



**XXII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GMI/21
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - XII

GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERÊNCIAS DE MANUTENÇÃO - GMI

DIAGNÓSTICO DE INSTALAÇÕES DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO – ABORDAGEM BASEADA EM RISCOS

NUNES, S.A. (*)
CEMIG GT

DUARTE, L.H.S.
CEMIG-GT

TEIXEIRA, R.M.
CEMIG-GT

RESUMO

Este artigo aborda a técnica de elaboração do diagnóstico de instalações do sistema de transmissão numa abordagem baseada em riscos. Análises de riscos são largamente utilizadas na gestão de projetos, análises de seguros, dentre outros. Não diferente, os Ativos de Transmissão estão sujeitos a diversidades de ameaças e oportunidades, assim propensos a este tipo de abordagem.

São apresentados o diagrama de estruturação para a realização do diagnóstico, os pontos de dificuldades, a modelagem para cálculo e agrupamento dos riscos, e, indicadas propostas para emissão do relatório de análise para fomentar o processo de decisão de estratégia da manutenção.

PALAVRAS-CHAVE

Gestão-de-Risco, Setor-Elétrico, Manutenção, Transmissão, Função-de-Transmissão

1.0 - INTRODUÇÃO

Diante dos desafios do setor elétrico de transmissão nacional, é imperativo desenvolver técnicas para apoiarem os processos de decisões. É fundamental às empresas buscarem a redução de despesas com manutenção e isto geralmente implica em redução de quadro, redução do número de manutenções, redução de controles e incremento de ações para a melhoria do processo. O ponto de equilíbrio desta situação é determinar a redução que pode ser aplicada ao processo de manutenção que garanta a sustentabilidade do negócio. Responder a esta questão não é simples.

Este artigo busca apresentar um método para a identificação de riscos de forma semi quantitativa para todo o parque de ativos e desta forma fornecer a percepção dos pontos mais críticos do sistema e ao mesmo tempo comunicar qual grau de risco a empresa está submentida e quais as possíveis implicações das decisões a serem tomadas.

Para tal, as áreas de engenharia de manutenção devem dispor de um diagnóstico sempre atualizado da condição dos ativos da empresa, contudo não se limitando a análise de defeitos ou falhas existentes mas também aqueles que podem vir a ocorrer no curto, médio e longo prazo.

A análise de riscos não é algo novo. É prática comum aos organismos financeiros, seguradoras e gerenciamento de projetos efetuarem análises de riscos. Observando esta prática e alinhando aos conceitos de gestão de ativos preconizados pela PAS-55[1] foi entendido que os Ativos de Transmissão estão sujeitos a uma grande diversidade de ameaças e oportunidades, tais como as oriundas do processo de fabricação, envelhecimento, vizinhanças,

(*) Av. Barbacena, nº 1200 – 13º ala B1 – CEP 99.999-999 Belo Horizonte, MG, – Brasil
Tel: (+55 31) 3506-4812 – Email: sanunes.cmg@gmail.com.br

meio-ambiente, órgão regulador, etc. e que estas podem ser mapeadas e utilizadas para apoiar a gestão dos ativos.

Com base na análise destes fatos foi estabelecido um modelo empírico para a construção de um diagnóstico constituído por riscos identificados nos ativos de Transmissão. Este Diagnóstico fornece indicação dos itens prioritários para investimentos e despesas, atua como ferramenta de monitoramento e de comunicação à medida que dá ciência a alta direção e às equipes do grau de exposição de risco ao qual ativo está exposto.

A técnica para a elaboração do Diagnóstico baseado em riscos constitui em identificar em nível de equipamento (transformadores, disjuntores, relés, linhas de transmissão, etc.), função e instalação as oportunidades e ameaças a que estes ativos estão expostos. Uma vez identificados estes são adequadamente caracterizados e pontuados.

A caracterização consiste em determinar o histórico, a situação presente, a resposta aos riscos com a descrição, datas e estimativa de custos relacionados às ações e a condição para a qual o ativo pode evoluir. A pontuação, por sua vez é determinada pelo produto da Probabilidade¹ e Impacto.

A vantagem desta técnica é que ela fornece a projeção do que pode ocorrer no pior cenário. Destaca-se que alguns resultados obtidos contrariaram o senso comum. Contudo os resultados fornecidos pelo diagnóstico tem-se consolidado.

2.0 - BANCO DE DADOS – SOLUÇÃO E DIFICULDADES

Dados confiáveis e disponíveis são fundamentais no processo de decisões e formulação de respostas rápidas para subsidiar a alta direção na tomada de decisões. Porém poucas são as empresas que conseguem responder prontamente com dados do processo de manutenção. Geralmente a qualidade dos dados não é boa. As bases de dados costumam não conter todas as informações necessárias, vários aplicativos com bases de dados dedicadas, formato inadequado, divergência de conceitos utilizados no cadastramento e em casos extremos a inexistência de dados.

Diante desta situação é comum a ação de partir para recuperar o histórico para então somente a partir deste ponto começar a trabalhar onde é necessário. Recuperar o histórico negavelmente é fundamental, mas isto é impeditivo uma vez que esta limitação pode ser contornada por meio do levantamento de riscos.

A margem de acertos num ambiente de ausência ou de poucos dados é reduzida. “A gestão de riscos baseia-se nas melhores informações disponíveis”² portanto todos devem estar cientes dos limites e das soluções adotados no cenário de escassez de informações. Na teoria de conjuntos fuzzy[8], desenvolvida por Loffi Zadeh considera-se que o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado³. Assim a determinação da probabilidade com base em dados históricos reflete uma visão limitada do conjunto de soluções.

3.0 - DETERMINAÇÃO DO MODELO

3.1 Premissas do Modelo

A concepção do modelo de diagnóstico por meio da análise de riscos parte das seguintes premissas:

- (1) Conceito de risco da norma na ABNT NBR ISO-31000:2009 - "Efeito da incerteza nos objetivos"
- (2) Basear-se na experiência dos especialistas, justificável nos fundamentos Teoria de conjuntos Fuzzy⁴.
- (3) Ciclo de vida do ativo, no qual a partir do momento que o mesmo existe este possui um risco de natureza intrínseca, portanto susceptível a falhar ou apresentar defeito a qualquer momento.
- (4) Probabilidade no sentido de “se algo acontecer”

Estas premissas são fundamentais para o entendimento do processo do diagnóstico uma vez que os dados partem agora de um plano não determinístico, ou seja, mais susceptível a influência do fator humano e assim a erros. Contudo quando os desvios nas análises são detectados, seja quanto a descrição do risco ou na pontuação estes

¹ Probabilidade usando neste artigo refere-se ao termo “likelihood” ou seja a chance de algo acontecer, o que difere do termo clássico “probability” cuja interpretação é estritamente matemática[5].

² ABNT NBR ISO 31000:2009, item f. pg. 8

³ Fernando A. C. Gomide – Conceitos Fundamentais da Teoria de Conjuntos Fuzzy, Lógica Fuzzy e Aplicações

⁴ A Lógica Fuzzy (Nebulosa) é a lógica que suporta os modos de raciocínio que são aproximados.

itens são reavaliados aprimorando-se assim o diagnóstico. Isto, naturalmente, conduz o diagnóstico ao modelo determinístico.

3.2 Estruturação e Montagem do Diagnóstico

Cada um dos riscos identificados deve ser considerado com um diagnóstico. Assim o diagnóstico de todos os ativos é um somatório destes pequenos diagnósticos.

O diagnóstico pode ser entendido como um processo cíclico permeando todo o processo de manutenção. O macro fluxo apontando as interações o fluxo de informações, atividades, entradas e saídas são exibidos abaixo. Ver fig. 1.



FIGURA 1 – Macro fluxo do diagnóstico com a abordagem de riscos, entradas e saídas.

Similar ao ciclo de vida de um ativo, os riscos também possuem um ciclo de vida bem determinado. O tempo que o mesmo permanece ativo é função das decisões tomadas e da evolução da condição de degradação do ativo. Ver fig. 2.



FIGURA 2 – Ciclo de vida do risco

O ponto central do registro do risco é a descrição, a qual ocorre por meio da identificação das relações de causa, efeito e consequência. Rótulos são utilizados para garantir que esta relação seja respeitada e identificada. A descrição dos riscos do tipo ameaça e do tipo oportunidade diferem, contudo, ambos necessitam de uma resposta clara e objetiva a respeito da ação a ser realizada, custo e data. Na fig. 3 são exibidos os rótulos para a formulação da descrição dos riscos e a relação temporal entre estes rótulos.



FIGURA 3 – Rótulos usados para a descrição de risco

O risco então pode ser descrito, por exemplo, como: **[Devido a]** elevado valor de corrente de fuga registrado neste equipamento **[pode ocorrer]** falha no mesmo **[com consequente]** explosão do equipamento, indisponibilidade do ponto operativo e projeção de partes e ferimentos a pessoas.

O diagnóstico então é elaborado a partir da identificação dos riscos de cada equipamento, posteriormente Função de Transmissão – FT, que podem ser as funções da rede básica ou Demais Instalações da Transmissão (DIT). Cada um dos riscos é inserido numa planilha ou base de dados e por meio de ferramentas computacionais é confeccionado o relatório. Dependendo do nível da análise é necessário recorrer individualmente a cada um dos registros de riscos para a tomada de decisões. Montada adequadamente a base de dados de risco possibilita varias estratificações e a aplicação de simulações por meio da habilitação ou desabilitação de riscos individuais ou conjuntos caracterizando cenários de análise.

A análise de riscos apresenta boa relação custo benefício quando a esta se inicia no nível de equipamento, contudo deve-se realizar uma análise criteriosa para identificar se este nível é suficiente ou se é necessário descer na estrutura do ativo para o conjunto de partes do ativo.

No nível de ascendência em relação ao equipamento, o cuidado recai na identificação correta dos equipamentos que compõem uma função, por exemplo, numa FT Linha de Transmissão deve-se levar em conta os *bays* que pertencem à empresa. Por outro lado os *bays* pertencem a subestações distintas, logo as agregações devem ser claramente informadas, evitando dúvidas durante a leitura do diagnóstico.

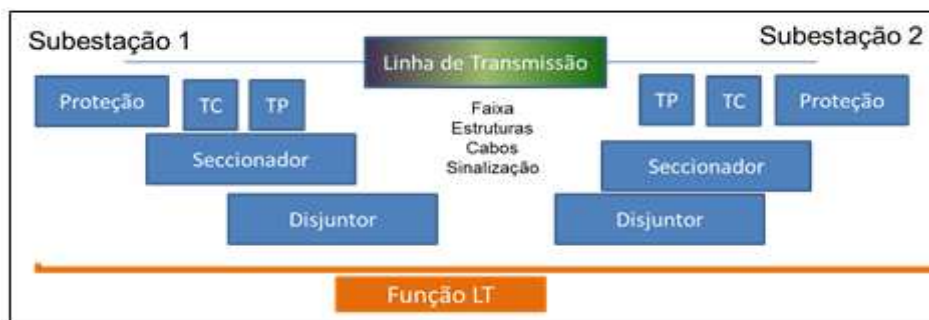


FIGURA 4 – Função de Transmissão Linha de transmissão

3.3 Equações

A determinação do Grau de Exposição ao Risco (Earned Risk Value – ERV) é função da probabilidade e do impacto, conforme a equação 1.

$$ERV = r_a = P * I \quad (EQ1)$$

Onde P: chance de algo acontecer, no caso: da FT tornar-se indisponível.

I: impactos relacionados ao risco, quando vier a se tornar questão⁵.

r_a : O mesmo que ERV. É usado para representar cada um dos riscos identificados no equipamento.

⁵ Na metodologia de gerenciamento de projetos, quando um risco torna-se realidade este passa a ser denominado de “questão”

A determinação do impacto de um risco pode considerar, por exemplo, os seguintes fatores de impacto.

- CS – Criticidade da função para o Sistema de Transmissão
- MA – Impacto ao meio ambiente
- RT – Receita anual permitida para da função
- SE – Segurança de pessoas
- TE – Tendência
- IN – Tempo de indisponibilidade da função
- CQ – Custo da Questão

A quantidade de fatores utilizados na determinação do impacto e na probabilidade é livre. Contudo à medida que são aumentados os fatores o tempo necessário para levar os riscos aumenta. A proposta inicial é partir do simples e posteriormente evoluir. Assim a ferramenta para implementação da solução deve ser obrigatoriamente flexível para aceitar novos parâmetros.

Neste modelo tanto P quanto os componentes do impacto são discretizados em valores inteiros de 1 a 5, sendo que 5 corresponde ao pior caso. Para orientar o cadastramento são inseridos explicações junto com os números objetivando classificação correta dos riscos.

Os itens que compõem o impacto podem ser adicionados de peso, a medida que se julgue um item mais importante que os demais. O modelo, quando simulado num ambiente controlado tem que responder adequadamente. Quanto mais fatores de impacto mais os parâmetros são diluídos e melhor a precisão do modelo.

Denominando f_1, \dots, f_n os pesos de cada um dos fatores, onde $(f_1 + f_2 + \dots + f_n) / n = 1$, têm-se

$$I = \sqrt{\frac{f_1 * CS^2 + f_2 * MA^2 + f_3 * RT^2 + f_4 * SE^2 + f_5 * TE^2 + f_6 * IN^2 + f_7 * CQ^2}{7}} \quad (EQ2)$$

No caso de estudo optou-se por utilizar os fatores $f = 1$ e não considerar os fatores IN e CQ em face de divergências de valores destes itens. Então o modelo simplificado é apresentado na equação 3.

$$I = \sqrt{\frac{CS^2 + MA^2 + RT^2 + SE^2 + TE^2}{5}} \quad (EQ3)$$

Uma vez determinado o impacto (I) por meio da equação EQ3, e de posse da probabilidade(P)⁶ o risco, tipificado de acordo com a natureza da avaria ou possibilidade de avaria, é calculado utilizando-se a EQ4.

$$r_a = P * I \quad (EQ4)$$

Neste ponto o resultado da EQ4 é capaz de fornecer a visão daqueles itens mais críticos para o sistema ou dos riscos mais críticos para um equipamento. Porém quando se quer obter um comparativo nos níveis superiores ao equipamento é necessário agrupar estes r_a ⁷.

O modelo de agrupamento necessita responder adequadamente independente do conjunto de itens a ser analisado. Fornecendo um indicador comparativo de quanto um é equipamento ou função é mais exposto em relação aos demais. Além desse ponto o modelo deve ser capaz de destacar os maiores riscos, contudo sem desprezar os de menor valor.

A quantidade de riscos associada a um determinado ativo pode ser entendida como perfurações em barreiras que impedem a ocorrência de uma falha ou defeito. Quanto mais barreiras rompidas, maior quantidade de problemas ou sinalizações de problemas num ativo e menor a sua confiabilidade para o sistema. Isto é similar ao modelo do queijo suíço⁸.

⁶ A probabilidade pode ser calculada seguindo a mesma estratégia do cálculo do impacto. Neste estudo de caso a probabilidade foi tratada como fator único.

⁷ Em simulações preliminares realizadas, o agrupamento dos riscos de um determinado ativo, seja por função, equipamento ou outro item, não responde adequadamente quanto se executa o agrupamento por média, valor máximo ou somatório simples dos valores de r_a .

⁸ Modelo Queijo Suíço foi apresentado em 1987 no artigo relacionado a erro humano.

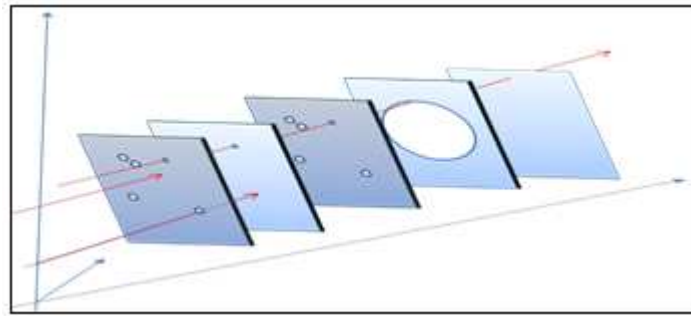


FIGURA 5 - Barreiras com riscos

Assim cada risco representa uma perfuração na barreira de contenção. Quando uma condição não é bloqueada pelas barreiras a questão⁹ acontece. Para representar cobrir as condições esperadas do modelo, foi utilizada a equação 5, abaixo.

$$FR = \sqrt{\left(r_{a_{risco_1}}\right)^2 + \left(r_{a_{risco_2}}\right)^2 + \dots + \left(r_{a_{risco_n}}\right)^2} \quad (EQ5)$$

A equação EQ5, onde FR foi nomeado com Fator do Risco permite destacar os maiores riscos e não permitir que um conjunto grande de pequenos riscos passe despercebidos. A ideia neste ponto é que o somatório dos pequenos riscos leva a um risco grande. Notadamente este modelo empirico adotado tem mostrado bons resultados para a realização de comparações entre ativos, ou funções ou mesmo instalações.

4.0 - IDENTIFICAÇÃO E REGISTRO DE RISCOS

Neste ponto são salientadas algumas observações no cenário de levantamento e registro de riscos, com o intuito de auxiliar o leitor nesta tarefa, simples mas que requer análise de especialista. O erro comum é acreditar que o trabalho é registrar os riscos. A ação vai além do digitar pois cada risco deve ser encarado com a natureza de falha com o agravando das variações que este pode possuir- a causa raiz nem sempre é claramente identificável assim como as consequências. Sugere-se então iniciar da forma simples e evoluir gradativamente o modelo. Querer partir do estado de arte é arriscar-se ao fracasso do processo de captura de dados para elaboração do diagnóstico baseado em riscos.

O especialista durante a identificação de risco pode desconsiderar um risco se a chance de acontecer é extremamente remota. Mas probabilidade (P), deve ser sempre considerada na dimensão temporal, pois qualquer equipamento num tempo infinito em relação a sua vida útil irá falhar. Então as análises devem ser revisitas e reavaliadas de tempos em tempos.

Outro ponto de atenção é o fato de impactos com extremamente elevados. Nesse caso não registrar o risco pode ser entendido como um erro grave, a exemplo a usina Usina Hidrelétrica Sayano-Shushenskaya¹⁰

Além dos riscos percebidos existem também os riscos desconhecidos, a estes denominamos de riscos intrínsecos. Pode ser registrado um risco para cada equipamento ou inserido na rotina de cálculo os riscos desta natureza.

5.0 - EXIBIÇÃO DE RESULTADOS

Os riscos identificados numa empresa são proporcional ao numero de ativos e inversamente proporcional a data entrada em operação de uma instalação., Se o ativo já nascer com um risco elevado isto pode indicar uma falha no projeto ou uma questão de estratégia.

Com cerca de 5000 risco identificados e para uma base de ativos de cerca de 10000 itens , a exibição de resultado pode ser outro problema na análise de risco. Para tal recomendasse a utilização de treemaps, gráficos de pareto e

⁹ Questão: Diz-se quando o risco ocorre.

¹⁰ Em 4/out/2009 os parafusos e porcas romperam e o conjunto (turbina + eixo + rotor) fora de controle destruiu toda a estrutura que o sustentava. Centenas de milhares de litros de água por segundo invadiram o andar das turbinas, depois atingindo o andar dos eixos e o andar dos geradores. 75 funcionários morreram, varias unidades geradoras foram destruídas e 40 toneladas de óleo de transformador vazaram, poluindo o rio.

destaque na forma de tabela daqueles riscos com maior ERV ou FR. A estratégia de apresentação top-down e a mais indicada pois a permite caminhar na direção dos riscos com ERV maior.

Na figuras 6 e 7 são exibidos dois exemplos para exibição de resultados da análise de riscos. Observe que na figura 6 os agrupamentos maiores correspondem agrupamentos por função e cada quadrado pequeno é um risco.



FIGURA 6 - Mapa de riscos - O tamanho e cor representa o valor de ERV

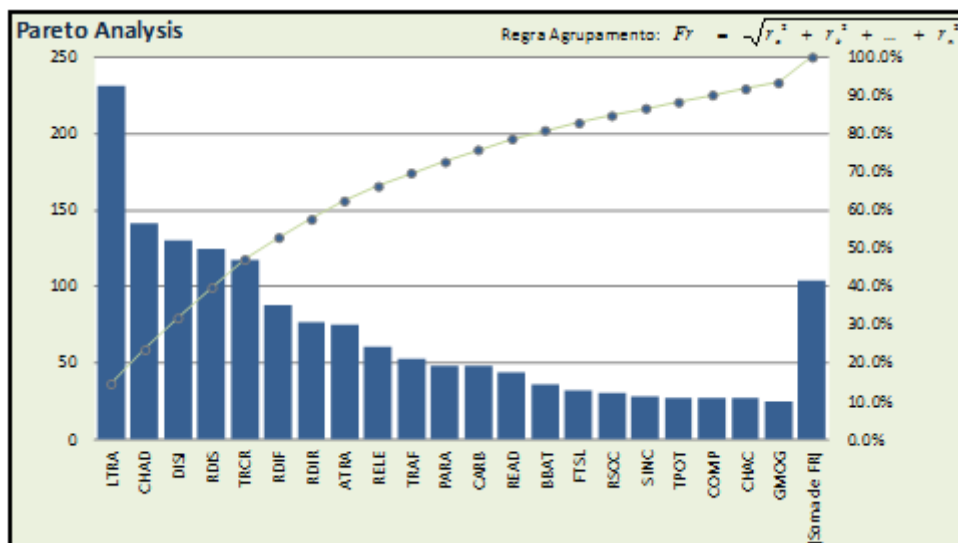


FIGURA 7 - FR calculada por tipo de equipamentos

6.0 - CONCLUSÃO

Riscos são os indicadores qualitativos de alerta com os quais convivemos deste a pré-história e assim continuaremos submetidos a eles até o fim da espécie humana. De forma geral, o risco é interpretado como um agente de natureza que leva ao comprometimento ou ao constrangimento de um plano. Analisar, quantificar e definir as medidas para sanar o risco é vislumbrar um horizonte de oportunidades.

A gestão de riscos vem se destacando na ultima decada. Não se trata de uma moda mas de algo que é executado intuitivamente a todo instante. É primordial as empresas terem ciência do risco que correm com os ativos quando tomam decisões de fazer ou não determinada manutenção. A eliminação dos riscos geralmente possui custo e desgastes menores do que quando estes se tornam questão. Como não é possível eliminar todos os riscos cabe a

alta direção definir e assumir o patamar de risco com o qual aceita conviver. Nesta direção, o diagnóstico com a abordagem em riscos fornece as informações para apoiar tomada de decisão pois mesmo baseando-se na experiência dos especialistas reduz o grau subjetividade à medida aplica técnicas para a minimização da subjetividade. O diagnóstico também deixa evidentes as decisões e o impacto se o risco acontecer, distribuindo assim as responsabilidades, tornando a todos corresponsáveis

Destaca-se que o modelo aqui apresentado não é o estado de arte para a análise de riscos, pois está em evolução e aberto a melhorias. Emfim, a implantação do diagnóstico requer tempo e recursos para amadurecimento, mas os resultados vão além das expectativas.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BSI PAS55 – Optimal management of physical assets - 2008.
- (2) B. S. Dhillon - Engineering Maintenance: a modern approach - CRC Press 2002.
- (3) IEC/ISO 31010 - Risk management- Risk assessment techniques – Ed 1.0, 2009-11.
- (4) NBR 5462 - Confiabilidade e manutenibilidade - 1994.
- (5) ABNT NBR ISO 31000 - Gestão de riscos - princípios e diretrizes – 2009.
- (6) Fernando A. C. Gomide - Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos Fuzzy, lógica Fuzzy e Aplicações - IFSA '95, Brazil, Fuzzy Logic in Biomedical Engineering.
- (7) Correa, Sonia Maria Barrosa – Probabilidade e Estatística - Ed 2, PUC 2003.
- (8) L. A. Zadeh - Fuzzy Sets -1965.
- (9) European Organization for the safety of air navigation – Revisiting the Swiss Cheese Model of Accidents - 2006.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Silvio Antônio Nunes, natural de Bambuí, Minas Gerais, nascido em 08 de fevereiro de 1977. Graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em computação pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Ocupa o cargo de Engenheiro Sênior de Planejamento de Manutenção de Geração e Transmissão na Companhia Energética de Minas Gerais CEMIG, atuando na análise de ocorrências e dados do processo de manutenção dos ativos de Transmissão.