

Grupo de Estudo de Sistemas de Informação e Telecomunicação para Sistemas Elétricos - GTL

Análise de Dados aplicada a Verificação da Condição de Sistema de Ar Comprimido em Disjuntores de Alta Tensão em Subestações de Alta Necessidade de Confiabilidade

MOHAMED HASSAN ABDALI (1); CLAUDIO AUGUSTO GOMES SILVA MOTA (*) (2); CARLOS HERNAN MIERES ZACARIAS (2); JOÃO PAULO MAN KIT SIO (1); GIOVANA BASSETTO(3); UNIOESTE(1); ITAIPU(2); UTFPR(3);

RESUMO

O presente artigo descreve a análise de dados operativos de um sistema de ar comprimido de disjuntores de alta tensão em uma subestação com alta necessidade de confiabilidade, provenientes de uma rede industrial. A análise é realizada utilizando um software com algoritmos baseados na aplicação de técnicas de mineração de dados e aprendizagem de máquina que, em conjunto com a expertise dos operadores, monitora, identificando possíveis vazamentos no sistema de ar comprimido dos disjuntores de alta tensão presentes na Subestação da Margem Direita (SE-MD), de propriedade da Itaipu Binacional.

PALAVRAS-CHAVE

Data Mining, Machine Learning, Disjuntores de Alta Tensão, Sistemas de Ar Comprimido, Subestações de Alta Tensão

1.0 - INTRODUÇÃO

A Usina Hidrelétrica de Itaipu registrou, em 2018, uma produção de 96.5GWh de energia elétrica. Esse montante foi responsável pelo atendimento de, aproximadamente, 14.6% da energia elétrica consumida no Brasil e 90.7% da energia consumida no Paraguai durante o período. Toda a parcela de energia elétrica fornecida para o sistema elétrico paraguaio provém do setor de 50Hz da Usina de Itaipu. A energia elétrica proveniente desse setor tem como origem, para o sistema elétrico paraguaio, uma subestação de alta tensão, propriedade de Itaipu Binacional, denominada Subestação da Margem Direita – visualizada na Figura 1 a seguir.



Figura 1 - Vista aérea da Subestação da Margem Direita (SE-MD).

Cabe salientar, ainda, que a Subestação da Margem Direita (SE-MD) possui quatro linhas de interligação com a Subestação de Foz do Iguaçu (SE-FI) de propriedade de Furnas Centrais Elétricas. Essas linhas de interligação abastecem as estações conversoras do elo de corrente contínua que transmite energia em corrente contínua até a Subestação de Ibiúna localizada no estado de São Paulo.

A Subestação da Margem Direita (SE-MD) opera em quatro níveis de tensão (500kV, 220kV, 66kV e 23kV), recebendo toda a energia elétrica gerada pelo setor de 50Hz de Itaipu e cumpre a função de seccionamento dos circuitos oriundos de Itaipu, transformação da energia para valores de transmissão e regulação de tensão para o atendimento do nível de tensão requerido pelo sistema elétrico paraguaio. A Subestação da Margem Direita possui, ainda, a função de alimentar os serviços auxiliares em 50Hz da Usina Hidrelétrica de Itaipu e da Subestação de Foz do Iguaçu (SE-FI).

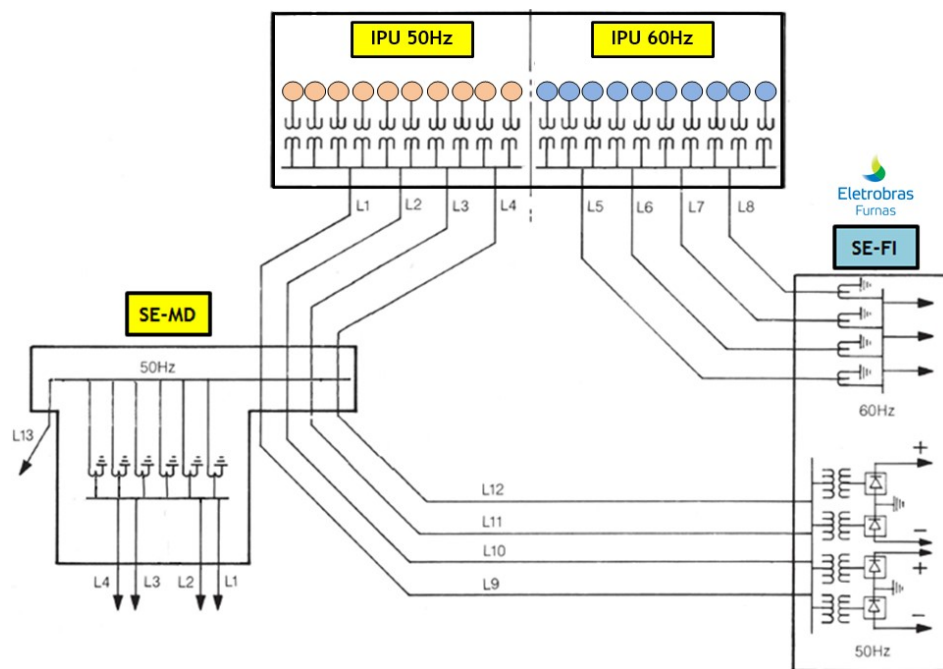


Figura 2 – Diagrama esquemático da interligação elétrica entre Itaipu Binacional através da SE-MD.

Na Subestação da Margem Direita, parte dos disjuntores que operam nos níveis de tensão de 500kV e 220kV possui o ar comprimido como força motriz para o acionamento da haste de operação. A manutenção desse sistema de ar comprimido em condições operativas normais é, portanto, vital para o cumprimento das funções esperadas para esses disjuntores – abertura imediata em caso de condições operativas que podem danificar equipamentos e desestabilizar o sistema elétrico de potência.

O que se observa na realidade, porém, é um envelhecimento desses equipamentos que tem resultado em sequenciais vazamentos de ar nos circuitos de ar comprimido. Esses vazamentos normalmente não possuem volume substancial para acionar os alarmes de detecção que repassam a informação imediatamente para o sistema supervisor da subestação.

1.1 - Justificativa

Conforme mencionado anteriormente, a Subestação da Margem Direita (SE-MD) é vital para o atendimento de potência elétrica aos sistemas brasileiro e paraguaio. Nessa subestação, parte dos principais disjuntores são modelos antigos de fabricação BBC que utilizam o ar comprimido como meio de extinção do arco elétrico durante suas operações de abertura. Alguns utilizam, ainda, o mesmo sistema de ar comprimido como meio de acionamento da haste de operação dos disjuntores.

Como amplamente conhecido, sistemas de ar comprimido possuem perdas (vazamentos) independentes do nível de pressão e do ciclo de trabalho dos compressores. Esse fato deriva da impossibilidade de concepção e manutenção de um sistema plenamente estanque. Estes pequenos vazamentos no sistema de ar comprimido não são detectados com facilidade e, mesmo que signifiquem uma pequena variação de pressão no sistema de ar comprimido, com o tempo, podem evoluir e comprometer a função do disjuntor.

Somado ao citado, os pequenos vazamentos de ar comprimido nesses sistemas acarretam em um maior ciclo de partidas e tempo de funcionamento dos compressores, desgastando-os mais e aumentando eventuais custos com manutenções ou trocas de equipamentos.

1.2 - Objetivos

Este trabalho tem como objetivo a proposição de um método para a identificação de vazamentos nos circuitos de ar

comprimido, utilizado nos mecanismos de acionamento e extinção de arco elétrico de disjuntores de alta tensão em uma subestação com necessidade de elevado grau de confiabilidade.

Dessa forma, propõe-se a inspeção automática e em tempo real feita por uma ferramenta computacional. Essa ferramenta computacional teve sua modelagem executada através de algoritmos de aplicação que, pelo ciclo de partida dos compressores de ar comprimido dos disjuntores de alta tensão, informa ao operador da instalação a detecção de qualquer ciclo observado e classificado como diferente do padrão.

Os objetivos específicos desse trabalho incluem:

- Entender conceitos de *data mining* e *machine learning* utilizados no software de supervisão, os quais, associados à expertise de operadores, para assim, então, desenvolver um determinado conjunto de treinamento para identificação de possíveis vazamentos de ar;
- Observar casos práticos de falhas encontradas em sistemas de ar comprimido de disjuntores de alta tensão na SE-MD aplicando o conjunto de treinamento configurado na ferramenta computacional a esses casos, observando sua acurácia; e
- Relacionar e diferenciar o ciclo de partida dos compressores com relação à temperatura ambiente, evitando que eventuais mudanças na temperatura acarretem em identificações errôneas por parte da aplicação.

2.0 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento deste sistema de detecção é necessário o conhecimento de disjuntores de alta tensão e seu mecanismo acionamento, principalmente os que possuem sistemas de ar comprimido relacionados como força motriz e/ou como meio de extinção do arco elétrico interno a esses equipamentos.

São necessários, também, alguns conhecimentos típicos sobre a dinâmica de gases (como a relação entre pressão e temperatura) bem como a apresentação da ferramenta computacional ASGO – Assistente para Supervisão de Grandezas Operativas – já utilizada em Itaipu Binacional para a identificação matemática de ciclos de trabalho em equipamentos da instalação.

2.1 - Disjuntores de Alta Tensão

Os disjuntores são dispositivos responsáveis pela disjunção de dois circuitos elétricos. Essa disjunção é necessária nos casos em que seja necessário isolar determinado circuito elétrico (para trabalhos de manutenção, por exemplo) ou em caso de atuação da proteção elétrica de determinado equipamento.

Em caso de manobras de disjuntores associadas à atuação de proteção, os disjuntores devem ser capazes de interromper o circuito elétrico com falha no menor tempo possível. Para o cumprimento dessa função, os disjuntores são classificados levando em consideração suas características elétricas, mecânicas e de extinção de arco, sendo assim caracterizados pelo nível de tensão na qual são empregados, mecanismos de extinção do arco elétrico e mecanismo de acionamento (ou de operação).

Assim, para manter a qualidade na transmissão da energia elétrica, é necessário um alto grau de confiabilidade dos disjuntores de alta tensão. Essa alta confiabilidade é obtida através da verificação contínua dos sistemas motrizes desses equipamentos (tipicamente, sistemas de ar comprimido ou sistemas a mola com carregamento efetuado através de motores elétricos).

Na Subestação da Margem Direita, onde esse trabalho foi desenvolvido, estão presentes 49 disjuntores de alta tensão sendo 22 destes com acionamento e/ou com extinção movidos através de um amplo sistema de ar comprimido no pátio da subestação. Esses equipamentos possuem centrais de ar comprimido individuais que abastecem o próprio equipamento e que podem, inclusive, serem interligadas com as centrais referentes a outros disjuntores de alta tensão. O disjuntor típico presente na Subestação da Margem Direita bem como a central de ar comprimido deste podem ser visualizados na Figura 3 a seguir.



Figura 3 – Disjuntor de alta tensão típico da SE-MD (detalhe: estação de ar comprimido).

Os valores de pressão tipicamente observados para os circuitos de ar comprimido utilizados como força motriz de disjuntores de alta tensão estão em torno de 31bar. A manutenção dessa pressão é de responsabilidade de um circuito de controle que, após ser sensibilizado, comanda a partida do compressor normalizando a pressão do sistema de ar comprimido aos valores nominais.

Uma apresentação típica da utilização de ar comprimido para acionamento de um disjuntor de alta tensão pode ser visualizada na Figura 4. Nessa figura se observa que, na operação de fechamento, existe a liberação de ar comprimido (em azul) da câmara de manobra do disjuntor possibilitando a subida da haste de manobra fechando o contato principal do equipamento. A manobra de abertura, por sua vez, dá-se através da injeção de ar comprimido (em azul) sobre a haste de manobra resultando no rebaixamento desta e na abertura do contato principal do disjuntor.

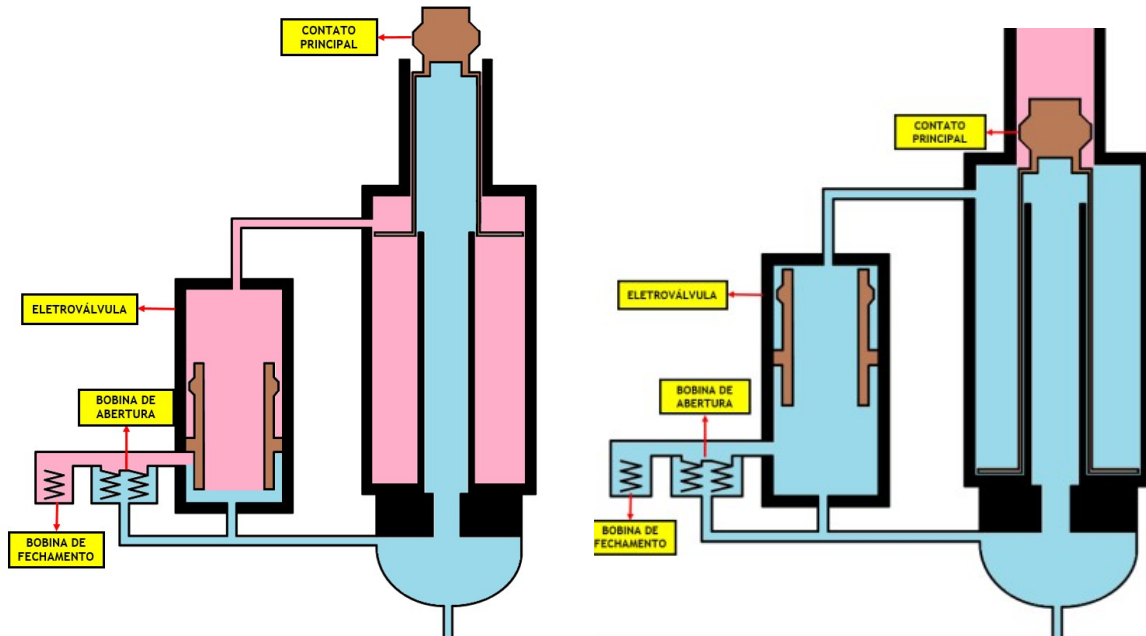


Figura 4 – Diagrama Esquemático de Disjuntor de Alta Tensão movido a Ar Comprimido (fechado, à direita, e aberto, à esquerda).

O sistema de ar comprimido de serviço é um dos serviços auxiliares encontrados em uma subestação. Na Subestação da Margem Direita (SE-MD), além da utilização nos disjuntores, esse sistema é utilizado no sistema anti-incêndio dos transformadores da subestação. Como mencionado anteriormente, cada disjuntor de alta tensão possui sua central de ar comprimido associada. Essa central é composta basicamente por um compressor de ar, válvulas de interligação e um reservatório de uso próprio do disjuntor.

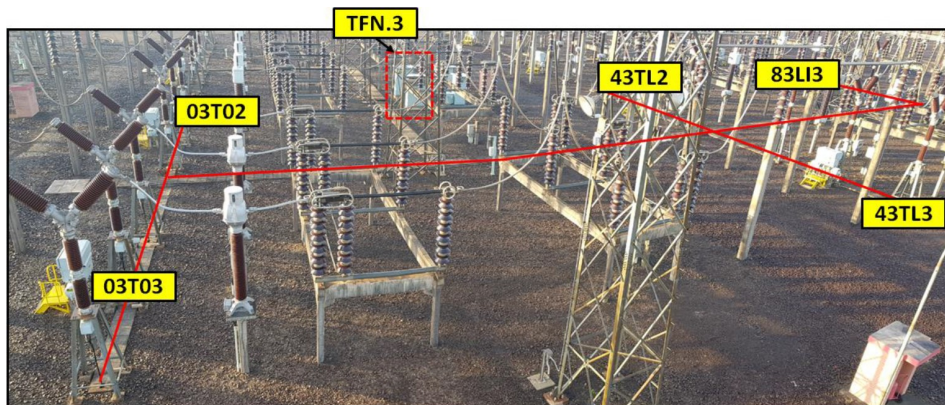


Figura 5 - Sistema interligado de ar comprimido nos disjuntores Subestação da Margem Direita.

O compressor é o elemento responsável pela pressurização do ar até que sejam atingidos os níveis de pressão pré-determinados. O ar comprimido é filtrado e armazenado em reservatórios e distribuído através de tubulações. Na Subestação da Margem Direita (SE-MD), cada disjuntor com acionamento a ar comprimido possui seu próprio circuito, porém, o mesmo pode ser interligado com os disjuntores adjacentes, para que, em eventuais avarias ou manutenções nos compressores, os disjuntores se mantenham sob condições normais de funcionamento. A Figura 5 apresenta uma vista aérea de uma parte do pátio de 220kV da SE-MD, indicando o sistema interligado de ar comprimido dos disjuntores.

2.2 - Termodinâmica

Partindo do princípio que o ar comprimido utilizado para o acionamento dos disjuntores deve ter uma pressão constante pré-determinada, existe a necessidade de ser realizada uma análise mais elaborada do comportamento do ar comprimido, levando em consideração o contexto ambiental da Subestação da Margem Direita, no qual este equipamento está inserido.

Pelo fato dos circuitos de ar comprimido dos disjuntores de alta tensão estarem dispostos no pátio da subestação, ao ar livre, suas tubulações estão sujeitas às intempéries da natureza (temperatura ambiente, chuvas, sol, dentre outras). Dessa forma, uma análise física sobre o comportamento do gás com relação à sua termodinâmica se faz necessário, embasada em conceitos físicos.

A equação (1), chamada lei do gás ideal rege o comportamento de um gás ideal, relacionando suas características moleculares com o seu volume, pressão e temperatura.

$$pV = nRT \quad (1)$$

Sendo:

- p : pressão do gás, expressa em atm;
- V : volume ocupado pelo gás, expressa em litros;
- n : número de mols, expressa em mol;
- R : constante molar do gás ($R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$); e
- T : temperatura do gás, expressa em K.

Pelo fato do ar comprimido estar armazenado em um reservatório, ao sofrer um aumento de sua temperatura – mediante influência do ambiente – ou variação de pressão – devido a algum vazamento ou manobra –, o seu volume se mantém constante. Por assim ser, trata-se de uma transformação isocórica. Analisando a equação (1) e aplicando esta observação, tem-se a relação obtida na equação (2), na qual pressão e temperatura são grandezas proporcionais.

$$p/T = \text{constante} \quad (1)$$

Como o reservatório e as tubulações no sistema de ar comprimido não são termicamente isolados existe a transferência de calor com o meio externo. Assim, para os disjuntores de alta tensão, com a diminuição da temperatura ambiente, a temperatura interna do reservatório de armazenamento de ar comprimido também diminui. Conforme indicado na equação (2), a pressão do ar comprimido mantém esta proporção, sendo atenuada até que, ao atingir determinado patamar, é comandada pelo circuito de controle do disjuntor a partida do compressor a fim de normalizar a pressão do sistema.

Dessa forma, pode-se resumir que o ciclo de partida dos compressores de ar comprimido dos disjuntores de alta tensão pode ser alterado devido, basicamente, a duas razões principais: (a) perda de ar através de vazamentos e (b) mudanças bruscas de temperatura.

2.3 – Assistente para Supervisão de Grandezas Operativas - ASGO

O ASGO – Assistente para Supervisão de Grandezas Operativas – é um software desenvolvido em Itaipu Binacional para a detecção de anomalias em séries temporais supervisionadas por uma rede industrial. Utiliza técnicas de mineração de dados para filtrar o excesso de dados provenientes de redes industriais de uma instalação hidrelétrica típica, fazendo assim a análise de dados que são relevantes. Na Figura 6 é apresentada a interface do software, com suas telas de identificação.

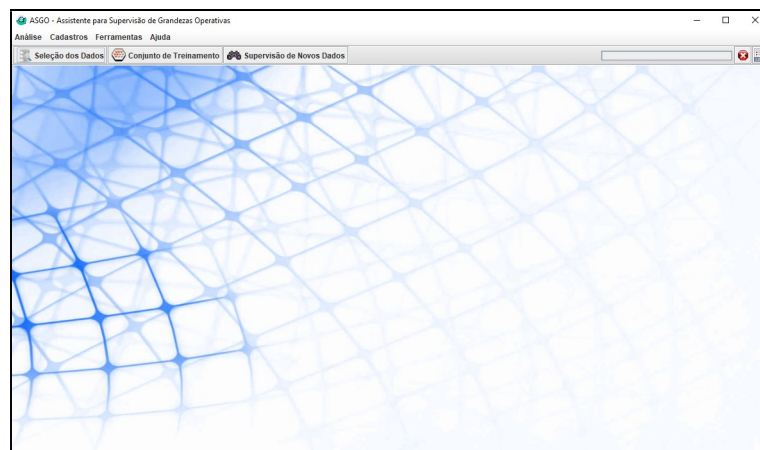


Figura 6 - Interface do software ASGO.

O software foi desenvolvido em linguagem Java e utiliza algoritmos com conceitos de aprendizagem de máquina, baseados em Rede Neural Replicante (RNN) para a identificação de anomalias de forma automática.

Na interface do programa é feita a seleção das grandezas a serem avaliadas ou que serão utilizadas como filtro para a aquisição e mineração dos dados (tela “Seleção de Dados” presente na interface). Tais grandezas podem tanto ser analógicas – pressão, corrente elétrica, temperatura –, quanto de estado – situação de uma unidade geradora (sincronizada, a vazio, entre outros), conexão de compressor ou bomba, entre outros. É possível determinar o intervalo de agregação dos dados e incluir equações, correlacionando variáveis.

Após isso, é feita a criação de um conjunto de treinamento, que analisa as variáveis pré-determinadas do conjunto de dados obtidos – tais como: valores médios, máximos, mínimos, frequência, inclinação da reta e desvio padrão –, que são analisados e classificados, como anomalias ou pontos normais, pelo algoritmo de RNN.

Tal análise ainda é disposta para observação do especialista (operador), cabendo a ele observar o que realmente é ou não anomalias. Esse conjunto de treinamento fica disponível para acesso em um único banco de dados, conhecido como *Data Warehouse* e para análises online, conhecidas como *Online Analytical Processing* (OLAP), sendo visível de forma gráfica com destaque para os pontos anômalos.

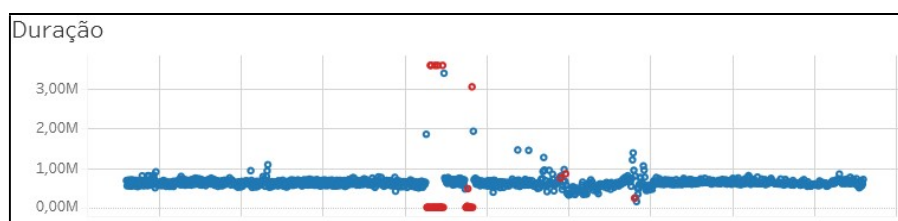


Figura 7 - Exemplo de análise disponibilizada pelo ASGO (pontos anômalos em vermelho).

A etapa final da ferramenta computacional ASGO inclui a execução automática e periódica, executada dentro do próprio servidor da aplicação computacional, em tempo real. Durante essa execução periódica, caso seja identificada alguma anomalia, uma mensagem eletrônica na forma de e-mail é enviada para os responsáveis cadastrados na ferramenta.

3.0 - METODOLOGIA

A metodologia do trabalho se baseou na identificação do padrão de entrada e saída dos compressores de ar do sistema de ar comprimido dos disjuntores de alta tensão da Subestação da Margem Direita (SE-MD) e, na utilização desse padrão para detectar possíveis falhas no sistema de ar comprimido ou no ciclo de partida dos compressores de ar.

Nessa metodologia foi observado, inicialmente, o comportamento de todos os sistemas de ar comprimido relacionados a disjuntores de alta tensão da Subestação da Margem Direita (SE-MD). Esse comportamento, através da verificação da frequência e da duração das partidas dos compressores de ar na ferramenta computacional ASGO, pode ser visualizado nas Figuras 8 e 9 a seguir. Os valores de frequência e duração de funcionamento dos compressores são contabilizados de forma que indiquem valores diários.

Observando o conjunto dos dados de partida dos compressores, optou-se pela realização da filtragem desses, de modo a serem observados apenas os que representassem a operação normal do compressor – excluindo da contagem os ciclos de partidas associados a ensaios e manutenções nestes equipamentos. Com esta etapa de mineração de dados, a análise realizada pelos algoritmos de aprendizagem de máquina presentes no *software* deixa de ser comprometida com dados que representem falso-positivos para anomalias.

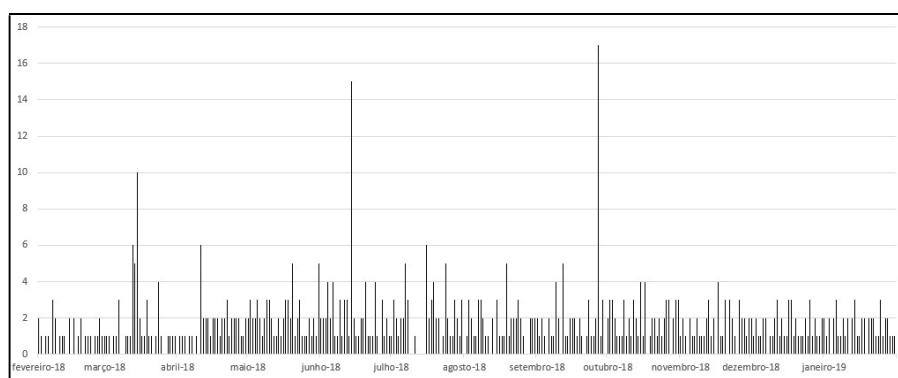


Figura 8 – Frequência de partida de compressores de ar de disjuntor de alta tensão.

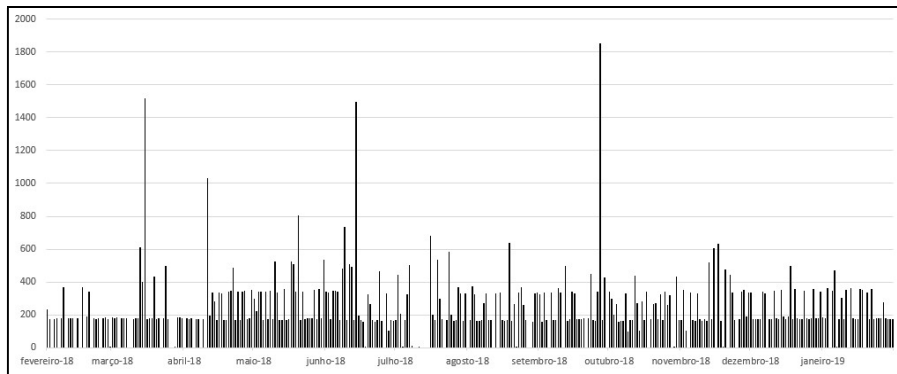


Figura 9 – Duração do funcionamento dos compressores de ar de disjuntor de alta tensão.

Paralelamente a análise feita do ciclo de partida dos compressores, foi realizada a seleção de dados de temperatura ambiente. Isto devido à consideração da expansão térmica do ar comprimido no contexto em que estão inseridos os compressores, ou seja, a temperatura ambiente da Subestação da Margem Direita. Na Figura 10 encontra-se o comportamento da temperatura, com os valores médios de cada intervalo de agregação – uma amostra a cada duas horas –, no mês de janeiro de 2019.

Assim, posteriormente é obtida uma correlação entre as variáveis, feita pelo próprio algoritmo genético do ASGO, no qual são desconsiderados problemas evidenciados durante diminuições bruscas de temperatura, visto que, nesses casos, a pressão do sistema cai devido a compressão ocasionada pelo frio e não por vazamentos no sistema.

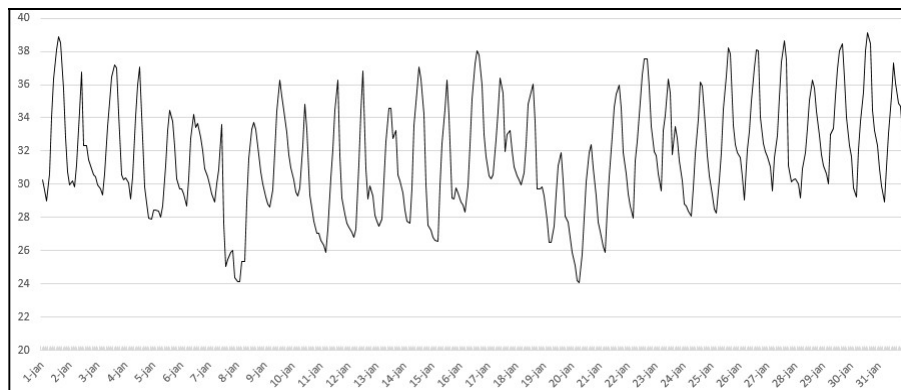


Figura 10 – Perfil de temperatura na localização da Usina de Itaipu, no mês de janeiro de 2019.

Após a obtenção dos dados, foi selecionado o denominado “conjunto de treinamento”. Esse conjunto de treinamento seleciona a parte do conjunto de dados visualizado pelo ASGO tida como normal para o ciclo de funcionamento de determinado equipamento. Nesta etapa, as entradas para análise são os dados de frequência e duração de funcionamento e a inclinação da curva de temperatura ambiente (quando comparada com sua amostra anterior).

O julgamento da normalidade, seguido de sua reclassificação, é realizado pelas equipes de operação da Itaipu Binacional, com base na expertise dos profissionais que operam e fazem a manutenção dos disjuntores de alta tensão da Subestação da Margem Direita.

Após a análise dos dados utilizando o conjunto de treinamento, este retorna ao operador qualquer informação que fuja ao padrão base definido pelo conjunto de treinamento, em tempo real. As equipes de operação, ao lidar com essa informação de perda de padrão, verificam se a condição relatada pela ferramenta computacional realmente se relaciona a determinada perda de ar no sistema de ar comprimido dos disjuntores de alta tensão. A ferramenta de conjunto de treinamento, com resultados classificados como anômalos, pode ser visualizada na Figura 11 a seguir.

Resultado do Modelo					
<input type="button" value="Salvar"/> <input type="button" value="Exportar"/>		<input type="checkbox"/> Eventos Normais <input checked="" type="checkbox"/> Anomalias		<input type="button" value="Limpar"/>	
Timestamp	Valor	RNN	Fonte	Última Alteração	Anomalia
16/03/2018 00:00:00	0.14	RNN		30/04/2019 16:40:37	<input checked="" type="checkbox"/>
09/07/2018 00:00:00	0.13	RNN		30/04/2019 16:40:37	<input checked="" type="checkbox"/>
28/09/2018 00:00:00	0.23	RNN		30/04/2019 16:40:37	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 11 – Conjunto de treinamento para disjuntores de alta tensão

Caso a perda seja observada durante inspeção em campo, o ASGO auxiliou na identificação da condição de vazamento. Porém, se a perda não seja constatada, o operador poderá modificar e aperfeiçoar o conjunto de treinamento, informando à ferramenta computacional que a detecção não deverá mais considerar os dados no formato observado anteriormente e julgado como perda de padrão. Dessa forma, o ASGO interpreta que aquele comportamento do sistema de ar comprimido não é inadequado, como supôs anteriormente.

4.0 - RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos durante a aplicação do sistema ASGO foram satisfatórios. Foram realizadas extrações em tempo real para análise dos dados e em quatro casos, vazamentos nos sistemas de ar comprimido associados a determinados disjuntores da Subestação da Margem Direita (SE-MD) puderam ser identificados com o auxílio da ferramenta.

Um dos casos verificados foi um vazamento de ar comprimido em um disjuntor do setor de 220kV, associado a proteção do lado de baixa tensão do conjunto autotransformador regulador T02/R02, denominado disjuntor 03T02. Essa verificação está apresentada na Figura 12 com os momentos de detecção da anomalia nesse equipamento por parte da ferramenta computacional ASGO. A figura apresenta os dados de partida do compressor do referido disjuntor (azul) e a temperatura ambiente (vermelho) no período do dia 10 de abril de 2019 ao dia 12 de abril de 2019.

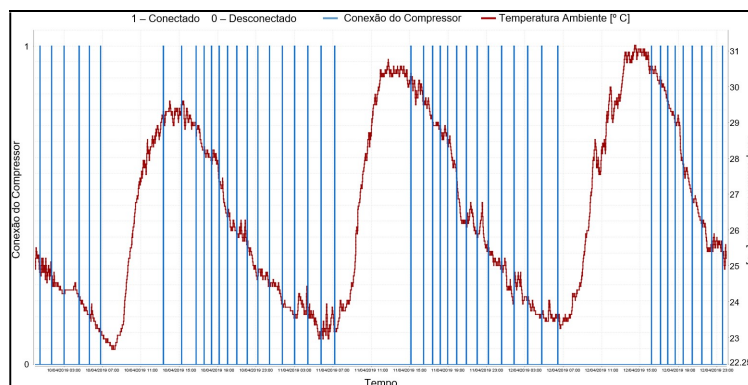


Figura 12 – Verificação da condição do sistema de ar comprimido associada ao disjuntor 03T02.

Ao ser realizado a etapa de conjunto de treinamento, as anomalias detectadas encontram-se na Figura 13, na qual se verificou a detecção de anomalia no dia 4 de abril de 2019. Como nesta data o sistema de monitoramento realizado pelo ASGO não se encontrava em uso, tal anomalia foi detectada por operadores somente no dia 15 de abril, resultando em um desligamento para a realização de manutenção corretiva somente no dia 29 de abril.

Dessa forma, por ainda não estar contando com o ASGO, o sistema de ar comprimido do disjuntor 03T02 permaneceu com vazamento durante 11 dias sem que houvesse o diagnóstico da falha.

Resultado do Modelo					
<input type="button" value="Salvar"/> <input type="button" value="Exportar"/> <input type="checkbox"/> Eventos Normais <input checked="" type="checkbox"/> Anomalias <input type="button" value="Limpar"/>					
Timestamp	Valor	Fonte	Última Alteração	Anomalia	
11/04/2016 00:00:00	0,18	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
12/04/2016 00:00:00	0,48	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
15/04/2016 00:00:00	0,14	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
16/04/2016 00:00:00	0,16	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
23/08/2016 00:00:00	0,14	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
24/08/2016 00:00:00	0,15	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
26/04/2017 00:00:00	0,08	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
15/06/2017 00:00:00	0,08	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
26/07/2017 00:00:00	0,16	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
27/07/2017 00:00:00	0,18	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
28/07/2017 00:00:00	0,77	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
31/08/2017 00:00:00	0,17	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
01/09/2017 00:00:00	0,20	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
04/12/2017 00:00:00	0,07	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
08/03/2018 00:00:00	0,20	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
09/03/2018 00:00:00	0,54	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
15/03/2018 00:00:00	0,22	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
16/03/2018 00:00:00	0,30	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
22/05/2018 00:00:00	0,07	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
22/06/2018 00:00:00	0,07	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
09/07/2018 00:00:00	0,06	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
20/08/2018 00:00:00	0,07	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
04/04/2019 00:00:00	0,07	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	
09/04/2019 00:00:00	0,07	RNN	10/05/2019 16:36:59	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 13 – Conjunto de treinamento obtido para disjuntor 03T02.

Com a utilização da execução periódica e supervisão de novos dados, ferramentas já presentes no software, torna-se possível a detecção de tais anomalias em tempo real, diminuindo o tempo no qual equipamento avariado é submetido às condições de trabalho adversas.

Essas contínuas condições de trabalho adversas podem resultar em degradação dos equipamentos envolvidos aumentando o tempo de indisponibilidade dos equipamentos, o preço e os impactos da intervenção de manutenção corretiva.

5.0 - CONCLUSÃO

A detecção de anomalias em sua fase incipiente é determinante para a garantia da confiabilidade de sistemas elétricos. Essa detecção antecipada garante uma melhor programação da execução de atividades de manutenção, menores custos envolvidos no processo de reparo e mitigação da possibilidade de desligamentos intempestivos que podem afetar milhares de usuários.

A utilização de uma ferramenta computacional com algoritmos de aprendizagem de máquina pode auxiliar nesse processo ao visualizar antecipadamente condições que fujam a normalidade em regimes cíclicos de trabalho – como, por exemplo, em compressores de ar.

Em Itaipu Binacional foi desenvolvido uma metodologia para detecção de vazamentos de ar comprimido em disjuntores de alta tensão de forma a antecipar possíveis falhas nesses sistemas. Essa metodologia fez uso de uma aplicação computacional com algoritmos de aprendizagem de máquina denominada ASGO, também concebido em Itaipu Binacional.

Através dessa aplicação, foi possível a detecção de condições de anomalia em circuitos de ar comprimido de disjuntores de alta tensão antes de sua manifestação clara. Esse fato resultou em economia de tempo de manutenção e em ganhos de confiabilidade em uma subestação que é responsável pela alimentação de energia elétrica no Brasil e no Paraguai.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) MUGGIATI, F. V. Mineração de dados operativos de usinas hidrelétricas. Universidade Federal Fluminense – Niterói, 2019.
- (2) FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. Equipamentos elétricos: especificação e aplicação em subestações de alta tensão. FURNAS – Rio de Janeiro, 1985.
- (3) CARVALHO, A. C. C. Disjuntores e Chaves: Aplicação em Sistemas de Potência. Niterói. EDUFF, 1995.
- (4) HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. Fundamentos da física. 8ª edição, vol. 2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Mohamed Hassan Abdali é graduado (2018) e mestrando em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná.



Claudio Augusto Gomes Silva Mota é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2010) e especialista em gestão industrial pela Universidade de São Paulo (2016). Desde 2011 atua como engenheiro eletricitista da superintendência de Operação de Itaipu Binacional.



Vanderley Espínola Oliveira é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidad Nacional de Asuncion e, desde 2015, atua como engenheiro eletricitista da superintendência de Operação de Itaipu Binacional.



João Paulo Man Kit Sio é graduado (2018) e mestrando em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná.



Giovana Bassetto é graduanda em Engenharia Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.