elektro Eletricidade e Serviços S.A., o mancal eletromecânico também é considerado item que pode gerar erros no decorrer dos anos, o desgaste da peça aumenta a superfície de contato do elemento móvel aumentando o atrito e, conseqüentemente, indicando consumo menor do que o real.

Com base no contexto anterior, é fundamental obter informações comportamentais dos medidores instalados no parque da concessionária, considerando-se a necessidade normativa de mantê-los instalados operando dentro dos limites permitidos de erros de medição.

Portanto, este projeto de P&D tem os seguintes objetivos principais:

- Desenvolvimento de modelo para predição da probabilidade de falha dos medidores eletromecânicos de energia ativa, monofásicos ou polifásicos, agrupados por variáveis de influência;
- Utilização de técnica de inteligência artificial para evolução do modelo;
- Desenvolvimento de ferramenta em plataforma amigável capaz de fornecer:
 - Visualização e gerenciamento do estado atual do parque metrológico;
 - Sistema especialista para amostragem de medidores, visando melhorar a acurácia para o processo de manutenção e/ou substituição de medidores.

2. Metodologia

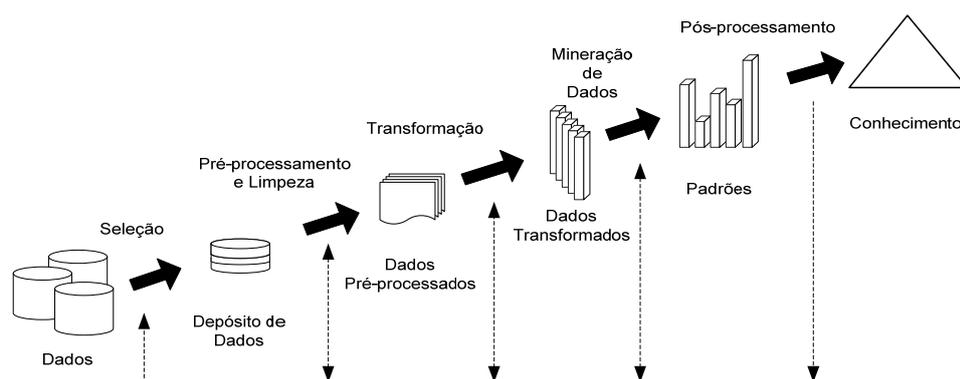
A análise da probabilidade de falha é uma técnica estatística simples. Ela indica para o usuário qual a tendência de comportamento de um objeto no tempo próximo ao da amostra.

Como a amostra engloba equipamentos distintos, instalados em diversas condições climáticas, e submetidos aos mais variados tipos de carga, a probabilidade de falha apresentada pode ser considerada a probabilidade média de falha de todos os equipamentos. A eficiência do modelo de análise de probabilidade de falha pode ser elevada através da segmentação dos medidores de energia em classes (clusters). A eficiência máxima ocorre quando existirem dois tipos de grupos: aqueles em que a probabilidade de falha é máxima (igual a 100%) e aqueles em que a probabilidade de falha é mínima (igual a 0%).

A consideração de falha do equipamento, aqui abordada, distingue da existente na literatura na qual falha representa o não funcionamento do equipamento. No trabalho, falha inclui o conceito da literatura, mas também agrega os equipamentos que possuem erros de medição acima dos limites estabelecidos pela concessionária, em função das normatizações e regulamentações da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, ou, dos órgãos de fiscalização metrológica, para o estado de São Paulo: ARSESP – Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo.

A metodologia descrita em [4], sobre o processo de descoberta de conhecimento em base de dados (DCBD), visa obter conhecimento específico, a partir de bases de dados. A figura 1 apresenta o diagrama da metodologia, a qual é utilizada neste trabalho.

Figura 1: Processo de DCBD.



Os dados que subsidiaram este trabalho foram obtidos a partir de Bancos de Dados da concessionária, Elektro, gerando-se duas tabelas principais:

- Uc_mecedor: dados históricos de instalações e retiradas de medidores de energia em unidades consumidoras;
- Med_cons: dados históricos de consumo mensal de unidades consumidoras.

Os dados sobre falhas dos equipamentos foram obtidos dos relatórios gerados para a ARSESP no período de 2004 até 2007.

3. Análise das Variáveis

A Elektro contava, em 30/06/2008, com 1.972.579 medidores de energia elétrica ativa. Inicialmente, foi explorada a associação entre diversas variáveis disponíveis relativas aos medidores, e o tempo médio de vida desses medidores, como: número de fases, ano de fabricação, carga nominal do medidor, consumo mensal médio da unidade consumidora (UC), modelo do medidor, precipitação anual média da localidade onde o medidor está instalado, distância da UC ao mar, altitude média da localidade, pluviosidade média anual das localidades, etc. Os dados sobre a pluviosidade média anual das localidades, na área de concessão da Elektro, foram obtidos junto ao INPE.

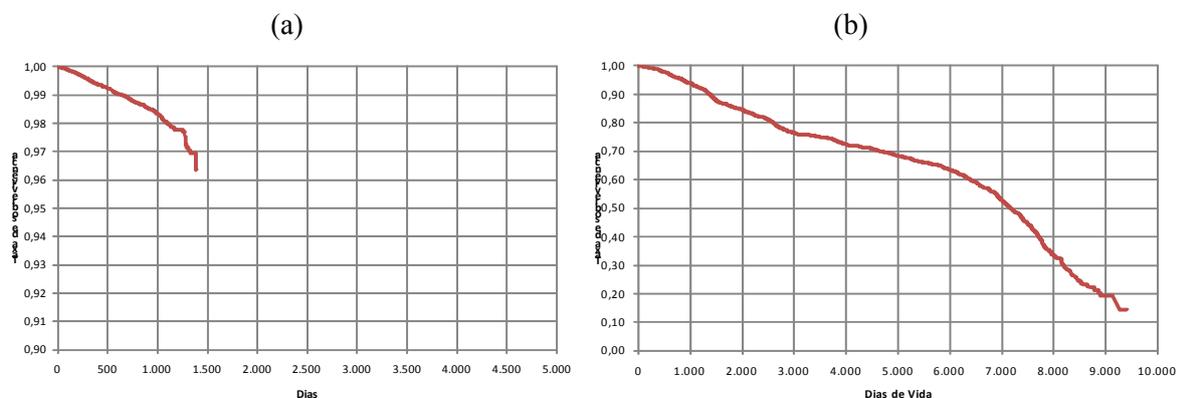
Visando a obtenção de dados consolidados para a aplicação de técnicas de mineração, os dados foram filtrados e aglutinados em uma única tabela denominada depósito de dados (ou dados alvos), a qual se tornou a referência para as demais etapas.

Os dados foram então sumarizados e receberam tratamentos estatísticos para eliminação de erros e utilização nas técnicas de Mineração de Dados, conforme descrito em [5]. Entre as tarefas de pré-processamento destaca-se a transformação das variáveis. O depósito de dados contém dados históricos dos medidores de energia, apresentados em registros. Esses dados possuem informações que não são diretamente obtidas, sendo necessária a transformação dos dados. Reduziu-se a quantidade de registros existentes e obtiveram-se informações necessárias, tais como a quantidade de instalações que o medidor de energia teve no parque de medição e o consumo médio mensal do mesmo, considerando-se a UC na qual o medidor está ou esteve instalado, compreendendo para o cálculo do consumo médio mensal o período a partir da instalação do equipamento.

4. Curva de Sobrevivência dos Medidores

Um medidor, uma vez instalado, será removido, ou por falha, ou por ter sido selecionado por algum programa de inspeção amostral. No primeiro caso dizemos que ele percorreu um ciclo de vida completo; no segundo, um ciclo de vida incompleto, ou truncado. A curva de vida representa o percentual de equipamentos que permanecem instalados dividido pela quantidade total de equipamentos, para vários dias de instalação. A figura 2 apresenta as curvas de vida para dois modelos de medidores, MF97G e FYT201. O modelo MF97G possui segmento estimável, com taxa de sobrevivência superior a 96% em 1400 dias. O modelo FYT201 tem, em comparação com o modelo anterior, taxa de sobrevivência aos 1.400 dias de 88,5%.

Figura 2: (a) Curva de Sobrevivência para o modelo MF97G. (b) Curva de Sobrevivência para o modelo FYT201.



5. Construção do Modelo de Risco

Traçando a partir dos dados disponíveis as curvas de vida dos medidores, verifica-se a clara influência de diversas variáveis na durabilidade dos mesmos. A partir destas análises pode-se definir as variáveis mais significativas para construção de um modelo de risco capaz de segregar os medidores em classes que apresentam probabilidades de falhas dos equipamentos mais próximas do real do que a probabilidade de falha média.

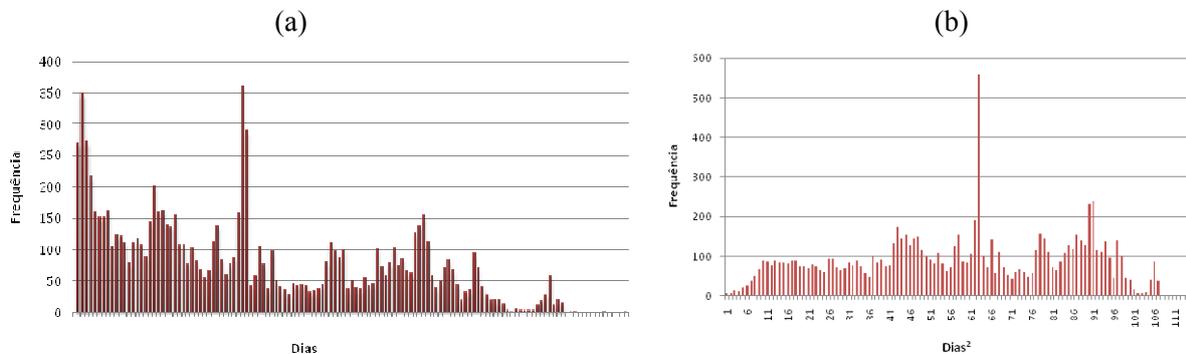
Os medidores que apresentaram um desvio maior que $\pm 3\%$ nos conjuntos de ensaios de carga, foram considerados inadequados ou “não OK”. A taxa de medidores “não OK” denominamos de *score* e apresentamos os resultados por variável (categóricas ou por faixa):

- Dias de vida: o tempo de vida, em dias, do medidor na última instalação;
- Número de fases da UC em que o equipamento se encontra instalado;
- Local de instalação: se o medidor está instalado em zona urbana ou rural;

- Precipitação pluviométrica anual por localidade: fornecida com base nos dados do INPE;
- Modelo de medidor: subtipo do medidor, agrupado de acordo com informações da Elektro;
- Localidade: município da UC;
- Consumo médio mensal;
- Ano de fabricação do medidor;
- Número de instalações: quantidade de vezes que o medidor já foi instalado no parque de medição.

Para o cálculo da probabilidade de falha, as variáveis contínuas (faixa de idade, precipitação pluviométrica anual e consumo médio mensal) foram discretizadas. As faixas foram determinadas buscando manter uma boa diferenciação de frequência de medidores “não OK” entre as categorias. Exemplo é o caso da variável tempo de vida, que possui um amplo espectro de variação (de 1 a 13.092 dias), e uma extrema assimetria, como ilustra a figura 3(a). A divisão dos valores em faixas de largura 20^2 se mostrou adequada: 0-399, 400-1599, 1600-3599, 3600-6399, 6400-9999, 10000-14399. A figura 3(b) apresenta os resultados da discretização.

Figura 3: (a) Distribuição dos medidores por tempo de vida. (b) Distribuição após transformação.



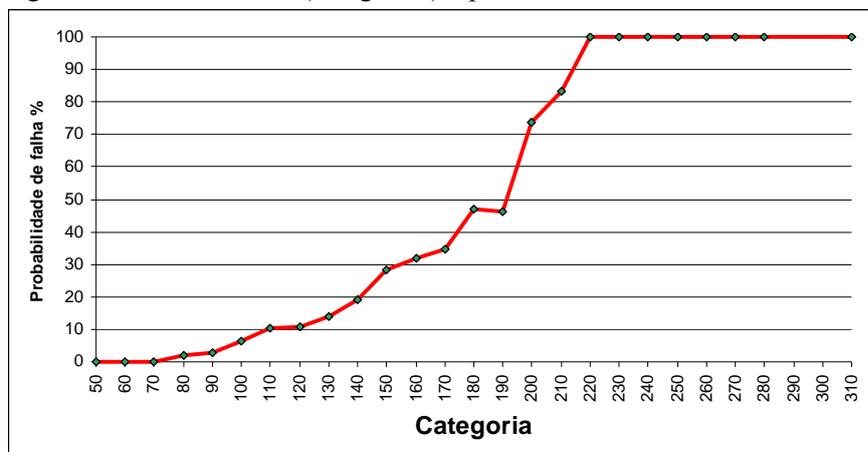
O *score* de risco realiza a classificação dos medidores em classes, onde cada valor de *score* determina uma classe. O valor do *score* de risco é determinado através da soma da probabilidade de falha para cada variável selecionada, o valor final é sempre arredondado para a classe inferior múltipla de 10. A tabela 2 apresenta um exemplo de determinação de *score* de risco (categoria).

Tabela 2: Exemplo de cálculo de *score* de risco.

Variável	Valor	Score
Dias de vida	4.520	14,2
Número de fases	2	14,4
Precipitação média anual	1.788	11,7
Medidor Agrupado	214	36,0
Por Localidade	831	37,5
Consumo médio mensal	519	19,0
Ano de fabricação	1992	9,5
Instalação	3	9,3
Categoria Urbano/Rural	Rural	17,7
<i>Score</i> total (Categoria/ <i>Score</i> de Risco)		169,3 → 160

A figura 4 apresenta todos os valores do *score* total de risco (categorias) obtidos através da correlação entre os dados dos ensaios no padrão ARSESP e base de dados, e, a Probabilidade de Falha decorrente (Risco).

Figura 4. Scores de risco (categorias) e probabilidade de falha decorrente.



6. Ferramenta em Plataforma Amigável

A ferramenta, ou aplicativo (*software*), foi desenvolvida em plataforma Delphi e banco de dados MySQL, denominada WhFailure 1.0. O objetivo é fornecer um ambiente amigável com todas as ferramentas desenvolvidas para a monitoração e gerenciamento da situação do parque de medição e a possibilidade de amostragem, por faixas de risco, para a identificação de equipamentos que estejam sujeito a elevadas probabilidades de falhas. A figura 5 apresenta a interface principal da ferramenta.

A figura 6 apresenta a tela de importação de dados do parque de medição e dados de ensaio. Assim é possível atualizar o parque de medição com o passar do tempo e a importação de novos ensaios permite evoluir o modelo de risco, alterando o valor da probabilidade de falha de cada *score* de risco, utilizando-se metodologia de inteligência artificial.

Além dos assistentes de importação, constituem o sistema outros aplicativos de análise para auxiliar no processo de análise de probabilidade de falhas de medidores (Análise de Probabilidade de Falhas, Sistema Especialista de Amostragem) e de gerenciamento de modelos de risco e de versões dos bancos de dados (Configurações).

Figura 5: Tela principal do aplicativo.



Figura 6: Seção de importação de dados.



O primeiro aplicativo denominado de "Análise de Probabilidade de Falhas" apresenta uma interface para a realização de consultas para determinação da probabilidade de falhas considerando a configuração de casos de análise (conjunto de medidores, Regionais, Consumo, Escalas de Probabilidades de Falhas) e a confrontação com o modelo de risco vigente. Nesse aplicativo é possível observar a estratificação da probabilidade de falhas encontrada para o caso em análise, através de histogramas e tabelas, ou, a partir de recursos gráficos com a localização dos medidores de energia, englobados nos resultados em um mapa, contendo sua localização (cidade) e seu enquadramento na escala de probabilidade de falha.

O segundo aplicativo denominado de "Sistema Especialista" possibilita a realização de amostragens de medidores baseadas nos modelos de risco e de inteligência artificial para a simulação e análise da acurácia esperada para a amostragem em campo, considerando-se as probabilidades de falha, para o atendimento aos padrões normatizados e agentes de regulação (ANEEL e ARSESP). A amostragem é oferecida através da geração de relatórios que apresentam informações relativas à acurácia esperada para a amostragem realizada, permitindo a análise da probabilidade de falhas em todos os modelos de uma determinada família de medidores.

O terceiro aplicativo denominado de "Configurações" possibilita o gerenciamento das bases de dados e dos modelos de risco, registrados e evoluídos através dos algoritmos de inteligência artificial, utilizados nas análises e amostragens. Através desta ferramenta são especificadas quais bases de dados e modelos de risco estarão sendo consideradas como ativas para a realização das análises e amostragens.

Adicionalmente, as análises efetuadas podem ser salvas e/ou impressas através de relatórios gerados em formato da planilha Excel com a extensão ".xls".

Através do aplicativo "Análise de Probabilidade de Falhas", com a especificação do modelo de risco, a ferramenta permite a visualização de todos os medidores do parque Elektro, considerados para a pesquisa. A ferramenta permite uma análise do parque de medição por meio de tabelas, com informações resumidas ou completas, visualização gráfica, e emissão de relatórios sobre o estado do parque. É possível ainda aplicar filtros realizando análises somente para determinados grupos de medidores. A figura 7 mostra a interface da tela de análise do parque de medição, considerando-se determinado modelo de risco, e, as decorrentes probabilidades de falhas.

A distribuição geográfica e quantitativa dos medidores enquadrados nas faixas de probabilidade de falhas para os filtros empregados na consulta pode ser mostrada na forma de um mapa. O mapa permite a visualização gráfica das classes de probabilidade de falhas encontradas, e as cidades onde os medidores estão instalados. A figura 8(a) apresenta uma visão geral para esta ferramenta, considerando um exemplo de caso. Adicionalmente, é possível através de um menu de controle de visualização alterar a escala e posição de visualização dos resultados, conforme mostra um exemplo de Zoom aplicado ao mapa da figura 8(a), resultando no detalhamento da figura 8(b).

Figura 7: Análise/Monitoração do parque de medidores.

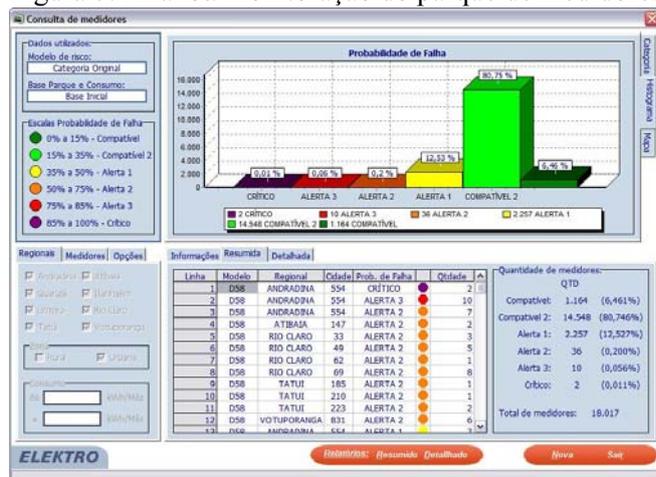
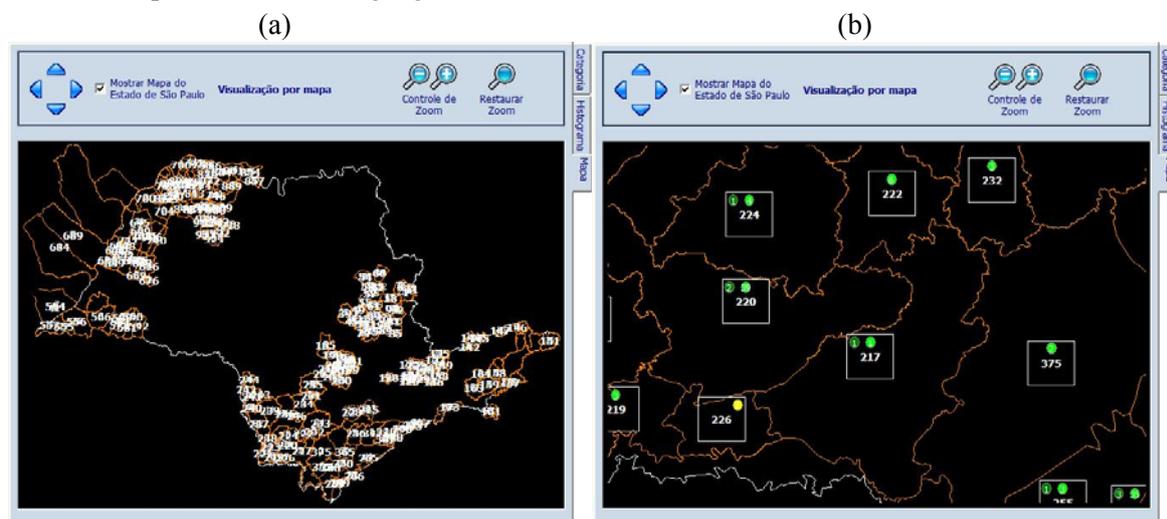


Figura 8. (a) Mapa da distribuição geográfica dos resultados obtidos. (b) Aplicação da ferramenta de Zoom no mapa da distribuição geográfica dos resultados obtidos.



O *score* de risco pode ser evoluído através da importação de dados de ensaios, no padrão ARSESP. A figura 9 apresenta a interface de evolução de modelo de risco. Técnicas de inteligência artificial (Modelo Kernel) são aplicadas para evoluir o modelo com auxílio dos novos dados, sem descartar as informações da probabilidade de falha existente no modelo anterior, ou, original [20-24]. O novo modelo de risco gerado pode ser salvo na base de dados principal, ou apenas ser visualizado através da ferramenta para monitoração de sua evolução. Este último modo é considerado como sendo apenas uma simulação para a verificação da tendência do modelo de risco, considerando-se a evolução com a base de dados de ensaios em questão.

Conforme figura 9, após a obtenção do novo modelo de risco utilizando-se I.A., o assistente de geração permite a simulação instantânea das evoluções possíveis do modelo de risco através da modificação de dois parâmetros empregados nas técnicas de I.A. (Peso Inicial e Largura de Banda). Adicionalmente, as bases de dados escolhidas (Modelo de risco e Dados de Importação de Ensaio) são informadas na posição superior direita da tela do assistente. Caso seja necessário substituir a configuração das bases deve-se pressionar a opção "Voltar", e repetir o processo de seleção.

Figura 9: Evolução do modelo de risco.



Desta maneira, o aplicativo permite efetuar várias simulações modificando-se os parâmetros de I.A. (Peso Inicial e Largura de Banda) com o objetivo de observar como o modelo de risco gerado através das técnicas de Inteligência Artificial se comporta. O Peso Inicial representa o quanto o modelo de risco original é importante em relação aos novos bancos de dados de ensaios que foram sendo inseridos. O modelo de risco inicial foi construído com base em estudos estatísticos de toda a base de dados disponíveis sobre os medidores, enquanto os próximos dados de aprendizagem serão baseados em amostras. O peso inicial replica o modelo de risco original na memória de I.A., diminuindo o efeito da inserção de novos dados na memória. Se o peso for pequeno, os novos dados que forem inseridos terão grande efeito sobre a estimação, em outras palavras, quando o peso inicial é grande a aprendizagem é mais lenta e, quando é unitário, a aprendizagem é a mais rápida permitida pelo programa.

Para garantir uma boa qualidade das estimações é necessário ajustar a largura de banda. Para valores elevados de largura de banda a solução fica sobre-amortecida. Por isso a I.A. também possui o efeito de filtro, onde a frequência de corte está relacionada com a largura de banda da função Kernel. Para pequenas larguras de banda as estimações se tornam ruidosas com grande variância. Embora isso gere alta precisão para os dados de treino, que são os dados armazenados na memória da I.A., não haverá boa precisão com os dados de teste, porque o modelo passa a se ajustar ao ruído.

O ideal é atingir o equilíbrio: ajustar um valor de peso inicial baixo quando a quantidade de dados relacionados com resultados experimentais de medidores de energia elétrica tipo indução for grande, representando uma parcela significativa do parque de medidores; ou ajustar um peso inicial elevado caso a quantidade desses dados for pequena, não representando um modelo completo do parque. A largura de banda deve ser ajustada para eliminar o ruído das amostras: um valor elevado de largura de banda torna o modelo sobre-amortecido, apresentando erros médio em um espectro maior de categorias.

A ferramenta especialista de amostragem, baseada no modelo de risco selecionado para análise, permite ao usuário gerar amostragens no parque Elektro, obtendo uma relação de medidores com maior probabilidade de falha para análise metrológica nos padrões normatizados pela ANEEL e em conformidade com as exigências ARSESP. Relatórios contendo o conjunto de medidores amostrados de acordo com o modelo de risco adotado e tamanho da amostra admitida são possibilitados por esta ferramenta especialista. Todas as informações de probabilidade de falhas e da acurácia esperada para a amostragem, incluindo-se a identificação e localização dos medidores amostrados são

apresentados. A figura 10 apresenta a interface da ferramenta especialista. A ferramenta de distribuição da amostra gerencia em relação ao tamanho da mesma esta distribuição, impondo-se valores mínimo (20%) e máximo (50%) para a parcela aleatória. A parcela de amostragem aleatória torna-se significativa à medida da necessidade de atualização do processo de degradação dos medidores nas diversas áreas de concessão da Elektro, para o refinamento dos modelos de risco.

Portanto, sempre haverá a necessidade de uma amostragem aleatória e não dirigida pela ferramenta de Modelação e Análise de Risco, para que os modelos de risco possam continuar a representar todo o parque de medidores Elektro, com a precisão desejada.

Um exemplo de relatório obtido pela ferramenta especialista de amostragem é apresentado na figura 11.

Figura 10: Ferramenta especialista para realização de amostragens.

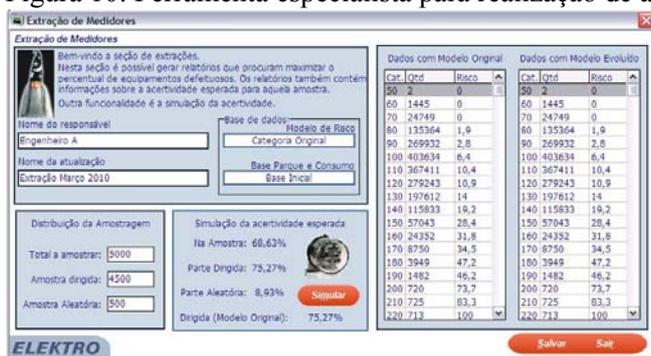


Figura 11: Exemplo de relatório da ferramenta especialista.

Número Equipamento	Modelo	Fases	Localização	Regional	Cidade	Unidade Consumidora
310112162	D58	3	RR	ANDARAÍBIA	654	6061304
310121119	D58	3	RR	ANDARAÍBIA	654	6062234
310383333	T4C3V	3	RR	VOTUPORANGA	820	9189238
31038427	T4C3V	3	UB	ANDARAÍBIA	665	9017100
31039500	T4C3V	3	RR	ANDARAÍBIA	661	14229153
31038518	T4C3V	3	RR	ANDARAÍBIA	665	887215
31038835	T4C3V	3	RR	LIBERA	11	11281553
31038831	T4C3V	3	UB	LIBERA	81	17649999
31038901	T4C3V	3	RR	RIO CLARO	39	11338673
31038928	T4C3V	3	UB	RIO CLARO	53	82772
31038979	T4C3V	3	RR	TATUI	206	603791
31039050	T4C3V	3	UB	RIO CLARO	69	12474355
31039094	T4C3V	3	UB	RIO CLARO	69	160969
31039056	T4C3V	3	UB	RIO CLARO	69	160733
31039062	T4C3V	3	UB	RIO CLARO	69	2215055

6. Conclusão

A classificação da probabilidade de falha dos medidores em categorias/classes permite uma maior eficiência na realização de planos amostrais sobre o parque de medidores.

A ferramenta proposta permite um gerenciamento, até então inexistente, sobre a condição dos medidores instalados no parque Elektro, bem como um sistema especialista para a amostragem de medidores, auxiliando na elaboração de planos amostrais, com o objetivo de ampliar a acurácia nos processos de manutenção e/ou substituição de medidores de energia elétrica ativa, tipo indução.

A inteligência artificial garante que a evolução do modelo ocorra de forma progressiva, amortecendo ruídos existentes nos dados de ensaios.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem ao suporte financeiro concedido à pesquisa, através do programa de P&D da Elektro Eletricidade e Serviços S.A.

8. Referências Bibliográficas

- [1] ANEEL. “Nota técnica nº 13/2009”. Disponível em: www.aneel.gov.br, 2009;
- [2] CERNE. “Estudo de vida útil econômica e taxa de depreciação”. Volume 1. Disponível em: www.aneel.gov.br, 2006;
- [3] Krug, S. R. “Aplicação do método de design macroergonômico no projeto de postos de trabalho: estudo de caso de posto de pré-calibração de medidores de energia monofásicos”. Dissertação de Mestrado, Dep. Eng. Produção, UFRS, Escola de Engenharia, 2000;
- [4] Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P. “From data mining to knowledge: an overview”. In: Advances in knowledge discovery and data mining.
- [5] Schmitt, J. “Pré-processamento para a mineração de dados: uso da análise de componentes principais com escalonamento ótimo”. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, 2005.
- [6] Fashandi, A.; Umberg, T. - Equipment failure definition: a prerequisite for reliability test and validation; Electronics Manufacturing Technology Symposium, 2003. IEMT 2003. IEEE/CPMT/SEMI 28th International 16-18 July 2003, pp. 357 - 358;
- [7] Misra, R.B. - Reliability assessment for static electricity meters; Metering and Tariffs for Energy Supply, 1999. Ninth International Conference on (Conf. Publ. No. 462) 25-28 May 1999, pp.151 - 155;
- [8] Phillips, M.E.; Adams, B.J. - Transforming the Ferraris disc meter into a key element in an automated meter reading system; Metering and Tariffs for Energy Supply, Eighth International Conference on (Conf. Publ. No. 426) 3-5 July 1996, pp.170 - 174;
- [9] Hannah, A. - Algorithms for computing and programming transformer loss constants in solid-state meters; Rural Electric Power Conference, 1998. Papers Presented at the 42nd Annual Conference 26-28 April 1998, pp. 1-17;
- [10] Chambers, R.G. - Early diagnosis of tariff metering faults by a systematic analysis of main/check metering discrepancies; Metering and Tariffs for Energy Supply, 1999. Ninth International Conference on (Conf. Publ. No. 462) 25-28 May 1999, pp. 213 - 217;
- [11] Ruegger, M.H.; Rothlin, A.J. - Meter testing of the future [power system metering]; Metering and Tariffs for Energy Supply, Eighth International Conference on (Conf. Publ. No. 426) 3-5 July 1996, pp. 248 - 253;
- [12] Gray, F.M. - Meter design-factors affecting consumer safety [electricity meters]; Metering and Tariffs for Energy Supply, Eighth International Conference on (Conf. Publ. No. 426) 3-5 July 1996, pp. 199 - 202;
- [13] Arseneau, R.; Filipski, P.S. - Application of a three phase nonsinusoidal calibration system for testing energy and demand meters under simulated field conditions; Power Delivery, IEEE Transactions on. Volume 3, Issue 3, July 1988, pp. 874 - 879;
- [14] Filipski, P.S.; Arseneau, R. - Calibration of three-phase revenue meters under distorted waveform conditions; Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply, 1990., Sixth International Conference on 3-5 Apr 1990, pp. 236 - 240;
- [15] Makram, E.B.; Wright, C.L.; Girgis, A.A. - A harmonic analysis of the induction watt-hour meter's registration error; Power Delivery, IEEE Transactions on. Volume 7, Issue 3, July 1992, pp.1080 - 1088;
- [16] Edwards, A.M.; Sawcer, K.E. - The impact of environmental issues in the design and application of electricity meters; Metering and Tariffs for Energy Supply, 1999. Ninth International Conference on (Conf. Publ. No. 462) 25-28 May 1999, pp. 175 - 177;
- [17] Saied, M.M. - On the accuracy of watt-hour meters in nonsinusoidal environment; Industry Applications Conference, 1995. Thirtieth IAS

- Annual Meeting, IAS '95., Conference Record of the 1995 IEEE Volume 3, 8-12 Oct. 1995, pp. 2219 - 2225;
- [18] Pejic, D.; Vujicic, V. - Accuracy limit of high precision stochastic watt-hour meter; Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1999. IMTC/99. Proceedings of the 16th IEEE Volume 3, 24-26 May 1999, pp. 1710 - 1713;
- [19] Siqueira, L.; Carneiro, A.M.; De Oliveira, M. - Assessment of harmonic distortions on power and energy measurements; Harmonics and Quality of Power, 2000. Proceedings. Ninth International Conference on Volume 1, 1-4 Oct. 2000, pp.105 - 109;
- [20] Yu, R. - Reliability prediction method for electronic systems: a comparative reliability assessment method; High-Assurance Systems Engineering Workshop, 1996. Proceedings., IEEE 21-22 Oct. 1996, pp. 237 - 241;
- [21] Padrões ABRADÉE: CODI-07.02 - Padrões e especificações de aparelhos eletromecânicos de medição; CODI-07.06 - Procedimentos para recebimento de medidores novos; CODI-07.07 - Procedimentos para recuperação de medidores;
- [22] Hopfield, J. - Neural Networks and System with Emergent Collective Computational Abilities; Nato Academy Science, Vol 79, n° 8, 1982; [18]Rumelhart, D. et al - Learning Internal Representations by Error Propagation - Parallel Distributed Processing; Vol 1, n° 2 Foundation - MIT Press - Cambridge, Mass., 1986;
- [23] Sigaki, N.A e De Azevedo, F. M. - Enhancing Connectionist Expert Systems Using IAC Models Through Real Cases; 3th International Conference on Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms - Norwick, UK, 1997;
- [24] Newport, J. R. - Fuzzy rule based computer design. London; CRC Press. 1996;
- [25] Kandel, A. and Langholz, G. - Fuzzy hardware architectures and applications; New York: Kluwer Academic Publishers. 1998;
- [26] El-Sharkawi, M. A. , et al - Learn neural network architecture and learning algorithms overview of artificial neural networks; IEEE Press. 1999.