

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE GESTÃO E ECONOMIA  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA PRODUÇÃO

SÉRGIO SIDNEI JUNG

**MELHORIA NA ISOLAÇÃO DE BOBINAS DE MÉDIA E ALTA TENSÃO:  
APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE MELHORIA CONTÍNUA NO PROCESSO DE  
ISOLAÇÃO DAS CABEÇAS DE BOBINAS.**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

SÉRGIO SIDNEI JUNG

**MELHORIA NA ISOLAÇÃO DE BOBINAS DE MÉDIA E ALTA TENSÃO:  
APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE MELHORIA CONTÍNUA NO PROCESSO DE  
ISOLAÇÃO DAS CABEÇAS DE BOBINAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Produção.

Orientador: Prof. M.Sc. Jairo Muller Wolff

CURITIBA

2017

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **MELHORIA NA ISOLAÇÃO DE BOBINAS DE MÉDIA E ALTA TENSÃO: APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE MELHORIA CONTÍNUA NO PROCESSO DE ISOLAÇÃO DAS CABEÇAS DE BOBINAS.**

Esta monografia foi apresentada no dia 04 de março de 2017, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato apresentou o trabalho para a Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após a deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. M.Sc. Jairo Muller Wolff  
Orientador

---

Prof. Dr. Paulo Daniel Batista de Sousa  
Banca

---

Prof. Dr. Leonardo Tonon  
Banca

Visto da coordenação:

---

Prof. Dr. Paulo Daniel Batista de Sousa

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha esposa e filha, que me inspiram e incentivaram em sua realização. Que estiveram e estão presentes em todos os momentos importantes de minha vida, trazendo alegria e força para alcançar meus objetivos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, que me deu suporte para ingressar, realizar e concluir este passo, especialmente minha esposa, Marli Parrai Jung e minha filha, Letícia Jung.

Aos meus amigos e colegas de trabalho e vida que, direta ou indiretamente, auxiliaram em sua realização.

A Fernando Roberto Spezia, que auxiliou na execução e interpretação dos testes e deu suporte à elaboração deste trabalho.

À Larissa Obenaus, que auxiliou e me acompanhou em sua estruturação.

A todos aqueles que de alguma forma incentivaram e deram-me suporte para que pudesse realizar meus estudos e este trabalho deixo meu sincero *Obrigado!*

*“Ninguém é tão grande que não possa aprender,  
nem tão pequeno que não possa ensinar.”*

*-Esopo.*

## RESUMO

JUNG, Sérgio Sidnei. Melhoria na isolamento de bobinas de média e alta tensão: aplicação dos conceitos de melhoria contínua no processo de isolamento das cabeças de bobinas. 2017. 33 f. Monografia. (Especialização em Engenharia da Produção) – Departamento de Gestão e Economia - DAGEE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

O presente estudo refere-se à utilização de ferramentas da qualidade buscando possíveis melhorias em uma fábrica de motores elétricos. A área escolhida foi a fabricação de bobinas de fios retangulares de média e alta tensão, especialmente no que tange a isolamento desses componentes, por se tratar de uma área de vital importância no desempenho dos motores. Sendo uma área que afeta diretamente a vida útil dos motores, influencia a confiabilidade do produto perante seus clientes e a credibilidade a empresa. Dessa forma, foram aplicados conceitos e metodologias de modo a elencar, analisar e priorizar potenciais de falhas - por meio de diagramas de causa e efeito, ferramenta GUT e gráfico de Pareto - no isolamento desses componentes, seguidos da aplicação de ações de contenção e de identificação da causa raiz. Também foram realizados ensaios – *Surge Test*, Tangente Delta e Ensaio de Impulso - para que as alternativas aos problemas apresentados pudessem ser validadas e sua eficiência comprovada. Aplicada a metodologia, foram observadas melhorias em diversos aspectos, sendo esses visíveis nas amostras ou mensurados experimentalmente. Os parâmetros analisados não indicaram alterações nas amostras em função da mudança do método aplicado em sua confecção, o que implica na redução de rejeição ou retrabalho de peças e do custo de produção, refletindo na qualidade do produto final.

**Palavras-chave:** Bobinas. Alta tensão. Isolação.

## ABSTRACT

JUNG, Sérgio Sidnei. Improvement in insulation of media and high-voltage coils: application of continuous improvement concepts in the insulation process of coil heads. 2017. 33 f. Monografia. (Especialização em Engenharia da Produção) – Departamento de Gestão e Economia - DAGEE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

The study herein presented regards the use of quality tools for the improvement in a facility focused on manufacturing electrical motors. The Coils Manufacturing Area was chosen, where form-wound, flat wires, medium voltage coils are produced. The insulation of these components was focused, due to its crucial relevance for the performance of the motors, directly influencing the service life and the reliability of the product and, as a consequence, the reputation of the company in the market. Concepts and methodologies were applied to identify, analyze and prioritize potential failure mechanisms. They are: cause-effect diagrams, GUT matrix, Pareto's plots, Root cause analysis and "contenção". Several tests were also performed, like Surge Test, Tan Delta and Impulse Test, for the validation of the effectiveness of the proposed solutions. By using the methodology, improvement was observed in diverse aspects. It was quite visible and sensitive, even measured along the experiments proposed on the produced samples. The parameters analyzed didn't show significant changes on the samples on regard of the manufacturing procedure of the samples, fact that implies on the reduction of the rejection, even of the rework of the parts and of the production cost, affecting the final quality of the product.

**Keywords:** Coils. High voltage. Insulation.



## LISTRA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de fabricação de bobinas.....	13
Figura 2 – Sistema de Isolação para máquinas MT e AT.....	14
Figura 3 - Estrutura analítica do projeto.....	16
Figura 4 - Causa e efeito do problema.....	19
Figura 5 - Ferramenta GUT aplicada à Falhas de isolação bobinas.....	20
Figura 6 - Fluxograma do processo... ..	21
Figura 7 – Detalhe das rugas e espaços vazios na isolação de bobinas.....	22
Figura 8 – Isolamento das bobinas.....	24
Figura 9 - Resultado do delta (bobina 2-1).....	28
Figura 10 - Resultado do delta.....	29
Figura 11 - Bobinas com melhores resultados – parte 1.....	30
Figura 12 - Bobinas com melhores resultados – parte 2.....	31
Figura 13 - Bobina (1-1, 1-2 e 1-3)* com tubo de mica sem feltro catalisado.....	31
Figura 14 - Bobina (2-1, 2-2 E 2-3)* com isolação manual + feltro catalisado.....	32
Figura 15 - Bobina (3-1, 3-2 E 3-3)* com tubo de mica + feltro catalisado.....	32

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA (REFERENCIAL TEÓRICO)</b>	<b>11</b>
2.1	FABRICAÇÃO DE BOBINAS	11
2.2	TESTES EM ESTADORES BOBINADOS	13
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE RESULTADOS</b>	<b>16</b>
4.1	BRAINSTORMING	16
4.2	DIAGRAMA DE ISHIKAWA	16
4.3	PONTUAÇÃO COM A MATRIZ GUT	17
4.4	FLUXOGRAMA DE PROCESSO	18
4.4.1	Problema evidenciado durante a análise do processo	19
4.4.2	Restrições da forma atual de isolamento	20
4.5	GRÁFICO DE PARETO	20
4.6	REALIZAÇÃO DE TESTES DE ISOLAÇÃO	21
4.7	ENSAIOS REALIZADOS NAS BOBINAS APÓS IMPREGNAÇÃO	22
4.6.1	Ensaio de Surge Test (Surto Elétrico)	22
4.6.2	Tangente Delta	24
4.6.3	Ensaio de Impulso	25
4.7	BOBINAS CORTADAS APÓS TESTES FINALIZADOS	27
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>29</b>
5.1	SOLUÇÕES PROPOSTAS	29
5.1.1	Implantar feltro catalisado	29
5.1.2	Eliminar tubo de mica	29
5.2	VANTAGENS DAS MELHORIAS	29
5.2.1	Comparativo de tempos	30
5.2.2	Justificativas	30
5.2.3	Providências	31
5.2.4	Plano de ação	31
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Durante a confecção de um motor existem várias etapas importantes, porém algumas se destacam por impactar diretamente em sua vida útil. Muitos clientes se preocupam com essa garantia e fazem testes cada vez mais complexos focando na durabilidade.

Com o objetivo de evitar falhas, faz-se necessária uma análise detalhada dos produtos antes que iniciem suas atividades no chão de fábrica. Desta forma, fornecedores e clientes formam parcerias que investem para detectar e prevenir desvios no chão de fábrica buscando soluções e tecnologias para deixar seus produtos cada vez mais robustos, focando atender as exigências do mercado com a máxima qualidade e menores prazos de entrega visando ser um diferencial em relação aos concorrentes.

Partindo destes princípios, o estudo iniciou um processo de investigação junto com nosso cliente interno, utilizando a metodologia de *Brainstorming* para verificar os principais pontos que influenciam no problema *nível de tensão suscetível ao curto para massa*.

Um dos problemas evidenciados foram as descargas parciais que, de acordo com Teixeira (2016, p. 3), “ocorrem no interior de um material isolante, em cavidades ou inclusões” que “podem apresentar falha a um gradiente de tensão pequeno se comparado ao gradiente de tensão suportado pelo material isolante a sua volta”.

Além do mais, se a constante dielétrica do material presente na cavidade ou inclusão for menor que a constante dielétrica do material do sistema isolante a distribuição de tensão será maior na cavidade ou inclusão ser o ar, o que forçará sobremaneira a disrupção da inclusão. (TEIXEIRA, 2016, p. 3).

Diante disso, o estudo tem como objetivo a aplicação de metodologias e ferramentas para identificar e minimizar desvios do processo na isolação de bobinas de média e alta tensão, bem como a padronização de melhorias e procedimentos introduzidos.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA (REFERENCIAL TEÓRICO)

Segundo o Centro de Informação Metal Mecânica (CIMM, 2016), motores elétricos são máquinas que convertem energia elétrica em energia mecânica. São considerados “um dos equipamentos mais utilizados pelo homem em sua caminhada em busca do progresso, pois praticamente todas as máquinas dependem dele”. Além disso, o CIMM coloca que os motores elétricos precisam ser identificados e tratados como máquinas motrizes “cujas características envolvem determinados cuidados, dentre os quais o de instalação e manutenção”.

Um dos componentes fundamentais desses equipamentos é a bobina. Quando uma corrente elétrica passar por entre este componente, que consiste em um enrolamento de fios, gera-se um campo magnético e, conseqüentemente, energia mecânica.

### 2.1 FABRICAÇÃO DE BOBINAS

A fabricação de bobinas respeita um conjunto de normas internas e externas. O processo pode ser observado na figura 1.

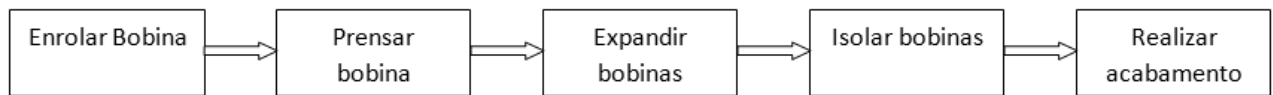


Figura 1 – Processo de fabricação de bobinas  
Fonte: RODRIGUES (2010, p. 22)

Em se tratando de um estudo quanto à melhoria na isolação de bobinas de média e alta tensão, a etapa do processo abordada será a referente à isolação desse componente.

De acordo com Rodrigues (2010, p. 22), para máquinas rotativas de alta tensão, as bobinas são confeccionadas com fios retangulares de cobre, isoladas, dependendo da aplicação, de quatro formas distintas, sendo elas: “fios de cobre esmaltados; fios de cobre esmaltados recobertos com uma ou duas camadas de filamento de vidro, fios de cobre nus recobertos com fita à base de mica, fios de cobre esmaltados recobertos com fita à base de mica”. Na figura 2 pode ser observado o sistema de isolação para máquinas de média e alta tensão.

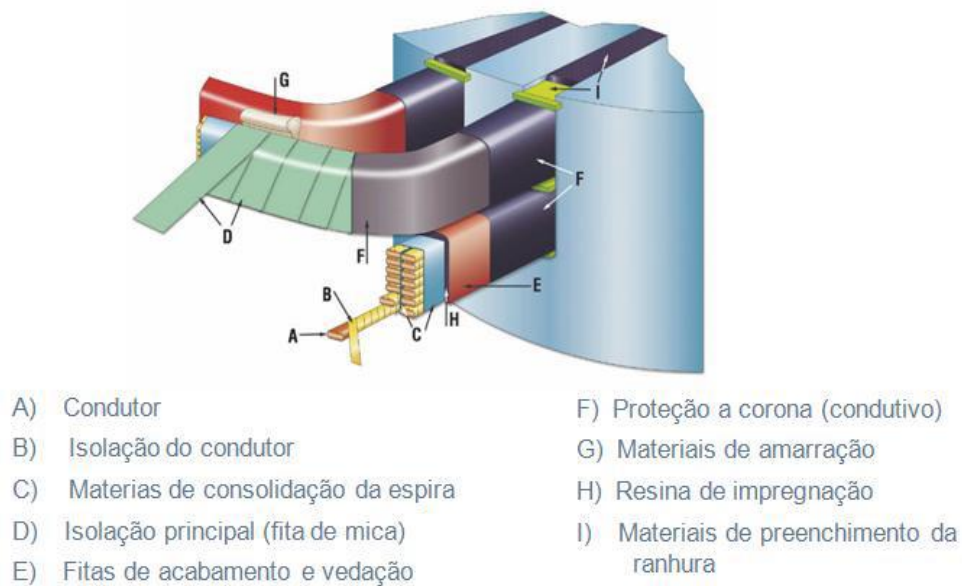


Figura 2 – Sistema de isolamento para máquinas MT e AT  
 Fonte: RODRIGUES (2010, p. 31)

De acordo com Silveira (2013), bobinas de alta tensão, que apresentam diversas camadas de espiras, podem requerer isolamento maior que aquele conferido pelo esmalte. Além disso, o autor especifica que é comum nesses materiais separar as camadas por finas e flexíveis lâminas de algum material que apresente alta rigidez dielétrica, de modo a evitar curto circuito entre camadas de espiras contíguas.

O autor ainda alerta que de maneira alguma uma bobina deve ser construída com fio de cobre e sem isolamento, porque além de não funcionar, corrente não circulará por todo o material, colocando a fonte alimentadora da bobina em curto circuito.

Sabe-se que “a correta aplicação dos materiais de isolamento bem como o respeito pelos seus parâmetros, como tensão da fita, número de camadas necessárias, têm influência na qualidade da isolamento”, segundo escreve Rodrigues (2010, p. 37), e conseqüentemente, na vida útil do motor. A autora ainda ressalta que, para um mesmo “tipo material de isolamento, se atendermos ao processo de fabricação, ao colaborador envolvido, ao facto da isolamento ser realizada de forma manual ou através de máquinas, pode originar resultados diferentes”.

Neste processo os materiais isolantes devem ficar o mais próximo possível dos condutores, de modo que não haja ar entre os mesmos, evitando assim que ocorra sua ionização e, por consequência, a degradação das fitas de isolamento, resultando em curto para massa do motor.

A respeito disso, Spezia (2012, p. 7) escreve que em vazios sujeitos a campos elétricos uniformes, quando se faz possível o início da ionização, normalmente ocorre a ruptura completa

do ar no vazio. Em campos não uniformes várias manifestações de descargas luminosas e audíveis são observadas muito antes que a ruptura completa ocorra. Estas descargas podem ser transitórias ou permanentes, e são conhecidas como ‘coronas’. Estas descargas podem provocar a deterioração precoce da isolação, pela ação combinada do bombardeamento de íons na superfície e dos compostos químicos que se formam.

## 2.2 TESTES EM ESTADORES BOBINADOS

Após a confecção de bobinas é necessário realizar, segundo Rodrigues (2010, p. 41), “uma sequência de testes fundamentais para garantir a qualidade do estator bobinado”. A implementação desses testes e o aumento de sua eficiência nas linhas de produção é necessária e inevitável para que sejam alcançados índices desejados de qualidade. Ainda de acordo com a autora, os defeitos a serem identificados após o processo de bobinagem são “variação de resistência, solda mal realizada, ligações invertidas, sentido de rotação invertido, curto entre espiras, fio fora da ranhura, curto entre fases, isolamento dobrado ou danificado, protector térmico danificado, fuga do protector para o enrolamento” (RODRIGUES, 2010, p. 41).

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo foi executado tendo como critério a estrutura analítica do projeto, apresentada na figura 3.

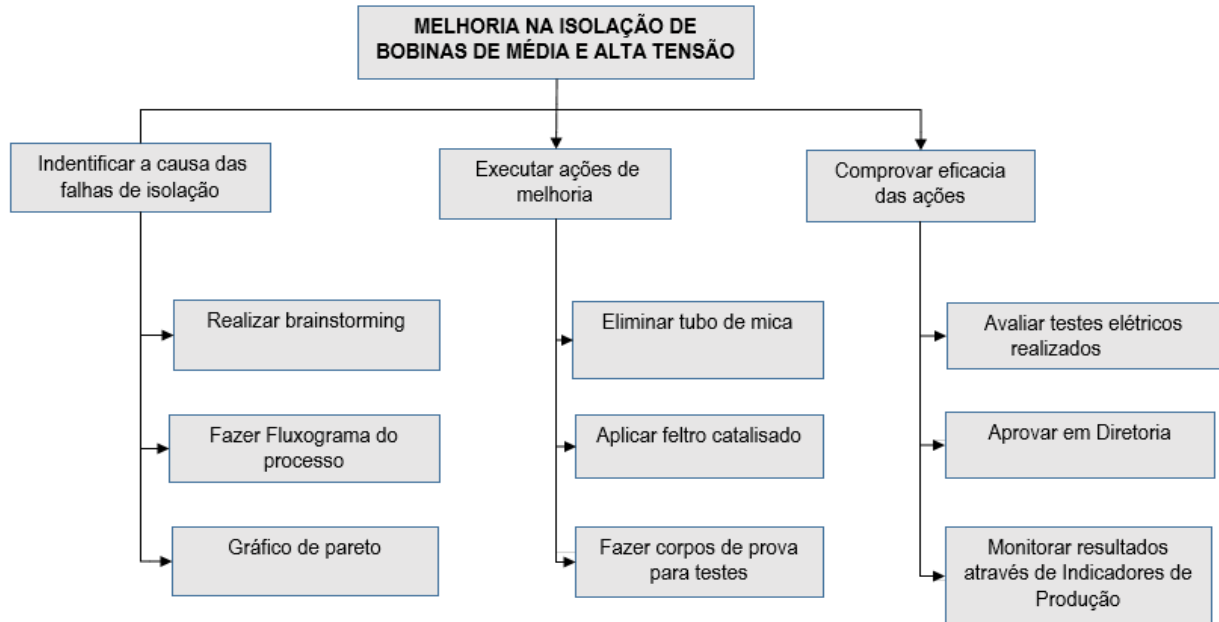


Figura 3 - Estrutura analítica do projeto  
Fonte: Autoria própria.

Inicialmente, no que diz respeito à identificação das causas das falhas de isolação, foi realizado um levantamento de ideias/sugestões quanto às possíveis causas do problema de curto circuito para massa na região das cabeças de bobinas, por meio da ferramenta *Brainstorming*.

Posteriormente foi utilizada a ferramenta do Diagrama de Ishikawa, de modo a identificar e segregar as causas que teriam mais impacto no efeito, ou seja, para realizar a priorização dos itens com maior relevância no desvio. Feita a categorização das causas, essas foram pontuadas com a escala de matriz GUT.

Em seguida foi confeccionado o Fluxograma de Processo, com o objetivo de verificar os possíveis pontos causadores dos problemas levantados no *Brainstorming*, bem como aqueles em que a correção poderá ser realizada.

Ainda de modo a priorizar problemas ou causas de um objeto de estudo, foi elaborado um gráfico em barras, o gráfico de Pareto, com entradas referentes aos dados levantados diretamente com a seção cliente de fabricação de bobinas.

Quanto à execução de ações de melhoria, houve a confecção de corpos de prova para testes, num total de 9 exemplares idênticos submetidos à testes de isolação.

Foram utilizados 3 métodos de isolamento, sendo cada um deles aplicados a 3 bobinas, de modo que fossem realizados os ensaios em triplicata. A seguir, os três métodos utilizados:

- 3 bobinas foram isoladas os terminais com tubo de mica sem o feltro catalisado;
- 3 bobinas foram isoladas os terminais manualmente + feltro catalisado;
- 3 bobinas foram isoladas os terminais com tubo de mica + feltro catalisado.

Para que fosse constatado o resultado da eficácia da isolamento, para além do critério visual, foram realizados testes elétricos para averiguar melhora nesse processo.

Como forma de avaliar possível curto entre espiras durante o processo de confecção e isolamento das bobinas foi realizado o ensaio *Surge Test*.

Para a verificação de possíveis espaços vazios entre o fio de cobre e a parte aterrada da bobina foi realizado o ensaio Tangente Delta, que avalia três critérios:

O primeiro critério é o valor inicial da curva, isto é o que propriamente se chama de Tangente Delta. É o valor das perdas dielétricas medido a 20% da tensão nominal.

O segundo critério comum é o *tip-up*, é um cálculo feito. É  $0,5 \times (\text{Tangente Delta a } 0,6U_n - \text{Tangente Delta a } 0,2U_n)$ . Isso é indiretamente um limite para a inclinação da curva neste trecho.

O terceiro critério é o Tangente Delta. Deve-se calcular a diferença entre cada para adjacente na curva, ou seja, Tang delta  $0,4U_n - \text{Tang delta } 0,2U_n$ ; Tang delta  $0,6U_n - \text{Tang delta } 0,4U_n$ ; Tang delta  $0,8U_n - \text{Tang delta } 0,6U_n$ ; Tang delta  $1,0U_n - \text{Tang delta } 0,8U_n$ ; Tang delta  $1,2U_n - \text{Tang delta } 1,0U_n$ .

Nesses valores o que der mais alto é considerado como o valor de Tangente Delta.

Outro ensaio realizado foi o de Impulso, que se mostra muito útil para verificar se a isolamento está bem dimensionada e apta a suportar descargas atmosféricas sofridas pelos enrolamentos de motores e geradores.

De forma a complementar a análise visual dos objetos de estudo, as bobinas foram seccionadas após a realização dos testes.



## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE RESULTADOS

### 4.1 BRAINSTORMING

O *Brainstorming* permitiu detectar possíveis causas para curto circuitos na região das cabeças de bobinas. Foram elencadas as hipóteses listadas abaixo:

- Sobreposição da fita semicondutiva sobre a condutiva;
- Posição das fitas na região curva da cabeça de bobina;
- Fita de mica fora da validade;
- Moldagem incorreta da fita de mica com veículo de poliéster;
- Excesso de umidade;
- Erro operacional aplicando tensão acima do especificado;
- Bobinas danificadas durante o processo de fabricação;
- Espaços vazios causados pelo enfitamento mecanizado na curva da bobina;
- Espaços vazios causados pelo tubo pré-fabricado de mica nos terminais;
- Aplicador de tensão não calibrado;
- Cabeçote de enfitamento não mantém o freio dos rolos de enfitamento apertados.

### 4.2 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

Com os dados obtidos, foi criado um diagrama de Ishikawa, apresentado na figura 4, de modo a organizar as possíveis causas de maior impacto no efeito. Através do diagrama foi evidenciada a ocorrência de possíveis problemas, que foram agrupados de acordo com as 6 categorias dos M's, isto é, máquina, mão de obra, medição, matéria prima, método e meio ambiente.

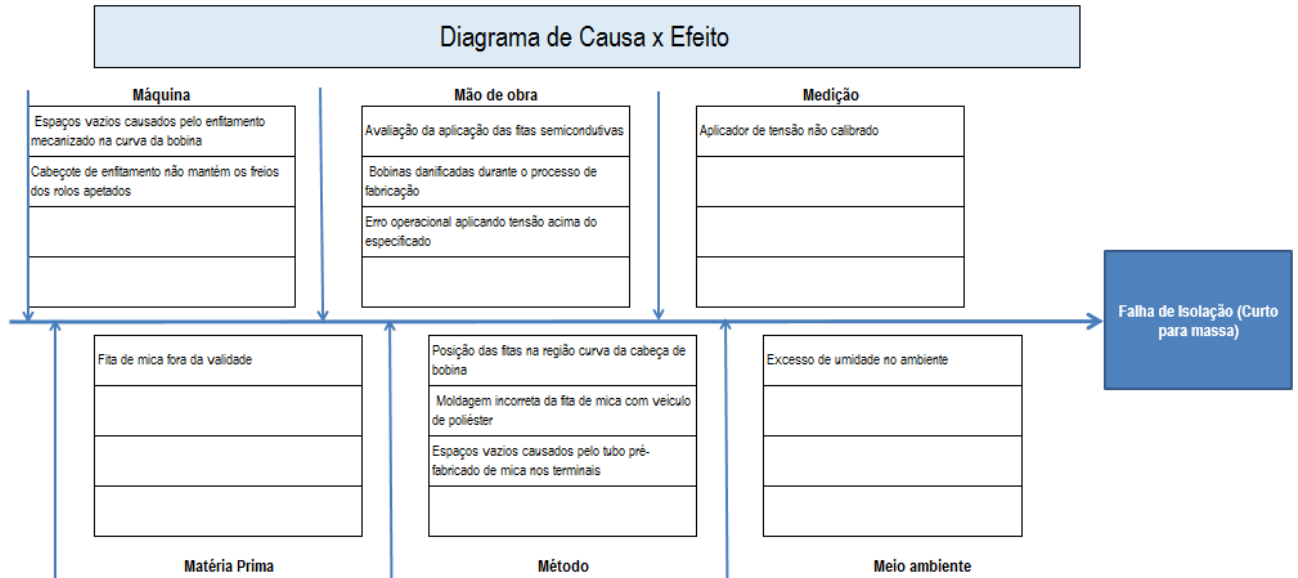


Figura 4 - Causa e efeito do problema  
 Fonte: Autoria própria.

### 4.3 PONTUAÇÃO COM A MATRIZ GUT

Feita a divisão no diagrama de Ishikawa, foram priorizadas as causas pontuando com a matriz GUT, que considera a gravidade, urgência e a tendência de uma situação. Seus parâmetros podem ser observados no quadro 1.

		1	2	3	4	5
<b>GRAVIDADE (G)</b>	Considerar a intensidade ou impacto que a CAUSA tem sobre o EFEITO. Tais danos podem ser avaliados quantitativa ou qualitativamente. Um efeito grave pode ocasionar danos irreparáveis à empresa.	Sem gravidade	Pouco grave	Grave	Muito Grave	Extremamente Grave
<b>URGÊNCIA (U)</b>	Considerar na análise o tempo existente para anular o efeito da CAUSA em certa situação. Este tempo disponível pode estar associado a prazos legais ou respostas a clientes.	Pode esperar	Pouco Urgente	Urgente, merece atenção no curto prazo	Muito Urgente	Necessidade e de ação imediata
<b>TENDÊNCIA (T)</b>	Considerar na análise o padrão ou tendência da “CAUSA” tornar-se incontrolável em determinada situação. Você pode avaliar o impacto em se conviver com esta “CAUSA” ao longo do tempo, sem que nenhuma ação seja implementada com intuito de eliminar ou diminuir sua influência negativa. Representa o potencial de crescimento da influência da “CAUSA” no agravamento do problema ao longo do tempo.	Não irá mudar	Irá piorar a longo prazo	Irá piorar a médio prazo	Irá piorar a curto prazo	Irá piorar rapidamente

Quadro 1 – Escala da matriz GUT  
 Fonte: Adaptado de BASTOS (2014)

Na figura 5, que consiste em uma matriz de GUT, pode ser visualizada a priorização das causas levantadas para o problema abordado no presente estudo.

**PRIORIZAÇÃO DE CAUSAS**

Efeito	Curto para massa				
PROCESSO					

Xs (Identificados no Brainstorming / Diagrama Causa x Efeito)	"CAUSA" gera "EFEITO" ? (SIM / NÃO ou / NÃO SABE)	GRAVIDADE (G)	URGENCIA (U)	TENDENCIA (T)	Pontuação SOD
Posição das fitas na região curva da cabeça de bobina.	SIM	3	3	2	18
Fita de mica fora da validade.	SIM	4	3	2	24
Moldagem incorreta da fita de mica com veículo de poliéster.	SIM	4	2	2	16
Excesso de umidade no ambiente.	SIM	4	2	1	8
Erro operacional aplicando tensão acima do especificado.	SIM	5	4	1	20
Bobinas danificadas durante o processo de fabricação.	SIM	4	3	2	24
Espaços vazios causados pelo enfitamento mecanizado na curva da bobina.	SIM	5	5	4	100
Espaços vazios causados pelo tubo pré-fabricado de mica nos terminais.	SIM	5	5	4	100
Aplicador de tensão não calibrado.	SIM	5	4	1	20
Cabeçote de enfitamento não mantém os freios dos rolos apertados.	SIM	3	3	2	18
					0

Figura 5 - Ferramenta GUT aplicada à falhas de isolamento em bobinas  
 Fonte: Autoria própria.

Após a aplicação da ferramenta, foram priorizadas duas possíveis causas que mais influenciam no problema, sendo elas:

- Espaços vazios causados pelo enfitamento mecanizado na curva da bobina;
- Espaços vazios causados pelo tubo pré-fabricado de mica nos terminais.

**4.4 FLUXOGRAMA DE PROCESSO**

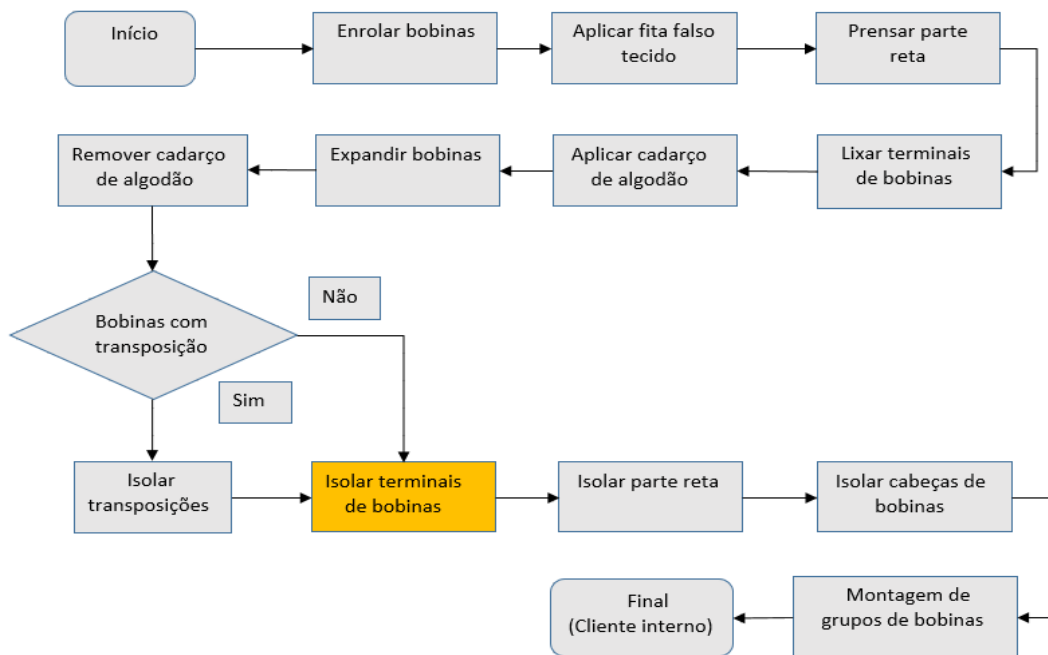


Figura 6 - Fluxograma do processo  
 Fonte: Autoria própria.

Com os dados obtidos, foi confeccionado um Fluxograma de Processo, apresentado na figura 6. Com ele foi possível observar os pontos possivelmente responsáveis pelos problemas levantados no *Brainstorming*.

#### 4.4.1 Problema evidenciado durante a análise do processo

Analisando o processo de isolamento das bobinas, a possibilidade de melhoria na região das laterais das cabeças de bobina enfitadas com a fita de mica com veículo de poliéster com tensão de isolamento até 6900V, onde foram evidenciadas “rugas” e espaços vazios que podem provocar fuga de tensão para massa do estator.

Nas figuras 7a e 7b é possível visualizar os espaços vazios citados anteriormente, enquanto que na figura 7c é possível observar as rugas supracitadas.

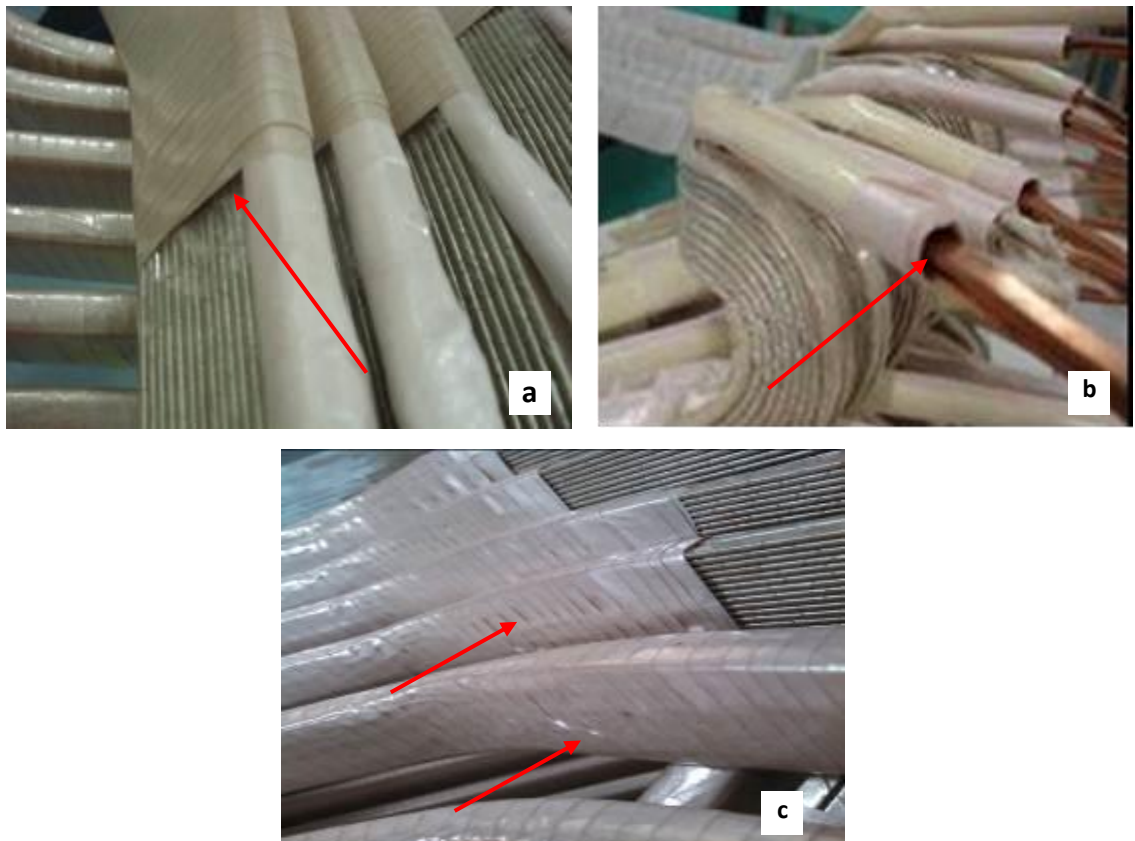


Figura 7 – Detalhe das rugas e espaços vazios na isolamento de bobinas  
Fonte: Autoria própria.

Na figura 7a observa-se espaço vazio causado devido à diferença dos terminais isolados com tubo de mica para o restante dos fios não isolados. A bobina da figura 7b apresenta espaço vazio devido à isolamento dos terminais serem feitos com tubos de mica, não tendo como produzi-

los de forma mais ajustada sobre o fio. A figura 7c demonstra as rugas durante o enfitamento proveniente da altura da bobina, onde essa fica côncava, dificultando o posicionamento correto e acarretando na geração de rugas.

#### 4.4.2 Restrições da forma atual de isolamento

No formato atual de isolamento são confeccionados tubos de manta de mica para isolamento dos terminais das bobinas, desde que fiquem dentro de alguns critérios:

- Tenha isolamento até 6900V;
- Que não forem máquinas para área classificada (Ex);
- Que tenham no máximo 3 fios paralelos;
- Espaço entre bobinas (E1) deve ser maior que 2,5mm.

#### 4.5 GRÁFICO DE PARETO

Dados levantados diretamente com a seção cliente da fabricação de bobinas serviram para a construção do gráfico de Pareto, sendo esse elaborado apenas com uma divisão de tensões: até 6900V e maiores que 6900V.

No gráfico 1, é possível visualizar qual a tensão que mais aconteceram falhas elétricas entre os anos de 2014-2015, com isso podemos priorizar os problemas ou as causas demonstrando que as maiores incidências dos desvios estão nos estatores que têm bobinas com isolamento até 6900V.

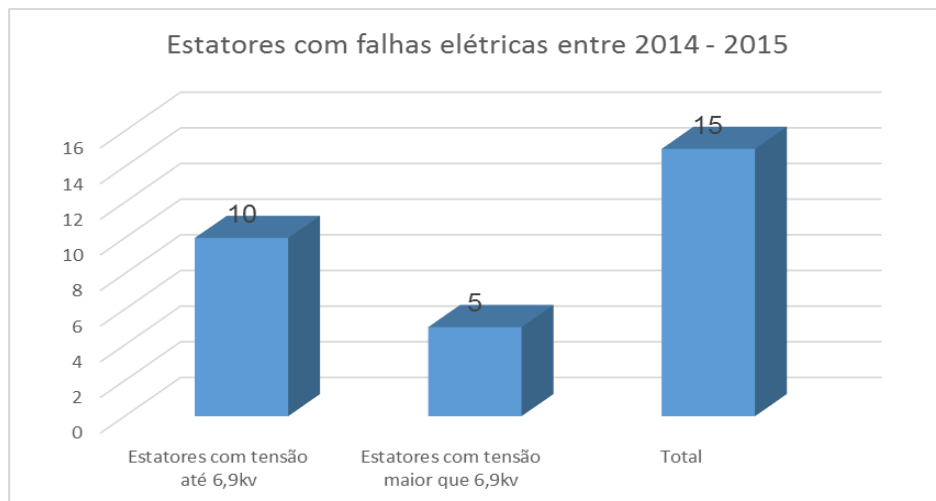


Gráfico 1 - Estatores com falhas  
Fonte: Autoria própria.

#### 4.6 REALIZAÇÃO DE TESTES DE ISOLAÇÃO

A realização de testes de isolação tem como finalidade a verificação de fuga de corrente da bobina. Para tanto, foram confeccionados corpos de prova, conforme descrito na metodologia.

Na figura 8a é possível observar o feltro catalisado colocado em um dos 4 lados internos da bobina. A figura 8b apresenta a bobina depois de colocado o feltro e aplicado a isolação final, e não são mais evidenciadas rugas no local. Vale ressaltar que nas figuras 8c, 8d e 8e a isolação foi realizada de forma manual nos terminais das bobinas.

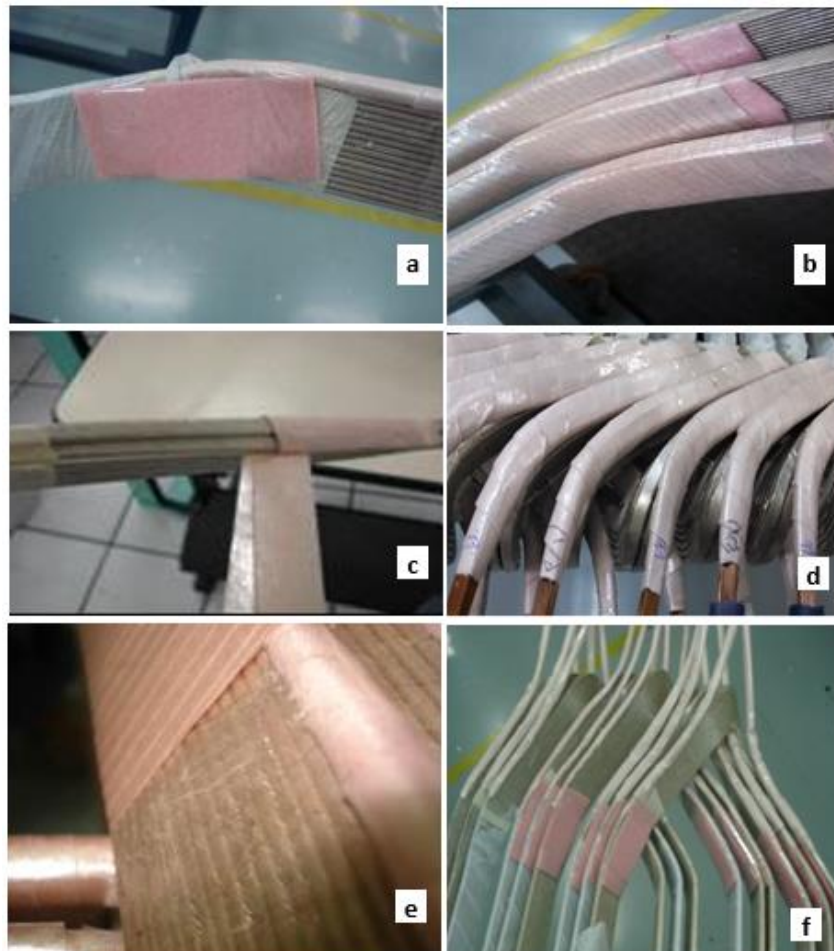


Figura 8 – Isolamento das bobinas  
Fonte: Autoria própria.

Na figura 8c observa-se o detalhe das fitas sendo aplicadas manualmente. Nas bobinas da 4d os terminais foram finalizados manualmente.

Na figura 8e foi possível observar que praticamente não há mais espaço vazio na lateral da bobina, resultado esse obtido somente pelo isolamento manual dos terminais. Ainda assim,

nela observa-se o detalhe do espaço vazio ainda presente. Na figura 8f pode-se observar bobinas preparadas para receber a isolação principal.

#### 4.7 ENSAIOS REALIZADOS NAS BOBINAS APÓS IMPREGNAÇÃO

Para comprovação do resultado da eficácia além da análise visual, foram realizados testes elétricos de modo a averiguar se houve melhora na isolação. A seguir, na tabela 1, são apresentados os dados obtidos nesses ensaios.

Nº da bobina	T(C°)	Umidade (%)	Resistência de isolação (MΩ)	Tensão aplicada	Corrente de Fuga	T (C°)	Umidade (%)	Resistência de isolação (MΩ)	Surge Test (kV)	Tangente Delta	Impulso
1-1	33,5	50	266000	14,2	29	33,7	49	292000	18,88	ok	ok
1-2	33,5	50	296000	14,2	29	33,7	49	299000	18,88	ok	ok
1-3	33,5	50	282000	14,2	29	33,7	49	297000	18,88	ok	ok
2-1	33,5	50	320000	14,2	28	33,7	49	346000	18,88	ok	ok
2-2	33,5	50	317000	14,2	29	33,7	49	324000	18,88	ok	ok
2-3	33,5	50	330000	14,2	28	33,7	49	357000	18,88	ok	ok
3-1	33,5	50	325000	14,2	30	33,7	49	303000	18,88	ok	ok
3-2	33,5	50	289000	14,2	29	33,7	49	328000	18,88	ok	ok
3-3	33,5	50	278000	14,2	29	33,7	49	339000	18,88	ok	ok

Tabela 1 - Resultados dos ensaios elétricos  
Fonte: Autoria própria.

Conforme indicado na tabela 1, todas as bobinas tiveram resultado satisfatório nos ensaios de Tangente Delta, Impulso Atmosférico. Porém, as bobinas 2-1, 2-2 e 2-3, tiveram um resultado melhor no ensaio de resistência de isolação e uma corrente de fuga mais baixa. Estes resultados comprovam a eficácia do trabalho resultado.

##### 4.6.1 Ensaio de *Surge Test* (Surto Elétrico)

Os dados obtidos do ensaio de *Surge Test* resultaram no gráfico 2. Não havendo diferenças nas formas de ondas sobrepostas, o resultado é satisfatório. Se houver oscilações próximas a crista da onda, também serão consideradas satisfatórias, desde que não ultrapassem 5% a relação entre uma onda e outra. Embora não tenha apresentado uma senoide perfeita, foi possível observar uma onda sobrepondo a outra, não caracterizando problema de curto entre espiras. Além disso, considera-se que todas as bobinas ensaiadas foram aprovadas no teste de *Surge Test* conforme norma interna WPS-8998.

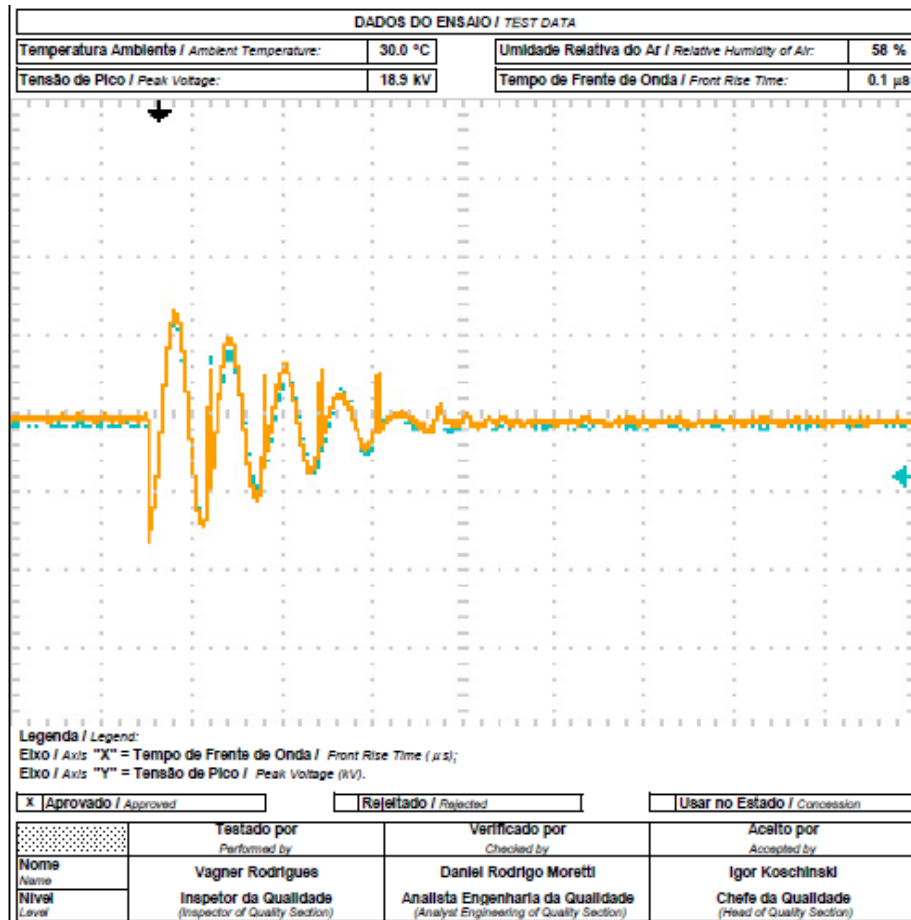


Gráfico 2 – Resultado do Surge Test  
 Fonte: Autoria própria.

De modo a realizar um comparativo entre diferentes tipos de resultados para o ensaio de *Surge Test*, o gráfico 3 ilustra um exemplo de bobina com curto entre espiras.

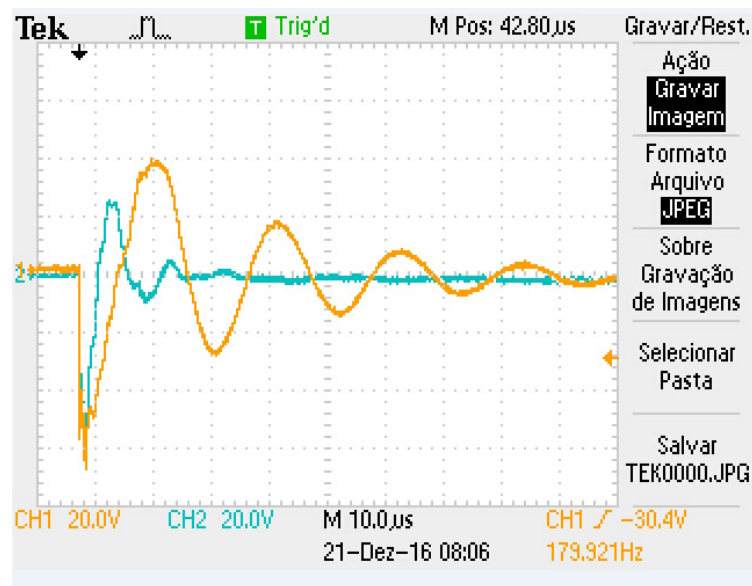


Gráfico 3 – Resultado do *Surge Test* de uma bobina reprovada  
 Fonte: Autoria própria.



4.6.2 Tangente Delta

Todas as bobinas foram aprovadas nos ensaios, que tiveram como referência a norma IEEE std 286/2000 – *IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Isulation*. Além disso, todas as bobinas ensaiadas foram aprovadas no teste de Tangente Delta, conforme norma interna WPS-4341.

Dos resultados obtidos, foram selecionados os melhores, que estão apresentados nas figuras 9 e 10.

Tipo de Máquina <i>Type of Machine</i>		BOBINA 2-1				
Desenho / Material <i>Drawing / Material</i>		Número da Bobina <i>Coil Number</i>				
DADOS DO ENSAIO / TEST DATA						
BOBINA - LADO 01 / COIL - SIDE 01						
Temperatura Ambiente / Ambient Temperature		30.6 °C		Umidade Relativa do Ar / Relative Humidity of Air		
				43 %		
Percentual de Tensão Voltage Percentage	Tensão de Teste Test Voltage (kV)	Tensão Aplicada Applied Voltage (kV)	$\Delta U$ (%)	tan $\delta$ (temp. ambiente) (ambient temperature)	tan $\delta$ (convertido a 20°C) (converted at 20°C)	CAPACITÂNCIA Capactance (nF)
120%	7.92	7.92	120.00%	0.0079	0.0063	2.2334
100%	6.60	6.60	100.00%	0.0075	0.0060	2.2322
80%	5.28	5.28	80.00%	0.0071	0.0057	2.2312
60%	3.96	3.96	60.00%	0.0068	0.0054	2.2306
40%	2.64	2.64	40.00%	0.0063	0.0050	2.2294
20%	1.32	1.32	20.00%	0.0057	0.0046	2.2280
BOBINA - LADO 02 / COIL - SIDE 02						
Temperatura Ambiente / Ambient Temperature		30.6 °C		Umidade Relativa do Ar / Relative Humidity of Air		
				43 %		
Percentual de Tensão Voltage Percentage	Tensão de Teste Test Voltage (kV)	Tensão Aplicada Applied Voltage (kV)	$\Delta U$ (%)	tan $\delta$ (temp. ambiente) (ambient temperature)	tan $\delta$ (convertido a 20°C) (converted at 20°C)	CAPACITÂNCIA Capactance (nF)
120%	7.92	7.92	120.00%	0.0075	0.0060	2.1029
100%	6.60	6.60	100.00%	0.0072	0.0058	2.0988
80%	5.28	5.28	80.00%	0.0069	0.0055	2.0974
60%	3.96	3.96	60.00%	0.0066	0.0053	2.0963
40%	2.64	2.64	40.00%	0.0062	0.0050	2.0935
20%	1.32	1.32	20.00%	0.0057	0.0046	2.0905
BOBINA MOLDADA / MOULDED COIL						
ESTE RELATÓRIO DISPENSA A ASSINATURA DO EMITENTE <i>This is a free emitter signature report</i>					Página / Page 1 / 2	

Figura 9 - Resultado do delta (bobina 2-1)

Fonte: Autoria própria.

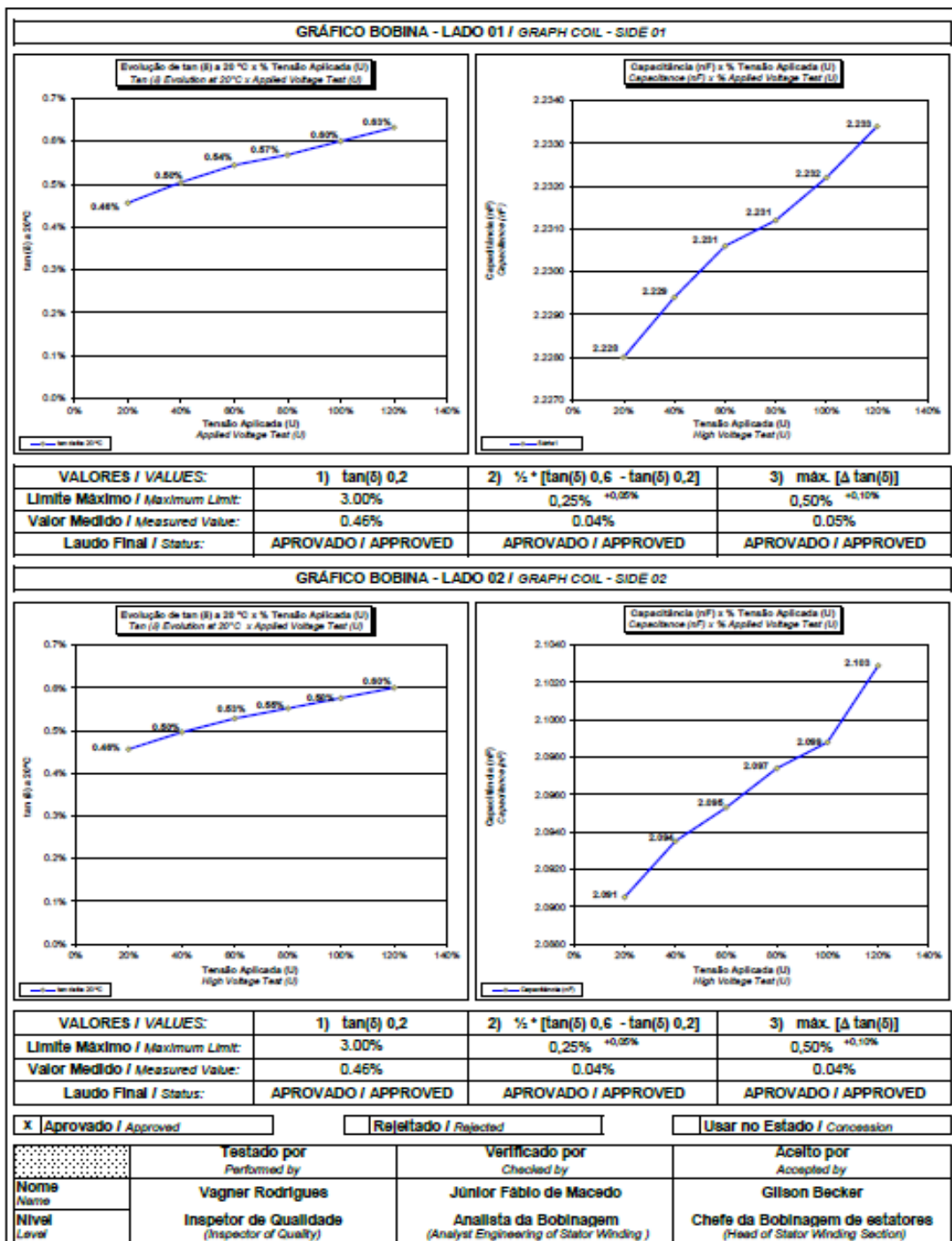


Figura 10 - Resultado do Delta  
Fonte: Autoria própria.

### 4.6.3 Ensaio de Impulso

Segundo Schaefer (2016, p.3), “os impulsos atmosféricos se caracterizam por possuir forma de onda padronizada como  $1,2/50$ , sendo o tempo virtual de frente igual a  $1,2 \mu s$  e o tempo virtual de cauda equivalente a  $50 \mu s$ ”. O autor completa dizendo que “a sua caracterização é feita com base na amplitude da onda de tensão, nos tempos virtuais de frente e

de cauda e, eventualmente, no tempo virtual até a interrupção, se o objeto sob ensaio não suportar a aplicação do impulso de tensão” e que “a determinação dos tempos virtuais [...] é realizada em função do zero virtual *O'*, definido pela reta que passa pelos pontos correspondentes a 30% e 90 % do valor de crista, na frente da onda de impulso”. (SCHAEFER, 2016, p.3).

Todas as bobinas ensaiadas foram aprovadas no teste de impulso, conforme norma interna WPS-4883. Dos ensaios realizados, as bobinas que tiveram os melhores resultados estão apresentadas nas figuras 11 e 12.

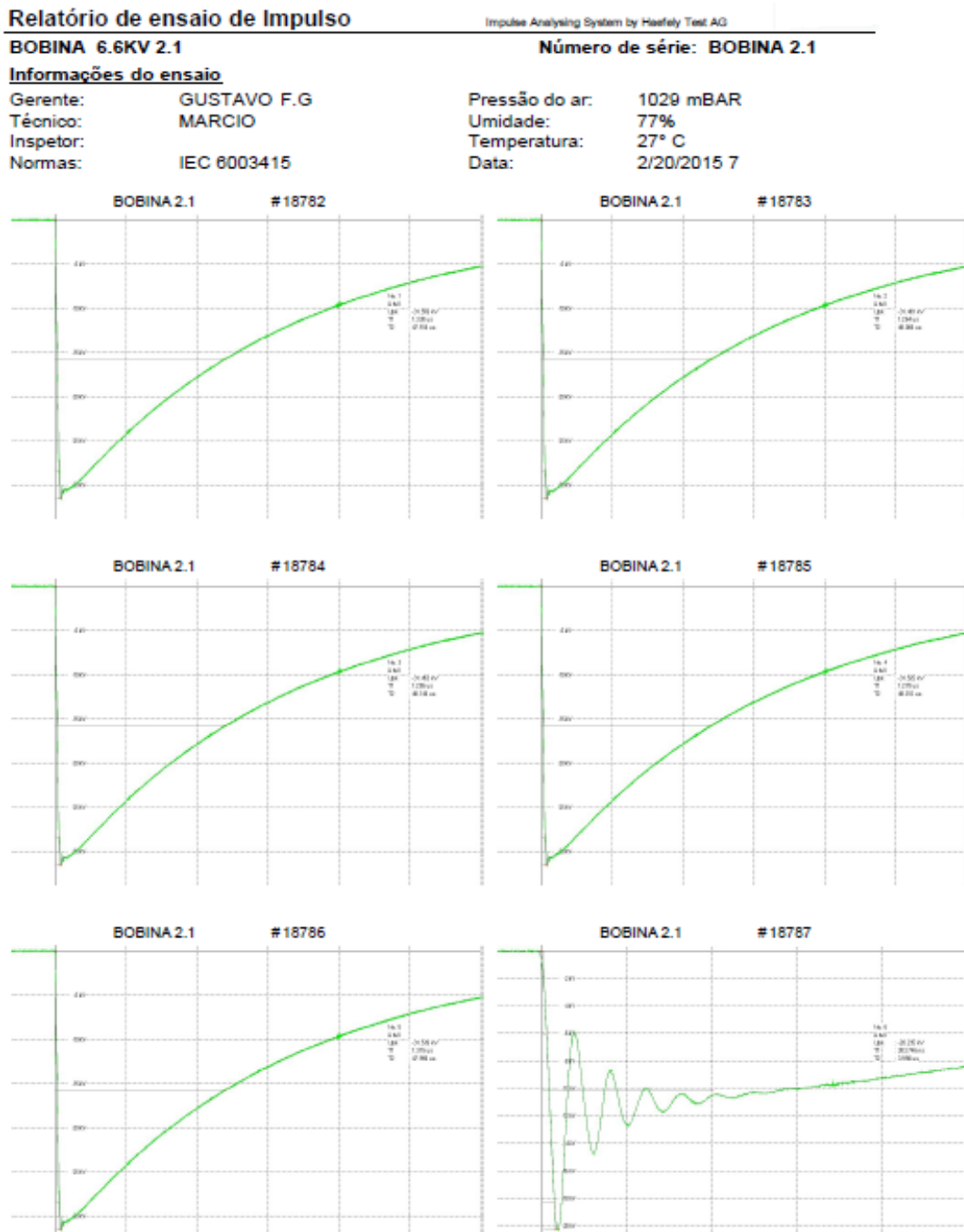


Figura 11 - Bobinas com melhores resultados – parte 1  
 Fonte: Autoria própria.

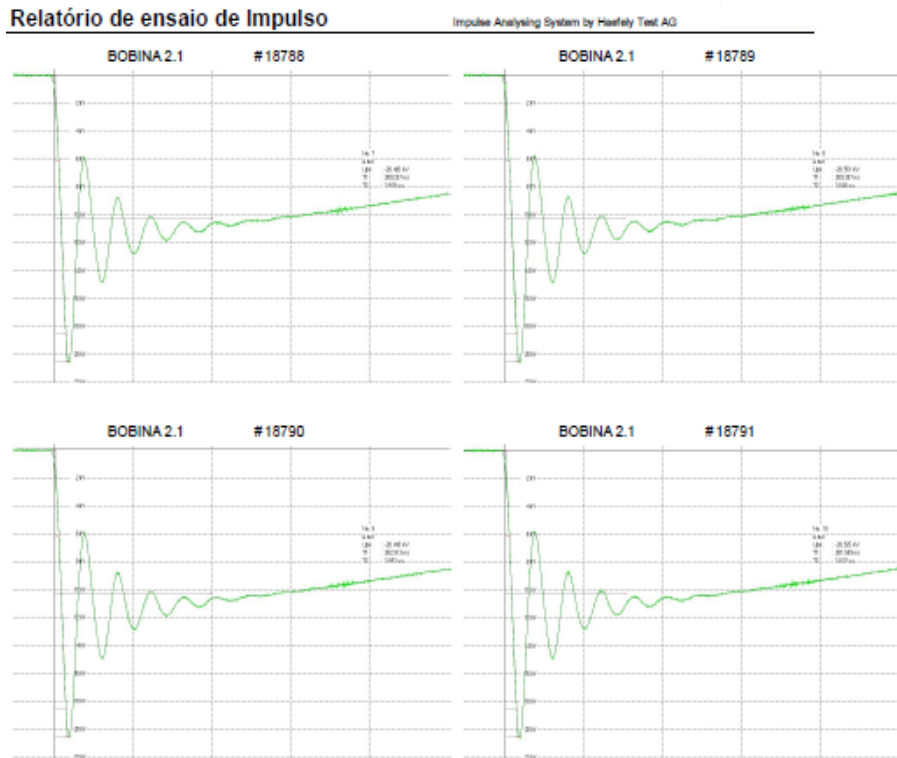


Figura 12 - Bobinas com melhores resultados – parte 2  
 Fonte: Autoria própria.

#### 4.7 BOBINAS CORTADAS APÓS TESTES FINALIZADOS

O resultado da secção das bobinas ensaiadas pode ser observado a seguir.

Na figura 13 é visível o excesso de material causado pelo tubo de mica na lateral de cabeça da bobina, que se deve ao fato de não ser possível fazer o tubo de maneira justa (apertada) sobre o condutor.

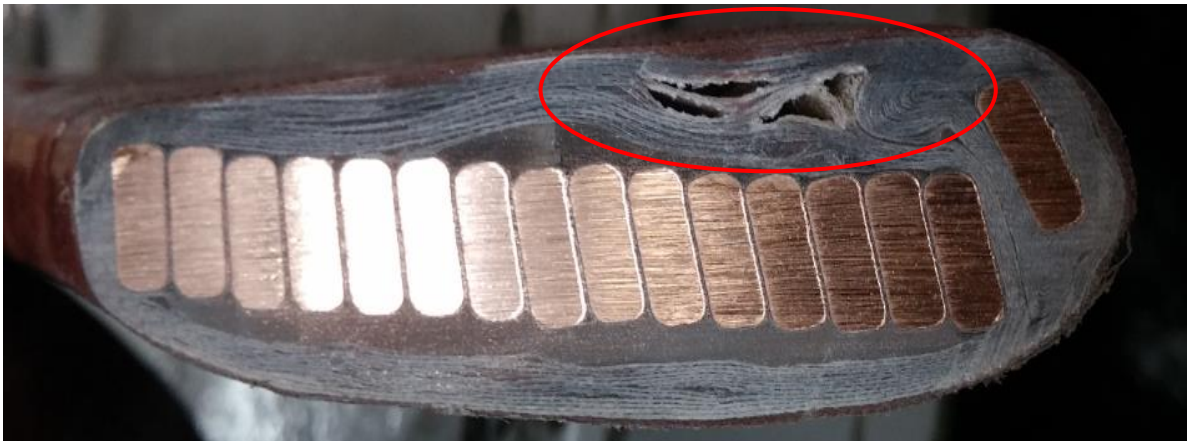


Figura 13 - Bobina (1-1, 1-2 e 1-3)\* com tubo de mica sem feltro catalisado  
 Fonte: Autoria própria.

Na figura 14 observa-se a isolação dos terminais feitos de forma manual, não tendo sobra de materiais conforme a figura 13, e ainda inserido feltro catalisado na lateral da cabeça da bobina eliminando espaços vazios.



Figura 14 - Bobina (2-1, 2-2 e 2-3)\* com isolação manual + feltro catalisado  
Fonte: Autoria própria.

Na figura 15 é possível verificar uma melhora somente aplicando o feltro catalisado na lateral da bobina, porém ainda é possível observar a sobra de material com a isolação sendo feita através do tubo de mica.



Figura 15 - Bobina (3-1, 3-2 e 3-3)\* com tubo de mica + feltro catalisado  
Fonte: Autoria própria.

## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Diante dos dados apresentados nas seções anteriores, serão apresentadas, a seguir, discussões e soluções propostas acerca os resultados obtidos nesse estudo.

### 5.1 SOLUÇÕES PROPOSTAS

Com base nos pontos observados ao longo do estudo foram sugeridas algumas ações para solucionar os desvios encontrados.

#### 5.1.1 Implantar feltro catalisado

Implantar feltro catalisado POROFILZ ME2070 nas laterais internas das cabeças de bobinas isoladas com fita de mica com veículo de Poliéster com isolação até 6,9kv.

Este material já está estruturado nas listas técnicas e, será feito somente o acerto da quantidade do mesmo a ser utilizado. Este feltro já é utilizado abaixo dos terminais de algumas bobinas, especificado na norma WPS-11018PT. Item SAP do feltro: 10391737.

#### 5.1.2 Eliminar tubo de mica

Eliminar tubo de manta de mica material 10392137 utilizado para isolar os terminais das bobinas.

### 5.2 VANTAGENS DAS MELHORIAS

- Melhora significativa nos resultados dos ensaios de Tange Delta e Resistencia de isolação, conforme Tabela;
- Melhora aspecto visual e qualidade do enfitamento;
- Diminuem significativamente os espaços em vazios.
- Eliminação do problema **ergonômico**, pois durante a confecção dos tubos de mica, é utilizada guilhotina manual, onde há reclamação da colaboradora em relação a desconforto ao utilizar a mesma;
- Eliminado o **risco de incidentes** nesta operação, já que não é mais utilizada a guilhotina

para cortar as mantas de mica para isolação dos terminais;

- Eliminado a utilização dos rolos de manta de mica material 10392137 (está manta só é utilizada para este fim);
- Aumento significativo da vida útil do motor devido não haver ionização do ar nos locais onde havia ar entre os isolantes e o condutor de cobre;
- Padronização da isolação, antes com dois tipos de isolação, com tubos e manualmente;
- Otimização do processo, eliminando o trabalho de corte e de enrolar tubos.

### 5.2.1 Comparativo de tempos

Colocar tubo confeccionado de manta de mica X isolação manual.

Isolação manual: 4m17s;

Isolação com tubo de mica: 3m47s (levado em consideração o tempo de *setup* da máquina de enrolar tubos).

Embora o tempo tenha apresentado piora, com um aumento de  $\pm 30s$  por bobina, esse fato não impactará na produção mensal. Isso porque deve-se considerar os critérios onde é permitida a utilização do tubo nas bobinas, como bobinas para área classificada ou mais de 4 fios paralelos na saída dos terminais. Hoje menos de 30% das bobinas são isoladas desta forma, com tubo.

Outra observação a ser feita, é o fato de não ter mais uma pessoa exclusiva para esta função.

### 5.2.2 Justificativas

Devido a falhas de isolamento ocorridas na seção de Bobinagem de Estatores, na região dos terminais, foram verificadas algumas possíveis melhorias no processo de isolação das bobinas afim de sanar as mesmas;

- Diminuir os espaços em vazios deixados pela forma côncava das bobinas melhorando a qualidade da isolação das bobinas;
- Eliminar ou minimizar rugas na isolação durante o enfitamento das bobinas;
- Diminuir os espaços em vazios deixados pelo fato do tubo não ser possível moldar no terminal após a colocação do mesmo;
- Eliminar queixas dos colaboradores ao exercer muita força ao aplicar o tubo de mica no

terminal da bobina;

- Evitar incidentes com pequenos cortes, nos braços e mãos dos colaboradores, na ponta dos terminais durante a colocação dos tubos.

### 5.2.3 Providências

Estruturar o acréscimo da quantidade de feltro catalisado na lista técnica das ordens de produção.

Estruturar a quantidade de rolos de fita de mica;

Alterar norma WPS-11018PT incluindo os novos pontos e maneira de colocar o feltro e, eliminar o uso dos tubos de mica;

Eliminar da lista técnica das ordens de produção a utilização da manta 10392137.

### 5.2.4 Plano de ação

Após todos os testes e análises dos resultados do estado atual, foi elaborado um plano de ação com o objetivo de solucionar o problema, conforme descrito no quadro 2.

PLANO DE AÇÃO							Data:30/07/2016				
DEPARTAMENTO: Bobinagem e Serviços											
<b>PROBLEMA:</b> Curto para massa na região das cabeças de bobina.											
<b>CAUSAS A ELIMINAR / REDUZIR:</b> Eliminar espaços vazios na isolamento da cabeça de bobinas.											
<b>INDICADOR A MONITORAR:</b> NC's											
<b>META:</b> Reduzir em 70% NC's											
<b>COORDENADOR DO PLANO / EQUIPE:</b> Sérgio											
O QUE	COMO	QUEM	CRONOGRAMA					SITUAÇÃO			
			Ago	Set	Out	Nov	Dez				
Aplicar feltro catalisado nas cabeças de bobina	Fazer corpos de prova inserindo feltro na região da lateral da cabeça de bobina	Sérgio	20					Concluído			
Melhorar isolamento dos terminais de bobinas	Fazer corpos de prova simulando isolamento atual com tubo de mica e isolamento manual	Sérgio	20					Concluído			
Verificar resultados de corpos de prova	Realizar testes de Tangente Delta, tensão aplicada e Impulso atmosférico	Sérgio / Bobinagem Estatores		25	25			Concluído			
Validar ações de melhoria	Validar relatório na Comissão de Produto	Sérgio			19			Concluído			
Alterar processo de isolamento dos terminais	Alterar norma WPS-11018PT incluindo os novos pontos e maneira de colocar o feltro e, eliminar o uso dos tubos de mica	Sérgio				13		Concluído			
Estruturar materiais	Alterar lista de materiais	Engenharia de Produto				13		Concluído			
Informar filiais na alteração do processo	Enviar relatório da alteração no processo para as filiais.	Sérgio			23			Concluído			

Quadro 2 - Plano de ação

Fonte: Autoria própria.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os resultados apresentados nos testes, os parâmetros controlados não apresentaram nenhuma alteração. Todos estão conforme a especificação técnica, o que contribui com a redução de retrabalho e de peças rejeitadas, melhorando a qualidade do produto final. Esses efeitos contribuem fortemente para a redução de custos na organização, tornando a empresa mais competitiva.

Com a implantação da alteração no processo obteve-se uma redução significativa com a perda de Estatores por curto para massa na região onde foi focado o teste. Além disso, a melhora na introdução do feltro catalisado e a eliminação do tubo de mica aumentaram a qualidade e durabilidade das bobinas no campo. Outro efeito foi a melhora na refrigeração das cabeças de bobinas devido ao aumento do espaço entre bobinas, que resultou em melhor ventilação do local.

Outro ponto importante a ser considerado é referente a normas de segurança e meio ambiente, pois o estudo mesmo não focando nesse conceito teve um aspecto significativo no conceito esforços repetitivos que podem gerar doenças ocupacionais como a lesão por esforço repetitivo (LER) e o distúrbio osteomuscular relacionado ao trabalho (DORT). Quanto a isso, colaboradores associados à função relataram a melhora na operação, devido a diminuição do esforço realizado para isolar os terminais das bobinas.

A elaboração e confecção de estudos como este demonstra ser interessante na busca por melhoria não só do produto, mas no aperfeiçoamento, na atualização dos profissionais que estão envolvidos, impactando diretamente na melhoria de processos de fabricação. Isso porque através de experiências com novos produtos, utilização e compreensão de equipamentos que antes poderiam estar fora de domínio de atuação do profissional, fazem com que se saia da zona de conforto, ainda que por mais de 20 anos tenha-se trabalhado com o mesmo produto.

Considera-se importante também o aprendizado que ferramentas utilizadas proporcionam. A experiência positiva de trabalho com elas instiga a utilizá-las mesmo em processos mais simples, buscando a melhoria contínua dos processos de fabricação.

Diante disso, infere-se que quando ferramentas e metodologias são aplicadas de uma forma adequada e estruturada, se obtém resultados significativos que impactam diretamente nos indicadores e nas estratégias das organizações.

## REFERÊNCIAS

BASTOS, M. **Matriz GUT: do conceito à aplicação prática**, 2014. Disponível em: <<http://www.portal-administracao.com/2014/01/matriz-gut-conceito-e-aplicacao.html>>. Acesso em: 24 dez. 2016.

CIMM. **Definição - O que é motores elétricos**. 2016. Disponível em: <<http://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/579-motores-eletricos>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

RODRIGUES, A. L. M. **Estudo comparativo de sistemas de isolamento em motores MT**. 2010. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) - Universidade Regional de Blumenau – Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto, Jaraguá do Sul-SC.

SCHAEFER, J. C. **Ensaio de impulso atmosférico e de manobra**, 2016. Disponível em: <<http://www.fisicapotierj.pro.br/outros/EnsaioImpulsoAtmosferico.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

SILVEIRA, F. L. da. **Bobina com fio não isolado**, 2013. Disponível em: <[www.if.ufrgs.br/~lang/](http://www.if.ufrgs.br/~lang/)>. Acesso em: 19 dez. 2016.

SPEZIA, F. R. **Avaliação das perdas dielétricas em estatores de motores de média tensão, com enrolamento de bobinas pré-formadas e tensão nominal até 4,16kV**. 2012. 14 f. Trabalho final - Materiais Dielétricos (Mestrado em Engenharia Elétrica) FURB - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau-SC.

TEIXEIRA JUNIOR, J. **Medição de descargas parciais**, 2016. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/piazza/ensaios/meddp1.pdf>>. Acesso em: 24 dez. 2016.