

# Metodologia de previsão de custo de manutenção de equipamentos de transformação e manobra do sistema elétrico de potência

Guilherme Reis da Cruz \* Thiago Melo Machado-Coelho \*\*  
Gustavo Luís Soares \* Igor Vilela Morais Gonçalves \*

\* Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, (e-mails: [grcruz@sga.pucminas.br](mailto:grcruz@sga.pucminas.br), [gsoares@pucminas.br](mailto:gsoares@pucminas.br), [igor.vilela@sga.pucminas.br](mailto:igor.vilela@sga.pucminas.br)).

\*\* Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, (e-mail: [thmmcoelho@ufmg.br](mailto:thmmcoelho@ufmg.br)).

---

## Abstract:

The revenues of power transmission companies are based on the availability of their assets, whose annual allowed revenue (RAP) is pre-determined by the ANEEL (Brazilian Electricity Regulatory Agency) auction, which regulates the electricity sector. This makes it important for equipment to be up to date, since their unavailability results in the imposition of fines by the regulator. In this work, we present a maintenance cost forecasting methodology for the electrical power system of the transformation equipment that was developed to improve the budget of new ventures and to facilitate the replacement decision of depreciated equipment, using specific data from equipment between 230 and 500 kV. The obtained results were the trend curves and equations that can be used to calculate the failure rate and the evolution of the demanded man-hour to repair the equipment, and to predict the loss of revenue.

**Resumo:** As concessionárias de transmissão de energia têm sua receita baseada na disponibilidade dos seus ativos, cuja receita anual permitida (RAP) é pré-determinada no leilão da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que regula o setor. Esta característica torna importante que os equipamentos estejam com a manutenção em dia, visto que a indisponibilidade resulta na aplicação de multas pela reguladora. Neste trabalho, nós apresentamos uma metodologia de previsão de custo de manutenção do sistema elétrico de potência (SEP) dos equipamentos de transformação e manobra que foi desenvolvida para aumentar a assertividade no orçamento de novos empreendimentos e, entre outros, facilitar a decisão de substituição de equipamentos depreciados, utilizando dados específicos de equipamentos dentre 230 e 500 kV. Os resultados obtidos foram as curvas de tendências e as equações que poderão ser utilizadas para calcular as taxas de falha e evolução do Homem-hora demandado para reparo nos equipamentos, e para prever a Parcela Variável.

*Keywords:* Maintenance cost forecast. Electric Transmission System. Big data.

*Palavras-chaves:* Previsão de custo de manutenção. Sistema de potência. Big data.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica foi um dos principais meios para a sociedade evoluir: a primeira lâmpada que trazia a luz com mais eficiência que os métodos ultrapassados de queima, os primeiros motores elétricos que já tinham melhor rendimento que os endotérmicos. A corrente alternada viabilizou a transmissão de energia devido à facilidade de conversão de valor da tensão. Bastava um simples transformador para elevar a tensão de transmissão e suprimir as perdas, e mais um transformador para reduzir a tensão e entregá-la ao consumidor.

Devido ao aumento do consumo de todos os produtos, junto com o aumento da população e a demanda crescente

por energia elétrica, o sistema de transmissão precisa crescer de forma rápida e sustentável. Por mais que a energia gerada com equipamentos fotovoltaicos e eólicos ganhem espaço no mercado (geração local e distribuída), sempre existirá a necessidade de transmissão de energia de forma massiva, pelo Sistema Elétrico de Potência.

A análise da previsão de custos do sistema de transmissão deve ter início na forma como o negócio é remunerado, que difere da geração, cujo objeto de comércio é a unidade de energia, em MWh, ou a distribuição que comercializa o serviço de entrega de energia nos domicílios e indústrias, a transmissão tem sua receita baseada na disponibilidade dos seus ativos, cuja receita anual permitida (RAP) é pré-determinada no leilão da ANEEL, que regula o se-

tor elétrico. Esta característica torna importante que os equipamentos estejam com a manutenção em dia, visto que a indisponibilidade resulta na aplicação de multas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), mas também facilita a verificação do retorno financeiro do investimento.

Normalmente os leilões são para concessões de 30 anos, embora esse tempo possa variar de acordo com o ativo. Isso quer dizer que a empresa vencedora receberá a RAP conforme supracitado, anualmente em 12 parcelas chamadas de Pagamento Base (PB), que contém uma parte para Operação e Manutenção (O&M). Após o fim da concessão, o pagamento da RAP é encerrado e a empresa continua recebendo o O&M até o fim de vida útil daquele equipamento. Desta forma, prever o custo serve de base para minimizar as despesas facilitando a decisão de quando deverá ser solicitada à ANEEL a substituição daquele ativo.

## 2. TRABALHOS RELACIONADOS

A manutenção da transmissão é uma área consideravelmente fechada, dominada por grandes empresas, o que ocasiona uma blindagem do conhecimento sobre o assunto dentro delas. Entretanto, algumas dissertações e artigos já foram feitos a respeito do assunto. Com o objetivo de contextualizar e reforçar os termos e conhecimentos sobre o tema proposto neste trabalho, e para isso serão apresentadas algumas pesquisas relacionadas.

Fidalgo (2007) propõe um modelo de otimização da manutenção para a efetiva redução do custo visando a maximização da margem proveniente da remuneração fixa do ativo. Propõe que a política de manutenção deve ser definida considerando os efeitos advindos dos desligamentos tanto forçados quanto programados. Incita a importância dos planos de manutenção bem definidos de forma que as manutenções programadas sejam suficientes para a redução dos efeitos dos desligamentos por causas intempestivas, que ocasionam perdas de receita. A análise é baseada em uma modelagem estatística de taxa de falha de equipamentos e módulo de equipamentos. A pesquisa é feita predominantemente com revisão bibliográfica. A aplicação do método do Fidalgo após meu cálculo de custos proporcionaria uma efetiva redução do custo no sistema.

Alkaim (2003) desenvolveu um modelo que permite a aplicação de conhecimento intensivo, visto que a área elétrica é extremamente sensível a toda transformação tecnológica. Ele constatou em sua tese que os modelos utilizados na manutenção preventiva de 2ª geração não atendem mais a busca por produtividade, mesmo assim são ainda muito difundidos. Apresenta ainda que quase a totalidade do sistema elétrico brasileiro se enquadra no problema supracitado, situação agravada pelo aumento de consumo de energia e equipamentos envelhecidos. O autor apresenta premissas muito comuns com este trabalho, e a fundamentação teórica é bastante utilizável e será aplicada principalmente para discussão dos resultados.

Lanziotti and Garcia (2018) realizaram um estudo de caso do aumento do custo de capital na Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica – CEEE-GT, apontando os impactos mais relevantes como a queda da

receita e aumento risco regulatório devido a mudanças causadas pela promulgação da Medida Provisória 579/2012. As metodologias e parâmetros utilizados foram os mesmos do Órgão Regulador. O foco do artigo é a análise econômica e conclui que as alterações regulatórias causaram implicações negativas em uma concessionária de transmissão. Esse tipo de análise somado com a previsão de custos por falha que apresentarei aqui são peças fundamentais para a austeridade financeira e uma transmissora.

Guedes (2017) estudou a confiabilidade humana na operação de uma subestação do sistema elétrico de potência. Ele parte da premissa que grande parte das falhas tem origem humana e a forma que acontecem é importante de ser analisada, pois o tratamento dos elementos causadores pode mitigar parte das falhas e aumentar a confiabilidade do sistema. Grande parte dos motivadores é a adequação à nova regulação da ANEEL, principalmente resolução 270/2007 (substituída pela 729/2016 BRASIL (2016))

Mendonça (2009) utilizou um modelo computacional que considera as características estatísticas do vento e as características de confiabilidade de uma turbina eólica, tais como taxas de falha e de reparo, representando a usina eólica por um processo de Markov. Essa dissertação empregou taxas de falha e cadeia de Markov, que são peças importantes para a previsão de custo associados aos dados de manutenção e atentando às diferenças entre os equipamentos e sistemas.

Beltrão (2014) estudou a vida útil de um reator em todas as suas etapas, que segundo ela são oito: Planejamento, Especificação, Aquisição, Fabricação, Instalação, Comissionamento, Exploração e Desclassificação. Esta dissertação desenvolveu uma metodologia para sistematizar a análise com a combinação de catorze diferentes métodos de diagnósticos e mapear os resultados em um modelo de condição que oriente o ciclo de vida do reator.

Barbosa and Assis (2000) utilizaram a regressão linear para estimação do comportamento dos custos totais, realizando um estudo de caso com base em dados do Hotel Alfa. Mesmo sendo a natureza do setor elétrico distinta da administração de um hotel, o método de parametrização analisado pode ser aplicado.

de Arruda et al. (2016) analisaram o potencial de impacto ambiental das atividades empresariais da Lei Federal 10.165/2000 nos custos ambientais de 2009 a 2013. De forma análoga temos a lei Nº 12.783/2013 BRASIL (2013) no setor elétrico. O ponto em comum do artigo e deste trabalho é a utilização da regressão linear como base de análise.

## 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1 Regulamentação do Setor Elétrico

ANEEL regula e acompanha criteriosamente o funcionamento do SIN, a operação ou manutenção das concessionárias, objetivando a minimização dos custos para a sociedade, uma vez que o custo do sistema é repassado aos consumidores diretamente nas contas de energia. Todos os ativos pertencem à união, do menor parafuso até maior usina. As empresas que ganham a concessão de um novo

ativo o constroem, e podem operá-lo e deverão mantê-lo dar manutenção durante 30 anos, com a margem de lucro pré-estipulada. Após o término da concessão, o ativo é leiloado novamente. Caso algum investimento realizado por uma concessionária não seja reconhecido como necessário para o SIN, a ANEEL glosa. Isso significa que o dinheiro desembolsado na aquisição e instalação daquele ativo torna-se despesa.

A regulação é feita através de resoluções, que tem status de Lei Federal. O descumprimento ocasiona em multas e em casos extremos a perda das concessões. A verificação do cumprimento das resoluções é feita através de auditorias aperiódicas. A remuneração de um ativo é chamada de RAP (Receita Anual Permitida), e o repasse às concessionárias é chamado de PB (Pagamento Base), que é a RAP dividida por 12, cada parte entregue em um mês. Os ativos são remunerados por sua disponibilidade ao ONS, independentemente de estarem ou não em operação. Por exemplo, um banco de capacitores não tem muita utilidade durante a madrugada, porém tem que estar disponível para entrada em operação caso solicitado pelo Operador do Sistema. A indisponibilidade ocasionará a aplicação de uma multa sobre a PV (Parcela Variável), ou seja, o PB terá seu valor reduzido em caráter de multa referente ao período que o equipamento esteve indisponível. A multa valerá 150 vezes o número do minuto que a concessionária recebe pelo equipamento em operação nas primeiras cinco horas, e em seguida 10 vezes o valor. Quando o desconto da PV alcança 25% da RAP, o PB é suspenso junto com a PV, e só retorna quando o equipamento volta para operação normal. A partir do início da vigência da Resolução 729/2016 BRASIL (2016), não basta que os equipamentos estejam disponíveis, as manutenções têm que estar em dia com o plano mínimo de manutenção que esta estipula. Existem duas formas de obtenção de receita nova:

- Novo leilão de ativos: caso em que os estudos de expansão do SIN apontam a necessidade da construção de uma nova subestação, seja para receber a potência de uma nova usina, ou seccionar uma linha já existente. Nesta situação, a empresa vencedora do leilão deverá operar e manter os ativos durante um período de 30 anos. Por conseguinte, danos nesses equipamentos durante esse período é prejuízo para a concessionária. É interessante que a substituição dos ativos ocorra quando estiverem totalmente depreciados, através de reforços e melhorias.
- Reforços e melhorias: Reforços são ampliações ou instalações de equipamentos, novos ativos dentro de uma subestação de uma concessionária. Melhorias são as substituições de ativos depreciados, ou defeituosos. É interessante que tal substituição ocorra após o ativo estar completamente depreciado.

### 3.2 Gestão da Manutenção

Homem-hora é efetivamente o critério considerado de eficiência produtiva, segundo Salerno (1995) consiste em quantificar quanto uma atividade vai demorar em horas a ser executada por um funcionário. Uma fração de tempo como uma semana é uma medida imprecisa, tanto quanto falar que a manutenção custará R\$ 15.000,00, visto que as empresas têm custos diferentes com funcionários, e os

valores variam com a inflação e etc. Por isso utiliza-se as medida Homem-hora (Hh).

### 3.3 Manutenção Preventiva

- Sistemática: É o conjunto de manutenções periódicas em um equipamento para maximizar a vida útil, visa encontrar defeitos ocultos e pequenas alterações que poderiam evoluir para uma falha. Inclui o tratamento direto, com ensaios ou desmontagens. Difere da preditiva, que consiste apenas no acompanhamento. A característica de ser periódica torna a previsão de custo mais simples.
- Não sistemática: É o conjunto de manutenções não periódicas em um equipamento para maximizar a vida útil, visa resolver problemas e defeitos já detectados para que não ocorra a falha do equipamento. Caso o equipamento pare fora de uma programação para manutenção a manutenção é corretiva.

### 3.4 Manutenção Corretiva

Tavares (1999) define manutenção corretiva como a manutenção em um equipamento em falha. Fidalgo (2007) define manutenção corretiva como “Serviço programado ou não, em equipamentos, obras ou instalações para corrigir falhas ou defeitos, a fim de restabelecê-los à condição satisfatória de operação”. Ocorre apenas quando um defeito evolui para falha. Caso o desligamento do equipamento tenha ocorrido de forma programada para o reparo de um defeito, a manutenção é considerada preventiva não sistemática. A manutenção corretiva representa uma parcela consideravelmente difícil de prever o custo em uma instalação, visto que sua necessidade depende de incontáveis variáveis, algumas ainda desconhecidas inclusive. Entretanto, através do histórico de desgaste e índice de falhas dos equipamentos é possível que a previsão se aproxime do real. Fatores como tempo já instalado, família de equipamentos e manutenções realizadas influenciam diretamente.

É impossível prever o comportamento de um equipamento ao longo de sua vida útil no que tange as falhas, porém é possível criar um modelo que se aproxime do real em um conjunto de equipamentos.

### 3.5 Manutenção Preditiva

Manutenção preditiva é o acompanhamento dos parâmetros de um equipamento ao longo do tempo a fim de detectar defeitos através da verificação de alguma alteração no padrão. Fidalgo (2007) define manutenção preditiva como acompanhamento de padrões e inspeções periódicas.

O tempo gasto com manutenções preditivas é fixo de acordo com uma família de equipamentos, em geral é pactuado dentro de uma organização, o que facilita a estimativa de custo.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Coleta e seleção de dados

O fim da implantação do SAP® na concessionária ocorreu em 1999. Dessa forma, os dados desse ano não entrarão

em análise devido à possibilidade de estarem incompletos, e parcela considerável dos equipamentos foi inclusive cadastrada naquele ano. Todavia, foram coletadas as ordens de manutenção, Hh e características dos equipamentos das subestações da Rede Básica no período de 2000 a 2018.

Apenas os equipamentos de transformação e manobra são objetos de desse trabalho, sejam eles da Rede Básica, DIT ou CPST. Somente manutenções corretivas e preventivas não sistemáticas. Tais equipamentos são autotransformador de potência, banco de capacitores, chave seccionadora, chave de aterramento, chave comutadora, compensador estático, disjuntor, pára-raio, reator, compensador síncrono, transformador de serviço auxiliar, transformador de potência e transformador de corrente.

#### 4.2 Critérios para tratamento de dados

Os dados de manutenção de 2000 a 2018 serão importados do SAP® (software de gestão integrada), referentes aos equipamentos instalados nas subestações da rede básica, e concessões pertencentes a uma empresa do setor elétrico brasileiro.

Os objetos desse trabalho são apenas as manutenções preventivas não sistemáticas e corretivas, isto é, a parte cuja previsão é complexa, tornando esse trabalho de suma importância. Logo, a primeira etapa após a coleta de dados deverá ser a eliminação os dados de manutenção preventiva sistemática, preditiva e detectiva.

Dados base utilizados:

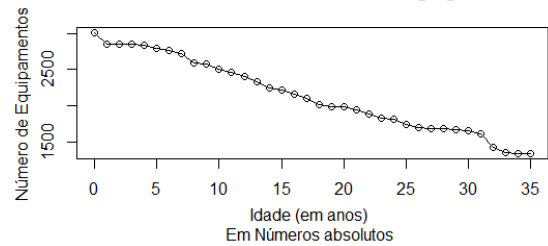
- Ordens de manutenção - Objetos numerados e sequenciais que indicam as intervenções efetuadas nos equipamentos. Contém a referência de cada manutenção executada, objeto mantido, local onde ele está instalado, início e fim da intervenção, e Hh necessário para a realização.
- Notas de manutenção - Objetos no SAP® onde são registradas as avarias nos equipamentos.

De acordo com a Resolução normativa 729/2016 BRASIL (2016), Art. 4º, A qualidade do serviço público de transmissão de energia elétrica será medida com base na disponibilidade e na capacidade operativa das instalações de transmissão, devendo o período da indisponibilidade e o período e a magnitude da restrição da capacidade operativa serem apurados pelo ONS para cada evento com duração igual ou superior a 1 (um) minuto, sem prejuízo da aplicação das penalidades previstas na Resolução Normativa nº 63, de 12 de maio de 2004.

O valor que a empresa recebe pelo ativo decai ao longo da concessão devido à depreciação, até que zera e a concessionária só percebe um pequeno valor por operação e manutenção. Dessa forma, as análises levam em consideração que há uma diminuição na quantidade de equipamentos de idades maiores que 30 anos, visto que os equipamentos vão sendo substituídos. Vide o MCSE (Manual de contabilidade do setor elétrico) - Resolução normativa da ANEEL Nª 605/2014.

A quantidade de equipamentos de cada idade vai diminuindo, como pode ser visto no gráfico da Figura 1, portanto, foram normalizados e escalonados para a variação

Figura 1. Gráfico idade × Número de Equipamentos



da quantidade de equipamentos não comprometa a análise causando tendência falsa na quantidade falhas.

$$CNeq_{escal} = \frac{\text{Quantidade de falhas}_{idade}}{\text{Quantidade de equipamentos}_{idade}} \quad (1)$$

Normalização do número de equipamentos

$$CHh_{escal} = \frac{Hh \text{ falhas}_{idade}}{\text{Quantidade de equipamentos}_{idade}} \quad (2)$$

Normalização do Hh

A janela de análise definida foi anual, baseado na informação que as variações são sazonais dentro do ano, dessa forma não interferem no valor como um todo.

O objeto de análise é a idade que o equipamento tinha na falha ou defeito, tendo sido extraído das ordens de manutenção. Neste caso, um mesmo equipamento pode ter apresentado defeitos ou falhas aos 5, 10 e 13 anos por exemplo, e essas três falhas são contabilizadas nessas respectivas idades. A mesma teoria é aplicada para a o gráfico de Hh, no qual o homem-hora demandado gasto por equipamento de cada idade é analisado.

## 5. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

### 5.1 Coleta de dados

A concessionária onde foram coletados os dados utilizados neste trabalho armazena os dados no módulo PM do SAP®, que é referente à gestão da manutenção. Os dados iniciais aquisitados para análise neste trabalho são referentes a 13476 equipamentos, ao longo de 18 anos. Os dados foram coletados no dia 01/03/2019, e limitados a registros até 31/12/2018. De acordo com os critérios estabelecidos na seção 4, que delimita quais equipamentos são de transformação e manobra, e quais manutenções são preventivas não sistemáticas e corretivas, temos os seguintes dados que serão tratados:

- 3.012 equipamentos de transformação e manobra
- 582.961 Hh
- 17.041 Ordens de Manutenção
- 188 fabricantes
- 49 subestações

Os demais 10.464 são de proteção, controle, automação, telecomunicações e outras funções, dessa forma não são objeto desse trabalho.

### 5.2 Parametrização das curvas

O processo consistiu em parametrizar as curvas no Excel utilizando os dados selecionados e já escalonados, apli-

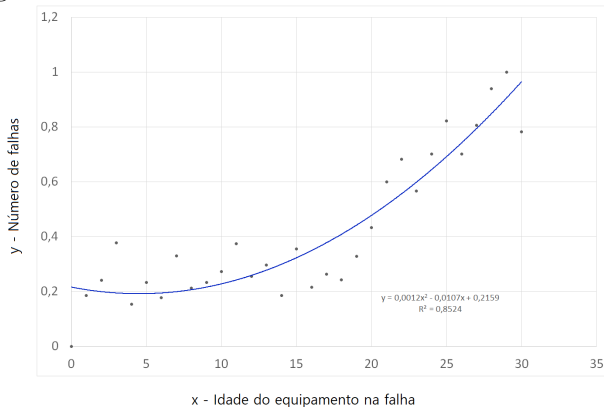
cando as metodologias na seção 4. Foram testados modelos exponenciais, polinomiais e logarítmicos. As curvas e equações que apresentaram os melhores coeficientes apresentados na discussão dos resultados. Em ambos os casos as curvas foram parametrizadas evitando o “overfit”. De acordo com Sobral and Barreto (2011), overfit significa “ordem superior à correta”.

### 5.3 Discussão dos Resultados

O gráfico de tendência mais conhecido é o “curva da banheira”, onde o nível de falhas nos equipamentos mais novos pode ser tão expressivo quanto os em fim de vida útil. Entretanto, conforme os estudos de Moubray (1997), essa tendência era comum em equipamentos da 2ª geração (entre a décadas de 50 e 80). No caso da 3ª (pós década de 80) devido à mudança das características, métodos e análises de manutenção outras formas de evolução de falhas são comuns.

### 5.4 Comportamento das falhas de acordo com idade dos equipamentos

Figura 2. Gráfico Idade × Número de falhas



Analisando o gráfico da Figura 2 de idade dos equipamentos na falha × número de falhas podemos verificar uma taxa de crescimento com o envelhecimento dos equipamentos, que já era esperado. Pode-se constatar o valor estabelecido para equipamentos de SEP, de acordo com a Equação 3.

$$y = 0,0012 * x^2 - 0,0107 * x + 0,2159 \quad (3)$$

O coeficiente de determinação  $R^2$  é igual a 0,8524, logo a curva gerada tem proximidade da dispersão dos dados utilizados.

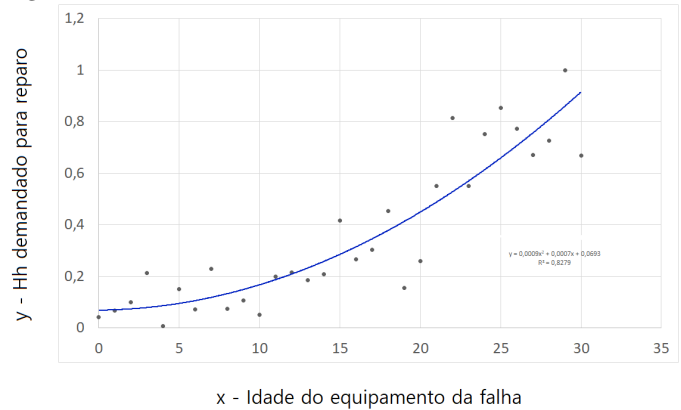
### 5.5 Hh demandado para reparo de falhas de acordo com a idade dos equipamentos

Analisando o gráfico da Figura 3 de idade dos equipamentos na falha × Hh também podemos verificar uma taxa de aumento do Hh demandando para reparo com o envelhecimento dos equipamentos, que também já era esperado. Observa-se que o valor estabelecido para equipamentos de SEP, de acordo com a Equação 4.

$$y = 0,0009 * x^2 + 0,0007 * x^2 + 0,0693 \quad (4)$$

O coeficiente de determinação  $R^2$  resultou em 0,8279, logo a curva gerada tem proximidade da dispersão dos dados.

Figura 3. Gráfico idade × Hh demandado



### 5.6 Aplicação

Com os resultados desse trabalho são aplicáveis a problemas de gestão de ativos dos leilões de transmissão, sendo um lote uma subestação inteira a forma mais abrangente ou uma Função Transmissão, a forma mais detalhada. Regras de três simples nos darão o valor das manutenções preventivas e preditivas. Já a parametrização das curvas baseadas no histórico de manutenção aqui apresentada nos permite a previsão da quantidade de falhas e de provável Hh necessário para reparos. Convertendo o Hh para valores monetários de acordo com a folha de pagamento, somando com os dados de custo de manutenção de acordo com as equações e essas previsões aplicadas à Parcela Variável, obteremos uma previsão global de custos.

## 6. CONCLUSÃO

Foi proposto desenvolver uma metodologia de previsão de custo de manutenção do sistema elétrico de potência dos equipamentos de transformação e manobra considerando um histórico de 20 anos. Através dos dados foram geradas as curvas de tendência e equações para os casos gerais, juntamente com o método propriamente dito para a utilização em análises detalhadas com o grau de acuracidade que as informações disponíveis permitirem, isto é, para determinados tipos de FT até famílias de equipamentos.

As curvas que deram origem às equações tiveram seus coeficientes de determinação  $R^2$  maiores que 0,8, tem proximidade da dispersão dos dados utilizados. As equações geradas propiciarão o cálculo da evolução das falhas de Hh demandado para reparo, além de auxiliaram a previsão da Parcela Variável.

É importante salientar que o sistema de transmissão é um mercado rigorosamente regulado pela ANEEL, por normas relativamente novas, com menos de 15 anos, e com algumas reformulações grandes como da 729/2016 BRASIL (2016), ainda existe pouca literatura disponível. Esse trabalho propiciará assertividade na previsão dos custos de manutenção, fornecendo insumos para os estudos de viabilidade que auxiliam a decisão de participar ou não de um leilão de concessão de ativos da ANEEL.

Entretanto, apenas equipamentos de transformação e manobra foram considerados, sendo necessário deixar os equipamentos de proteção e controle e demais para os estudos

futuros por terem características diferentes. Esse trabalho contribui com a abordagem de um tema complexo que é a previsão de custos de manutenção de uma subestação de alta tensão utilizando dados históricos.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se propor a aplicação de redes neurais analisando os mesmos dados e verificação da proximidade dos resultados com as aproximações lineares utilizada, inclusive a verificação se tal metodologia para equipamentos de transformação e manobra também é aplicado para os de proteção, controle e automação.

## REFERÊNCIAS

- Alkaim, J.L. (2003). *Metodologia para incorporar conhecimento intensivo às tarefas de manutenção centrada na confiabilidade aplicada em ativos de sistemas elétricos*. Ph.D. thesis, Universidade Federal De Santa Catarina. URL <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/85335/194153.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Barbosa, A. and Assis, J.V.d. (2000). Uma aplicação de análise de regressão simples para estimação do comportamento dos custos totais: O caso do hotel alfa. In *Barbosa, A. and Assis, J. V. d.* URL <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/viewFile/2962/2962>.
- Beltrão, V.D.C.V.M. (2014). *Metodologia de gestão do ciclo de vida de reatores*. Master's thesis, Universidade Federal Do Pará Instituto De Tecnologia. URL [https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=1424758#](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=1424758#).
- BRASIL (2013). Lei nº 12.783, de 11 de janeiro de 2013.
- BRASIL (2016). Resolução normativa aneel n 729 de 28 de junho de 2016. URL <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2014/027/resultado/ren2016729.pdf>.
- de Arruda, M.P., Vieira, C.A.M., de Sousa Lima, R.J.V., and Araújo, A.O. (2016). Custos ambientais de acordo com o potencial impacto poluidor listado pela lei nº 10.165/2000. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 9(3), 695. doi:10.17765/2176-9168.2016v9n3p695-717. URL <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2016v9n3p695-717>.
- Fidalgo, J.E.L.R. (2007). *Maximização de receita de concessionária de transmissão de energia elétrica através da otimização da manutenção*. Master's thesis, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.
- Guedes, J.P. (2017). *Análise da confiabilidade humana na operação de uma subestação do sistema elétrico de potência*. Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. URL <http://hdl.handle.net/10183/163425>.
- Lanziotti, T.M. and Garcia, R.L. (2018). Custo de capital das concessionárias de transmissão de energia elétrica no brasil: um estudo da companhia estadual de geração e transmissão de energia elétrica - ceee-gt. *REVISTA ELETRÔNICA CIENTÍFICA DA UERGS*. doi:10.21674/2448-0479.42.320-339. URL <http://revista.uergs.edu.br/index.php/revuergs/article/view/979/294>.
- Mendonça, R.B.d. (2009). *Modelagem de usinas eólicas através de um processo de Markov e técnicas de confiabilidade para a estimativa anual da energia produzida*. Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. URL <http://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/15314>.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered Maintenance Second Edition*. Industrial Press, Inc.
- Salerno, M.S. (1995). Essência e aparência na organização da produção e do trabalho das fábricas "reestruturadas". *Production*, 5, 191 – 202. URL [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65131995000200005&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65131995000200005&nrm=iso).
- Sobral, T.E.L. and Barreto, G. (2011). Análise dos critérios de informação para a seleção de ordem em modelos auto-regressivos. SBMAC. doi:10.5540/dincon.2011.001.1.0097. URL <https://doi.org/10.5540/dincon.2011.001.1.0097>.
- Tavares, L.A. (1999). *Administração Moderna da Manutenção*. Novo Polo Publicações e Assessoria LTDA.