

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA
CÂMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA**

RUBENS FERNANDO MISSIO

**DETERMINAÇÃO DA MÁXIMA ROTAÇÃO DE TRABALHO DA
CHAVE CENTRÍFUGA WEG**

Jaraguá do Sul, junho de 2018.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA
CÂMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA**

RUBENS FERNANDO MISSIO

**DETERMINAÇÃO DA MÁXIMA ROTAÇÃO DE TRABALHO DA
CHAVE CENTRÍFUGA WEG**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientador: Eduardo Cardoso Castaldo,
M.e

Jaraguá do Sul, junho de 2018.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
por meio do programa de geração automática do câmpus Rau, do IFSC

Missio, Rubens Fernando

**Determinação da máxima rotação de trabalho da chave
centrífuga WEG / Rubens Fernando Missio ; orientação de Eduardo
Cardoso Castaldo. Jaraguá do Sul, SC, 2018.**

49 p.

**Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul -
Rau. Tecnologia em Fabricação Mecânica. .
Inclui Referências.**

**1. Motor monofásico. 2. Seis Sigma. 3. Chave centrífuga.
4. Mapa de Raciocínio. I. Castaldo, Eduardo Cardoso.
II. Instituto Federal de Santa Catarina. . III.
Título.**

RUBENS FERNANDO MISSIO

DETERMINAÇÃO DA MÁXIMA ROTAÇÃO DE TRABALHO DA CHAVE
CENTRÍFUGA WEG

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em
Fabricação Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo
indicada.

Jaraguá do Sul, 18 de junho de 2018

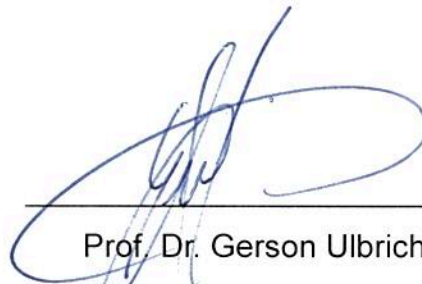


Prof. Me. Eduardo Cardoso Castaldo
Orientador

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Me. Cassiano Rodrigues Moura
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Dr. Gerson Ulbricht
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU

RESUMO

Cada vez mais a competitividade na indústria aumenta, com isso a procura por processos mais eficientes que minimizem o risco de falhas passa a ser essencial para a sobrevivência da empresa. Programas de qualidade quando bem implementados são um diferencial na busca por mercado, dentre eles destaca-se a metodologia Seis Sigma. O presente trabalho tem por objetivo a utilização de ferramentas da metodologia Seis Sigma para analisar o comportamento em alta rotação da chave centrífuga utilizada em motores elétricos monofásicos com auxiliar de partida. Utilizado o Mapa de Raciocínio como forma de gerenciamento do projeto eo Mapa de processo para obter uma sequência lógica no procedimento experimental. Como resultado obteve-se a máxima rotação de trabalho da chave centrífuga sem a perda de função, bem como dados de comportamento dos componentes quando ocorre alguma falha, informações essas, importantes para evolução do projeto. Pode-se observar que as ferramentas da metodologia Seis Sigma facilitaram o gerenciamento do trabalho, trazendo agilidade na tomada de decisões sem perder o foco no objetivo final.

Palavras-chave: Motor monofásico; Seis Sigma; Chave centrífuga; Mapa de Raciocínio

ABSTRACT

Increasingly the competitiveness in the industry increases, the demand for more efficient processes that minimize the risk of failures becomes essential for the survival of the company. Quality programs when well implemented are a differential in the search for market, among them the Six Sigma methodology. The present work aims at the use of tools of Six Sigma methodology to analyze the behavior in high speed centrifugal switch used in single-phase electric motors with starting aid. Used the Map of Reasoning as a method of management of the project and the Map of Process to obtain a logical sequence in the experimental procedure. As a result it was obtained the maximum rotation of the centrifugal switchwork without loss of function, as well as behavior of components data when a failure occurs, these information, important to the evolution of the project. It can be observed that the tools of Six Sigma methodology facilitated the management of work, bringing agility in decision-making without losing focus on the ultimate goal.

Keywords: Single-phase motor; Six Sigma; Centrifugal Switch; Map of reasoning

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema transportador automático de ração	13
Figura 2 - Esquema funcionamento centrífugo - platinado	15
Figura 3 - Fluxo DMAIC	20
Figura 4 - Fluxo DMADV	23
Figura 5 - Exemplo de Mapa de Raciocínio	25
Figura 6 - Exemplo de Mapa de processo	27
Figura 7 - Exemplo de Mapa de produto	28
Figura 8 - Mapa de Raciocínio	31
Figura 9 - Mapa de produto	32
Figura 10 - Mapa de processo	33
Figura 11 - Bancada de abertura	34
Figura 12 - Bancada de rotação	35
Figura 13 - Tacômetro utilizado para aferição da rotação	36
Figura 14 - Contatos para análise estrutural	38
Figura 15 - Condições de contorno	39
Figura 16 - Identificação das amostras	40
Figura 17 - Principais pontos de tensão	41
Figura 18 - Fator de segurança	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Amostras submetidas a 9500 RPM	43
Gráfico 2 - Amostras submetidas a 8500 RPM	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Significado da escala Sigma	19
Tabela 2 - Dados de 8500 RPM	44

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 - Sequência do trabalho	30
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa	13
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo geral.....	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 Seis Sigma.....	17
2.1.1 Design for Six Sigma (DFSS)	21
2.2 Mapa de raciocínio.....	24
2.3 Mapa de processo e Mapa de produto.....	26
2.4 Amostragem.....	28
3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	30
3.1 Materiais	34
3.2 Métodos	37
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	41
5. CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

Programas de qualidade bem implementados podem ser um diferencial e uma vantagem competitiva na busca pelo mercado. As empresas buscam maneiras de serem mais competitivas utilizando programas, métodos e ferramentas capazes de melhorar a qualidade em seus processos e produtos (GALVANI; CARPINETTI, 2013).

Fabricantes de motores, por sua vez, buscam criar novos produtos para atender as necessidades do mercado e alavancar suas vendas. Para isso buscam produtos mais eficientes e com maior qualidade, para manter sua competitividade no mercado. Há várias ferramentas utilizadas para isso, dentre elas pode-se destacar a metodologia Seis Sigma, que foi um programa desenvolvido pela empresa americana Motorola, e tem como um dos objetivos encontrar as influências das variações, assim melhorando seu desempenho (ROMEIRO FILHO et al., 2010).

Novos produtos, mesmo que inovadores, sem processos de fabricação bem definidos, acabam por ter dificuldade em atender a qualidade desejada. Na etapa de criação de protótipos, muitas vezes, além de validá-lo, também é validado seu processo de fabricação. Segundo Romeiro Filho et al.(2010) protótipos são produtos em desenvolvimento, podendo ser utilizados em testes de desempenho em condições reais de utilização e outros requisitos importantes para o projeto, incluindo o processo.

Henriques (2011) afirma que é cada vez mais comum analisar os produtos em desenvolvimento com o intuito de não só corrigir falhas, mas também buscar potenciais problemas que possam surgir. Seguindo tal tendência, tem-se a oportunidade de melhorar o processo para que quando no lançamento do produto, sua produção inicie com os possíveis defeitos já corrigidos e que por consequência, a chance de o produto apresentar falha em campo seja menor.

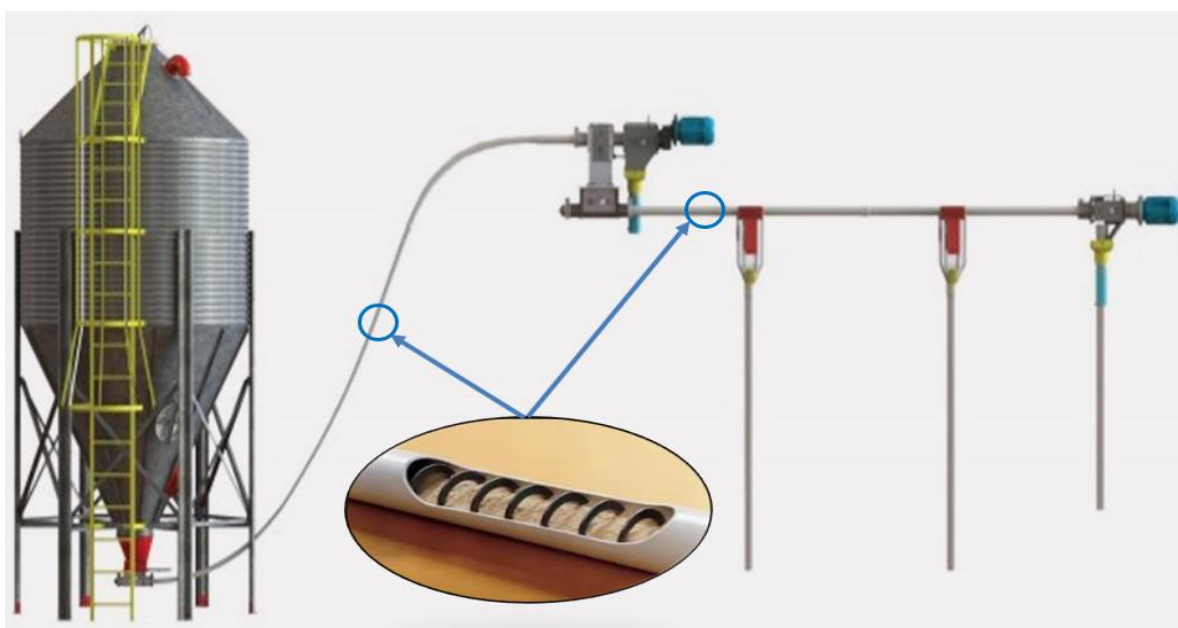
Para o trabalho de gerenciamento de grandes projetos, esses na maioria das vezes audaciosos (prazos curtos, escassez de recursos e grande expectativa dos clientes), em algumas áreas de produção de bens, não se espera encontrar uma metodologia estruturada, eficaz, robusta e de fácil implementação. Pela sua

robustez, a metodologia Seis Sigma é utilizada em grandes empresas, pois traz vantagens, essas podendo ser econômicas, ambientais, de qualidade e confiabilidade entre outras. Também dá a empresa a oportunidade de ostentar resultados significativos na participação do mercado. Num contexto de alta competitividade que se tem atualmente, que em determinados momentos chega a ser desleal, apresentar resultados positivos é de suma importância.

1.1 Justificativa

Para conduzir grãos e ração em sistemas automáticos de alimentação de animais (Figura 1), é comum o uso de um sistema de rosca sem-fim, acionada por um motor elétrico conectado a um redutor. Nesse processo de automação, o transporte contínuo dos materiais deixa resíduos que interferem na fluidez do produto. Como as roscas transportadoras são em forma de uma helicóide sem eixo central, o que permite fazer curvas no tubo de transporte, conforme demonstrado na Figura 1, ao longo da utilização o sistema armazena energia elástica devido à carga exercida pela ração transportada ao longo do tubo. Ao desligar o sistema, esta energia acumulada é transformada instantaneamente em rotação, no sentido inverso ao do funcionamento, causando uma aceleração brusca no motor ao qual está conectado, fazendo com que a rotação deste possa chegar a picos de até 14000 RPM.

Figura 1 - Sistema transportador automático de ração



Fonte - Plasson do Brasil – Adaptado pelo autor

Motores elétricos monofásicos que são submetidos a altas rotações sem que seus componentes sejam projetados para esse fim podem ter o funcionamento de seus componentes comprometido. Para evitar esse problema, toma-se como uma das possíveis soluções atuais, utilizar um componente extra em sua montagem para evitar que a chave centrífuga tenha algum componente danificado quando atingir rotações acima dos 3600 RPM, esta condizente aos motores de indução de 2 polos em frequência de 60Hz.

Ressalta-se, porém, que a inclusão de componentes aumenta o custo dos equipamentos não somente pelo preço do componente extra, mas também por todo o processo que envolve a montagem desse novo componente. Por isso este projeto visa garantir o correto funcionamento da chave centrífuga quando submetidos a altas rotações, bem como garantir a integridade dos seus componentes sem que seja necessária a inclusão de componentes extras.

A chave centrífuga tem uma importante função em motores elétricos monofásicos que utilizam capacitores eletrolíticos como auxiliares na partida. A chave centrífuga com o auxílio de um platinado desliga o capacitor eletrolítico e a bobina auxiliar quando o motor atinge aproximadamente 75% da rotação nominal de trabalho para o qual o motor foi projetado. A chave centrífuga é montada sobre o eixo do motor e gira juntamente com ele. Seu funcionamento é mecânico e, como o nome sugere, depende da força centrífuga que atua no par de contrapesos durante esse movimento de rotação. Essa força centrífuga causa um movimento controlado de um disco acionador que libera os contatos do platinado desligando o capacitor auxiliar de partida. A Figura 2 mostra o esquema de funcionamento do centrífugo juntamente com o platinado demonstrando a transição do motor desligado (conjunto centrífugo em repouso) com o contato do platinado fechado, para o motor ligado (conjunto centrífugo em rotação) com o contato do platinado aberto.

Figura 2 - Esquema funcionamento centrífugo - platinado



Fonte - O Autor

Cada vez mais, motores elétricos de alta eficiência se tornarão indispensáveis no processamento de materiais e em mecanismos diversos como os aplicados em carros e aviões. Motores esses que deverão ter a capacidade de atingir altas rotações para fornecer a potência adequada à aplicação.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Determinar a máxima rotação de trabalho da chave centrífuga sem comprometer a integridade dos componentes, bem como preservando a funcionalidade do conjunto.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a utilização da chave centrífuga em transportadores de ração de sistemas automáticos de alimentação de animais;

- Realizar os testes de abertura da chave centrífuga de forma estruturada, seguindo uma metodologia baseada nas ferramentas Mapa de Raciocínio e Mapa de Processo.

- Realizar simulações no software Ansys.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o desenvolvimento deste estudo, foi fundamental o conhecimento em temas como o Desenvolvimento de Produto e o programa Seis Sigma. O presente capítulo visa a explanação dos principais conceitos relacionados aos temas, sendo esses de grande importância para obtenção dos objetivos deste estudo.

2.1 Seis Sigma

A metodologia Seis Sigma foi criada na década de 80, pela empresa Motorola. O objetivo era tornar a empresa mais competitiva para enfrentar o mercado internacional, pois os concorrentes japoneses estavam fabricando produtos de melhor qualidade a um custo mais baixo (PANDE et al., 2001). No ano de 1988, quando a Motorola recebeu o prêmio nacional da qualidade Malcolm Baldrige, o Seis Sigma passou a ser reconhecido como o responsável pelo sucesso da empresa sendo assim esta abordagem se difundiu globalmente e diversas empresas se interessaram pela iniciativa (MARSHALL JUNIOR et al., 2011).

A metodologia Seis Sigma é uma estratégia empresarial baseada em princípios científicos e estatísticos para redução de problemas de qualidade, visando a melhoria de processos estratégicos e desenvolvimento de novos produtos e serviços, em busca da melhoria dos resultados e por consequência o aumento da lucratividade. Esta metodologia tem por objetivo a melhoria da qualidade a partir da redução de defeitos, desperdícios e custos, usando procedimentos padronizados para obter e analisar dados com o objetivo de identificar, tratar e eliminar fontes de erros reduzindo, assim, permanentemente a possibilidade de defeitos nos produtos ou serviços (ROMEIRO FILHO et al., 2010).

De acordo com Mello (2011), para que a metodologia Seis Sigma seja implantada, é preciso treinamento de equipes formadas por funcionários de diferentes níveis hierárquicos, e que tenham diferentes atribuições nos projetos de melhoria. Estas equipes são capacitadas a pensar, a fim de encontrar uma solução para a verdadeira causa do problema, e atuar como agente de mudança na organização, aplicando e disseminando o uso das ferramentas da metodologia no aprimoramento dos projetos e processos (PEÑA, 2006).

A nomenclatura de cada nível de treinamento pode variar em cada empresa. As mais usuais são: (FIGUEIREDO, 2006).

- Patrocinador / Líder (*Champions*):

Responsável pela implantação da metodologia na empresa. Devem fornecer os recursos para as mudanças necessárias e integração dos resultados. Definem as pessoas que irão disseminar o Seis Sigma por toda a empresa.

- Líderes do cinturão preto (*Master Black Belts*):

Assessoram os Patrocinadores na identificação dos projetos de melhoria além de orientar os Cinturão Preto.

- Cinturão preto (*Black Belts*):

São os responsáveis pelos projetos, ficam dedicados em tempo integral interagindo com diferentes áreas.

- Cinturão Verde (*Green Belts*):

Dedicam parte do seu tempo para projetos, designados para uma ou mais equipes, de acordo com seu conhecimento sobre o assunto analisado.

-Cinturão amarelo (*Yellow Belts*):

Funcionários que não irão se envolver diretamente nos projetos, mas precisam de um conhecimento básico da metodologia.

-Cinturão branco (*White Belts*):

Funcionários operacionais treinados nas ferramentas básicas da metodologia para que sirvam de apoio aos *Cinturão Verde* e Cinturão preto.

Marshall Junior et al. (2011) afirma que o conceito do Seis Sigma utiliza algumas das melhores ferramentas da qualidade. Levando em consideração o entendimento das necessidades do cliente. Um ponto forte do Seis Sigma é converter o desvio-padrão para uma medida que ou bem atende às expectativas do cliente, ou não. Tudo o que não atende é denominado defeito. Sendo possível medir as necessidades dos clientes, é possível calcular a quantidade de defeitos no processo, e com isso a produtividade do mesmo.

Outra possibilidade é verificar o número de defeitos que ocorrem, e compará-los com a quantidade de oportunidades de erros. O resultado dessa operação é chamado defeitos por milhão de oportunidades (DPMO).

Para efeito de comparação, a Tabela 1 relaciona taxa de erro, taxa de acerto e o nível de Defeitos por Milhão de Oportunidades (DPMO) para alguns valores da Escala Sigma. O nível Sigma adequado para cada processo dependerá dos requisitos dos clientes: Um nível sigma acima significa desperdício de esforço por parte da empresa sem a contrapartida de valor reconhecido pelo cliente.

Quanto mais alto o nível sigma, menor a probabilidade de defeito.

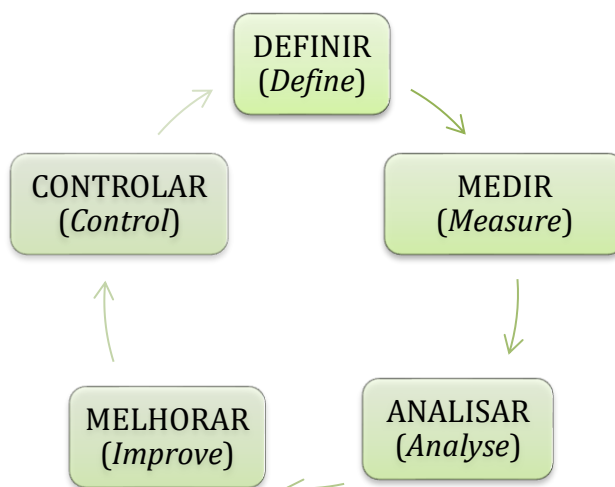
Tabela 1 - Significado da escala Sigma

Escala Sigma	Defeitos por milhão de oportunidades (DPMO)	Taxa de acerto	Taxa de erro
1	691.462	30,9%	69,1%
2	308.538	69,1%	30,9%
3	66.807	93,3%	6,7%
4	6.210	99,38%	0,62%
5	233	99,997%	0,023%
6	3,4	99,99966%	0,00034%

Fonte: Trad, Maximiano, 2009

A metodologia Seis Sigma incorpora um rígido enfoque estatístico a ferramentas que são utilizadas devido a caracterização das fontes de variação demonstrando como controlar e aperfeiçoar os dados do processo (ANDRIETTA; MIGUEL, 2002). O método também utiliza como referência o ciclo PDCA que foi concebido originalmente por Deming no início do Gerenciamento da Qualidade Total (*Total Quality Manager - TQM*)(BLAETH, 2003). Um modelo simples de melhoria de desempenho conhecido pela sigla DEMAIC (Figura 3), modelo análogo ao PDCA, é utilizado como ferramenta pelos líderes de projetos. Esta ferramenta é aplicada quando não há clareza na causa dos problemas em processos já implantados.

Figura 3 - Fluxo DMAIC



Fonte – O Autor

As cinco fases são:

D - Definir (*Define*):

Define o escopo do projeto, a equipe de trabalho, determinar os clientes do processo, assim como as necessidades e requisitos de cada um, e especifica o processo/produto a ser melhorado. As entregas dessa etapa são a identificação dos fatores críticos do processo, a escolha da equipe e o mapa do processo;

M - Medir (*Measure*):

Identificar as características essenciais da eficiência e eficácia e relacioná-las ao conceito de sigma, análise do sistema de medição e coleta de dados do processo são realizadas nessa etapa. A Análise do Sistema de Medição – MSA e cálculo de Cp e Cpk são algumas das entregas esperadas nessa etapa;

A - Analisar (*Analyze*):

Através da estratificação de dados são realizadas avaliações, onde pode-se determinar as origens do problema. Criar análise para validação dos motivos originais. Como resultados dessa etapa temos a análise de variância, análise dos tempos de falhas e testes de vida acelerados;

I - Melhorar (*Improve*):

É o conjunto de atividades ligadas a descoberta, escolha e implantação de soluções para o processo / produto, validando os resultados com os motivos originais. Essa etapa é para gerar ideias que solucionem o problema, desenvolver o plano piloto avaliando impacto e benefícios, assim selecionando a melhor solução;

C - Controlar (*Control*):

Garantir que as melhorias tenham continuidade com o passar do tempo, transformando-se em novos padrões de operação e desempenho, analisando também a replicação e padronização para outras oportunidades. Segundo Balaben (2004), o objetivo principal dessa etapa é sustentar as melhorias de curto e longo prazo.

Nesse contexto, conforme ressaltado por Santos e Martins (2010), o Seis Sigma é um programa bastante amplo, que contempla várias etapas que envolvem o planejamento, a mensuração e determinação de prioridades, em todos os procedimentos realizados, com o intuito da melhora contínua do processo.

A implantação do Seis Sigma é realizada por uma equipe especializada na metodologia, capaz de disseminar a utilização de ferramentas estatísticas e de qualidade, promovendo a melhora contínua nos processos da organização (PEÑA, 2006).

De modo geral, a metodologia Seis Sigma se aplicada em processos já existentes. Porém, utilizando o método conhecido como Design for Six Sigma – DFSS, também é possível aplicá-lo no desenvolvimento de projetos, no entanto, normalmente é utilizado em organizações que tenham conhecimento avançado na metodologia (MELLO, 2011).

2.1.1 *Design for Six Sigma* (DFSS)

A ferramenta de desenvolvimento de produtos DFSS surgiu a partir de uma evolução da metodologia Seis Sigma tradicional, já que este trata de problemas já existentes, enquanto o DFSS por se tratar de uma atividade de projeto, se propõe a prevenir que os problemas surjam. Desse modo, o DFSS procura minimizar as falhas e reduzir o tempo de lançamento, maximizando os ganhos com o produto (HENRIQUES, 2011).

De acordo com Fioravanti (2005), o DFSS também pode ser utilizado para produtos e processos já existentes que tenham um nível de desempenho Sigma tão baixos e com alto índice de defeitos, com um processo tão ruim que a utilização da metodologia Seis Sigma tradicional não traria os efeitos desejáveis para a organização.

A utilização de ferramentas como o Desdobramento da Função Qualidade (*Quality Function Deployment* - QFD) e técnicas estatísticas e de otimização na aquisição de dados mostra que o DFSS acompanha o produto desde o primeiro contato com o cliente para ouvir suas necessidades até sua produção (HENRIQUES, 2011).

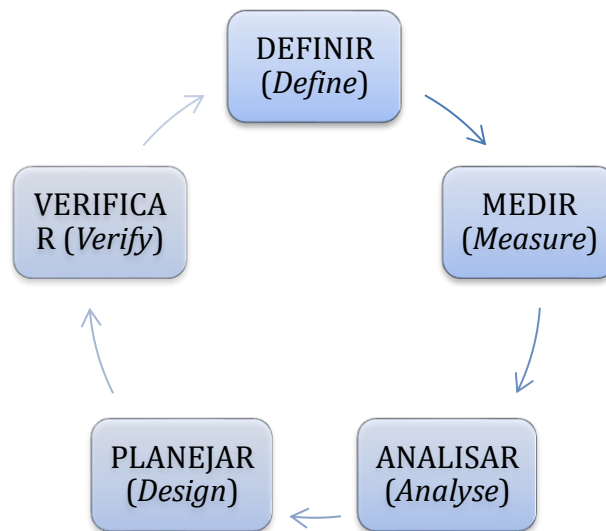
Segundo Kovachet al. (2005), as principais premissas do DFSS são:

- Identificar a necessidade dos clientes;
- Analisar essas necessidades e identificar as prioridades;
- Projetar o produto com o foco nas necessidades dos clientes;
- Desenvolver os vários níveis do processo com o intuito de estabilizar os mesmos;
- Alterar os processos de manufatura de modo que as variações perceptíveis pelo cliente sejam minimizadas;
- Criar planos de controle para gerenciamento das variações que impactam na qualidade dos produtos.

A metodologia Seis Sigma nos traz especificamente a utilização de métodos estatísticos numa sequência metodológica sistematizada nos ciclos de melhoria DMAIC (define; measure; analyse; improve; e control) como visto anteriormente, da mesma forma o DFSS utiliza uma sequência semelhante com pequenas alterações, o DMADV (define; measure; analyse; develop; e verify), alterações essas adequadas as premissas do DFSS (Figura 4).

Segundo Werkema (2002), o método utilizado pelo DFSS em projetos, com enfoque nos principais resultados esperados, é constituído por cinco etapas conforme veremos a seguir.

Figura 4 - Fluxo DMADV



Fonte: O autor

D - Definir (*Define*):

Tem por principal objetivo definir as especificações do novo produto ou processo. Como resultado dessa etapa espera-se uma justificativa com potencial de mercado, previsão de conclusão do projeto, análise preliminar dos recursos necessários e viabilidade técnica e econômica de projeto;

M - Medir (*Measure*):

O objetivo dessa etapa é analisar as necessidades dos clientes e transformá-las em características mensuráveis, de forma que sejam críticas para a qualidade do produto. O resultado esperado é uma análise de mercado resultando em características críticas que atendam às necessidades dos clientes;

A - Analisar (*Analyze*):

Nessa etapa é selecionado o melhor conceito dentre as alternativas levantadas para o projeto. A definição da função principal do produto, viabilidade técnica e financeira detalhada, são as saídas dessa etapa;

D - Desenvolver (*Design*):

É realizar o projeto detalhado do produto para que sejam realizados os testes necessários para a produção em escala. Realização de testes no produto físico, análise de mercado com os protótipos, planejamento da produção e do lançamento do produto juntamente com uma análise financeira atualiza essa etapa é encerrada;

V–Verificar (*Verify*):

A última etapa é para avaliar a viabilidade do projeto e lança-lo no mercado esperando sucesso e feedback do mesmo.

2.2 Mapa de raciocínio

Segundo Ramm (2007), o mapa de raciocínio trata-se de uma importante ferramenta do Seis Sigma que consiste em uma documentação progressiva da forma de raciocínio durante a execução de um trabalho e deve ser utilizada durante todo o projeto. O principal objetivo do mapa de raciocínio é documentar o processo de investigação, desde a definição da meta até a implementação das ações.

Não existe uma maneira correta de construir um mapa de raciocínio, pois se pode melhorar e entender o processo de diversas maneiras (RAMM, 2007).

Para que essa ferramenta seja aplicada de forma eficaz, algumas premissas são essências:

- A qualidade das perguntas define a eficiência do projeto. Se for feita sempre a mesma pergunta, invariavelmente a resposta sempre será a mesma.
- Não espere encontrar a melhor solução percorrendo um único caminho, utilize caminhos paralelos em abordagem sequencial para convergir na solução.

Algumas perguntas podem ajudar a dar início a um mapa de raciocínio:

Qual é o problema?

Qual é o impacto para a empresa?

Há algum registro sobre o problema na empresa (histórico)?

Quais são as teorias?

Existem causas potenciais?

Como será estratificado o problema? É possível?

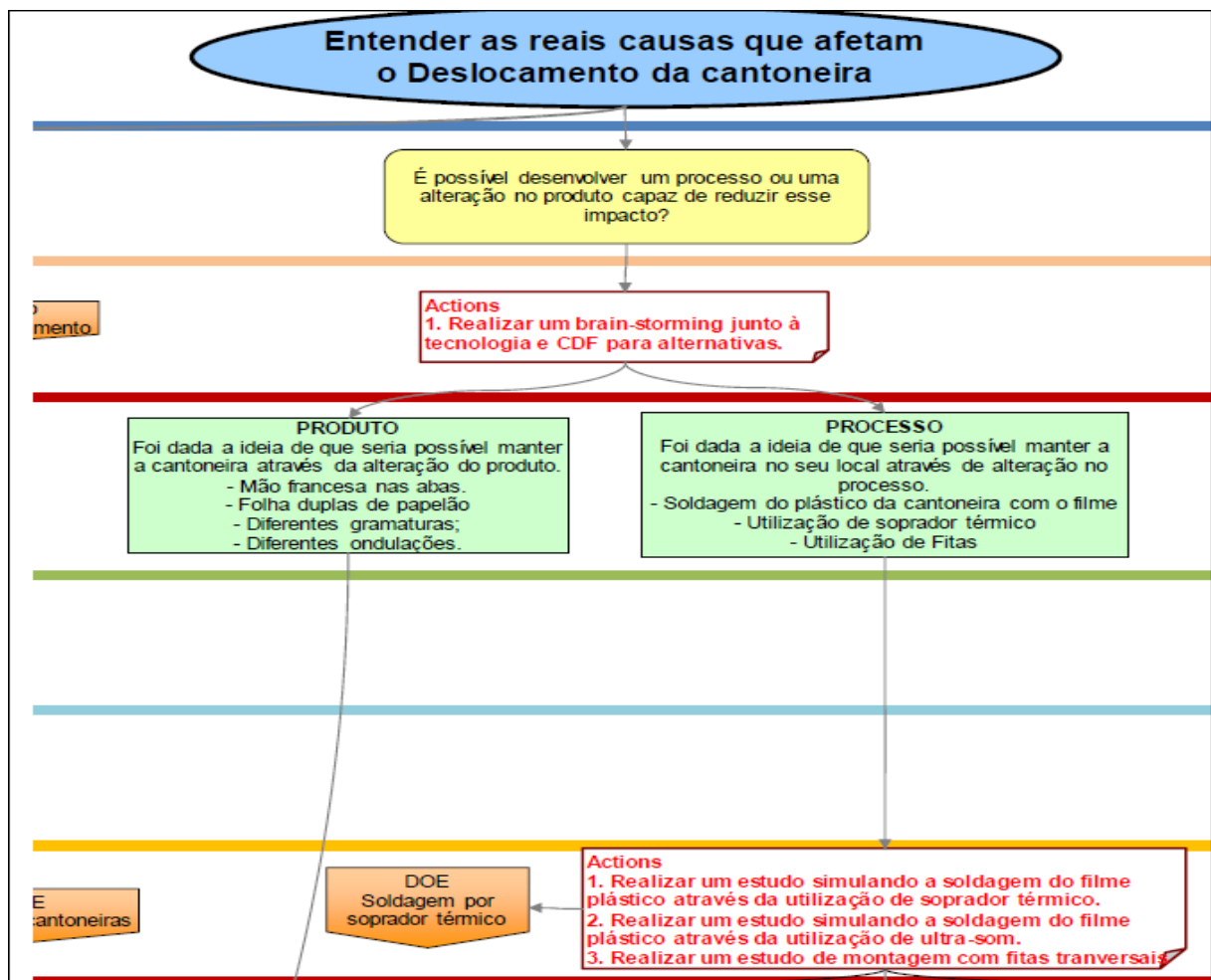
Como vamos coletar os dados?

Quais componentes formam o produto?

Segundo Werkema (2002), a principal característica do Mapa de Raciocínio é funcionar como um diário de bordo do projeto, sendo um documento dinâmico e evolutivo. Trata-lo como um documento estático é um erro.

A vantagem de utilização de um mapa de raciocínio (Figura 5) dá-se ao fato de ter registrado todas as atividades do projeto em um único documento, onde todo conhecimento gerado estará disponível. Por se tratar de um documento vivo, deve ser atualizado durante a execução do projeto adicionando perguntas, respostas, teorias, ações, ferramentas utilizadas, histórico do problema, entre outras informações (WERKEMA, 2002).

Figura 5-Exemplo de Mapa de Raciocínio



2.3 Mapa de processo e Mapa de produto

Os mapas de processo são utilizados para registrar o que já se conhece sobre o processo. Para isso, se faz necessário descrever quais são os limites do processo, suas entradas e saídas, principais etapas e parâmetros (RAMM, 2007).

Em um mapa de processo, os principais componentes são:

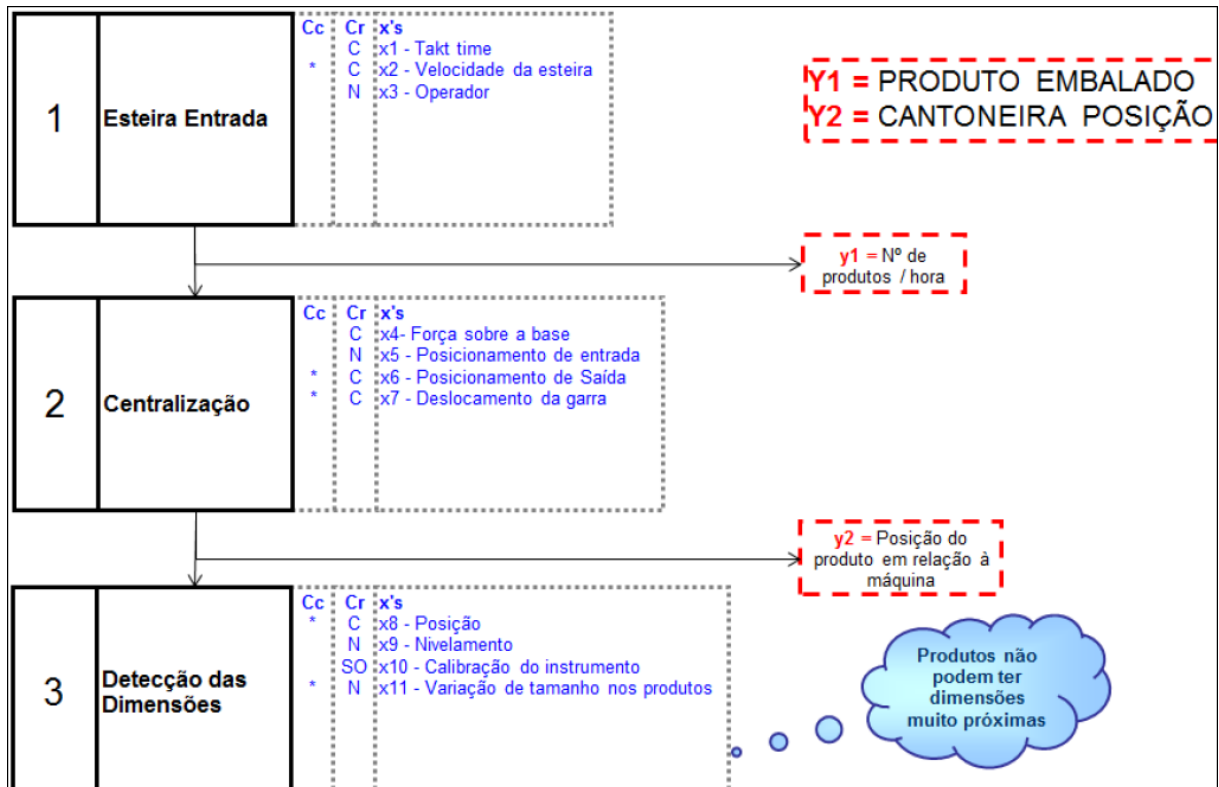
- Resultado final desejado para o produto (Y);
- Resultado parcial de cada etapa para o produto (y), tornando-o apto a etapa seguinte;
- Variáveis de cada etapa (x), normalmente são características mensuráveis que podem afetar o resultado do produto ao final de cada etapa. Essas variáveis podem ser julgadas como controláveis (C), sendo esses passíveis de ajustes a um valor pré-determinado. E as variáveis de ruído (R), sendo esses inerentes ao processo e não passíveis de controle.

Segundo Scatolin (2005), o Mapa do Processo deve ser constantemente atualizado e revisado, pois é a fonte de informações para de outras ferramentas como o Plano de Controle e o FMEA. O mapa do processo é uma excelente ferramenta de visualização e fundamental para alinhar o conhecimento de todos os membros da equipe e esclarecer seus problemas e avaliar o escopo do projeto.

É no mapa de processo (Figura 6) que ocorre a caracterização do processo, é nele que é determinada a correlação entre as variáveis do processo e o resultado final. Dessa forma, além das variáveis serem classificadas como “controlável” e “ruído”, devem ser classificadas como Crítica (Cr) quanto exercem influência significativa no desempenho do produto.

Conforme Dias (2014), a criação do Mapa de Raciocínio pode ser subsidiada por diagramas de causa e efeito e por fluxogramas de processo para facilitar a compreensão entre as características dos produtos e as variáveis do processo.

Figura 6 -Exemplo de Mapa de processo



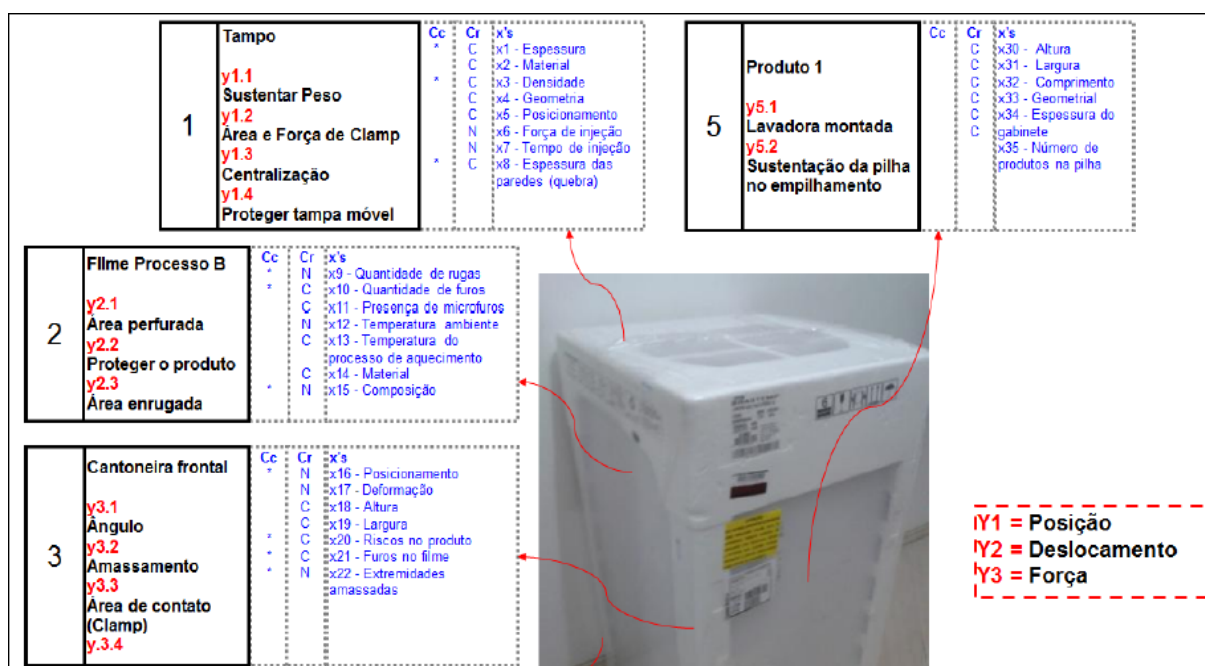
Fonte: Dias – 2014

De acordo com Rodrigues (2014) o objetivo do Mapa de Processo é apresentar, definir e analisar todos os seus parâmetros, sejam eles controláveis ou não, em relação a cada atividade do processo, onde são mostradas informações importantes de entrada, processamento e saída. Assim, possibilita conhecer os fatores críticos não controláveis de cada atividade do processo.

A finalidade do mapa de produto (Figura 7) é detalhar o produto em subcomponentes ou detalhes construtivos, onde cada um deles tem atribuído sua função no conjunto principal, e assim como no mapa de processo indicando o resultado (y) e variáveis (C e R) de cada componente ou detalhe construtivo.

De acordo com Werkema (2013), o mapa de produto tem por finalidade facilitar a descrição funcional do produto, organizando as relações existentes entre seus componentes e organizando as informações para utilização em outras ferramentas como o FMEA e o DOE.

Figura 7- Exemplo de Mapa de produto



Fonte: Dias - 2014

2.4 Amostragem

Segundo Cooper e Schindler (2003), a validade de uma amostra é garantida quando características dela apresentam as mesmas características da sua população de origem. Uma amostra é verdadeira estatisticamente quando uma fração da população analisada fornece os mesmos resultados conclusivos como se fosse analisada a população inteira. As amostras são utilizadas atualmente, seja por inviabilidade econômica ou operacional de avaliar toda a população do estudo, para diagnósticos das situações das mais variadas. A dúvida é qual tamanho deve ter a amostra para que o resultado final seja o mais próximo possível da realidade populacional.

Conforme Pavani Junior (2016), antes de sabermos a quantidade amostral ideal, deve-se garantir a coleta de forma absolutamente aleatória. Garantindo total aleatoriedade na coleta, sem qualquer tipo de tendência, então o número de amostras pode ser entre 30 e 40 com ampla força comprobatória, sem relação com o tamanho da população analisada.

Conforme Barbetta 2014, para amostras aleatórias grandes com $n \geq 30$ a distribuição amostral das médias é aproximadamente normal.

Tendo a pureza da aleatoriedade plenamente garantida, amostras acima de 40 terão contribuição insignificante para conclusão final, da mesma forma, tamanhos de amostras menores que 30 não fornecem confiabilidade nos dados (Pavani Junior, 2016).

Se um processo ocorre sob condições conhecidas e são cuidadosamente mantidas, este processo estará sujeito apenas aos efeitos que definem a posição e a dispersão do processo, ou seja, Causa Comum, configurando-se por uma Distribuição Normal (LIMA et. al, 2006).

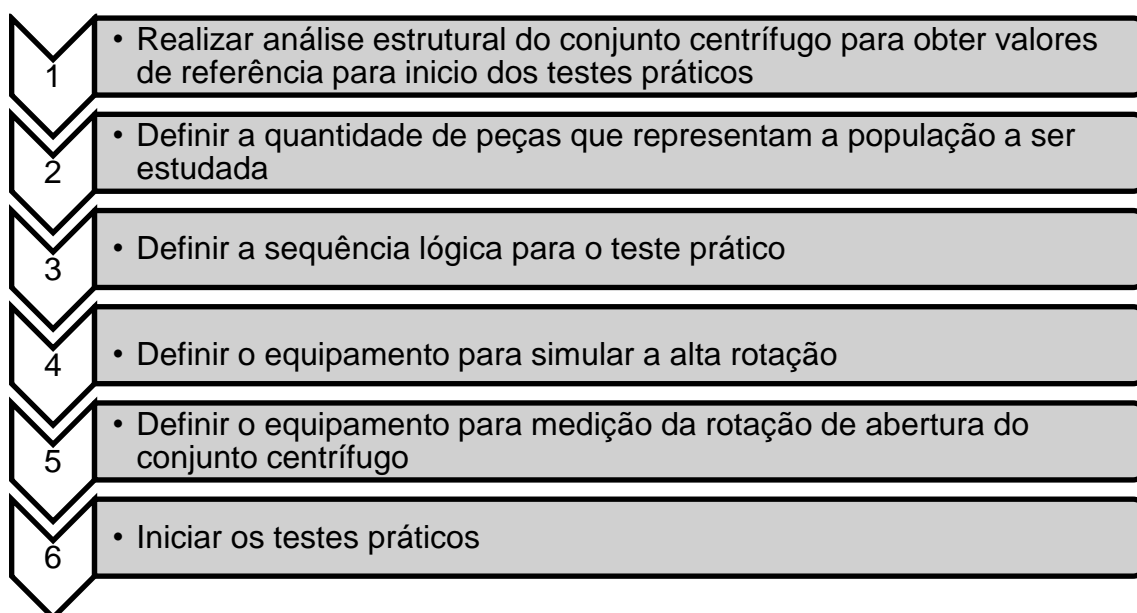
Quando a distribuição amostral for razoavelmente simétrica, mesmo que em amostras pequenas ($n < 30$), usa-se a distribuição t de Student para construir as estimativas intervalares da média (BARBETTA, 2014).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Utilizando o Mapa de Raciocínio (ver Figura 8) como forma de gerenciar a execução do trabalho, foram definidos os materiais e os métodos necessários para o procedimento experimental. No Mapa de Raciocínio, iniciando pela pergunta principal do trabalho, esta se ramificou em novas perguntas que ao passo em que eram respondidas geraram ações como a realização do mapa de produto conforme Figura 9 proporcionando um melhor entendimento da função de cada um dos componentes do conjunto separadamente. Ao passo que as ações eram tomadas e as perguntas eram respondidas, geravam novas ações, perguntas e teorias sobre o trabalho, até que a pergunta principal fosse respondida.

Conforme Fluxograma 1 foi definida a sequência básica do trabalho.

Fluxograma 1 - Sequência do trabalho

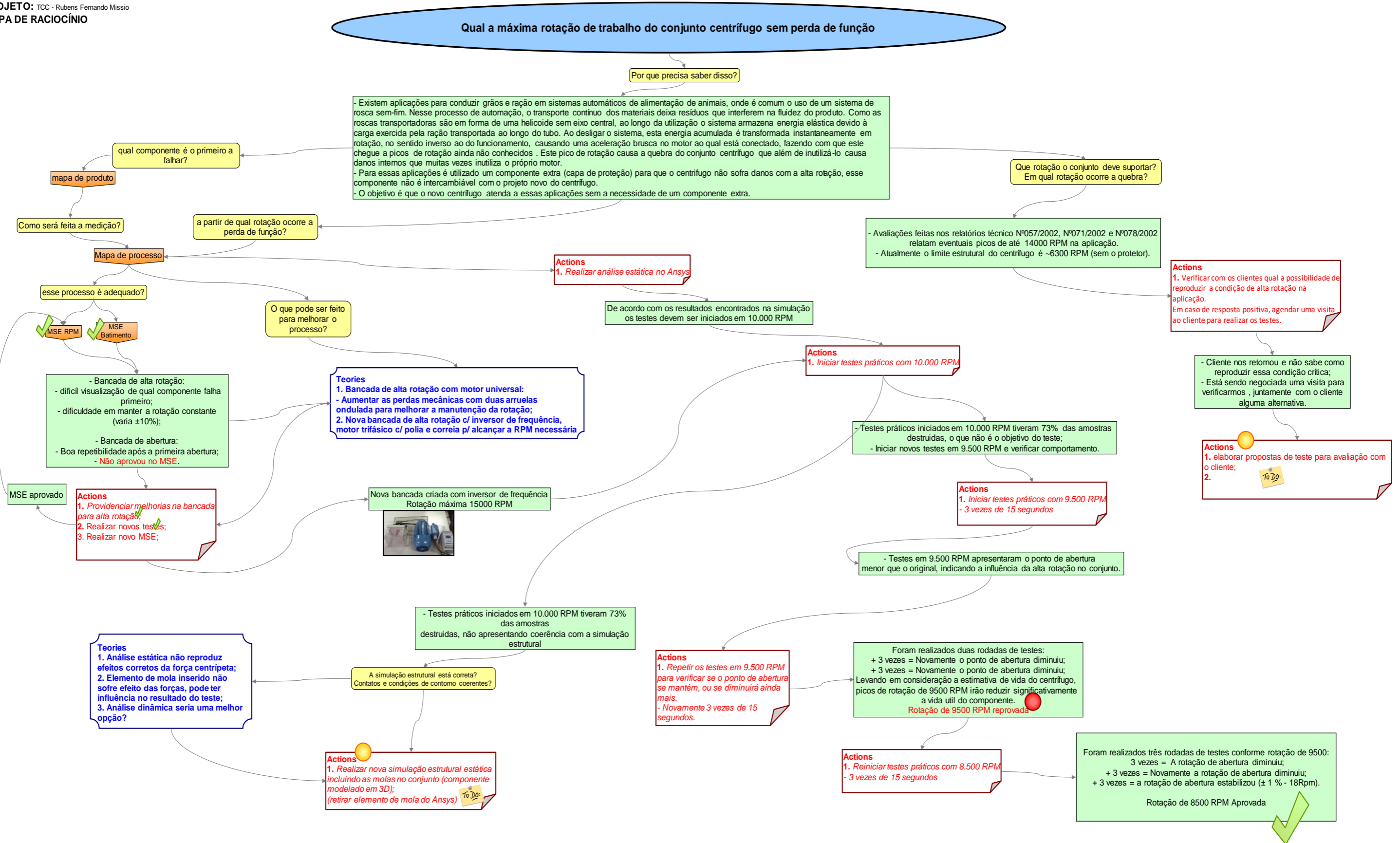


Fonte – O Autor

Através do Mapa de Processo (Figura 10) definiu-se a sequência lógica para os ensaios. Iniciando pela simulação no software de análise estrutural para compreender o comportamento dos componentes em alta rotação, logo após foi definida a quantidade de amostras a serem testadas bem como as bancadas utilizadas para os testes práticos.

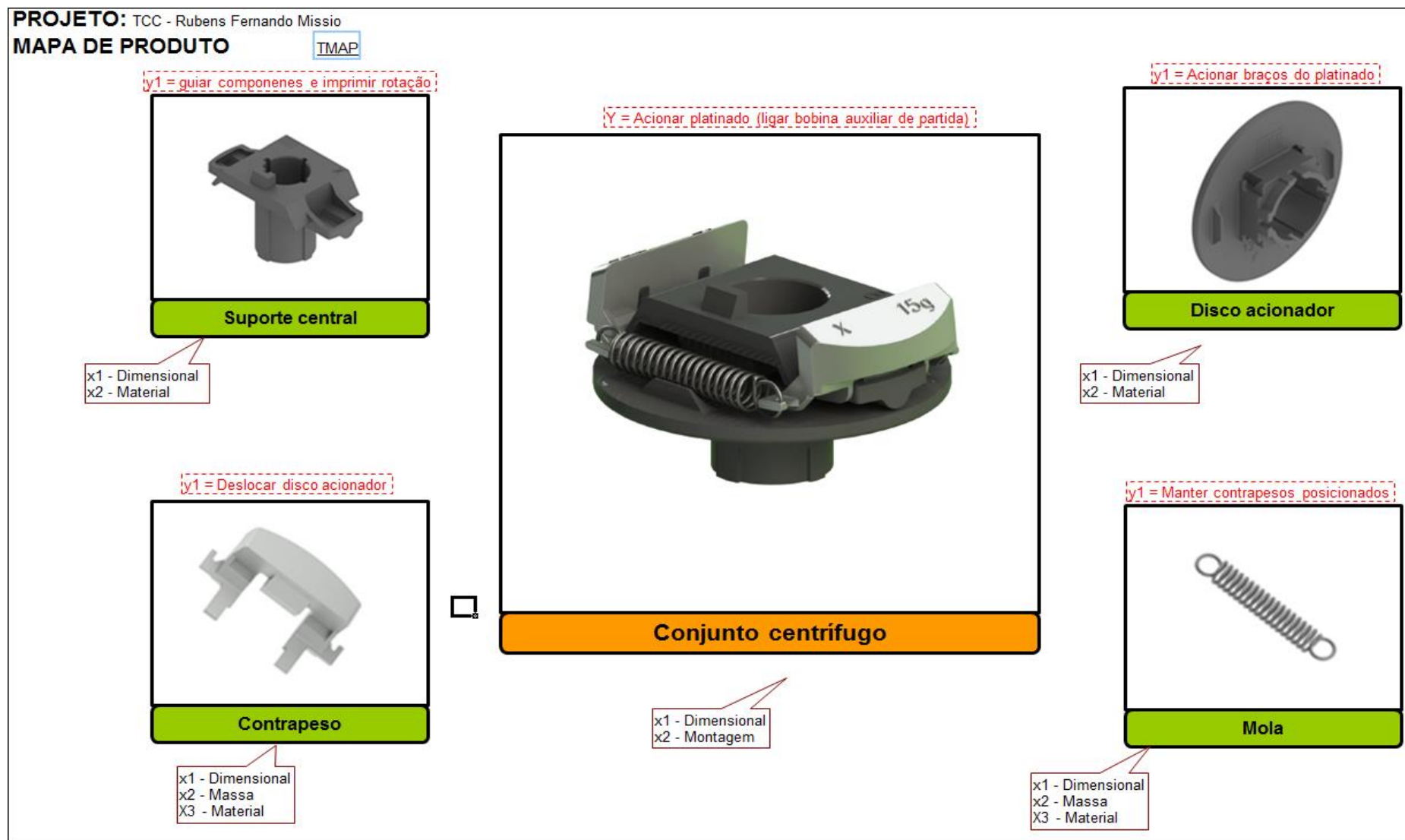
Figura 8 - Mapa de Raciocínio

PROJETO: TCC - Rubens Fernando Missio
MAPA DE RACIOCÍNIO



Fonte – O Autor

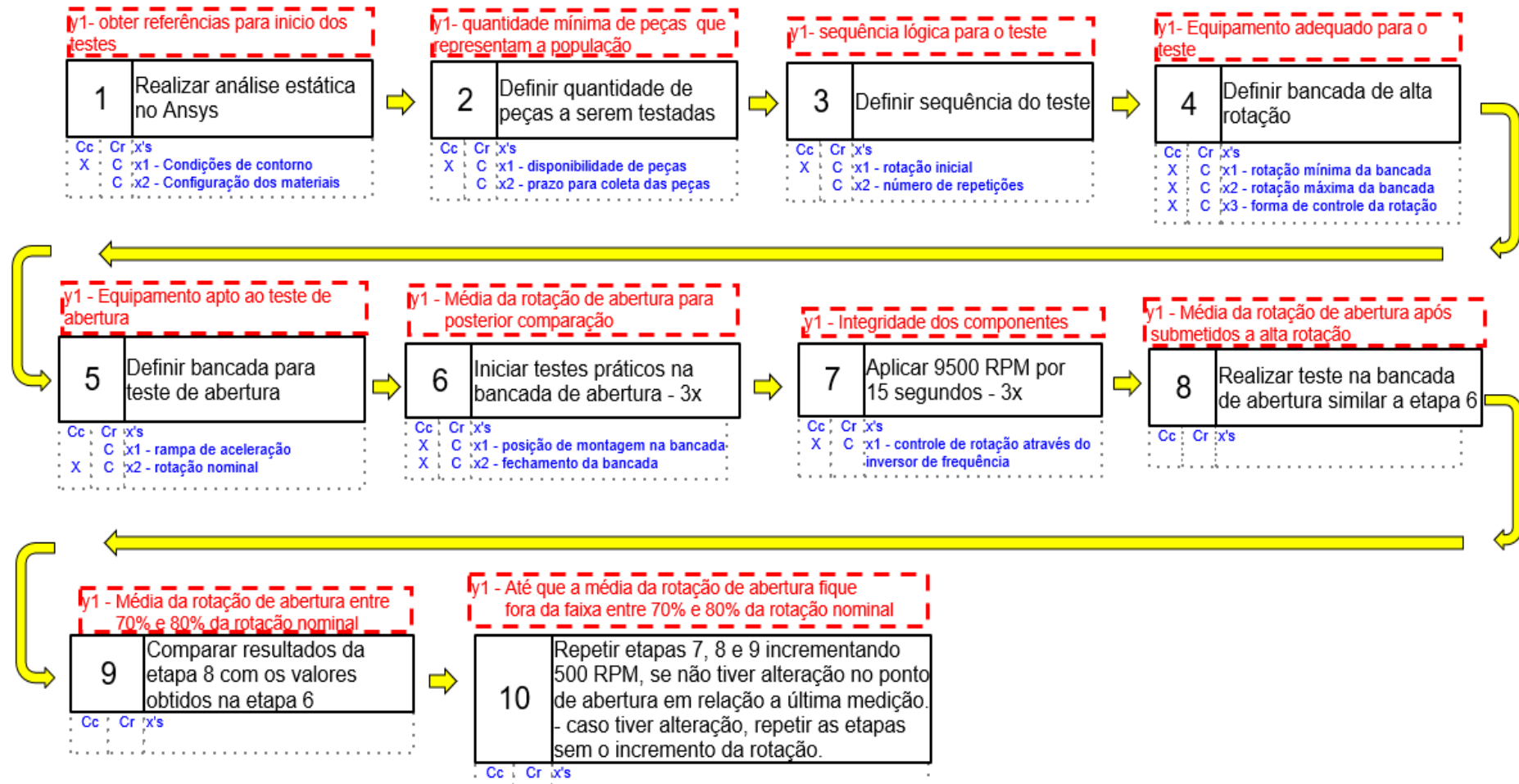

Figura 9 - Mapa de produto



Fonte – O Autor

Figura 10 - Mapa de processo

PROJETO: TCC - Rubens Fernando Missio

MAPA DE PROCESSO 

Fonte – O Autor

3.1 Materiais

Para realização deste estudo foi utilizada uma amostragem da chave centrífuga WEG utilizada em motores de indução de 4 polos (rotação nominal de 1800 RPM), construída com componentes denominados como: Suporte central, contrapeso, disco acionador e mola conforme demonstrado no mapa do produto (Figura 9). O disco acionador e o suporte central são fabricados em polímero e o contrapeso em uma liga de zinco, todos obtidos pelo processo de injeção, a mola é fabricada em aço mola.

Também foram utilizadas duas bancadas de teste: a primeira, denominada aqui como “bancada de abertura” (Figura 11) é constituída de um motor trifásico equipado com um inversor de frequência e sensores que comandados por um software dedicado desenvolvido pela WEG[®] detectam a rotação de abertura total da chave centrífuga.

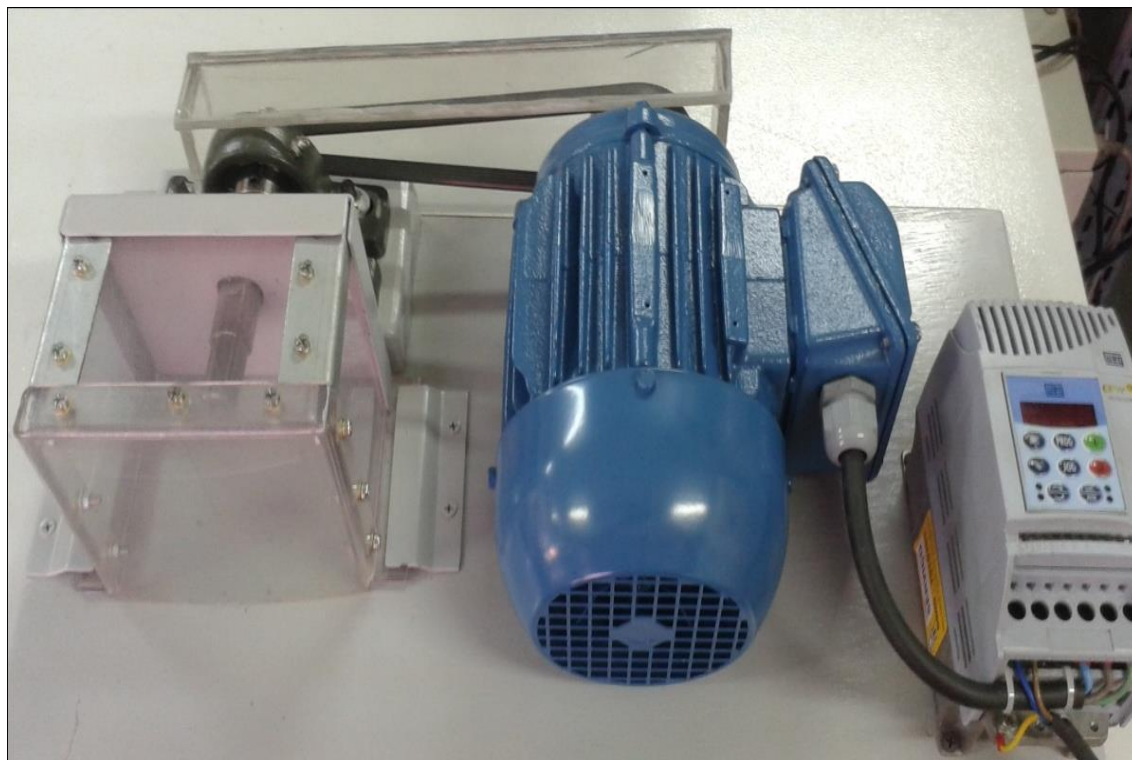
Figura 11 - Bancada de abertura



Fonte – O Autor

A segunda bancada, denominada aqui como “bancada de rotação” (conforme Figura 12) é constituída de um motor trifásico comandado por um inversor de frequência permitindo o controle da rotação do motor.

Figura 12 - Bancada de rotação



Fonte – O Autor

Foi utilizado o tacômetro (SHIMPO DT-205L) para aferição da rotação antes de cada rodada de testes conforme demonstrado na Figura 13.

Figura 13 - Tacômetro utilizado para aferição da rotação



Fonte – O Autor

Os testes práticos foram realizados em um ambiente controlado no laboratório de ensaios elétricos da empresa WEG Equipamentos elétricos.

3.2 Métodos

Conforme detalhado no Mapa de Processo (Figura 10) foi definido uma sequência para realização dos procedimentos para obtenção dos dados.

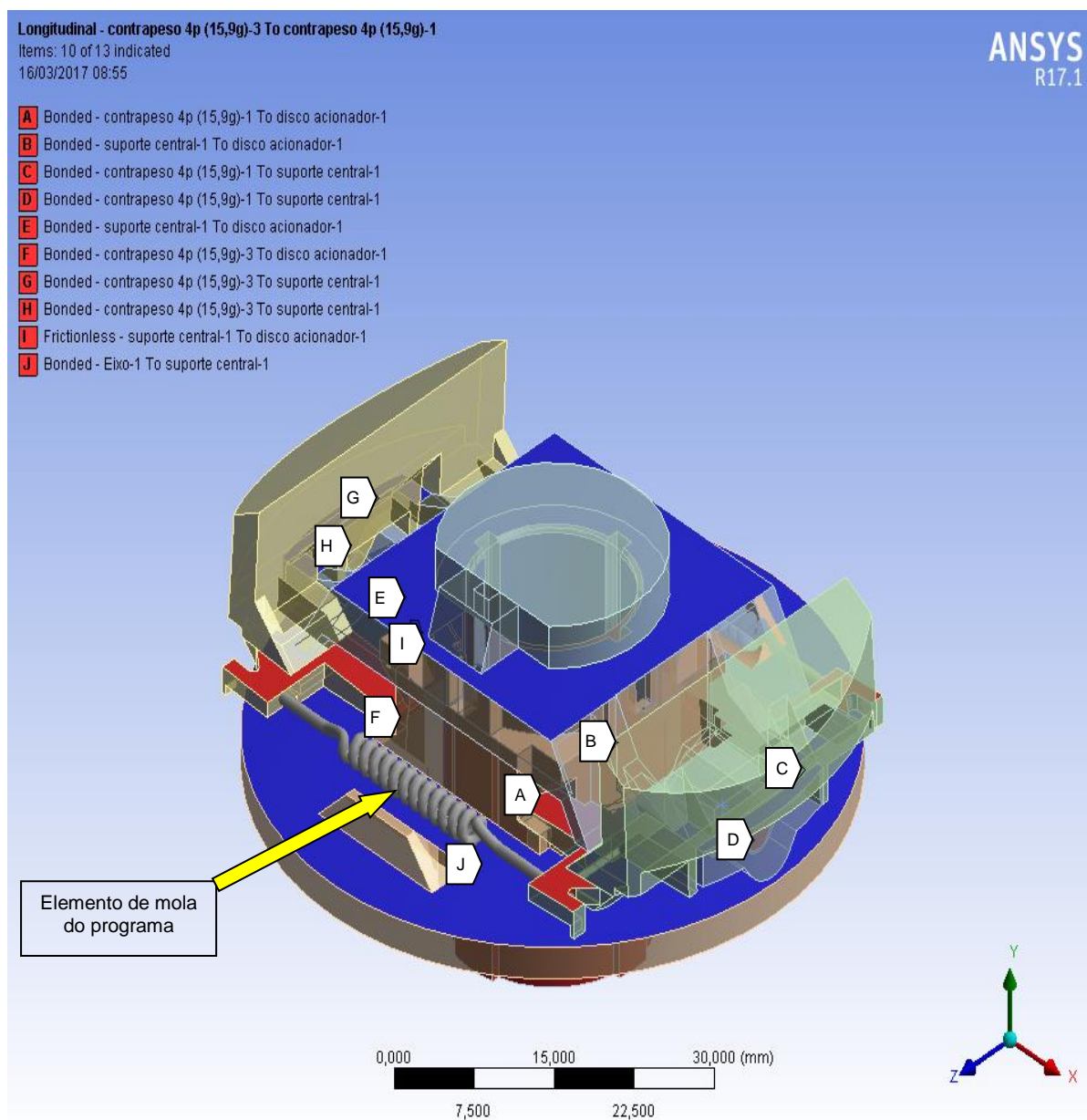
Como primeira ação, foi realizada a análise estrutural estática através de elementos finitos no software Ansys® para determinar, levando em consideração as interfaces entre os componentes, a máxima força suportada até o limite de escoamento dos materiais. Importante ressaltar a que a especificação correta da matéria-prima dos componentes no software de análise estrutural é fundamental para a assertividade do resultado obtido na simulação, pois as propriedades mecânicas como o módulo de Young, tensão de escoamento e tensão de ruptura são essenciais nesse tipo de análise.

A força suportada pelo componente relacionada com a força de tração das molas (força pré-determinada no desenvolvimento do conjunto) determinará a força teórica que será empregada para calcular matematicamente, o valor de rotação utilizando a fórmula inversa de cálculo da força centrípeta. Encontrada a rotação máxima teórica foram realizados testes práticos em bancada para validação do resultado.

Na primeira etapa dos testes foram utilizados os desenhos 3D dos componentes montados em um conjunto, para análise estrutural no software ANSYS®. Na análise dos esforços em alta rotação partiu-se do pressuposto que o centrífugo se encontra na posição aberta que ocorre aproximadamente em 1350 RPM (75% da rotação nominal), tendo em vista que os componentes foram desenvolvidos para esse fim.

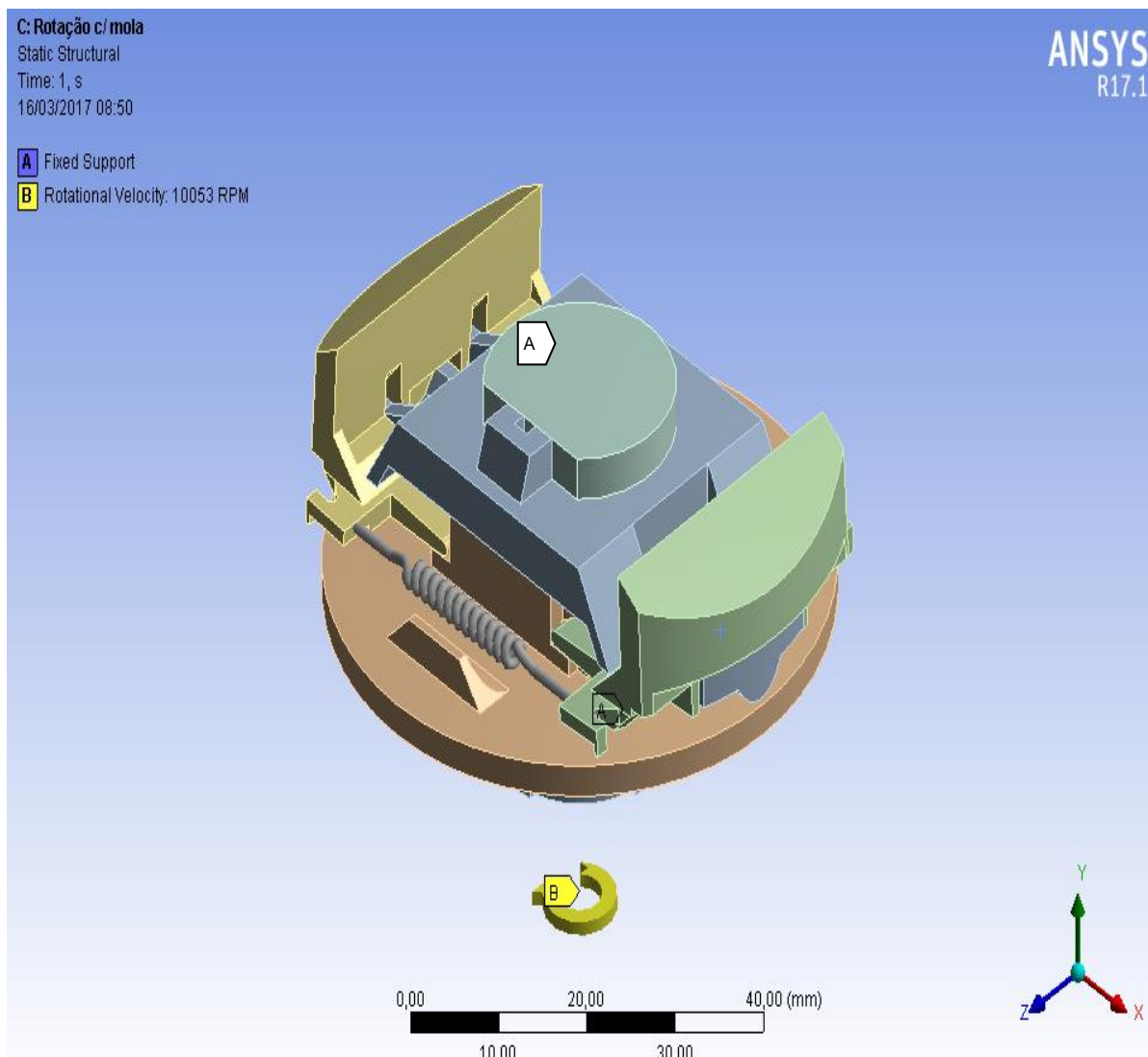
No ANSYS® foram considerados os contatos conforme Figura 14, colados entre os contrapesos e o disco acionador (contatos A-F), entre o suporte central e o disco acionador (contatos B-E), entre os contrapesos e o suporte central (contatos C-D-G-H), entre o eixo e o suporte central (contato J), e um contato deslizante entre o suporte central e o disco acionador (contato I), além de aplicado dois elementos de mola simulando a força de tração das molas entre os contrapesos.

Figura 14 - Contatos para análise estrutural



Para as condições de contorno no ANSYS® aplicado ao conjunto uma rotação de 10053 RPM, conforme Figura 15. Essa rotação corresponde a uma força de 400 N gerada pelo contrapeso.

Figura 15 - Condições de contorno



Para os testes práticos, garantindo a aleatoriedade na coleta, 30 amostras foram utilizadas.

As amostras foram identificadas de 1 a 30 para acompanhamento conforme demonstrado na Figura 16.

Figura 16 - Identificação das amostras



Fonte – O Autor

Nos testes práticos, primeiramente foi utilizada uma bancada de abertura e realizado três medições do ponto de abertura e três medições do batimento do disco acionador de cada amostra, os três valores obtidos em cada uma das medições serviram para verificação de alguma tendência, e a média aritmética desses valores foi utilizada para plotagem dos gráficos de comparação.

Tendo em mãos os valores atuais de funcionamento de cada uma das amostras, a segunda etapa do teste prático consistiu em submeter os conjuntos à alta rotação. Testes preliminares mostraram que foi possível iniciar pelo valor de 10.000 RPM.

O valor de aceitação especificado no projeto para o ponto de abertura é de 75% com tolerância de $\pm 5\%$ que compreende nos valores de rotação entre 1260 a 1440 RPM. Já o valor de batimento do disco acionador é de no máximo 0,6mm especificados em projeto.

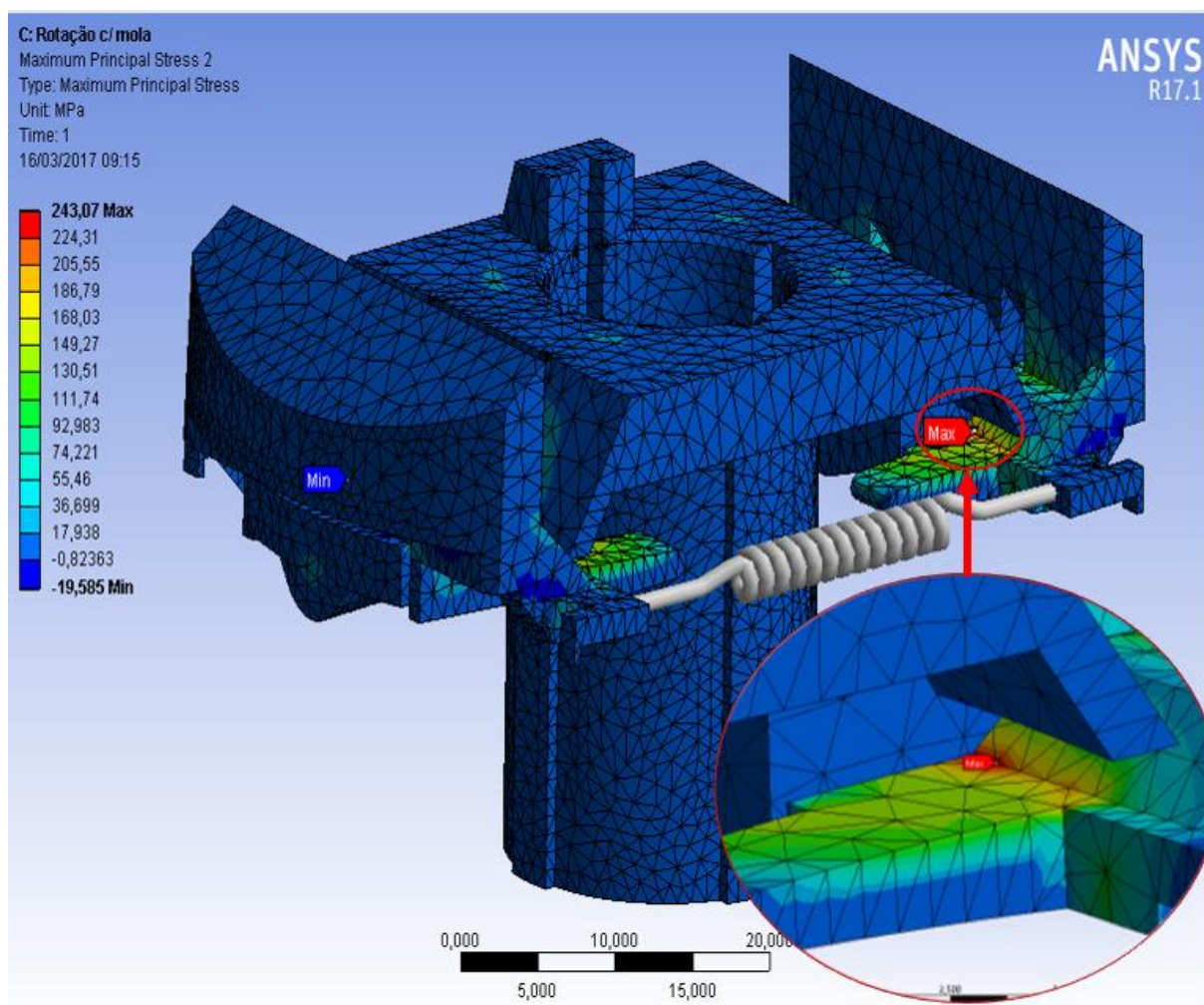
Para tratamento dos dados, foram planilhados os valores coletados discriminando o número da amostra, os valores de rotação de abertura antes de submeter o conjunto a alta rotação, e os valores de rotação de abertura após submeter o conjunto a alta rotação, associando ao valor de alta rotação submetido.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos na análise estrutural mostraram quais os principais pontos de tensão e a tendência de deformação dos componentes.

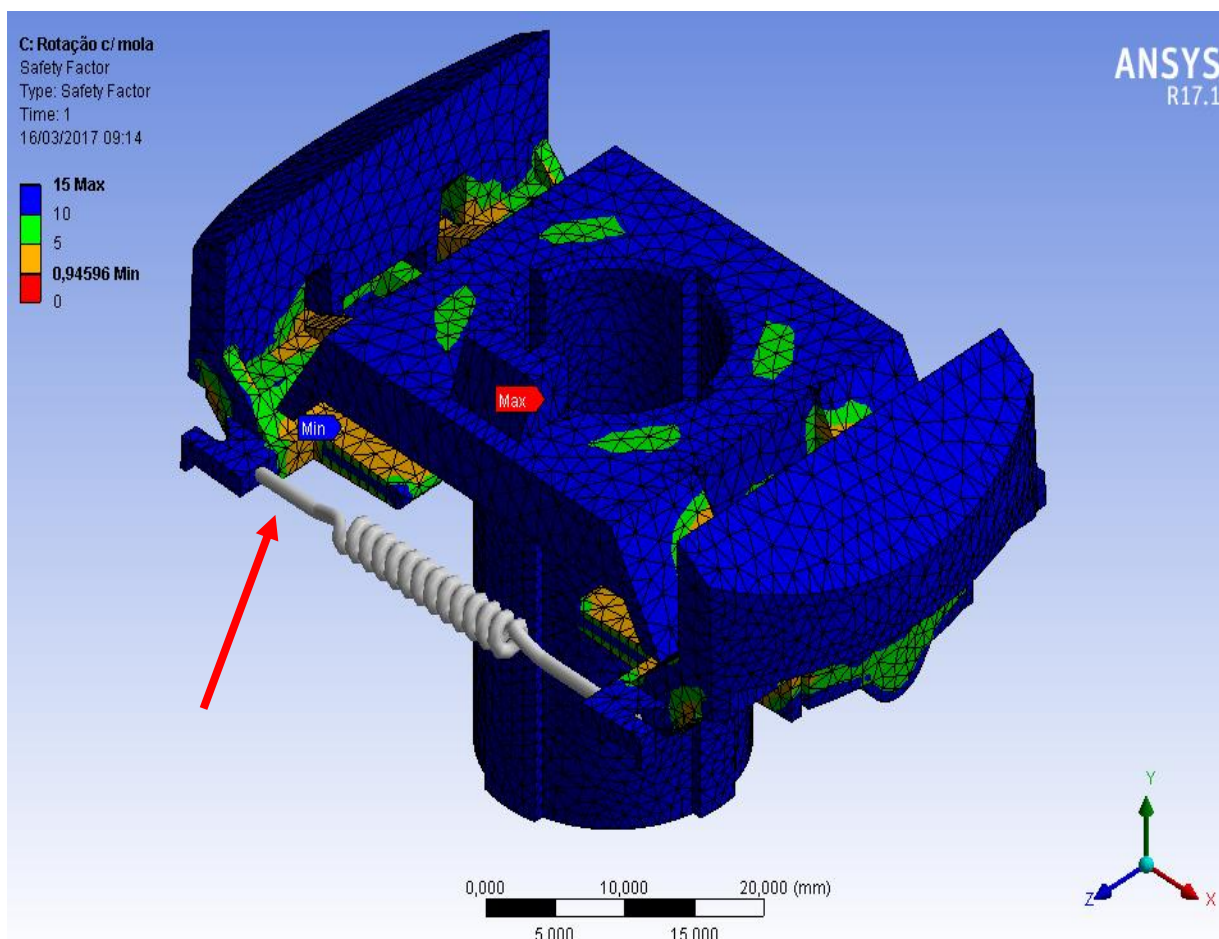
Conforme demonstrado na Figura 17 o ponto de maior tensão apresentado está no contrapeso, a troca de seção da rampa de deslocamento superior com o braço de apoio gerou uma tensão de 243 Mpa.

Figura 17 - Principais pontos de tensão



Na mesma região onde foi encontrado o maior ponto de tensão também foi onde apresentou o menor fator de segurança, a Figura 18 demonstra o fator de segurança de toda a chave centrífuga.

Figura 18 - Fator de segurança



Fonte – O Autor

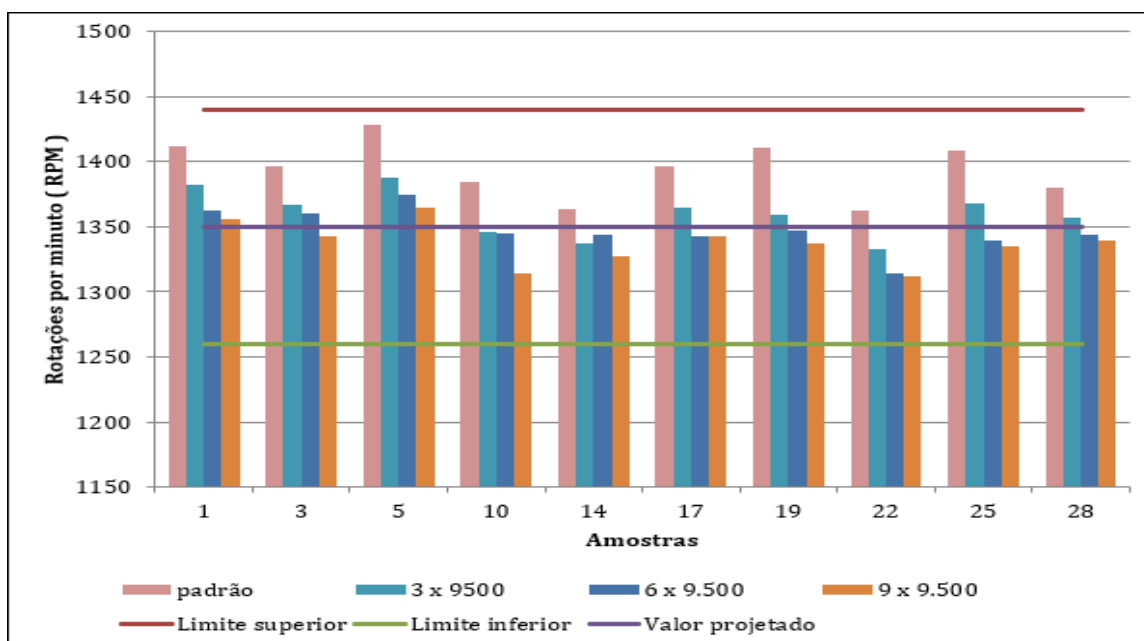
Foram realizadas várias análises com rotações diferentes até chegar no valor de 10.000 que foi utilizado para iniciar os testes em bancada devido aos valores de tensão e fator de segurança estarem perto dos limites admissíveis.

Com os testes iniciados em 10.000 RPM, 22 amostras (73,3%) foram inutilizadas devido à alguma avaria ocasionada em algum dos componentes do conjunto. As avarias apresentadas nos componentes em nenhum momento tiveram relação com os pontos de tensão mostrados na análise estrutural, mostrando a presença de algum ruído não identificado no momento da análise, e/ou não foi reproduzido nos testes práticos. Foram reiniciados os testes utilizando novas amostras a uma rotação de 9500 RPM. Após submeter os componentes a rotação

de 9500 RPM verificou-se que 100% das amostras tiveram a rotação de abertura alterada para baixo, indicando que houve influência da alta rotação aplicada, mesmo que o componente não tenha sido inutilizado. Por esse motivo foi novamente aplicado a rotação de 9500 com o intuito de verificar se haveria repetibilidade do comportamento. Conforme demonstrado no Gráfico 1, a cada aplicação de 9.500 RPM temos a rotação de abertura diminuída, indicando claramente que há repetibilidade no comportamento, o que levará a ter seu funcionamento comprometido, levando em consideração que a estimativa de vida do produto é de um milhão de ciclos.

A diferença do ponto de abertura do conjunto centrífugo entre aplicações de alta rotação deve ser menor que o 1% da rotação nominal de trabalho (18 RPM), onde todas as amostras estando nessa condição, pode-se considerar que o ponto de abertura está estabilizado.

Gráfico 1 - Amostras submetidas a 9500 RPM



Fonte – O Autor

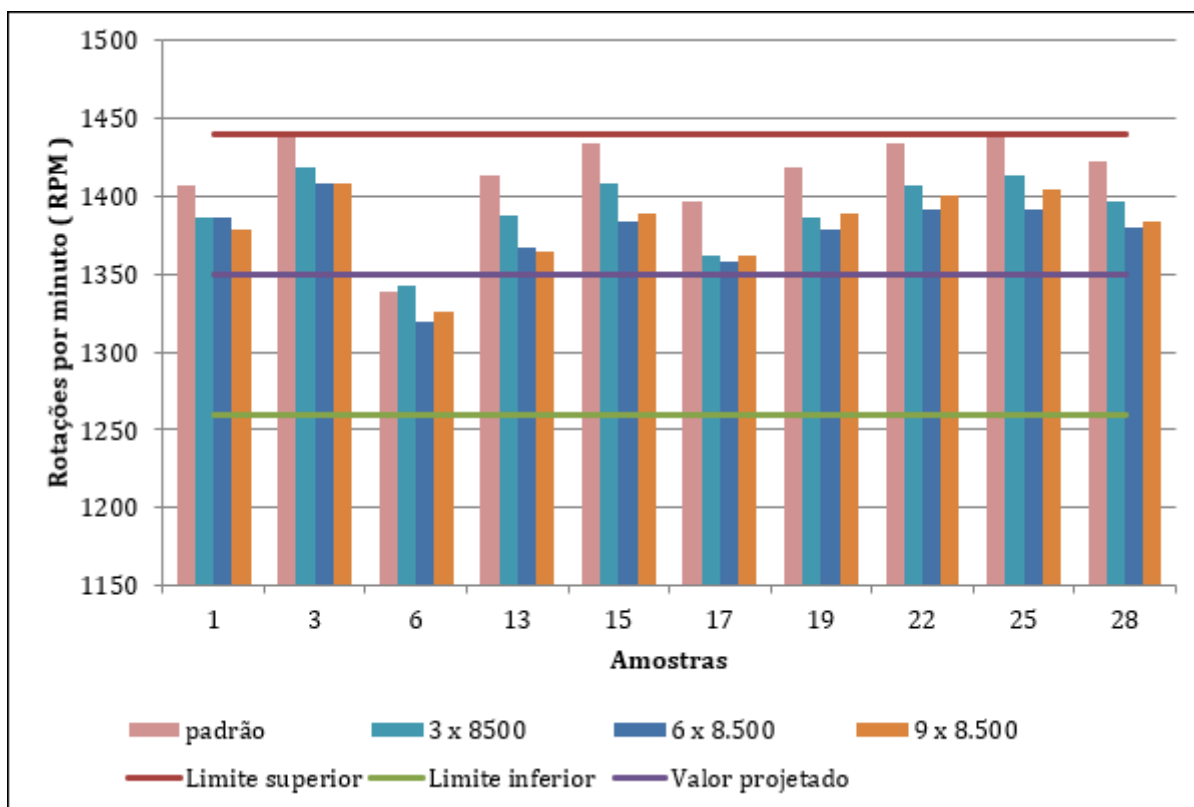
Dessa forma se fez necessário iniciar novos testes em uma rotação menor. Foi reiniciado os testes em 8.500 RPM e obteve-se a estabilidade da rotação após a terceira aplicação de alta rotação (9 x 8500 RPM) sem nenhuma quebra ou danificação de algum componente. As 30 amostras apresentaram um resultado satisfatório. Conforme demonstrado na Tabela 2 e reforçado pelo Gráfico 2.

Tabela 2 - Dados de 8500 RPM

Amostra	Ensaio antes de submetido à alta rotação	3 x 8.500	6 x 8.500	9 x 8.500	Amplitude entre medições		
		Rotação	Rotação	Rotação	a - 3x	3x - 6x	6x - 9x
1	1407	1386	1386	1379	21	0	7
2	1425	1378	1376	1383	48	2	7
3	1439	1419	1409	1408	20	10	1
4	1445	1408	1399	1410	37	9	11
5	1475	1451	1422	1416	24	29	6
6	1339	1342	1319	1325	3	23	6
7	1473	1433	1403	1418	41	30	15
8	1444	1406	1391	1391	38	15	0
9	1442	1408	1400	1391	35	8	9
10	1468	1455	1424	1427	14	31	3
11	1468	1432	1414	1413	37	18	1
12	1488	1446	1439	1434	42	7	5
13	1413	1387	1367	1364	26	20	3
14	1414	1382	1384	1373	33	2	11
15	1434	1408	1384	1389	26	24	5
16	1429	1399	1385	1387	31	14	2
17	1396	1362	1358	1362	35	4	4
18	1439	1405	1393	1395	34	12	2
19	1418	1386	1378	1389	32	8	11
20	1451	1429	1405	1413	22	24	8
21	1445	1418	1402	1414	27	16	12
22	1434	1407	1391	1401	27	16	10
23	1448	1425	1405	1402	23	20	3
24	1456	1423	1417	1420	33	6	3
25	1440	1413	1391	1405	27	22	14
26	1456	1429	1423	1415	27	6	8
27	1446	1407	1399	1396	39	8	3
28	1423	1396	1380	1384	27	16	4
29	1457	1428	1411	1419	29	17	8
30	1388	1363	1360	1361	24	3	1

Fonte – O Autor

Gráfico 2 - Amostras submetidas a 8500 RPM



Fonte – O Autor

5. CONCLUSÃO

Foi possível determinar a máxima rotação de trabalho da chave centrífuga preservando a funcionalidade do conjunto

Iniciando os testes em 10.000 RPM, 75% das amostras quebraram no momento em que foi aplicada alta rotação pela 3ª vez. Novas amostras foram solicitadas e reiniciados os testes com 9500 RPM, porém, nessa condição também não se obteve êxito, pois uma amostra quebrou e outras não atenderam o valor máximo de 18 RPM de diferença entre aplicações de alta rotação.

Nos testes realizados com 8500 RPM, o ponto de abertura estabilizou após 9 aplicações de alta rotação, se mostrando possível a utilização do conjunto centrífugo em condições onde a máxima rotação de trabalho seja nessa condição.

Pelas condições exigidas em transportadores de ração e grãos, resistir a rotação de 8500 RPM é insuficiente para que o componente atenda a aplicação sem o auxílio de componente(s) extra, remetendo ao processo utilizado atualmente.

Através desse trabalho foi possível observar a capacidade de ferramentas como o mapa de raciocínio e o mapa de processo, ferramentas essas que se aplicadas corretamente tornam o gerenciamento do projeto mais fácil e com ações mais efetivas, trazendo agilidade nos projetos sem deixar de manter o foco no objetivo final.

As análises estáticas realizadas no Ansys não apresentaram coerência com os testes práticos, tendo assim seus resultados ignorados na conclusão deste trabalho. Os testes práticos nos mostraram que a inclusão das molas como componente da estrutura que é submetido à alta rotação é imprescindível para coerência da análise com os testes práticos.

Nos testes realizados não foi possível identificar qual componente é o responsável pelas falhas que ocorreram. Ter o conhecimento de qual é o comportamento de cada um dos componentes em condições de alta rotação é o caminho para a evolução do conjunto centrífugo. Descobrir qual é o primeiro componente a falhar é o próximo passo, além do teste de vida nessas condições. Ficando essas como sugestões para próximos trabalhos.

REFERÊNCIAS

ANDRIETTA, João Marcos; MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. A importância do Método Seis Sigma na Gestão da Qualidade Analisada sob uma Abordagem Teórica. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v.11, n. 20, p 91-98, jul/dez. 2002.

BALABEN, Romeu A. **Aplicação da Metodologia Seis Sigma: Modelo DMAIC – para melhoria no processo na área de engenharia de Fábrica em uma Empresa Montadora**. 2004. 84f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BARBETTA, Pedro Alberto. **Estatística Aplicada às Ciências sociais**. 9. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2014.

BLAUTH, Regis. Seis Sigma: Uma estratégia para melhorar resultados. **Revista FAE BUSINESS**, n. 5, abril, 2003. Disponível em: <http://img.fae.edu/galeria/getImage/1/16576598681649246.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2017.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Método de pesquisa em administração**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.

DIAS, Letícia. **Aplicação de Ferramentas Seis Sigma na Resolução de um Problema Prático na Indústria da Linha Branca**. 2014. 32 f. Monografia (Graduação) – Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, Limeira.

FIGUEIREDO, T. Gomes. **Metodologia Seis Sigma como Estratégia para Redução de Custos: Estudo de Caso sobre a Redução de Consumo de Óleo Sintético na Operação de Usinagem**. 2006. 40f. Monografia - Graduação Em Engenharia Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz De Fora.

FIORAVANTI, Alexandre. **Aplicação da Metodologia “Design For Six Sigma” (DFSS) em Projetos Automotivos**. 2005. 118f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Automotiva, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GALVANI, L. Ricardo, CARPINETTI, Luiz César R. Análise comparativa da aplicação do programa Seis Sigma em processos de manufatura e serviços, **Produção**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 695-704, out./dez. 2013.

HENRIQUES, Francisco Jose Da Silva. **O uso do DOE em conjunto com FTA no desenvolvimento e melhoria de projetos inovadores**. 2011. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

KOVACH, Jami; STRINGFELLOW, Paris; TURNER, Jennifer; CHO, B. Rae. The House of Competitiveness: The Marriage of Agile Manufacturing, Design for Six Sigma, and Lean Manufacturing with Quality Considerations. **Journal of Industrial Technology**. v. 21 n. 3, jul/ set. 2005.

LIMA, A. A. N.; LIMA, J. R.; SILVA, J. L.; ALENCAR, J. R. B.; SOARES-SOBRINHO, J. L.; LIMA, L. G.; ROLIM-NETO, P. J., Aplicação do controle estatístico de processo na indústria farmacêutica. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 27, n.3, p.177-187, 2006.

MARSHALL JUNIOR, Isnard et al. **Gestão da qualidade**. 10. ed. Rio de Janeiro: Fgv, 2011.

MELLO, Carlos Henrique Pereira. **Gestão da qualidade**. São Paulo: Pearson, 2011.173 p.

PANDE, P. S., NEUMAN, R. P., CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma: Como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

PAVANI JUNIOR, Orlando. **O poder da aleatoriedade do número 30**. Disponível em: <https://gaussconsulting.com.br/blog/o-poder-da-aleatoriedade-do-numero-30/>. Acesso em: 18 nov. 2017.

PEÑA, Ricardo De Marsillac. **Aplicação da metodologia Seis Sigma para melhorar a qualidade de um fornecedor**. 2006. 116f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Produção com ênfase em Sistemas de Qualidade, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/10171>. Acesso em: 22 jan. 2018.

RAMM, Axel Júlio. **Procedimento de Calibração e Otimização Estrutural para um Gabinete de Refrigerador**. 2007. 197f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RODRIGUES, Marcus Vinicius. **Entendendo, aprendendo e desenvolvendo sistemas de qualidade Seis Sigma**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

ROMEIRO FILHO, Eduardo et al (Org.). **Projeto de Produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

SANTOS, Adriana B.; MARTINS, Manoel F. Contribuições do Seis Sigma: estudos de caso em multinacionais. **Produção**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 42-53, jan./mar. 2010.

SCATOLIN, André Celso. **Aplicação da metodologia seis sigma na redução das perdas de um processo de manufatura**. 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

TRAD, Samir; MAXIMIANO, Antonio C. A. Seis sigma: fatores críticos de sucesso para sua implantação. **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v.13, n.4, p. 647-662, out./dez. 2009.

WERKEMA, Cristina Maria. **Criando a cultura Seis Sigma**. (vol. 1, Série Seis Sigma). Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

WERKEMA, Cristina Maria. **Métodos PDCA e DMAIC e suas Ferramentas Analíticas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.