

## **Manutenção em geradores síncronos: com ênfase em aspectos elétricos**

### **Maintenance on synchronous generators: with emphasis on electrical aspects**

DOI:10.34117/bjdv7n5-163

Recebimento dos originais: 10/04/2021

Aceitação para publicação: 10/05/2021

#### **Daniela Freitas Borges**

Mestre em Eletrônica de Potência-UFU

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Endereço: Rua Veriador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba - MG

E-mail: daniela.borges@uemg.br

#### **Kamila Matias Rodrigues**

Graduada em Engenharia Elétrica.

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Endereço: Rua Veriador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba - MG

E-mail: kmilamrodrigues@gmail.com

#### **Maria Clara Alves da Silva**

Graduada em Engenharia Elétrica.

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Endereço: Rua Veriador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba - MG

E-mail: malves54@outlook.com.br

#### **Aurea Messias de Jesus**

Especialização em Engenharia Segurança do Trabalho

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Endereço: Rua Veriador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba - MG

E-mail: aurea.jesus@uemg.br

#### **Ana Paula Santos da Silva**

Mestre em Ensino de Ciências e Matemática

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Endereço: Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba - MG

E-mail: anapaulasantosdasilvabio@gmail.com

#### **Agaone Donizete Silva**

Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Endereço: Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba - MG

E-mail: agaone.silva@uemg.br

#### **Maria Eugênia Garcia Abrão**

Mestre em Ciências Ambientais-UEMG

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Endereço: Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba - MG

E-mail: maria.abrao@uemg.br

**João Nilton Alves Rezende**

Graduando em Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Endereço: Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba - MG

E-mail: joao.nilton@gmail.com

**RESUMO**

O gerador de energia elétrica é um dos principais equipamentos dentro do Sistema Elétrico de Potência. Ele é o responsável por transformar energia mecânica em energia elétrica. Manutenções são todas as ações voltadas para que um equipamento possa funcionar em perfeito estado. Essas manutenções são divididas em categorias. Por se tratar de um equipamento de suma relevância, que está ligado na maioria das vezes em ON GRID, ao Sistema Interligado Nacional, por vezes fornecendo o abastecimento de energia elétrica para usuários terceiros, é indispensável a sua confiabilidade. Neste contexto, o presente artigo apresenta as principais manutenções preventivas realizadas em máquinas geradoras de energia elétrica e a importância dessas manutenções. Com a finalidade de demonstrar e comparar dados de testes de Índice de Absorção e Índice de Polarização, resistência de isolamento, surge test e medição de resistência ôhmica. Os testes apresentados contribuíram significativamente na verificação da confiabilidade e disponibilidade em uma máquina geradora de energia elétrica, presente em uma usina com geração térmica ON GRID.

**Palavras-Chave:** Índice de Absorção, Índice de Polarização, Resistência de Isolamento, Surge Test; Medição de Resistência Ôhmica.

**ABSTRACT**

The electric power generator, is one of principal equipment in the Electric Power System, it's responsible for turning mechanical power into electrical power. The maintenances are all the actions which ensure the perfect operations of the equipment. These maintenances are divided into categories. Given the importance of this equipment, which is mostly connected ON GRID at National Interconnected System, providing the electricity supply for many people, it's indispensable your reliability. In this context, this article introduces the most essentials preventives maintenances, which are realized at electric power generators and the importance of these maintenances. With the propose to demonstrate and compare data tests of absorption index and polarization, and insulation resistance, appears the test of ohmic resistance. The tests presented in this work contributed significantly to the verification of reliability and availability in a electric power generator machine, presente in a power plant with termal generation ON GRID.

**Keywords:** Absorption Index, Polarization Index, Insulation Resistance, Surge Test, Measurement of Ohmic Resistance.

**1 INTRODUÇÃO**

A engenharia elétrica possui campo de operação bastante ramificado. Uma de suas áreas consideradas de extrema importância é o Sistema Elétrico de Potência (SEP). Dentro deste sistema, uma das máquinas de relevante valor é o gerador, haja visto que ele

é o principal responsável por transformar energia mecânica em energia elétrica e é considerado o coração da geração. “Obter energia renovável de pequenos aproveitamentos na forma de microgeração ou minigeração é uma realidade crescente no cenário mundial, devido à necessidade de disponibilidade da eletricidade de forma ininterrupta e estável” (PAIXÃO et al., 2021, p. 2)

A história da manutenção começa com o desenvolvimento de máquinas e avanços da indústria para a produção de bens de consumo. Logo, surge a necessidade de reparos, se fazendo necessário uma equipe para a realização destes, com agilidade e confiabilidade, garantindo o pleno funcionamento de equipamentos e linhas de produção.

Em seguida, observa-se que não bastava simplesmente a manutenção corretiva quando o ativo já estava quebrado, mas também a manutenção que previa a falha antes da avaria do mesmo, conhecida como manutenção preditiva.

Devido ao exposto, torna-se evidente o porquê de o setor de manutenção ser destaque dentro da indústria, o que torna a manutenção tão importante quanto a operação. Segundo uma pesquisa realizada pela revista eletrônica Exame (2018), este ramo de atuação tem sido um dos mais procurados e valorizados pelas indústrias. Camila Pati, colunista da revista Exame, confirma essa ideia: “[...] é um profissional que foi mais procurado com a crise já que as linhas de produção, em queda de produtividade, estavam livres para a manutenção de rotina. A redução na aquisição de novas máquinas também exige melhor gestão do parque fabril” (Pati, 2018). De acordo com (Oliveira et al., 2021, apud Souza, 2018) expõem que para as empresas manterem -se competitivas no mercado tem que exigir o máximo de eficiência no setor produtivo sendo necessário que seja mínimo o tempo perdido no processo. Por esse motivo, se faz tão importante o estudo a respeito da área.

Este artigo tem como finalidade primordial mostrar quais são as principais manutenções elétricas que se fazem presentes em um gerador de energia elétrica em funcionamento dentro de usina de cogeração, com queima de bagaço e palha de cana-de-açúcar. Para conseguir alcançar este objetivo, utiliza-se de relatórios fornecidos por uma empresa que tem tal máquina instalada e em funcionamento.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 FALHAS**

De acordo com a NBR - 5462 1994 (Confiabilidade e Manutenibilidade), falha consiste no “término da capacidade de um item desempenhar a função requerida”.

Entende-se por falhas, a diminuição parcial ou total da eficácia, ou capacidade de desempenho de um componente ou sistema. (NASCIF, 2009). Em outras palavras, as falhas estão altamente ligadas a confiabilidade de um equipamento. Quanto maior o número de falhas, menor é a confiabilidade de um componente ou sistema. Quanto maior for a confiabilidade, menor será o custo da manutenção, afetando diretamente as empresas.

## 2.2 CAUSAS DAS FALHAS

Existe uma variedade diversa de falhas, acontecendo isoladamente ou simultaneamente a outras falhas. Essas causas podem ser divididas em três grupos: (falta de resistência; uso inadequado e manutenção inadequada). Conclui-se então, que uma falha acontece porque o esforço aplicado ao equipamento ultrapassa sua resistência (MORAES, 2004).

## 2.3 OCORRÊNCIA DAS FALHAS

A frequência de falhas em um equipamento podem ser classificadas como crescentes e decrescentes aleatórias ou constantes e, normalmente, estão ligadas ao ciclo de vida da máquina (GAIANO, 2007). Os ciclos de vida de um equipamentos podem ser divididos em: (falhas no início da vida útil do equipamento; falhas denominadas de vida normal ou fase de estabilidade de um equipamento e falhas de frequência).

## 2.4 MANUNTEÇÃO

Segundo TAVARES (1999, p.37), “manutenção são todas as ações necessárias para que um item seja conservado ou restaurado de modo a poder permanecer de acordo com uma condição especificada”. A palavra manutenção se encaixa em todos processos tecnológicos e tem o efeito de manter, sustentar e conservar algo. Atualmente, a manutenção é de suma importância para as companhias, pois, para que se tem uma linha de eficiência de operação alta é necessários equipamentos disponíveis o maior tempo possível e isso ocorre através da manutenção.

**Tipos de manutenção** - Os tipos de manutenção se diferem no modo que é feita a intervenção no equipamento e se classificar em: manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção sensível e engenharia da manutenção.

**Engenharia de Manutenção**-De acordo com Kardec & Nascif (2009, p.50), a Engenharia de Manutenção significa “perseguir *benchmarks*, aplicar técnicas modernas,

estar nivelado com a manutenção do Primeiro Mundo”. *Benchmarks* é uma melhoria contínua de práticas. Esse processo visa a melhoria de disponibilidade de equipamentos e sistemas, eliminando problemas e solucionando-os a partir da tecnologia . Tais melhorias como evitar a quebra do equipamentos, melhorar a gestão de mantenedores, disponibilizar materiais para reparos, criar novos projetos e executar da maneira como planejado, fazer análises de falhas de equipamentos, elaborar planos de manutenção e acompanhar indicadores. Várias companhias usam a engenharia da manutenção, melhorando cada vez seu controle sobre equipamentos da planta, realizando levantamento sobre histórico de equipamentos que irá permitir uma análise e estudos de melhoria para projetos futuros.

## 2.5 GERADORES SÍNCRONOS SEM ESCOVAS (BRUSHLESS)

Os motores síncronos são usados com frequência em indústrias e aplicações que exigem alto torque. Uma máquina síncrona opera com uma velocidade de rotação sincronizada com a frequência da tensão elétrica, ou seja, tem-se um sincronismo entre o campo girante e o estator.

O motor síncrono é constituído por três partes fundamentais: rotor, estator e sistema de excitação.

**Estator**-O estator é a parte estática de uma máquina síncrona, constituído por chapas laminadas e isolada entre si, por material dielétrico (poliéster) e com enrolamentos de fios circulares.

- 1) Carcaça: é a estrutura que suporta o conjunto, construído por aço e resistente a corrosão.
- 2) Núcleo de chapas: as chapas são de aços magnéticos.
- 3) Enrolamento: três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, ligando-se a rede de alimentação.

**Rotor**-O rotor acomoda o enrolamento de campo, cujos polos são formados por pacotes de chapas. Uma gaiola de amortecimento também é montada no rotor para compensação nos serviços em paralelo e variações de carga.

## 2.6 PRINCÍPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMENTO GERADOR SEM ESCOVAS (BRUSHLESS) COM EXCITATRIZ PRINCIPAL E EXCITATRIZ AUXILIAR

Os geradores síncronos são as mais importantes máquinas de geração elétrica. Recebe esse nome porque a frequência da corrente elétrica gerada está diretamente

relacionada (sincronizada) com a frequência de rotação do motor. O gerador síncrono tem as mesmas características e princípios de funcionamento de um motor síncrono, tendo capacidade de funcionar a velocidade constante, independentemente da carga que atua sobre eles (MATHEW, 2014) e com a velocidade de rotação do eixo sendo a mesma da velocidade de rotação do campo magnético girante. Para entender o funcionamento de um gerador com excitação sem escovas (*brushless*), é necessário saber que todos os geradores independentemente do tamanho, dependem da ação de uma bobina cortando um campo magnético, desde que haja esse movimento entre bobinas e campo, será gerada uma tensão.

Nesses geradores sem escovas, a alimentação corrente contínua (cc) obtida no rotor do gerador principal, dar-se-á somente por indução magnética. Por este motivo, o gerador precisa da excitatriz principal. A excitatriz principal é um gerador trifásico de polos salientes, onde seu rotor (armadura) está montado sobre o eixo da máquina principal (MANUAL WEG DT-5) e deles saem dois fios para os retificadores girantes. O estator da excitatriz está fixado próximo a tampa traseira do gerador .

**Vantagens-**A principal vantagem desse tipo de gerador é que ele tem a ausência de escova, ou seja, não precisa de manutenções periódicas no conjunto de escovas e porta escovas, pode ser utilizado em cargas sensíveis e de telecomunicação, pelo fato de não ter as interferências que os contatos da escovas geram e também pode ser utilizado em atmosferas explosivas por não ter o faiscamento das escovas (MANUAL WEG DT-5).

Sua característica de sincronismo da velocidade do rotor e do campo girante, ocasionando que a frequência da corrente alternada permaneça fixa, independente da carga que o gerador está alimentando, dando uma maior estabilidade de frequência e tensão.

Outra vantagem está ligada a eficiência em grande escala se comparada ao gerador de indução, devido a um melhor fator de potência, pois os geradores de indução necessitam de banco de capacitores para fornecer corrente de magnetização, que em grande escala, aumenta significativamente o custo (STROSKI, 2019).

**Desvantagens-**Sua principal desvantagem é a necessidade de uma fonte de corrente contínua ligada ao seu rotor, a menos que esse seja de ímãs permanentes que são usados somente em baixa potência devido a carência de matérias para construção de ímãs fortes para o rotor. Outra desvantagem é que os geradores assíncronos tem sua construção mais simples e robusta e a ausência de contatos mecânicos no rotor, reduz manutenções por desgastes.

## 2.7 ASPECTOS ELÉTRICOS

Apresentamos abaixo os principais testes para verificação e solução de problemas elétricos em um gerador ou motor. Os procedimentos aqui descritos são baseados com procedimentos realizados nos manuais da WEG S.A, o manual utilizado foi o DT-6. A WEG S.A, é uma marca multinacional brasileira com fábricas em mais de 12 países e com fabricação anuais de 16 milhões de motores especializada na fabricação e manutenção. Exemplos de testes:

- Surge test, Teste de corrente em vazio , Resistência de isolamento, Índice de polarização e índice de absorção, Medição de resistência ôhmica.

## 3 METODOLOGIA

Esse artigo estuda e apresenta definições de manutenção de uma forma sucinta, objetiva e de fácil entendimento, mostrando os benefícios de uma manutenção bem feita e sincronizada para uma indústria que opera com um gerador, melhorando o rendimento da empresa. Como metodologia, utilizou-se fonte de pesquisas retiradas da internet e referências bibliográficas de livros, que tem como tema principal a manutenção, e também foram utilizadas algumas normas, entre elas: a norma NBR 5462 de Novembro de 1994, que trata a respeito dos principais conceitos e terminologias que rodeiam a confiabilidade e manutenibilidade. Foram também utilizado relatórios dos anos de 2018 e 2020, fornecidos por uma usina de cana de açúcar da região do estado do Goiás, próximo a Caçu, para que se fizesse uma comparação entre os dados fornecidos dos dois anos, mostrando como funciona o planejamento de manutenções e quais as principais falhas que ocorrem no gerador.

### 3.1 ANÁLISE E RESULTADOS

Como metodologia, utiliza-se a comparação entre testes e ensaios elétricos realizados em um mesmo gerador. Este situado em uma empresa no estado de Goiás, próxima a cidade de Caçu. A indústria produz energia elétrica através da queima do bagaço da cana de açúcar em uma geração termoelétrica - o gerador WEG, 62.500 KVA, 13800 V com 04 polos. Nestes relatórios são descritos os principais testes e ensaios elétricos realizados em um gerador. Esses testes estão presentes em manutenções preventivas, pois sua função é exatamente prever alguma possível falha elétrica no gerador. A comparação e conhecimentos de tais formas de manutenção elétrica se faz imprescindível para essa indústria que utiliza o gerador como forma de fornecimento de



energia elétrica. São comparados quatro testes elétricos: resistência de isolamento, índice de absorção e índice de polarização, surge *test* e medição de resistência ôhmica. O teste de tensão aplicada não será analisado pois, não é considerado uma manutenção comum já que degrada a isolação.

Figura 1– Dados sobre o gerador analisado

**DADOS DO EQUIPAMENTO:**

Fabricante:	WEG
Potência:	62500 KVA
Tensão:	13800V
Corrente:	2615 A
Nº Pólos:	04
Classe de isolamento:	F
Rotação	1800 rpm
Ano de fabricação:	05/09
Numero de serie	1003955646
<b>Gerador Síncrono</b>	



Fonte: Relatórios

### TESTE 1 – RESISTENCIA DE ISOLAMENTO

Este ensaio é realizado logo no início dos ensaios e testes para o fim de determinar se o isolamento está em condições de suportar a tensão nominal ou de serviço, além de indicar se o isolamento pode ser submetido a ensaios de alto potencial (tensões superiores à nominal). Caso seja notado alguma irregularidade em relação aos índices aceitos pela tabela 1, há urgência em observar a necessidade de secagem ou limpeza antes do retorno à operação. Nos dois anos que são analisados, os valores são referidos a recomendações 40°C.

### TESTE 2 – ÍNDICE DE ABSORÇÃO E ÍNDICE DE POLARIZAÇÃO

Uma vez realizado o ensaio de resistência de isolamento e constatado uma tendência de redução do valor ao longo do tempo, ou ainda tenha alguma dúvida da real condição do bobinado como um complemento de avaliação, utiliza-se o ensaio de índice de absorção e índice de polarização, os quais estão ligados diretamente pela umidade e contaminação do enrolamento. Índice de absorção é o quociente entre o valor da resistência medida ao final de 1 minuto e o valor da resistência em 30 segundos e o Índice de polarização é o quociente entre o valor da resistência medida no final de 10 minutos e



o valor ao final de 1 minuto. Esse ensaio analisa o comportamento das correntes de polarização no interior do isolante.

### RESULTADOS DOS TESTES 1 E 2 OBTIDOS DO RELATÓRIO 21/12/2018

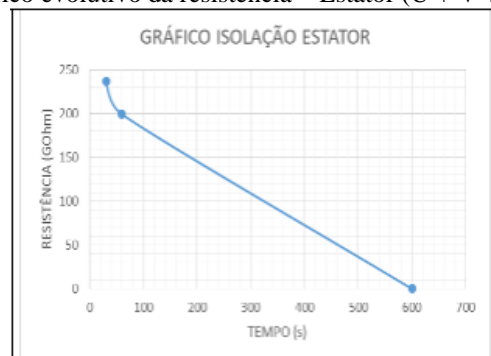
1) Estator Tensão: 5000 V por fase 10000 V fechado em estrela

Tabela 1 - Resultados obtidos na medição de resistência de isolamento do estator 2018

Tempo (s)	U x (V + W + terra)	V x (U + W + terra)	W x (U + V + terra)	(U + V + W) x terra
30	92,7 G Ω	78,3 G Ω	87,3 G Ω	237,0 G Ω
60	81,6 G Ω	75,9 G Ω	76,0 G Ω	199,0 G Ω
600	76,7 G Ω	69,1 G Ω	72,2 G Ω	197,1 G Ω
IA	0,88	0,97	0,87	0,84
IP	0,94	0,91	0,95	0,99

Fonte: Adaptada do relatório 21/12/2018

Figura 2- Gráfico evolutivo da resistência – Estator (U + V + W) x terra 2018



Fonte: Relatório 21/12/2018

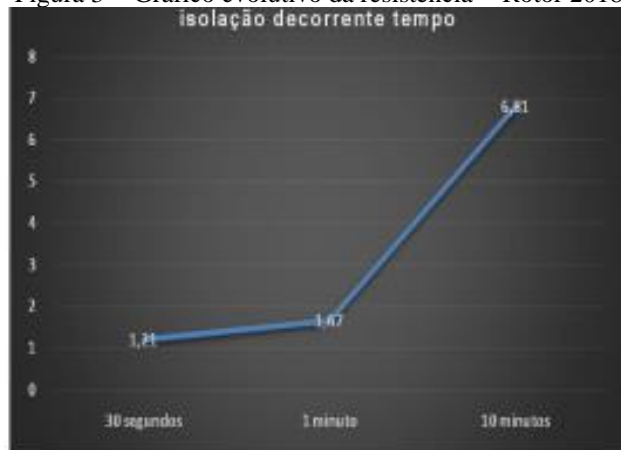
2) Rotor Tensão aplicada: 500v

Tabela 2 - Resultados obtidos na medição de resistência de isolamento e teste de índice de absorção e índice de polarização do rotor 2018

Tempo (s)	Rotor x terra
30	1,21 GΩ
60	1,67 GΩ
600	6,81 GΩ
IA	1,38
IP	4,06

Fonte: Adaptada do relatório 21/12/2018

Figura 3 - Gráfico evolutivo da resistência - Rotor 2018



Fonte: Relatório 21/12/2018

### 3) Estator Excitatriz -Tensão : 500 V

Tabela 3 - Resultados obtidos na medição de resistência de isolamento e teste de índice de absorção e índice de polarização do estator excitatriz 2018

Tempo (s)	(F1/F2) x terra
30	67,3 GΩ
60	92,0 GΩ
600	178,0 GΩ
IA	1,36
IP	1,94

Fonte: Adaptada do relatório 21/12/2018

Figura 4 - Gráfico evolutivo da resistência - Estator Excitatriz 2018



Fonte: Relatório 21/12/2018

### 4) Rotor da excitatriz-Tensão : 500 V

Tabela 4 - Resultados obtidos na medição de resistência de isolamento e teste de índice de absorção e índice de polarização do rotor excitatriz 2018

Tempo (s)	(R <sub>1/2</sub> + S <sub>1/2</sub> + T <sub>1/2</sub> )x terra
30	10,2 GΩ
60	13,7 GΩ

<b>600</b>	24,1 GΩ
<b>IA</b>	1,34
<b>IP</b>	1,75

Fonte: Adaptada do relatório 21/12/2018

Figura 5 - Gráfico evolutivo da resistência - Rotor da excitatriz 2018



Fonte: Relatório 21/12/2018

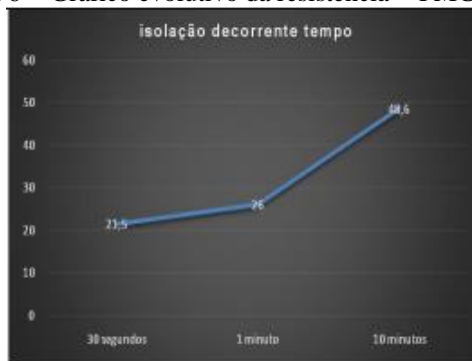
5) PMG- Tensão : 500 V

Tabela 5 - Resultados obtidos na medição de resistência de isolamento e teste de índice de absorção e índice de polarização PMG 2018

Tempo (s)	$(R_{1/2} + S_{1/2} + T_{1/2}) \times terra$
<b>30</b>	21,5 GΩ
<b>60</b>	13,7 GΩ
<b>600</b>	24,1 GΩ
<b>IA</b>	1,34
<b>IP</b>	1,75

Fonte: Adaptada do relatório 21/12/2018

Figura 6 - Gráfico evolutivo da resistência - PMG 2018



Fonte: Relatório 21/12/2018

**Resultados dos testes 1 e 2 obtidos a partir do relatório de 06/02/2020**

1) Estator-Tensão aplicada : 5000 v-UR: 55%

Tabela 6 - Resultados obtidos na medição de resistência de isolamento e teste de índice de absorção e índice de polarização do estator 2020

Tempo (s)	U x (V + W + terra)	V x (U + W + terra)	W x (U + V + terra)	(U + V + W) x terra
30	3796 MΩ	4757 MΩ	4492 MΩ	2524 MΩ
60	5757 MΩ	7221 MΩ	6758 MΩ	3982 MΩ
600	19875 MΩ	25175 MΩ	28488 MΩ	16984 MΩ
IA	1,52	1,52	1,5	1,58
IP	3,45	3,49	4,22	4,24

Fonte: Adaptada do relatório 06/02/2020

Figura 7 - Gráfico evolutivo da resistência – Estator 2020



Fonte: Relatório 06/02/2020

## 2) Rotor -Tensão aplicada: 500v

Tabela 7 - Resultados obtidos na medição de resistência de isolamento e teste de índice de absorção e índice de polarização do rotor 2020

Tempo (s)	Rotor x terra
30	4638 MΩ
60	7851 MΩ
600	33054 MΩ
IA	1,69
IP	4,21

Fonte: Adaptada do relatório 06/02/2020

Figura 8 - Gráfico evolutivo da resistência - Rotor 2020



Fonte: Relatório 06/02/2020

### 3) Estator Excitatriz -Tensão : 500 V

Tabela 8 - Resultados obtidos na medição de resistência de isolamento e teste de índice de absorção e índice de polarização do estator excitatriz 2020

Tempo (s)	(F1/F2) x terra
30	33647 MΩ
60	52780 MΩ
600	133270 MΩ
IA	1,57
IP	2,53

Fonte: Adaptada do relatório 06/02/2020

Figura 9 - Gráfico evolutivo da resistência - Estator Excitatriz 2020



Fonte: Relatório 06/02/2020

### 4) Rotor da excitatriz-Tensão : 500 V

Tabela 9 - Resultados obtidos na medição de resistência de isolamento e teste de índice de absorção e índice de polarização do rotor excitatriz 2020

Tempo (s)	( $R_{1/2} + S_{1/2} + T_{1/2}$ ) x terra
30	18803 MΩ
60	29689 MΩ
600	122054 MΩ
IA	1,58
IP	4,11

Fonte: Adaptada do relatório 06/02/2020

Figura 10 - Gráfico evolutivo da resistência - Rotor da excitatriz 2020



Fonte: Relatório 06/02/2020

5) PMG-Tensão: 500 V

Tabela 10 - Resultados obtidos na medição de resistência de isolamento e teste de índice de absorção e índice de polarização PMG 2020

Tempo (s)	$(R_{1/2} + S_{1/2} + T_{1/2}) \times \text{terra}$
30	98963 MΩ
60	138548 MΩ
600	277097 MΩ
IA	1,40
IP	2,00

Fonte: Adaptada do relatório 06/02/2020

Figura 11 - Gráfico evolutivo da resistência - PMG 2020



Fonte: Relatório 06/02/2020

### Comparativo entre os relatórios teste 1

Como pode ser observado, nos dois anos de comparação o ensaio de resistência de isolamento e o teste de índice de absorção e índice de polarização, apesar que no segundo ano possa ter ocorrido uma queda no valor da resistência de isolamento em relação ao primeiro ano, os relatórios comprovam que a máquina em questão apresenta valores de resistência altos, o que indica que a avaliação da resistência de isolamento é excelente e de acordo com a norma vigente IEE43-2000, o valor de isolamento que em todas as medições está acima de 1000 MΩ dentro do recomentado, sendo assim a máquina está apta para operação.

### Comparativo entre os relatórios teste 2

Uma vez realizado o teste de resistência de isolamento, foi constatado uma tendência de redução ao longo do tempo, surgindo a dúvida sobre a real condição do bobinado. Comparando o resultado dos testes, pode-se notar que de fato houve algumas mudanças. No relatório de 2020, o índice de absorção e polarização no bobinado do estator do gerador está com valores mais altos, isso implica em uma melhora na condição do isolamento. Essa melhora está relacionada com a umidade dentro do bobinado ou

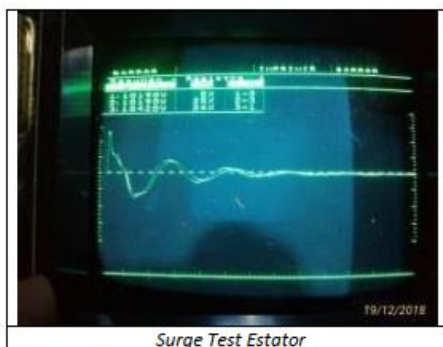
contaminação. Já no rotor do gerador, nota-se uma diminuição dos dois índices. Portanto deve ser estudado os procedimentos que devem ser realizados, por exemplo, uma secagem no bobinado. Porém, nos dois anos os índices estão aceitáveis para um bom desempenho do gerador.

### TESTE 3 – SURGE TEST

Este teste é capaz de identificar defeitos nas bobinas do estator. É considerado o teste mais completo na avaliação de qualidade de bobinas elétricas. Com base na análise destas formas de onda, tem-se a confirmação ou não da presença de curtos parciais ou firmes entre espiras, entre bobinas, entre fases. É considerado um ensaio não destrutivo.

### Resultado obtido surge test a partir do relatório de 21/12/2018

Figura 12– Resultado obtido no surge test 2018



Fonte: Relatório 21/12/2018

Tabela 11 - Taxa de área de erro

Fase	Diferença
U	1%
V	29%
W	28%

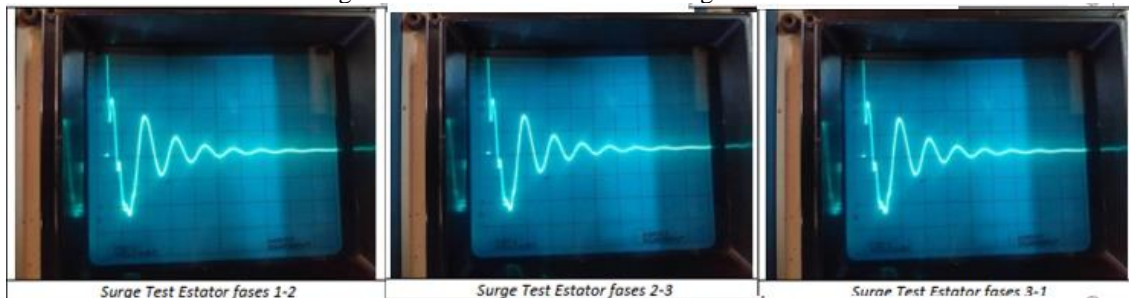
Fonte: Adaptado relatório 21/12/2018

Como pode ser observada na figura 12, para análise dos resultados, as formas de ondas já plotadas com as três fases uma sobre a outra, assim pode-se ver se há alguma bobina em curto.



## Resultado obtido surge test a partir do relatório de 06/02/2020

Figura 13 – Resultado obtido no surge test 2020



Fonte: Relatório 06/02/2020

### Comparativo entre os relatórios teste 3

Conforme foi observado nos dados dos dois anos de comparação, teve-se uma pequena diferenciação em relação aos dados. No ano de 2018, o ensaio no gerador foi irregular de um modo geral. Como pode ser observado, a onda de geração das três fases está desalinhada, com uma diferença acima de 10%. Usualmente é utilizada como padrão aceitável, mostrando uma onda parecida com um curto entre espiras. Contudo, a empresa que elaborou o relatório aceitou os parâmetros considerando que a variação tenha se dado devido ao rotor estar inserido no estator e provocando interferências. Recomendou, então, que um novo teste fosse feito, porém com o rotor desmontado ou que fossem feitos testes avançados para uma avaliação mais precisa. Já o ano de 2020, o resultado do surge test foi ideal como pode-se ver nas três fases. Elas estão totalmente alinhadas caracterizando que as fases encontram-se sem anormalidades.

### TESTE 4 – MEDIÇÃO DE RESISTENCIA ÔHMICA

Neste quarto e último teste, foi verificado a medição de resistência ôhmica dos enrolamentos a fim de detectar alguma falha no bobinado. Na medição de resistência ôhmica, a temperatura influencia, portando deve ser realizado com temperatura ambiente.

Resultado obtido no teste de medição de resistência ôhmica a partir do relatório de 21/12/2018

Temperatura ambiente:	33°C
Temperatura do enrolamento:	40°C
Umidade relativa do ar:	55%

Fonte: Adaptada do relatório 21/12/2018

1) **Estator**

U1 – U2	V1 – V2	W1 – W2
11,65 mΩ	11,52 mΩ	11,36 mΩ

Fonte: Adaptada do relatório 21/12/2018

2) **Rotor**

T1	848,8 mΩ
----	----------

Fonte: Adaptada do relatório 21/12/2018

3) **Estator da excitatriz**

F1 – F2	6,856 Ω
---------	---------

Fonte: Adaptada do relatório 21/12/2018

4) **Rotor da excitatriz**

Enrolamento	R – S	S – T	R – T
E1	23,48 mΩ	24,21mΩ	23,76 mΩ

Fonte: Adaptada do relatório 21/12/2018

5) **PMG**

Enrolamento	1-2	2-3	1-3
E1	78,45 mΩ	79,56 mΩ	79,56 mΩ

Fonte: Adaptada do relatório 21/12/2018

**Resultado obtido no teste de medição de resistência ôhmica a partir do relatório de 06/02/2020**

Temperatura ambiente:	36°C
Temperatura do enrolamento:	40°C
Umidade relativa do ar:	52%

Fonte: Adaptada do relatório 06/02/2020

### 1) Estator

U1 – U2	V1 – V2	W1 – W2
37,05 m $\Omega$	37,98 m $\Omega$	36,63 m $\Omega$

Fonte: Adaptada do relatório 06/02/2020

### 2) Rotor

T1	866,0 m $\Omega$
----	------------------

Fonte: Adaptada do relatório 06/02/2020

### 3) Estator excitatriz

F1 – F2	4,102 $\Omega$
---------	----------------

Fonte: Adaptada do relatório 06/02/2020

### 4) Rotor excitatriz

Enrolamento	R – S	S – T	R – T
E1	15,0 m $\Omega$	14,7 m $\Omega$	14,0 m $\Omega$

Fonte: Adaptada do relatório 06/02/2020

### 5) PMG

Enrolamento	1-2	2-3	1-3
E1	65,4 m $\Omega$	65,0 m $\Omega$	64,5 m $\Omega$

Fonte: Adaptada do relatório 06/02/2020

## Comparativo entre os relatórios teste 4

Conforme pode ser analisado, com o confronto de dados de dois anos, teve-se um aumento no desequilíbrio entre as fases do estator, porém o desequilíbrio não foi superior a 3%. Conclui-se que as bobinas do gerador não apresentam nenhum ponto de contaminação ou sujidade e está em ótimas condições para uso.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente artigo possibilitou demonstrar as manutenções em um gerador síncrono sem escovas usados em uma indústria com geração termoelétrica. Usando os resultados obtidos nos relatórios das manutenções preventivas ligados a

aspectos elétricos, conseguiu-se demonstrar quais são as principais manutenções relacionadas à parte elétrica desta máquina. O material desenvolvido ao final deste artigo demonstrou relevância, visto que não existe ainda muitas fontes de pesquisa no assunto específico sobre o conhecimento de quais procedimentos são utilizados na manutenção preventiva.

Com a comparação entre os relatórios fornecidos pela empresa de açúcar e álcool, conseguiu-se uma analogia dos dados bem distintos de um ano a outro, mostrando que a manutenção deve seguir uma linha constante de inspeções e montagem de banco de dados e de resultados.

Também foi possível observar possíveis falhas apontadas por estes testes elétricos realizados periodicamente, mostrando possíveis soluções para eliminar indesejáveis alterações.

Com foco em um dos objetivos propostos, ao comparar os dois anos de relatórios de uma máquina em específico, foi possível notar algumas diferenças em dados dos testes realizados, constatando assim que a manutenção preventiva periódica é fundamental para o adequado funcionamento do equipamento Gerador, trazendo confiabilidade e segurança a ele, bem como benefícios à empresa, tais como redução de custos e eliminação de paradas imprevistas.

Considerando os resultados obtidos com a pesquisa, bem como a existência de lacunas de informações e dados a respeito do tema “manutenção elétrica preventiva”, acredita-se que há uma gama de oportunidades de pesquisas a respeito dos aspectos elétricos com aprofundamento somente na resistência de isolamento que é usada em todos os motores elétricos, dos mais simples ao mais complexos, demonstrando sua importância dentro da manutenção preventiva.

Com o desenvolvimento deste artigo foi possível verificar que todo equipamento necessita de uma manutenção preventiva, portanto deve-se buscar uma evolução a cada testes de aspecto elétrico, em que se possa identificar com facilidade onde se encontra um provável defeito e degradação do equipamento através de técnicas de análise elaboradas com base no resultados dos testes, e com isso se consiga reduzir ao mínimo a manutenção corretiva.

## REFERÊNCIAS

GAIANO, Daniel Zanetti. Redução de perdas de O.E.E e número de quebras em máquinas através de planejamento em engenharia de manutenção. 2007. Modelo de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Disponível em: <[http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-05042010-111946/publico/Gaino\\_Daniel\\_Zanetti.pdf](http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-05042010-111946/publico/Gaino_Daniel_Zanetti.pdf)> Acesso em: 16/09/2020.

MATHEW, Sabin. Trabalho do motor síncrono. 2014. Disponível em: <<https://www.learnengineering.org/working-of-synchronous-motor.html>>. Acesso em 28 de novembro 2020.

MORAES, P.H.A. Manutenção Produtiva Total: estudo de caso em uma empresa automobilística. 2004. Dissertação (Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional). Disponível em: <[http://www.ppga.com.br/mestrado/2003/moraes-paulo\\_henrique\\_de\\_almeida.pdf](http://www.ppga.com.br/mestrado/2003/moraes-paulo_henrique_de_almeida.pdf)>. Acesso em 11/10/2020.

PATI, Camila. Estes engenheiros são mais procurados agora. E a carreira em longo prazo? Revista Exame. 2018. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/carreira/estes-engenheiros-sao-mais-procurados-agora-e-a-carreira-em-longo-prazo/>. Acesso em 28 de novembro 2020.

OLIVEIRA, Edyones Barros et al. Implantação de um novo layout de uma linha de montagem de motocicletas estruturado a partir da metodologia MASP e ferramentas Lean Manufacturing. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 4, p. 37002-37024, 2021.

PATI, Camila. Estes engenheiros são mais procurados agora. E a carreira em longo prazo? Revista Exame. 2018. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/carreira/estes-engenheiros-sao-mais-procurados-agora-e-a-carreira-em-longo-prazo/>. Acesso em 28. Agosto. 2019.

PAIXÃO, Joelson Lopes da; JUNIOR; José Oizimas e RODRIGUES, Mauro Fonseca. Estudo de Operação Ilhada de uma PCH com Checagem de Sincronismo Remoto através da Técnica de PLL. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.1, jan. 2021.

SOUZA, S. R. O.; DA LUZ, I. B. Proposta de redução de custo com avarias no tanque de combustível da motocicleta: um estudo de caso em uma empresa do Polo de Duas Rodas de Manaus. In1 Encontro de trabalhos científicos das Engenharias Mecânica e Produção UNINORTE, 2018, Manaus. Anais eletrônicos, Manaus: UNINORTE/ LAUREATE. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos>. Acesso em 18 de setembro de 2020.

STROSKI, Pedro Ney. Geradores assíncronos X síncronos. 2019. Disponível em: <<https://www.electricalibrary.com/2019/11/02/geradores-assincrono-x-sincrono/>>. Acesso em: 13/11/2020.

WEG - Equipamentos Elétricos S/A. DT-5 Características e especificações de geradores. Disponível em: < <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h68/h68/WEG-curso-dt5-caracter-sticas-e-especifica-o-de-geradores-artigo-tecnico-portugues.pdf> >. Acesso em: 11/10/2020.