

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ARTUR LIBERATO GONÇALVES

**FATORES QUE INFLUENCIAM NO DIMENSIONAL DE CABEÇA DE
BOBINA NOS MOTORES WEG CARÇAÇA 112 2 E 4 POLOS,
UTILIZANDO A METODOLOGIA DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE
PROCESSO.**

VIÇOSA
2016

ARTUR LIBERATO GONÇALVES

**FATORES QUE INFLUENCIAM NO DIMENSIONAL DE CABEÇA DE
BOBINA NOS MOTORES WEG CARÇAÇA 112 2 E 4 POLOS,
UTILIZANDO A METODOLOGIA DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE
PROCESSO.**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. José Tarcisio Resende

VIÇOSA
2016

ARTUR LIBERATO GONÇALVES

**FATORES QUE INFLUENCIAM NO DIMENSIONAL DE CABEÇA DE
BOBINA NOS MOTORES WEG CARÇAÇA 112 2 E 4 POLOS,
UTILIZANDO A METODOLOGIA DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE
PROCESSO.**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 12 de Julho de 2016.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. José Tarcisio Resende - Orientador
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. André Gomes Tôrres - Membro
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. José Carlos da Costa Campos - Membro
Universidade Federal de Viçosa

“A dívida é o preço da pureza, e é inútil ter certeza.”

(Humberto Gessinger)

À minha mãe Edna, ao meu pai Chico e ao meu irmão André, que são a minha base, o meu porto seguro.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, Chico e Edna, e ao meu irmão, André, por todo amor, compreensão, apoio e exemplo que sempre me deram.

Aos meus amigos de curso, pelo enorme companheirismo e por todos os momentos compartilhados comigo ao longo da graduação.

Ao meu orientador, professor José Tarcísio, pela paciência que sempre teve e por todo o suporte que me deu.

Ao Luciano, Fernando e Daniel, pela oportunidade de acompanhar esse trabalho na WEG, me proporcionando um aprendizado enorme.

A minha namorada Rúbia, pelo apoio imenso que sempre me proporciona.

Aos meus outros familiares e amigos, por colaborarem direta ou indiretamente com esta conquista, simplesmente pelo fato de fazerem parte da minha vida.

A todos vocês, o meu muito obrigado!

Resumo

O motor de indução é o motor mais usado no mundo todo. Portanto, é o motor mais fabricado e produzido no mundo. Uma das referências nesse ramo é a empresa brasileira WEG, localizada na cidade catarinense de Jaraguá do Sul.

Um dos grandes problemas na fabricação dos motores de indução da WEG é que a maioria dos estatores dos motores de carcaça tamanho 112 não atingem a norma interna em relação ao dimensional de cabeça de bobina.

Neste trabalho, estuda-se o comportamento das variáveis de produto pertencentes aos motores WEG, com o objetivo de analisar quais são as variáveis que interferem mais no dimensional de cabeça de bobina. Conhecer essas variáveis de produto é extremamente importante para direcionar quais são as atitudes que devem ser tomadas para melhorar a qualidade do produto dentro da empresa.

Os resultados experimentais obtidos mostram que algumas variáveis de produto interferem mais no dimensional de cabeça de bobina do que outras. Com esse resultado, pode-se direcionar algumas diretrizes para diminuir o problema e aumentar a produtividade e qualidade dos produtos WEG.

Sumário

1	Introdução.....	12
1.1	Objetivo Geral	12
1.2	Objetivos específicos	12
2	Fundamentos Teóricos	13
2.1	WEG	13
2.2	Variáveis de Produto	15
2.2.1	Fator de Enchimento.....	15
2.2.2	Material do fio	16
2.2.3	Classe de Isolantes.....	16
2.2.4	Numero de cabos de ligação	17
2.3	Análises estatística do processo.....	18
2.3.1	Introdução aos gráficos de controle.....	18
2.3.2	Conceito de Processo.....	20
3	Desenvolvimento.....	23
3.1	Seleção da amostragem	23
3.2	Medição	23
4	Resultados e Discussões.....	26
4.1	Gráficos de Controle.....	26
4.2	Análise das variáveis de produto.....	27
4.2.1	Interferência do calço de prensagem	28
4.2.2	Interferência do número de cabos.....	30
4.2.3	Interferência da classe de isolamento	32
4.2.4	Interferência do tipo de fio	34
4.3.1	Interferência do fator de enchimento.....	35
4.3.1	Interferência do número de polos	37
5	Conclusões.....	40
	Referências Bibliográficas	42

Lista de Figuras

Figura 1 - Representação das dimensões dos motores WEG	14
Figura 2 - Representação das dimensões do estator bobinado	14
Figura 3 - Norma interna para os estatores de carcaça tamanho 112	14
Figura 4 - Ranhura sem os isolantes	15
Figura 5 - Ranhura com os isolantes	16
Figura 6 - Classes de isolamento de acordo com a temperatura	17
Figura 7 - Gráfico de controle típico	18
Figura 8 - Gráfico de controle indicando processo sob controle.....	19
Figura 9 - Gráfico de controle indicando processo fora de controle	20
Figura 10 - Páquímetros utilizados nas medições	23
Figura 11 – Gráfico \bar{x} do processo	26
Figura 12 - Gráfico R do processo	27

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Resultado das medições	24
Tabela 2 - Análise do calço de prensagem	28
Tabela 3 - Análise do número de cabos.....	30
Tabela 4 - Análise classe de isolamento.....	32
Tabela 5 - Análise do tipo de fio	34
Tabela 6 - Análise fator de enchimento.....	35
Tabela 7 - Análise número de polos	37
Tabela 8 - Comparação dos resultados	40

1 Introdução

Entre os motores trifásicos e monofásicos de corrente alternada, o motor de indução é o mais amplamente usado. Isto se deve a sua robustez, simplicidade de funcionamento, pouca manutenção e à circunstância de suas características de funcionamento adaptarem-se perfeitamente às exigências do trabalho a velocidade praticamente constante. [01]

Um dos maiores problemas na utilização do motor de indução são os problemas acarretados no processo de bobinamento dos mesmos durante sua produção.

Especificamente nos motores de fabricação da empresa WEG, sabe-se por experiência que os problemas de bobinamento ocorridos pelo não cumprimento da norma de tamanho de cabeça de bobina ocorrem, principalmente nos motores de carcaça tamanho 112, de 2 e 4 polos.

Portanto, para tentar minimizar esses problemas e aumentar a produtividade e qualidade dos produtos da empresa, é realizado um estudo proposto neste trabalho.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é apresentar os resultados dos estudos realizados sobre as variáveis de produto que influenciam no tamanho do dimensional de cabeça de bobina dos motores WEG carcaça 112 2 e 4 polos. O estudo é feito de forma teórica e experimental

1.2 Objetivos específicos

Para a realização desse estudo, são necessários:

- Verificar quais são as variáveis de produto que influenciam no dimensional de cabeça de bobina;
- Realizar as medidas de diâmetro interno, externo e altura da cabeça de bobina de cada caso;
- Utilizar o método de controle estatístico de processos (CEP) para verificar quais são as variáveis de produto que mais interferem no dimensional de cabeça de bobina;

2 *Fundamentos Teóricos*

2.1 **WEG**

A WEG S.A é uma empresa multinacional brasileira com sede na cidade de Jaraguá do Sul – SC. A empresa é uma das maiores fabricantes de equipamentos elétricos do mundo, atuando nas áreas de comando e proteção, variação de velocidade, automação de processos industriais, geração e distribuição de energia e tintas e vernizes industriais, entre outros produtos [10].

A WEG S.A é dividida em 5 empresas, que são:

- Weg Motores
- Weg Automação
- Weg Energia
- Weg Transmissão & Distribuição
- Weg Tintas

Este trabalho é realizado na Weg Motores localizada na sede da empresa em Jaraguá do Sul – SC, mais especificamente na linha de bobinamento da fabrica IV. A fábrica IV da WEG Motores é a responsável pela produção dos motores de carcaça tamanho 100 até 132.

As dimensões dos motores elétricos WEG são padronizadas de acordo com a ABNT NBR-15623, a qual acompanha a *International Electrotechnical Commission – IEC – 60072*. Nestas normas a dimensão básica para a padronização das dimensões de montagem de máquinas elétricas girantes é a altura do plano da base ao centro da ponta do eixo, denominado pela letra H para a ABNT, e a letra D para a IEC [8], como mostrado na figura 1.

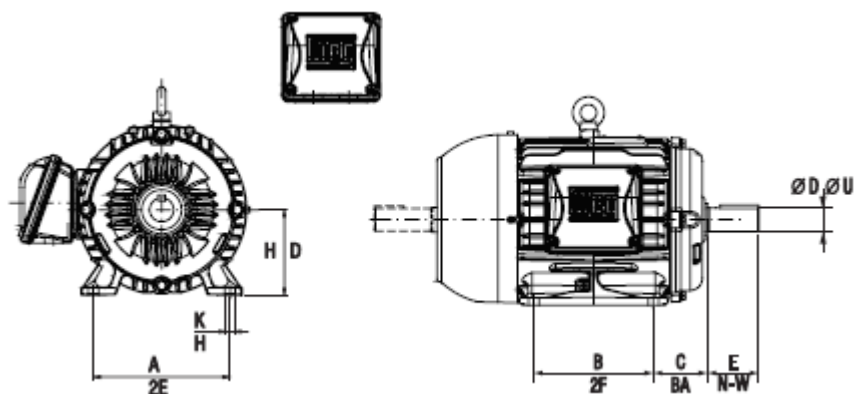


Figura 1 - Representação das dimensões dos motores WEG

Na fábrica IV da Weg Motores, boa parte dos estatores bobinados de carcaça 112 não atingem o dimensional de cabeça de bobina ideal após a operação de prensagem final na linha de bandagem. A especificação do dimensional de cabeça de bobina segue a norma interna TBG-0176, mostrada nas figuras 2 e 3. A letra A representa o diâmetro interno do estator bobinado, a letra B representa o diâmetro externo e as letras C e F representam a altura de cabeça de bobina, onde a letra F é a altura no lado que se encontra os cabos de ligação, e a letra C representa a altura do outro lado [11].

REPRESENTAÇÃO DAS DIMENSÕES

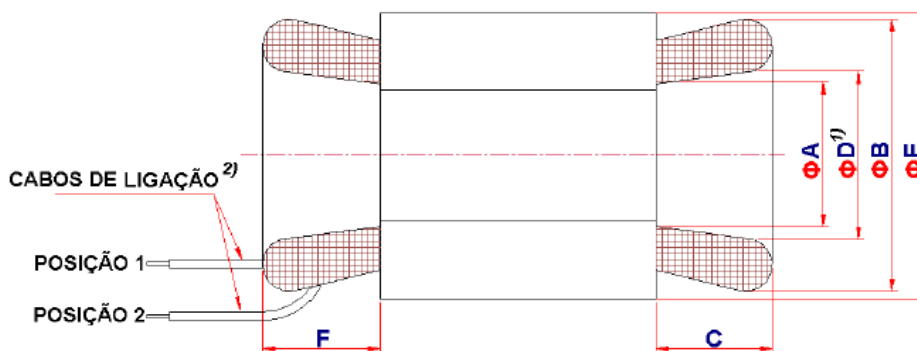


Figura 2 - Representação das dimensões do estator bobinado

CARCAÇA ABNT/IEC (NEMA)	Nº DE POLOS	A MÍN. (mm)	B MÁX. (mm)	C e F MÁX. (mm)
112 (182/184 T)	II	106	172	45
	IV	121	172	45
	VI	131	172	45
	VIII	131	172	45

Figura 3 - Norma interna para os estatores de carcaça tamanho 112

O diâmetro interno abaixo da especificação pode gerar arraste do rotor ou do anel de fixação do rolamento. O diâmetro externo acima da especificação, a bobina pode encostar na carcaça, gerando passagem de corrente para a massa e pode não permitir a passagem dos cabos

de ligação. A altura acima da especificação pode gerar o encosto da bobina na tampa da carcaça, causando passagem de corrente para a massa.

2.2 Variáveis de Produto

2.2.1 Fator de Enchimento

O fator de enchimento é a taxa de utilização da ranhura do estator, ou seja, a quantidade de fios e isolantes possíveis de serem inseridos na ranhura, sem comprometer a qualidade do bobinado. Sabe-se que quanto maior o fator de enchimento, mais difícil de atingir a especificação da norma para o dimensional de cabeça de bobina [9]. Existem dois métodos para definir o fator de enchimento:

➤ Método 1:

O método 1 considera apenas a área ocupada pelo fio de cobre, sem considerar todos os isolantes envolvidos no processo. A ranhura sem os isolantes é vista na figura 4.



Figura 4 - Ranhura sem os isolantes

$$Fe1 = \frac{\text{Seção fio nú} \times n^{\circ} \text{ fios em paralelo} \times n^{\circ} \text{ espiras}}{\text{Area total da ranhura}} \quad (1)$$

➤ Método 2:

O método 2 considera todos os materiais envolvidos no processo, inclusive o revestimento do fio. Além disso, este método considera apenas a área útil da ranhura. A ranhura com os isolantes é mostrada na figura 5.



Figura 5 - Ranhura com os isolantes

$$Fe2 = \frac{\text{Seção total do fio} \times n^{\circ} \text{ fios em paralelo} \times n^{\circ} \text{ espiras}}{\text{Area útil da ranhura}} \quad (2)$$

2.2.2 Material do fio

Na Weg Motores, é utilizado dois tipos de fios para a confecção do bobinado, são eles o Cobre (Cu) e o alumínio (Al). Sabe-se que o fio de Cu tem um efeito mola maior que o fio de Al, isto é, quando o fio de Cu é submetido a uma conformação, ele tende a voltar para sua posição inicial. Assim, quando é utilizado o fio de Cu, tem-se uma maior dificuldade para atingir a especificação.

2.2.3 Classe de Isolantes

Os isoladores são amplamente empregados no processo de bobinagem e constituem um dos elementos mais importante do bobinado, uma vez que influenciam diretamente na vida útil do motor elétrico [9].

Os isoladores se dividem em classes térmicas, que são estabelecidas através de ensaios de resistência à temperatura por longo período de tempo. Segundo as principais normas, os materiais isolantes são classificados de acordo com a figura 6.

Os motores WEG carcaça 112 utilizam 2 tipos de isolantes, os de classe F e classe H. Os materiais classe F apresentam uma espessura menor e são mais maleáveis, por isso, os bobinados utilizando o material classe F tendem a atingir a especificação mais facilmente se comparado com os bobinados utilizando classe H.

TEMPERATURA MÁXIMA	CLASSES DE TEMPERATURA	
	IEC 85 <small>(International Electrotechnical Commission)</small>	UL 1446 <small>(Under Writer Laboratories)</small>
90°C	Y (90°C)	---
105°C	A (105°C)	---
120°C	E (120°C)	120 (E)
130°C	B (130°C)	130 (B)
155°C	F (155°C)	155 (F)
180 °C	H (180°C)	180 (H)
200°C	200 (200°C)	200 (N)
220°C	220 (220°C)	220 (R)
240°C	---	240 (S)
250°C	250 (250°C)	acima 240°C

Figura 6 - Classes de isolamento de acordo com a temperatura

2.2.4 Numero de cabos de ligação

Para motores trifásicos, a quantidade de cabos varia em função da tensão de ligação do motor, podendo o mesmo admitir mais de uma tensão [8]. As ligações mais comuns para os motores trifásicos são: (Y para ligação em estrela, D para ligação em delta, YY para estrela em paralelo e DD para delta em paralelo)

- 12 cabos (Y/D/YY/DD) – 4 tensões (220/380/440/760V)
- 9 cabos (Y/YY) – 2 tensões (380/760V)
- 9 cabos (D/DD) – 2 tensões (220/440V)
- 6 cabos (Y/D) – 2 tensões (220/380V)
- 3 cabos (Y) – 1 tensão (380V)
- 3 cabos (D) – 1 tensão (220V)

Os motores WEG 112, 2 e 4 polos, utilizam 6 ou 12 cabos de ligação, dependendo da especificação do cliente. Sabe-se que quanto maior o número de cabos de ligação, maior é o volume de cabeça de bobina, sendo maior a dificuldade para atingir a especificação.

2.3 Análises estatística do processo

Os métodos estatísticos começaram a serem utilizados nos processos industriais com a finalidade de garantir a qualidade dos produtos, surgidos após a Revolução Industrial [3]. Desde então a estatística é empregada em diversas situações dentro das empresas e quando bem aplicada é extremamente importante para o alcance da excelência corporativa.

O controle estatístico do processo (CEP) é um conjunto de ferramentas de resolução de problemas que visam obter estabilidade dos processos e melhoria da capacidade através da redução da variabilidade [2]. O objetivo do CEP é fazer com que o processo produtivo seja realizado de forma eficaz, diminuindo custos, elevando a qualidade, a produtividade e a competitividade da empresa no mercado [4].

Por um lado tem-se que a variabilidade estará sempre presente nos processos e por outro também pode-se afirmar que “Qualidade é inversamente proporcional a variabilidade” [2]. Portanto, as atenções nos processos produtivos se devem voltar para o controle e a redução da variabilidade, já que isso implica na redução de produtos defeituosos produzidos.

A redução da variabilidade dos processos envolve a coleta, processamento e disposição de dados de interesse. Dessa forma, as causas fundamentais de variação poderão ser identificadas, analisadas e bloqueadas [2].

2.3.1 Introdução aos gráficos de controle

O gráfico de controle é uma técnica de monitoração em tempo real (online) do processo que tem a capacidade de distinguir causas especiais de causas comuns [5]. Além disso, os gráficos de controle também podem ser utilizados para estimar parâmetros de um processo, os quais poderão ser utilizados para calcular a capacidade do processo de atingir as especificações [2]. Um gráfico de controle típico é mostrado na figura 7.

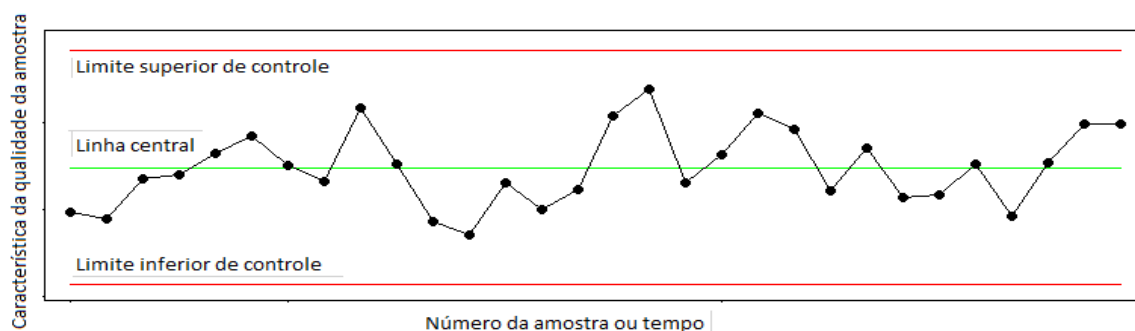


Figura 7 - Gráfico de controle típico

Como observado na figura 7, o gráfico de controle típico possui no eixo horizontal o número de amostra ou tempo e no eixo vertical a característica da qualidade da amostra. Possui também uma linha central (LC), que representa o valor médio da característica da qualidade correspondendo ao estado sob controle, e as linhas horizontais são chamadas de limite superior de controle (LSC) e o limite inferior de controle (LIC) [6].

Em geral, quando todos os pontos plotados no gráfico estiverem entre LSC e LIC, dizemos que o processo está sob controle estatístico e nenhuma ação é necessária [2]. Nesse caso, apenas causas comuns ou aleatórias estão presentes no processo.

Na figura 8, pode-se visualizar os pontos amostrais, os limites de controle e nota-se a partir da figura 8 que o processo está sob controle, visto que nenhum ponto está fora dos limites superior e inferior do controle.

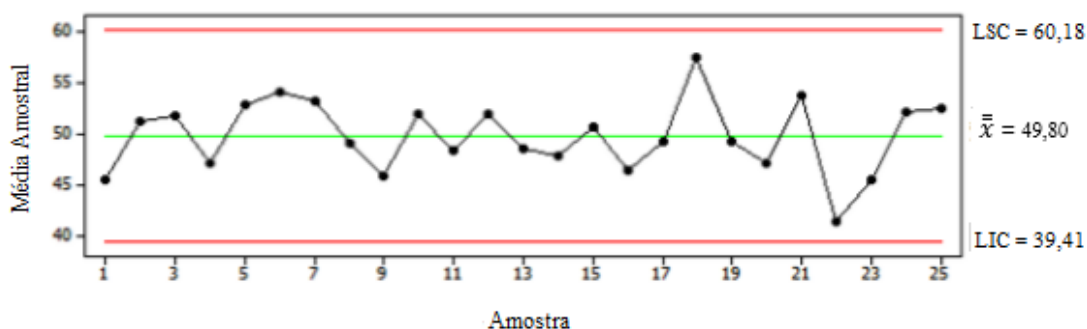


Figura 8 - Gráfico de controle indicando processo sob controle

Entretanto, quando um ou mais pontos excedem os limites de controle, o processo está fora de controle estatístico. As causas especiais responsáveis pelo comportamento fora de controle de um gráfico, é de responsabilidade de quem está usando o gráfico de controle. Este deve identificar a causa-raiz subjacente, responsável pela condição de fora de controle, desenvolver e implantar a ação corretiva [5]. A figura 9 apresenta um processo que está fora de controle estatístico.

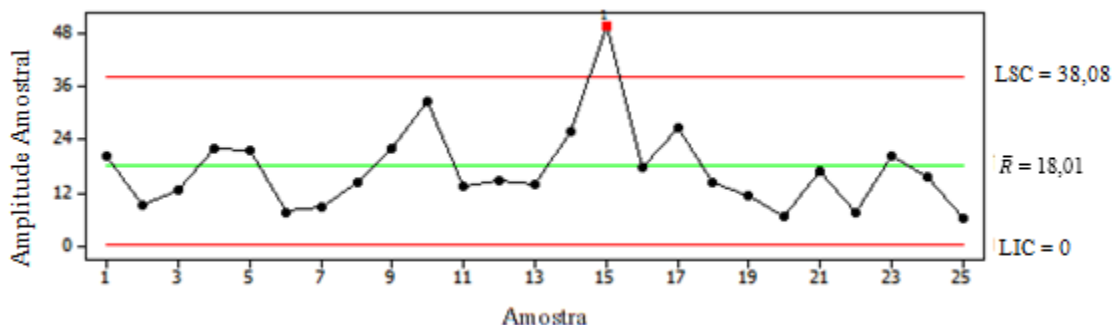


Figura 9 - Gráfico de controle indicando processo fora de controle

Observa-se que a amostra 15 está acima do LSC.

Considerando a estatística T de uma amostra que mede alguma característica da qualidade de interesse, tem-se:

$$LSC = \mu_t + k\sigma_t$$

$$LC = \mu_t$$

$$LIC = \mu_t - k\sigma_t$$

Em que, μ_t é a média de T , σ_t é o desvio-padrão de T e k é a distância dos limites de controle a partir de uma linha central, expressa em unidades de desvio-padrão (geralmente $k = 3$)

Quando lidamos com uma característica de qualidade que pode ser expressa como uma medida, é costume monitorar tanto o valor médio da característica de qualidade quanto sua variabilidade. Assim, quando analisamos a média de alguma variável também devemos analisar a amplitude [7].

O gráfico \bar{x} , é um gráfico de controle para variáveis que analisa a constância na variação da média do processo. O gráfico R , é um gráfico que analisa a constância na variação do desvio padrão do processo (variabilidade do processo). Portanto, os dois gráficos devem ser utilizados juntos, um para analisar a variação média do processo (gráfico \bar{x}) e o outro para analisar a variação do processo (gráfico R).

2.3.2 Conceito de Processo

Um processo é um método físico de se realizar um determinado trabalho, o qual se desenvolve durante um certo intervalo de tempo, geralmente envolvendo um certo número de fases ou operações. Um processo é constituído de um número diferente de fatores ou variáveis.

Essas variáveis incluem a matéria prima, método, máquinas ou equipamentos, a habilidade do operador, equipamentos de avaliação e competência para se realizar essas avaliações. Outras importantes variáveis ou fatores poderão também entrar como parte do processo, tais como custos, meio ambiente, atitude, etc. Todo processo apresenta algum tipo de variação. As variações presentes no processo são basicamente de duas categorias:

- Variações aleatórias (também chamadas de causas aleatórias ou causas normais), as que ocorrem apenas por acaso.
- Variações específicas (também chamadas de causas não aleatórias ou causas especiais), as que ocorrem devido a causas que podem ser identificadas.

Apenas as causas aleatórias devem estar presentes em um processo, desde que elas representam a quantidade mínima possível de variação. Geralmente uma causa aleatória de variação não poderá ser removida economicamente do processo. Como exemplos de causas aleatórias de variação, podemos citar o erro humano na ajustagem de controles em máquinas e equipamentos, pequenas variações apresentadas nas matérias primas, pequenas vibrações em equipamentos e máquinas, etc.

As variações específicas ou determinadas podem ser detectadas, sendo geralmente economicamente justificada a tomada de medidas visando sua eliminação. Como exemplos de causas específicas de variação podem-se citar os erros causados pelos operadores, uma má ajustagem de equipamentos ou máquinas, um lote defeituoso de matéria prima. Qualquer tipo de causa específica poderá resultar em um elevado nível de variação, e consiste apenas de um ou de poucos casos individuais.

O processo não estará operando em seu nível ótimo se estiverem presentes causas específicas ou identificáveis de variação. Agora, quando apenas causas aleatórias de variação estiverem presentes, o processo estará então operando em seu nível ótimo. No caso de se estar produzindo ainda itens ou peças defeituosas, deveremos revisar as especificações ou mesmo promover uma mudança básica no processo, afim de reduzirmos o número de peças defeituosas sendo produzidas.

Qualquer ponto fora dos limites de variação especificados no gráfico de controle que está sendo utilizado significa que na maioria das vezes o processo necessita ser investigado e corrigido.

Os pontos ou observações dentro dos limites de controle da variação aleatória permitida significa que o processo não deve ser ajustado. Precisamos de ter um processo suficientemente estável para utilizarmos práticas de amostragem, afim de, prevermos a qualidade da produção total, ou para desenvolvermos estudos de otimização do processo. Isso não é possível com a presença de causas específicas de variação. Apenas com a presença de causas aleatórias de variação poderá o processo estar suficientemente estável de modo a permitir a realização desses estudos.

Geralmente dizemos que o processo se encontra em um estado de controle estatístico, ou simplesmente “sob controle”, quando o processo estiver operando sem a presença de nenhuma causa específica de variação. Considerando que o termo “sob controle” significa o mínimo possível de variação no processo, deveremos desenvolver um gráfico central de análise e promover, se possível, a eliminação do processo de todas as causas específicas de variação.

3 *Desenvolvimento*

3.1 *Seleção da amostragem*

Além das 4 variáveis de produto discutidas na seção 2.2, são analisadas mais 2 variáveis. Pela experiência na fábrica, constata-se os fatores que interferem diretamente no dimensional de cabeça de bobina são o número de pólos (II ou IV pólos) e o calço de prensagem na conformação final de cabeça de bobina (47 ou 50 mm).

Com isso, foram analisadas 6 variáveis no total, resultando em 64 amostras a serem medidas e posteriormente, utilizando as metodologias de controle de processo discutidas em 2.3, determinar quais dessas variáveis mais interferem no dimensional de cabeça de bobina.

3.2 *Medição*

Pela própria experiência de montagem da fábrica, sabe-se que o lado dos cabos é o que apresenta as maiores dimensões de cabeça de bobina. Desta forma as medições são realizadas somente no lado dos cabos. Para cada dimensão é utilizado um tipo diferente de paquímetro, conforme mostrado na figura 10.



Figura 10 - Páquímetros utilizados nas medições

Também, a cabeça de bobina não é uniforme, tendo mais volume no ponto onde se encontra os cabos de ligação, assim, é considerado válido realizar a medição neste ponto, e em um ponto distante de 90°, onde a dimensão final considerada foi a média simples desses 2 pontos. Os resultados das medições são apresentados na tabela 1, onde os resultados fora das especificações são sombreados em vermelho.

Tabela 1 - Resultado das medições

Polaridade	Enchimento	Tipo de fio	Classe de Isolamento	Número de Cabos	Calço de Prensagem	Altura	Diâmetro Interno	Diâmetro Externo
II	0,7	AL	H	6	47mm	47	114,3	164,3
II	0,7	AL	H	6	50mm	45,3	116,11	165,452
II	0,7	AL	H	12	47mm	50,4	109,45	164,87
II	0,7	AL	H	12	50mm	50,9	110,56	164,64
II	0,7	AL	F	6	47mm	43,8	112,49	162,12
II	0,7	AL	F	6	50mm	45	111,58	164,14
II	0,7	AL	F	12	47mm	46,1	112,29	165,11
II	0,7	AL	F	12	50mm	46,7	112,54	165,6
II	0,7	Cu	H	6	47mm	46,8	113,69	168,6
II	0,7	Cu	H	6	50mm	47,4	113,52	166,72
II	0,7	Cu	H	12	47mm	47,3	112,2	164,72
II	0,7	Cu	H	12	50mm	48,7	110,93	166,78
II	0,7	Cu	F	6	47mm	49,63	112,44	166,05
II	0,7	Cu	F	6	50mm	48,4	111,13	165,09
II	0,7	Cu	F	12	47mm	51	110,7	162,33
II	0,7	Cu	F	12	50mm	49,9	112,12	164,79
II	0,74	AL	H	6	47mm	46,3	112,71	164,42
II	0,74	AL	H	6	50mm	47,7	110,92	163,48
II	0,74	AL	H	12	47mm	43,5	111,01	162,85
II	0,74	AL	H	12	50mm	47	111,09	161,7
II	0,74	AL	F	6	47mm	44,5	109,42	162,49
II	0,74	AL	F	6	50mm	47,1	110,28	161,76
II	0,74	AL	F	12	47mm	44	109,91	162,82
II	0,74	AL	F	12	50mm	44,8	110,65	162,07
II	0,74	Cu	H	6	47mm	45,7	114,31	168,31
II	0,74	Cu	H	6	50mm	47,1	114,18	168,45
II	0,74	Cu	H	12	47mm	49,7	110,94	166,26
II	0,74	Cu	H	12	50mm	49,5	111,59	165,3
II	0,74	Cu	F	6	47mm	47,5	111,14	165,77
II	0,74	Cu	F	6	50mm	48,7	109,45	167,7
II	0,74	Cu	F	12	47mm	48,5	109,89	167,21
II	0,74	Cu	F	12	50mm	49,6	110,29	165,06
IV	0,7	AL	H	6	47mm	43,8	124,69	160,66

IV	0,7	AL	H	6	50mm	46,5	124,25	163
IV	0,7	AL	H	12	47mm	44	124,44	163,55
IV	0,7	AL	H	12	50mm	46,3	123,7	163
IV	0,7	AL	F	6	47mm	44,2	124,65	160,44
IV	0,7	AL	F	6	50mm	46,8	124,58	161,46
IV	0,7	AL	F	12	47mm	41,5	123,44	160,5
IV	0,7	AL	F	12	50mm	43,5	123,29	160,13
IV	0,7	Cu	H	6	47mm	47,4	123,92	162,88
IV	0,7	Cu	H	6	50mm	48,2	123,37	162,31
IV	0,7	Cu	H	12	47mm	42,8	124,85	164,41
IV	0,7	Cu	H	12	50mm	46,2	124,82	164,16
IV	0,7	Cu	F	6	47mm	45,6	124,1	163,15
IV	0,7	Cu	F	6	50mm	48,5	123,3	162,03
IV	0,7	Cu	F	12	47mm	46,7	124,94	164,46
IV	0,7	Cu	F	12	50mm	47	123,05	162,22
IV	0,74	AL	H	6	47mm	46	124,31	163,23
IV	0,74	AL	H	6	50mm	46,3	123,69	162,68
IV	0,74	AL	H	12	47mm	45,1	124,11	163,78
IV	0,74	AL	H	12	50mm	47,3	124,35	164,43
IV	0,74	AL	F	6	47mm	44,5	123,8	162,37
IV	0,74	AL	F	6	50mm	45	124,28	163,35
IV	0,74	AL	F	12	47mm	44,9	122,98	163,09
IV	0,74	AL	F	12	50mm	45,5	124,93	163,23
IV	0,74	Cu	H	6	47mm	46,9	123,06	163,02
IV	0,74	Cu	H	6	50mm	48,1	122,56	163,21
IV	0,74	Cu	H	12	47mm	45,1	124,35	166,12
IV	0,74	Cu	H	12	50mm	46,7	123,15	164,91
IV	0,74	Cu	F	6	47mm	48,2	122,5	163,5
IV	0,74	Cu	F	6	50mm	46,6	124,47	164,63
IV	0,74	Cu	F	12	47mm	44,7	125,12	163,92
IV	0,74	Cu	F	12	50mm	46,7	122,83	163,26

4 Resultados e Discussões

Como pode ser observado a partir da tabela 1, das 64 amostras, nenhuma apresentou problema nos dimensionais do diâmetro externo e do diâmetro interno, com todas as amostras compreendidas dentro da especificação. Já a altura da cabeça de bobina, teve 48 amostras das 60 com o dimensional de cabeça de bobina fora da especificação, equivalente a 80% das amostras. Assim, a análise do estudo se restringiu à altura de cabeça de bobina, que é o dimensional que está fora de controle.

4.1 Gráficos de Controle

Com os dados obtidos das amostras, é possível plotar os gráficos de controle, de acordo com o item 2.3.1. A figuras 11 e 12 mostram, respectivamente, os gráficos de \bar{x} do processo e o gráfico R .

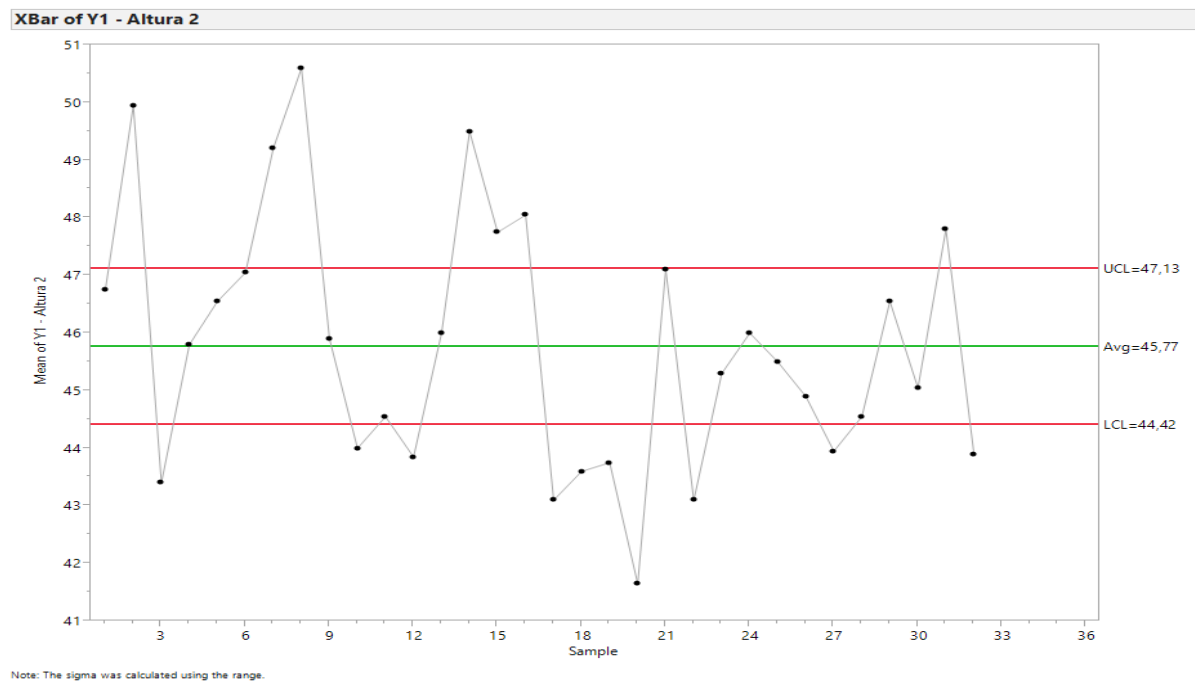
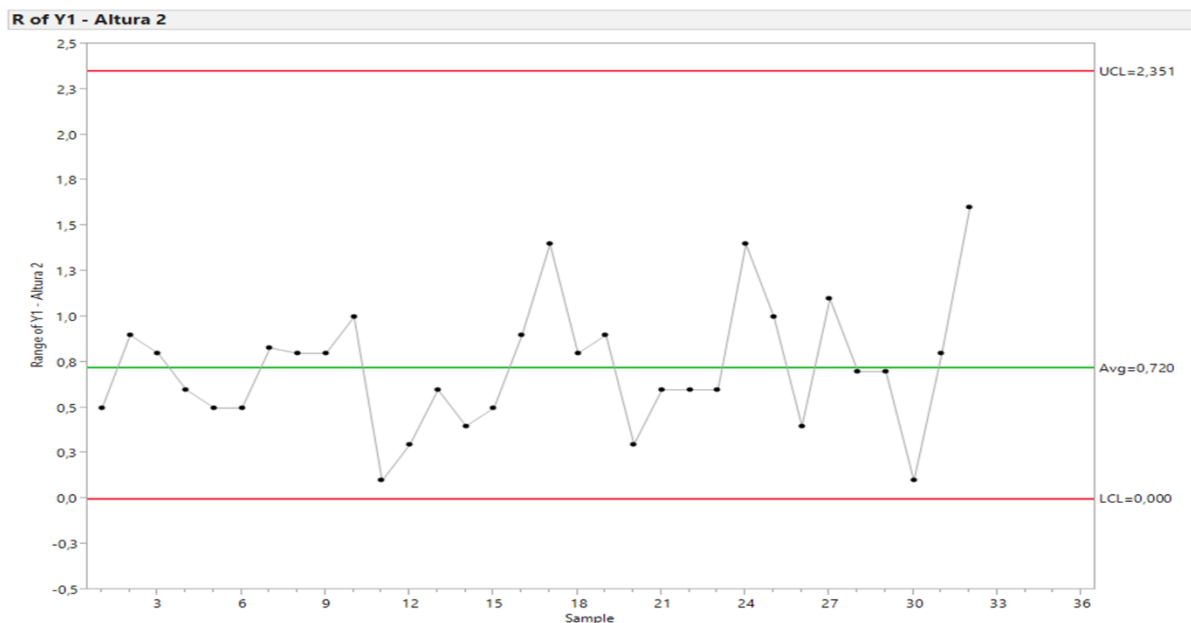


Figura 11 – Gráfico \bar{x} do processo

Figura 12 - Gráfico **R** do processo

Observa-se na figura 11, vários pontos fora dos limites inferior e superior de controle. Se houver um ou mais pontos fora dos limites de controle, tem-se um processo fora de controle. Conclui-se então que o processo de bobinamento dos motores carcaça tamanho 112 II e IV polos em relação ao dimensional de cabeça de bobina está fora de controle estatístico.

Analisando o gráfico *R* da figura 12, pode-se perceber que todos os pontos estão dentro dos limites de controle. Isso significa que, apesar do processo está fora de controle, a variabilidade das medidas está dentro dos limites de controle. Tal fato demonstra que a diferença de tamanho de cabeça de bobina entre os dois pontos de medição está sobre controle. Pode-se dizer assim que a altura de cabeça de bobina está “uniforme” para o mesmo estator bobinado.

4.2 **Análise das variáveis de produto.**

Depois da análise em 4.1, percebe-se que o processo está fora de controle, deve-se então analisar quais variáveis de produto interferem mais no dimensional de cabeça de bobina antes de fazer qualquer interferência no processo.

4.2.1 Interferência do calço de prensagem

Primeiro, foi analisado a interferência do calço de prensagem no dimensional de cabeça de bobina. Para isso, foi pegado a diferença das medidas (50mm – 47mm) do mesmo estator utilizando prensagem diferente, e depois pegado a média dessas diferenças, como pode ser visto na tabela 2

Tabela 2 - Análise do calço de prensagem

Peça	Polaridade	Enchimento	Tipo de fio	Classe de Isolamento	Número de Cabos	Calço de Prensagem	Altura	Análise Calço
1	II	0,7	AL	H	6	47mm	47	-1,7
2	II	0,7	AL	H	6	50mm	45,3	
3	II	0,7	AL	H	12	47mm	50,4	0,5
4	II	0,7	AL	H	12	50mm	50,9	
5	II	0,7	AL	F	6	47mm	43,8	1,6
6	II	0,7	AL	F	6	50mm	45	
7	II	0,7	AL	F	12	47mm	46,1	0,6
8	II	0,7	AL	F	12	50mm	46,7	
9	II	0,7	Cu	H	6	47mm	46,8	0,6
10	II	0,7	Cu	H	6	50mm	47,4	
11	II	0,7	Cu	H	12	47mm	47,3	1,4
12	II	0,7	Cu	H	12	50mm	48,7	
13	II	0,7	Cu	F	6	47mm	49,6	-1,2
14	II	0,7	Cu	F	6	50mm	48,4	
15	II	0,7	Cu	F	12	47mm	51	-1,1
16	II	0,7	Cu	F	12	50mm	49,9	
17	II	0,74	AL	H	6	47mm	46,3	1,4
18	II	0,74	AL	H	6	50mm	47,7	
19	II	0,74	AL	H	12	47mm	43,5	5,0
20	II	0,74	AL	H	12	50mm	47	
21	II	0,74	AL	F	6	47mm	44,5	2,7
22	II	0,74	AL	F	6	50mm	47,1	
23	II	0,74	AL	F	12	47mm	44	2,7
24	II	0,74	AL	F	12	50mm	44,8	
25	II	0,74	Cu	H	6	47mm	45,7	0,3
26	II	0,74	Cu	H	6	50mm	47,1	
27	II	0,74	Cu	H	12	47mm	49,7	-0,2

28	II	0,74	Cu	H	12	50mm	49,5	
29	II	0,74	Cu	F	6	47mm	47,5	1,6
30	II	0,74	Cu	F	6	50mm	48,7	
31	II	0,74	Cu	F	12	47mm	48,5	1,1
32	II	0,74	Cu	F	12	50mm	49,6	
33	IV	0,7	AL	H	6	47mm	43,8	2,7
34	IV	0,7	AL	H	6	50mm	46,5	
35	IV	0,7	AL	H	12	47mm	44	2,3
36	IV	0,7	AL	H	12	50mm	46,3	
37	IV	0,7	AL	F	6	47mm	44,2	2,6
38	IV	0,7	AL	F	6	50mm	46,8	
39	IV	0,7	AL	F	12	47mm	41,5	1,7
40	IV	0,7	AL	F	12	50mm	43,5	
41	IV	0,7	Cu	H	6	47mm	47,4	0,8
42	IV	0,7	Cu	H	6	50mm	48,2	
43	IV	0,7	Cu	H	12	47mm	42,8	2,7
44	IV	0,7	Cu	H	12	50mm	46,2	
45	IV	0,7	Cu	F	6	47mm	45,6	2,9
46	IV	0,7	Cu	F	6	50mm	48,5	
47	IV	0,7	Cu	F	12	47mm	46,7	1,2
48	IV	0,7	Cu	F	12	50mm	47	
49	IV	0,74	AL	H	6	47mm	46	0,3
50	IV	0,74	AL	H	6	50mm	46,3	
51	IV	0,74	AL	H	12	47mm	45,1	2,2
52	IV	0,74	AL	H	12	50mm	47,3	
53	IV	0,74	AL	F	6	47mm	44,5	0,5
54	IV	0,74	AL	F	6	50mm	45	
55	IV	0,74	AL	F	12	47mm	44,9	0,6
56	IV	0,74	AL	F	12	50mm	45,5	
57	IV	0,74	Cu	H	6	47mm	46,9	1,2
58	IV	0,74	Cu	H	6	50mm	48,1	
59	IV	0,74	Cu	H	12	47mm	45,1	1,6
60	IV	0,74	Cu	H	12	50mm	46,7	
61	IV	0,74	Cu	F	6	47mm	48,2	-1,6
62	IV	0,74	Cu	F	6	50mm	46,6	
63	IV	0,74	Cu	F	12	47mm	44,7	2,0
64	IV	0,74	Cu	F	12	50mm	46,7	
							MEDIA TOTAL	1,2
							% Em Relação a Norma	2,7%

. O resultado foi que utilizando o calço de prensagem de 50mm, obtemos em média uma altura de cabeça de bobina 1,2mm maior do que se for utilizado um calço de prensagem de 47mm. Em relação a norma, essa altura de 1,2mm representa uma diferença de 2,7%.

4.2.2 Interferência do número de cabos

Para a análise da interferência do número de cabos, utilizou-se o mesmo processo de 4.2.1, onde foi pego a média da altura para o mesmo produto, e depois foi pego a diferença entre a altura da cabeça de bobina para a diferença dos números de cabos (12 cabos – 6 cabos), como mostrado na tabela 3.

Tabela 3 - Análise do número de cabos

Peça	Polaridade	Enchimento	Tipo de fio	Classe de Isolamento	Número de Cabos	Altura	Média Altura	Análise número de cabos
1	II	0,7	AL	H	6	47	46,2	4,5
2	II	0,7	AL	H	6	45,3		
3	II	0,7	AL	H	12	50,4	50,7	
4	II	0,7	AL	H	12	50,9		
5	II	0,7	AL	F	6	43,8	44,4	2,0
6	II	0,7	AL	F	6	45		
7	II	0,7	AL	F	12	46,1	46,4	
8	II	0,7	AL	F	12	46,7		
9	II	0,7	Cu	H	6	46,8	47,1	0,9
10	II	0,7	Cu	H	6	47,4		
11	II	0,7	Cu	H	12	47,3	48,0	
12	II	0,7	Cu	H	12	48,7		
13	II	0,7	Cu	F	6	49,6	49,0	1,5
14	II	0,7	Cu	F	6	48,4		
15	II	0,7	Cu	F	12	51	50,5	
16	II	0,7	Cu	F	12	49,9		
17	II	0,74	AL	H	6	46,3	47,0	-1,8
18	II	0,74	AL	H	6	47,7		
19	II	0,74	AL	H	12	43,5	45,3	
20	II	0,74	AL	H	12	47		
21	II	0,74	AL	F	6	44,5	45,8	-1,4
22	II	0,74	AL	F	6	47,1		
23	II	0,74	AL	F	12	44	44,4	
24	II	0,74	AL	F	12	44,8		
25	II	0,74	Cu	H	6	45,7	46,4	3,2
26	II	0,74	Cu	H	6	47,1		

27	II	0,74	Cu	H	12	49,7	49,6	0,9
28	II	0,74	Cu	H	12	49,5		
29	II	0,74	Cu	F	6	47,5	48,1	
30	II	0,74	Cu	F	6	48,7		
31	II	0,74	Cu	F	12	48,5	49,1	
32	II	0,74	Cu	F	12	49,6	0,0	
33	IV	0,7	AL	H	6	43,8		45,2
34	IV	0,7	AL	H	6	46,5		
35	IV	0,7	AL	H	12	44		45,2
36	IV	0,7	AL	H	12	46,3		
37	IV	0,7	AL	F	6	44,2	45,5	-3,0
38	IV	0,7	AL	F	6	46,8		
39	IV	0,7	AL	F	12	41,5	42,5	
40	IV	0,7	AL	F	12	43,5		
41	IV	0,7	Cu	H	6	47,4	47,8	-3,3
42	IV	0,7	Cu	H	6	48,2		
43	IV	0,7	Cu	H	12	42,8	44,5	
44	IV	0,7	Cu	H	12	46,2	-0,2	
45	IV	0,7	Cu	F	6	45,6		47,1
46	IV	0,7	Cu	F	6	48,5		
47	IV	0,7	Cu	F	12	46,7		46,9
48	IV	0,7	Cu	F	12	47	0,1	
49	IV	0,74	AL	H	6	46		46,2
50	IV	0,74	AL	H	6	46,3		
51	IV	0,74	AL	H	12	45,1		46,2
52	IV	0,74	AL	H	12	47,3		
53	IV	0,74	AL	F	6	44,5	44,8	0,5
54	IV	0,74	AL	F	6	45		
55	IV	0,74	AL	F	12	44,9	45,2	
56	IV	0,74	AL	F	12	45,5	-1,6	
57	IV	0,74	Cu	H	6	46,9		47,5
58	IV	0,74	Cu	H	6	48,1		
59	IV	0,74	Cu	H	12	45,1		45,9
60	IV	0,74	Cu	H	12	46,7	-1,7	
61	IV	0,74	Cu	F	6	48,2		47,4
62	IV	0,74	Cu	F	6	46,6		
63	IV	0,74	Cu	F	12	44,7		45,7
64	IV	0,74	Cu	F	12	46,7	MEDIA TOTAL	0,03
								% Em Relação a Norma

O resultado foi que utilizando 12 cabos, temos um aumento na altura de cabeça de bobina em média de 0,03mm, praticamente não tendo interferência na altura de cabeça de bobina. Em relação a norma, essa diferença é de aproximadamente 0,1%.

4.2.3 Interferência da classe de isolamento

Seguindo o mesmo modelo dos itens anteriores, foi analisado a interferência da classe de isolamento na altura de cabeça de bobina, como mostrado na tabela 4.

Tabela 4 - Análise classe de isolamento

Peça	Polaridade	Enchimento	Tipo de fio	Classe de Isolamento	Altura	Média Altura	Análise Classe Isolamento	
1	II	0,7	AL	H	47	48,4	-3,0	
2	II	0,7	AL	H	45,3			
3	II	0,7	AL	H	50,4			
4	II	0,7	AL	H	50,9			
5	II	0,7	AL	F	43,8	45,4		
6	II	0,7	AL	F	45			
7	II	0,7	AL	F	46,1			
8	II	0,7	AL	F	46,7			
9	II	0,7	Cu	H	46,8	47,6	2,2	
10	II	0,7	Cu	H	47,4			
11	II	0,7	Cu	H	47,3			
12	II	0,7	Cu	H	48,7			
13	II	0,7	Cu	F	49,6	49,7		
14	II	0,7	Cu	F	48,4			
15	II	0,7	Cu	F	51			
16	II	0,7	Cu	F	49,9			
17	II	0,74	AL	H	46,3	46,1		-1,0
18	II	0,74	AL	H	47,7			
19	II	0,74	AL	H	43,5			
20	II	0,74	AL	H	47			
21	II	0,74	AL	F	44,5	45,1		
22	II	0,74	AL	F	47,1			
23	II	0,74	AL	F	44			
24	II	0,74	AL	F	44,8			
25	II	0,74	Cu	H	45,7	48,0	0,6	
26	II	0,74	Cu	H	47,1			
27	II	0,74	Cu	H	49,7			
28	II	0,74	Cu	H	49,5			
29	II	0,74	Cu	F	47,5			

30	II	0,74	Cu	F	48,7		
31	II	0,74	Cu	F	48,5		
32	II	0,74	Cu	F	49,6		
33	IV	0,7	AL	H	43,8	45,2	-1,2
34	IV	0,7	AL	H	46,5		
35	IV	0,7	AL	H	44		
36	IV	0,7	AL	H	46,3	44,0	
37	IV	0,7	AL	F	44,2		
38	IV	0,7	AL	F	46,8		
39	IV	0,7	AL	F	41,5	46,2	0,8
40	IV	0,7	AL	F	43,5		
41	IV	0,7	Cu	H	47,4		
42	IV	0,7	Cu	H	48,2	47,0	
43	IV	0,7	Cu	H	42,8		
44	IV	0,7	Cu	H	46,2		
45	IV	0,7	Cu	F	45,6	46,2	-1,2
46	IV	0,7	Cu	F	48,5		
47	IV	0,7	Cu	F	46,7		
48	IV	0,7	Cu	F	47		
49	IV	0,74	AL	H	46	45,0	
50	IV	0,74	AL	H	46,3		
51	IV	0,74	AL	H	45,1		
52	IV	0,74	AL	H	47,3	46,7	-0,2
53	IV	0,74	AL	F	44,5		
54	IV	0,74	AL	F	45		
55	IV	0,74	AL	F	44,9		
56	IV	0,74	AL	F	45,5	46,6	
57	IV	0,74	Cu	H	46,9		
58	IV	0,74	Cu	H	48,1		
59	IV	0,74	Cu	H	45,1	46,6	
60	IV	0,74	Cu	H	46,7		
61	IV	0,74	Cu	F	48,2		
62	IV	0,74	Cu	F	46,6		
63	IV	0,74	Cu	F	44,7	MEDIA TOTAL	-0,37
64	IV	0,74	Cu	F	46,7		

O resultado foi de que os estatores utilizando isolante classe H tem em média uma altura de cabeça de bobina 0,37mm maior do que os estatores utilizando isolante classe F.

4.2.4 Interferência do tipo de fio

Seguindo a ideia dos itens anteriores, foi analisado a interferência do tipo do fio no dimensional de cabeça de bobina, como demonstrado na tabela 5.

Tabela 5 - Análise do tipo de fio

Peça	Polaridade	Enchimento	Tipo de fio	Altura	Média Altura	Análise Tipo de fio
1	II	0,7	AL	47	46,9	1,7
2	II	0,7	AL	45,3		
3	II	0,7	AL	50,4		
4	II	0,7	AL	50,9		
5	II	0,7	AL	43,8		
6	II	0,7	AL	45		
7	II	0,7	AL	46,1		
8	II	0,7	AL	46,7		
9	II	0,7	Cu	46,8	48,6	1,7
10	II	0,7	Cu	47,4		
11	II	0,7	Cu	47,3		
12	II	0,7	Cu	48,7		
13	II	0,7	Cu	49,6		
14	II	0,7	Cu	48,4		
15	II	0,7	Cu	51		
16	II	0,7	Cu	49,9		
17	II	0,74	AL	46,3	45,6	2,7
18	II	0,74	AL	47,7		
19	II	0,74	AL	43,5		
20	II	0,74	AL	47		
21	II	0,74	AL	44,5		
22	II	0,74	AL	47,1		
23	II	0,74	AL	44		
24	II	0,74	AL	44,8		
25	II	0,74	Cu	45,7	48,3	2,7
26	II	0,74	Cu	47,1		
27	II	0,74	Cu	49,7		
28	II	0,74	Cu	49,5		
29	II	0,74	Cu	47,5		
30	II	0,74	Cu	48,7		
31	II	0,74	Cu	48,5		
32	II	0,74	Cu	49,6		
33	IV	0,7	AL	43,8	44,6	2,0
34	IV	0,7	AL	46,5		
35	IV	0,7	AL	44		
36	IV	0,7	AL	46,3		
37	IV	0,7	AL	44,2		

38	IV	0,7	AL	46,8	46,6	1,1
39	IV	0,7	AL	41,5		
40	IV	0,7	AL	43,5		
41	IV	0,7	Cu	47,4		
42	IV	0,7	Cu	48,2		
43	IV	0,7	Cu	42,8		
44	IV	0,7	Cu	46,2		
45	IV	0,7	Cu	45,6		
46	IV	0,7	Cu	48,5		
47	IV	0,7	Cu	46,7		
48	IV	0,7	Cu	47		
49	IV	0,74	AL	46	45,6	
50	IV	0,74	AL	46,3		
51	IV	0,74	AL	45,1		
52	IV	0,74	AL	47,3		
53	IV	0,74	AL	44,5		
54	IV	0,74	AL	45		
55	IV	0,74	AL	44,9		
56	IV	0,74	AL	45,5		
57	IV	0,74	Cu	46,9		
58	IV	0,74	Cu	48,1		
59	IV	0,74	Cu	45,1		
60	IV	0,74	Cu	46,7		
61	IV	0,74	Cu	48,2		
62	IV	0,74	Cu	46,6		
63	IV	0,74	Cu	44,7		
64	IV	0,74	Cu	46,7		
MÉDIA TOTAL					1,86	
% Em Relação a Norma					4,1%	

Os resultados foram que os estatores bobinados utilizando o fio de Cu apresentam em média altura de cabeça de bobina 1,86 mm maior que os estatores utilizando fio de Al.

4.3.1 Interferência do fator de enchimento

Seguindo o desenvolvimento dos itens anteriores, foi analisado a interferência do fator de enchimento no dimensional de cabeça de bobina, demonstrado na tabela 6.

Tabela 6 - Análise fator de enchimento

Peça	Polaridade	Enchimento	Altura	Média Altura	Análise Enchimento
1	II	0,7	47	47,8	-0,8
2	II	0,7	45,3		
3	II	0,7	50,4		

4	II	0,7	50,9	47,0	0,5	
5	II	0,7	43,8			
6	II	0,7	45			
7	II	0,7	46,1			
8	II	0,7	46,7			
9	II	0,7	46,8			
10	II	0,7	47,4			
11	II	0,7	47,3			
12	II	0,7	48,7			
13	II	0,7	49,6			
14	II	0,7	48,4			
15	II	0,7	51			
16	II	0,7	49,9			
17	II	0,74	46,3			
18	II	0,74	47,7			
19	II	0,74	43,5			
20	II	0,74	47			
21	II	0,74	44,5			
22	II	0,74	47,1			
23	II	0,74	44			
24	II	0,74	44,8			
25	II	0,74	45,7			
26	II	0,74	47,1			
27	II	0,74	49,7			
28	II	0,74	49,5			
29	II	0,74	47,5			
30	II	0,74	48,7			
31	II	0,74	48,5			
32	II	0,74	49,6			
33	IV	0,7	43,8			45,6
34	IV	0,7	46,5			
35	IV	0,7	44			
36	IV	0,7	46,3			
37	IV	0,7	44,2			
38	IV	0,7	46,8			
39	IV	0,7	41,5			
40	IV	0,7	43,5			
41	IV	0,7	47,4			
42	IV	0,7	48,2			
43	IV	0,7	42,8			
44	IV	0,7	46,2			
45	IV	0,7	45,6			
46	IV	0,7	48,5			
47	IV	0,7	46,7			

48	IV	0,7	47	46,1	
49	IV	0,74	46		
50	IV	0,74	46,3		
51	IV	0,74	45,1		
52	IV	0,74	47,3		
53	IV	0,74	44,5		
54	IV	0,74	45		
55	IV	0,74	44,9		
56	IV	0,74	45,5		
57	IV	0,74	46,9		
58	IV	0,74	48,1		
59	IV	0,74	45,1		
60	IV	0,74	46,7		
61	IV	0,74	48,2		
62	IV	0,74	46,6		
63	IV	0,74	44,7		
64	IV	0,74	46,7		
				MEDIA TOTAL	-0,14
				% Em Relação a Norma	0,3%

O resultado foi que os estatores bobinados utilizando fator de enchimento 0,70 tem em média altura de cabeça de bobina 0,14mm maior do que os estatores que utilizando fator de enchimento de 0,74.

4.3.1 Interferência do número de polos

Por último, tem-se a análise da interferência do número de polos no dimensional de cabeça de bobina, demonstrado na tabela 7.

Tabela 7 - Análise número de polos

Peça	Polaridade	Altura	Média Altura	Análise Enchimento
1	II	47	47,4	-1,5
2	II	45,3		
3	II	50,4		
4	II	50,9		
5	II	43,8		
6	II	45		
7	II	46,1		
8	II	46,7		
9	II	46,8		
10	II	47,4		

11	II	47,3	
12	II	48,7	
13	II	49,6	
14	II	48,4	
15	II	51	
16	II	49,9	
17	II	46,3	
18	II	47,7	
19	II	43,5	
20	II	47	
21	II	44,5	
22	II	47,1	
23	II	44	
24	II	44,8	
25	II	45,7	
26	II	47,1	
27	II	49,7	
28	II	49,5	
29	II	47,5	
30	II	48,7	
31	II	48,5	
32	II	49,6	
33	IV	43,8	
34	IV	46,5	
35	IV	44	
36	IV	46,3	
37	IV	44,2	
38	IV	46,8	
39	IV	41,5	
40	IV	43,5	
41	IV	47,4	
42	IV	48,2	
43	IV	42,8	
44	IV	46,2	45,8
45	IV	45,6	
46	IV	48,5	
47	IV	46,7	
48	IV	47	
49	IV	46	
50	IV	46,3	
51	IV	45,1	
52	IV	47,3	
53	IV	44,5	
54	IV	45	

55	IV	44,9		
56	IV	45,5		
57	IV	46,9		
58	IV	48,1		
59	IV	45,1		
60	IV	46,7		
61	IV	48,2		
62	IV	46,6		
63	IV	44,7		
64	IV	46,7		
			MEDIA TOTAL	-1,53
			% Em Relação a Norma	3,4%

O resultado foi de que os estatores bobinados de II polos tem em média um dimensional de cabeça de bobina 1,53mm maior que os estatores bobinados de IV polos.

5 Conclusões

A partir da realização deste trabalho, nota-se que o processo analisado, que é o dimensional da cabeça de bobina após a conformação final está fora de controle estatístico, isto é, necessita de uma intervenção para a melhoria da qualidade do produto.

Ao todo, foram analisadas 6 variáveis que poderiam interferir no resultado final da conformação da cabeça de bobina. O resultado final está resumido na tabela 8.

Tabela 8 - Comparação dos resultados

Variável	Contribuição no dimensional de cabeça de bobina	Qual variável mais interfere?
Tipo de fio	1,86 mm	Fio Cu
Número de Polos	1,53 mm	II polos
Calço de Prensagem	1,20 mm	50 mm
Material Isolante	0,37 mm	Classe H
Fator de Enchimento	0,14 mm	Enchimento 0,70
Número de cabos	0,03 mm	12 cabos

Das hipóteses levantadas na introdução, apenas o fator de enchimento se mostrou errada. Anteriormente definimos que o fator de enchimento 0,74 interfere mais no dimensional de cabeça de bobina do que o fator de enchimento de 0,70, resultado que não foi observado na prática.

Como a diferença no dimensional do fator de enchimento e do número de cabos é muito pequeno (0,14mm e 0,03mm respectivamente), eles não são fatores que interfiram muito no dimensional de cabeça de bobina. O estudo pode ser realizado mais especificamente nos 3 fatores que mais interferem no dimensional, que é o tipo de fio, o número de polos e calço de prensagem respectivamente.

Um ponto que deve ser comentado, é que a norma TBG-0176 da WEG mostra uma incoerência, já que para todos os tamanhos de estatores, o estator bobinado de II polos tem 5mm a mais de tamanho máximo de cabeça de bobina em relação aos outros estatores com polaridade diferente, fato que não ocorre nos estatores de carcaça tamanho 112. Se a norma para o estator bobinado de II polos da carcaça 112 fosse 5mm a mais como acontece com os outros tamanhos

de carcaça, boa parte dos problemas em relação ao dimensional de cabeça de bobina iriam ser diminuídos.

Para trabalhos futuros, sugere-se a continuidade do estudo para outros números de polos existentes na fábrica (VI e VIII), além de analisar as variáveis de processo da bobinagem, que são as variáveis como o maquinário utilizado e os colaboradores responsáveis pela bobinagem dos estatores. Além disso, deve-se estender o estudo para outros tamanhos de carcaça dos motores WEG.

Também é proposto um estudo mais aprofundado do projeto dos motores bobinados da WEG, analisando se é viável economicamente a mudança da bobinagem dos fios de Cu para fios de Al.

Referências Bibliográficas

- [01] Chester L.Dawes. (1975). Curso de eletrotécnica volume 2.
- [02] MONTGOMERY, D. C. *Introdução ao controle estatístico da Qualidade*. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- [03] BARBETTA, P. A.; REIS, M. M.; BORNIA, A. C. *Estatística para os cursos de engenharia e informática*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- [04] DE ALMEIDA, Camila Silva *et al.* *Controle estatístico do processo (CEP)*
- [05] HINES, W., *et al.* *Probabilidade e Estatística na Engenharia*. 4ª Ed. Reimpr. LTC: Rio de Janeiro, 2011
- [06] PALADINI, E. P. *et al.* *Gestão da qualidade: teoria e casos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

- [07] SOUZA JR., DANIEL I. Apostila de Controle Estatístico da Qualidade Industrial da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goitacazes, R.J., Brasil, 1998.
- [08] WEG. Guia de especificação de motores elétricos.
- [09] QPOP TR9118-399. Processos de Bobinagem. Fabricação de Estatores bobinados até carcaça 200.
- [10] www.weg.net
- [11] WEG WMS-6378PT. Dimensão de Cabeças de Bobinas do Estator de Motores de Indução, 2012.
- [12] WEG 541.17/042005. Manual de Bobinagem.