

## XII-015 - APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA DETERMINAR CONFIABILIDADE DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ELÉTRICA

### Floriano do Ó do Nascimento Júnior

Engenheiro eletricista com pós graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal de Goiás. Engenheiro eletricista da Sabesp na área de gestão de manutenção e atuação em gestão energética desde 2010. Em processo de obtenção do título de Engenharia de Confiabilidade pelo Certified Reliability Professional Program.

**Endereço:** Rua Minas Gerais, 10 - Bairro Rochdalle - Osasco - SP - CEP: 06220-030 - País - Tel: +55 (11) 3599-9142 - Fax: +55 (11) 3599-9150 - e-mail: [fonascimento@sabesp.com.br](mailto:fonascimento@sabesp.com.br).

### RESUMO

A prática tem por objetivo apresentar a redução de perdas no faturamento por meio de implementação de modelos estratégicos e aumento da confiabilidade do abastecimento hídrico da região, baseado em metodologias estatísticas de Distribuição de Weibull e cálculos de perdas consideradas através de tarifas comerciais e residenciais da região abastecida através do volume de água tratada entregue a população.

Foi selecionada uma instalação de captação de água em que a rede de distribuição elétrica antiga apresentava várias falhas. Assim, realizou-se um levantamento para avaliar a situação operacional da rede elétrica e foram constatadas 22 falhas relacionadas ao desarme pela proteção elétrica (disjuntor de média tensão, fusíveis da rede elétrica) em dias de chuva.

O impacto destas avaliações quantitativas foi resultado do baixo isolamento da rede que implicava em correntes de fuga, revelando o desgaste da mesma.

Através da Distribuição de Weibull foi avaliada a confiabilidade dessa rede e observou-se que a mesma estava na sua fase de mortalidade senil.

A implantação da metodologia demonstrou que a empresa poderia deixar de bombear cerca de 49.500 m<sup>3</sup> ao considerar que a instalação tem vazão de 150m<sup>3</sup>/h com uma média de 15 horas de parada para cada manutenção corretiva. Levando em consideração a média da tarifa de água e esgoto em 2013, a empresa poderia deixar de arrecadar cerca de R\$ 12.000,00 por falha. Se levar em consideração as 22 paradas diluídas nos anos de 2014 e 2015, a empresa poderia deixar de arrecadar cerca de R\$ 545.000,00.

Após a implantação da nova rede elétrica em 2013, além de reduzir as perdas de receita, houve melhorias na confiabilidade do sistema abastecimento da região, uma vez que o número de reclamações por falta de água caiu 70% por falha da instalação de bombeamento, levando em consideração a quantidade de falta de água de 2011-2012 em relação a 2014-2015.

**PALAVRAS-CHAVE:** Engenharia de Confiabilidade, Distribuição de Weibull, Gestão da Manutenção.

### INTRODUÇÃO

Preocupada em manter suas instalações de bombeamento de água e esgoto em pleno funcionamento, a área responsável pela manutenção das instalações de bombeamento da região metropolitana oeste de São Paulo da empresa dispõe de um sistema de avaliação de falhas dividido da seguinte forma:

- **Avaliação parcial das ordens de serviço do mês:** nessa etapa, uma pessoa devidamente qualificada na área de manutenção faz avaliação das ordens de serviço do mês, levando em consideração a parada parcial ou total da instalação, quanto tempo de parada, causas que ocasionaram as falhas e medidas para mitigar as mesmas.
- **Avaliação dos índices de disponibilidade das instalações:** as avaliações das ordens de serviço são levadas para serem discutidas na reunião de análise crítica da organização em que é estabelecido um limite mínimo de disponibilidade e caso a instalação não venha a atingir esse índice, é criado um plano de ação para atuar no problema.

Com base nessa metodologia, a unidade de manutenção identificou uma instalação de importância significativa de abastecimento de água do município de Santana de Parnaíba a qual estava tendo sucessivas paradas por conta de sua rede de distribuição de energia elétrica. Segue abaixo um breve histórico da quantidade de falhas analisadas relacionadas a essa rede:

**Tabela 1 – Quantidade de falhas na rede elétrica de 2005 a 2012.**

Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Quantidade de falhas	6	2	4	3	4	3	5	2
Quantidade de horas paradas para manutenção	21,8	7	38,7	30,6	69,3	162,7	Não registrado	Não registrado

Baseado neste diagnóstico verificou-se a necessidade de efetuar uma manutenção na instalação e optou-se pela contratação de um projeto e execução de implantação de uma rede de distribuição elétrica compacta. Esta ação foi definida em uma reunião de análise crítica. Definidos os orçamentos foi solicitada a Diretoria a liberação de recursos para contratação, a qual questionou o custo –benefício.

### RELEVÂNCIA DO PROBLEMA PARA A EMPRESA

Na empresa observa-se que há uma grande quantidade de manutenções corretivas emergências nas suas instalações gerais ao longo dos últimos cinco anos conforme histórico:

**Tabela 2 – Manutenções corretivas emergenciais da Empresa.**

Ano	2011	2012	2013	2014	2015
Quantidade de ordens de serviços de manutenções corretivas emergências	8384	7426	7534	7716	8031
Manutenções corretivas emergências em relação ao total de manutenções realizadas	5,55%	6,25%	6,53%	8,05%	8,57%

Demonstrado este quantitativo acima (tabela 2) e associado à instalação em questão, verifica-se que este tipo de manutenção (corretiva emergencial) ainda gera um desconforto na tomada de decisões. Surge, então, a oportunidade de aprimoramento da gestão na área de manutenção, conforme diagrama apresentado na figura 1, que pode ser desenvolvido através de um programa gerencial específico, utilizando as ferramentas da engenharia de confiabilidade.

### RELEVÂNCIA DO PROBLEMA PARA A UNIDADE DE MANUTENÇÃO

Atualmente, a unidade de manutenção possui o seguinte histórico de manutenções corretiva emergências:

**Tabela 3 – Manutenções corretivas emergenciais da unidade de manutenção.**

Ano	2011	2012	2013	2014	2015
Quantidade de ordens de serviços de manutenções corretivas emergências	195	233	574	820	567
Manutenções corretivas emergências em relação ao total de manutenções realizadas	8,01%	13,64%	21,49%	27,05%	19,34%

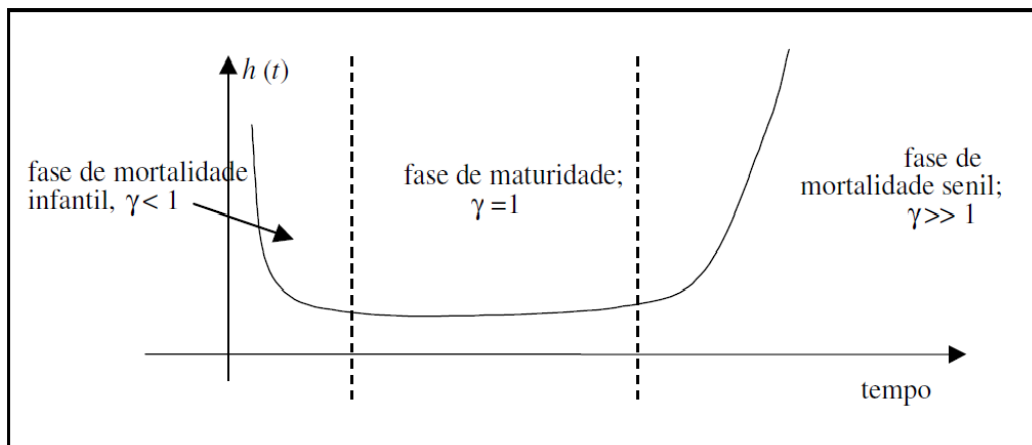
Isso mostra a necessidade de melhorar constantemente o processo de gestão de manutenção, focando na redução de custos de manutenção, aumento da confiança e segurança dos serviços prestados para a população e redução da perda de receita por conta das paradas indesejadas do sistema.

### O FUNCIONAMENTO DA PRÁTICA DE GESTÃO

Após a elaboração do projeto para a substituição da rede elétrica, o custo de implantação ficou orçado em R\$ 419.200,00. O alto valor foi motivo para o diretor pedir um estudo de viabilidade baseado no custo benefício para a Empresa. É neste ponto que a engenharia de confiabilidade entra para implementar a metodologia existente.

Diante dos dados levantados no período de 2004 a 2012 foram verificados 22 falhas, com suas respectivas horas de parada, relacionadas com a rede elétrica antiga. Essas falhas se devem à baixa isolamento da rede, ocasionando em fugas de corrente e consequente atuação do sistema de proteção da rede elétrica. Esses desarmes causam impacto negativo para a SABESP, pois além de deixar a população local com falta de água, a Empresa deixa de faturar pela água não bombeada.

Essas falhas foram analisadas, baseado no método quantitativo descrito acima em que os dados foram trabalhados através das ferramentas da engenharia da confiabilidade, no caso, a distribuição de Weibull, sendo que a partir do resultado, foi definido de maneira mais precisa, a validação da substituição da rede elétrica. A distribuição de Weibull é um método que pode ser aplicado para avaliar a confiabilidade do equipamento ao longo do tempo. Esta metodologia pode ser aplicada em qualquer uma das fases (figura 1) do equipamento.



Fonte: Sellitto, 2005.

**Figura 1 – Curva da banheira e ciclo de vida de equipamentos.**

De maneira geral, os equipamentos possuem maior probabilidade de falha no seu período inicial (fase infantil) e no seu período final de ciclo de funcionamento (fase senil). A curva é traçada calculando a probabilidade acumulada de falhas baseada na equação a seguir:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma} \quad \text{equação (1)}$$

$\gamma$  – parâmetro de forma (ou inclinação)

$\theta$  – parâmetro de escala (também chamado de vida característica)

$t$  – tempo

O parâmetro  $\gamma$  fornece a inclinação da curva. A curva da banheira demonstra como a inclinação se comporta de acordo com valores obtidos para esse parâmetro.

O parâmetro  $\theta$  possui uma particularidade em que quando o equipamento chegar no tempo desse parâmetro, o produto possui 63% de probabilidade de falhar.

De acordo com o histórico levantado de um equipamento, é possível traçar a curva de probabilidade de falhas que pode se enquadrar em um dos três estágios da Figura 3. Para isso, os dados de falhas são utilizados para obter os parâmetros descritos através da metodologia da máxima verossimilhança (MLE). A função de verossimilhança  $L$  é definida segundo a equação abaixo:

$$L(\theta; x_1, \dots, x_n) = f(x_1; \theta) \times \dots \times f(x_n; \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta). \quad \text{equação (2)}$$

$x_i$  – valores adquiridos do histórico do equipamento

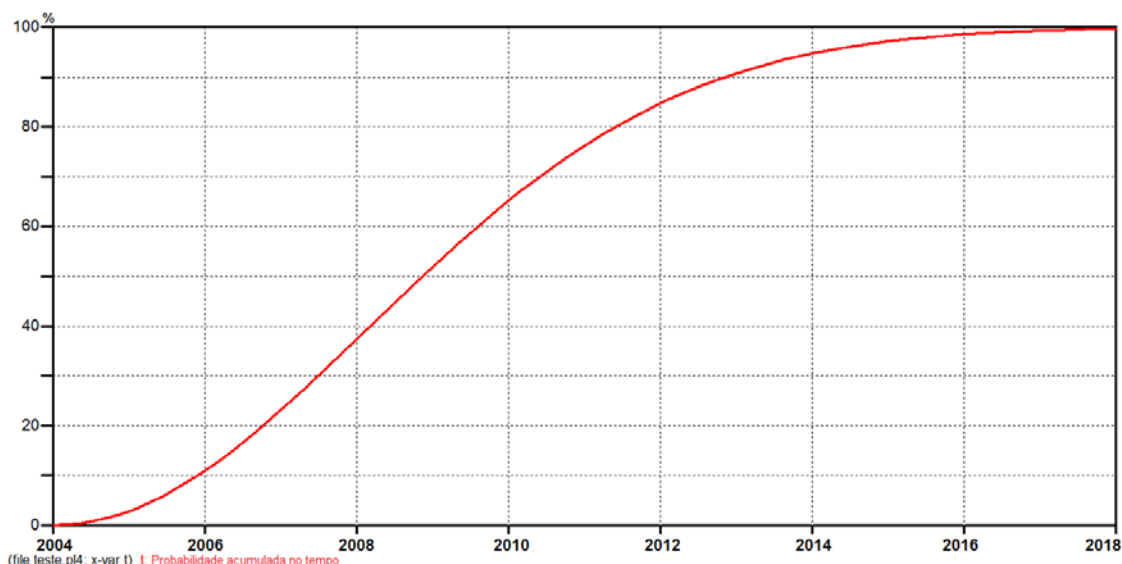
$\theta$  – parâmetro a ser descoberto

$f(x_i; \theta)$  – função da probabilidade acumulada de falha

Em muitos casos, o estimador de máxima verossimilhança pode ser encontrado seguindo os passos abaixo:

- Encontrar a função de verossimilhança;
- Aplicar a função  $\ln$ ;
- Derivar em relação ao parâmetro  $\theta$ ;
- Igualar o resultado a zero.
- Verificar que este estimador é ponto de máximo.

Utilizando a metodologia da máxima verossimilhança (MLE) para os dados de falhas foram obtidos os parâmetros para a equação de distribuição de Weibull, podendo estabelecer o gráfico de probabilidade de falhas da rede elétrica.

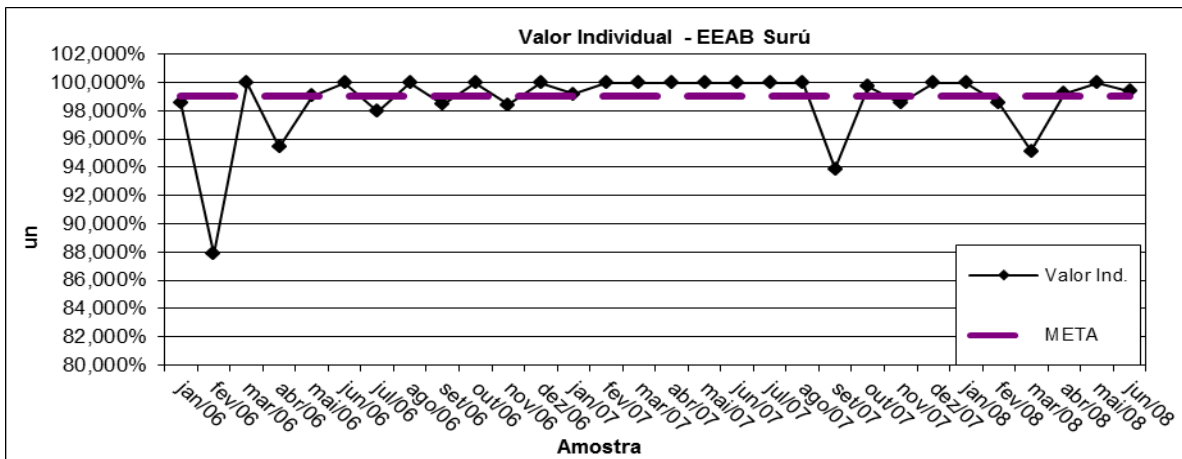


**Figura 2 – Curva da probabilidade de falha da rede elétrica a partir de 2004.**

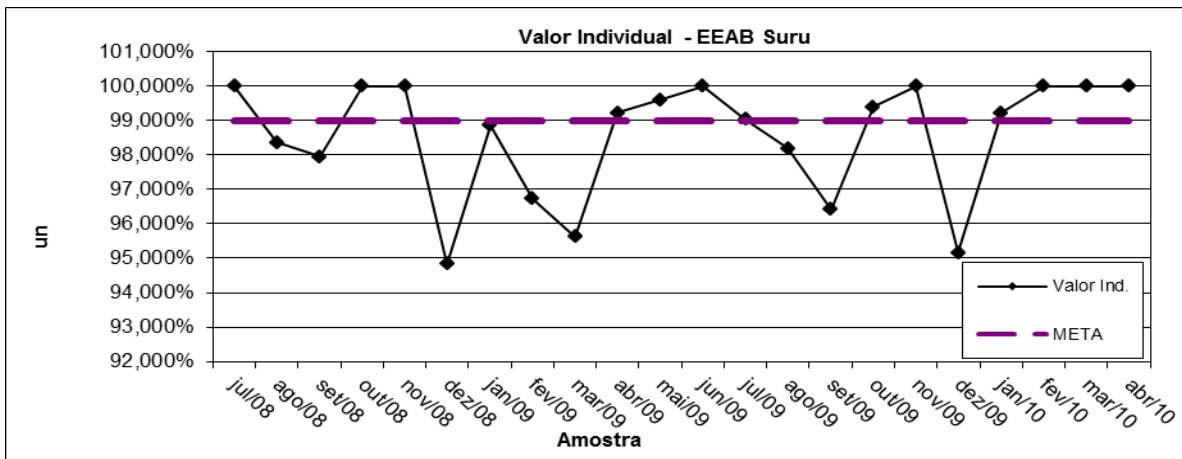
A figura 2 revela que a rede elétrica se encontra na fase de mortalidade senil. Além disso, este gráfico apresentado mostra que até o ano de 2014, a probabilidade de falha da rede elétrica em dias de chuva chega a 95% de chance com 50% de certeza.

## RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos proporcionaram a unidade de manutenção, a capacidade de definir as prioridades de atuação para reduzir a indisponibilidade da instalação. Além disso, as definições das estratégias tomadas tiveram melhor embasamento em ferramentas de engenharia em conjunto com a experiência de profissionais da organização. A seguir serão destacados dois períodos críticos em que a disponibilidade da instalação ficou abaixo da meta (figuras 3 e 4).

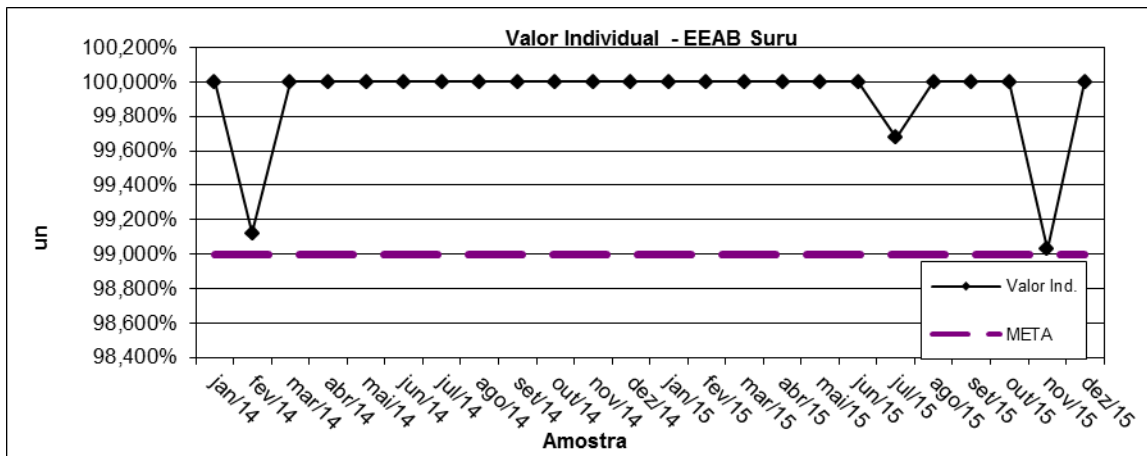


**Figura 3 – Índice de disponibilidade janeiro/2006 a junho/2008.**



**Figura 4 – Índice de disponibilidade julho/2008 a abril/2010.**

A meta estabelecida mínima de disponibilidade é de 99%. Ao analisar as figuras 3 e 4 nota-se sucessivas violações no índice estabelecido em que grande parte pode ser atribuído às falhas na rede elétrica. Após a implantação da rede elétrica compacta, os resultados em 2014 e 2015 foram excelentes tendo em vista que a meta não foi ultrapassada.



**Figura 5 - Índice de disponibilidade janeiro/2014 a dezembro/2015.**

A implantação da metodologia demonstrou que a empresa poderia deixar de bombear cerca de 49.500 m<sup>3</sup> ao considerar que a instalação tem vazão de 150m<sup>3</sup>/h com uma média de 15 horas de parada para cada manutenção corretiva.

Levando em consideração a média da tarifa de água e esgoto em 2013, a empresa poderia deixar de arrecadar cerca de R\$ 12.000,00 por falha.

Como a probabilidade de falha em 2014 e 2015 já está ultrapassando os 95%, observa-se que as chances seriam altas de ocorrer falhas, portanto, serão consideradas as 22 falhas para o ano de 2014 e 2015 para simular o que a Empresa deixaria de ganhar durante esses dois anos. O resultado seria algo em torno de R\$ 545.000,00, ou seja, maior que o custo da substituição da rede elétrica.

Com a implantação da nova rede, não houve nenhum serviço de manutenção corretiva emergencial relacionada à mesma, sendo que as horas de parada reduziram para 6 horas em 2014 e 7 horas em 2015.

Além disso, o índice de reclamação por falta de água do município teve uma redução por falha em equipamentos, reflexo da troca da rede elétrica conforme observado na tabela 4.

**Tabela 4 – Quantidade de reclamações de falta de água no município por manutenção de equipamento.**

Ano	2011	2012	2014	2015
Reclamações	4786	4959	1898	805

## CONCLUSÃO

A conclusão que se observa é o aumento da segurança hídrica para o município, redução de manutenções na instalação, o impacto positivo junto ao cliente visto na diminuição de reclamações e redução de perdas no faturamento.

Com esse trabalho, a unidade de manutenção passará a realizar um levantamento dos índices de confiabilidade de cada estação de bombeamento de água e esgoto para garantir a segurança hídrica do sistema e o esgotamento de dejetos para o seu devido fim.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PRADO, C. C. de A.; A BUSCA DA MELHORIA DA QUALIDADE NOS SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO; retirado do site: [http://tecem.com.br/site/downloads/artigos/A\\_Busca\\_na\\_Melhoria\\_da\\_Qualidade\\_nos\\_Servicos\\_de\\_Manutencao.pdf](http://tecem.com.br/site/downloads/artigos/A_Busca_na_Melhoria_da_Qualidade_nos_Servicos_de_Manutencao.pdf) no dia 21/03/16.
2. O PAPEL DA MANUTENÇÃO EM TEMPOS DE CRISE; retirado do site <https://manutencaoeficaz.wordpress.com/> no dia 28/03/16.
3. PORTAL ACTION – ESTIMADORES DE MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA; retirado do site <http://www.portalaction.com.br/inferencia/34-estimadores-de-maxima-verossimilhanca> no dia 30/03/16.
4. REALISOFT. Reability Seminar – CRP Intensive Revisão 1.0.6. Material produzido pela Realisoft com vínculo com o programa Certified Reability Professional (CRP) para dar treinamentos. p.29-45, 54-57.
5. SALES, N. P. Confiabilidade, A Análise e o Treinamento da Falha. Edição Brasileira, São Paulo, 2008. p.20-35.