

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

DIOGO AUGUSTO BROLINI

REDUÇÃO DO TEMPO DO PROCESSO DE ENSAIO DE ALTERNADORES  
ATRAVÉS DO MÉTODO SMED

Jaraguá do Sul  
11 de junho de 2018

DIOGO AUGUSTO BROLINI

REDUÇÃO DO TEMPO DO PROCESSO DE ENSAIO DE ALTERNADORES  
ATRAVÉS DO MÉTODO SMED

Monografia apresentada ao Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Campus Geraldo Werninghaus do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientador:  
Alexandre Zammar

Jaraguá do Sul  
11 de junho de 2018

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

Brolini, Diogo Augusto

**Redução do tempo do processo de ensaio de alternadores  
através do método SMED / Diogo Augusto Brolini ; orientação  
de Alexandre Zammar. Jaraguá do Sul, SC, 2018.**

58 p.

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

**1. Alternador. 2. Otimização. 3. SMED. 4. Processo  
de ensaio. I. Zammar, Alexandre. II. Instituto Federal  
de Santa Catarina. . III. Título.**

DIOGO AUGUSTO BROLINI

REDUÇÃO DO TEMPO DO PROCESSO DE ENSAIO DE ALTERNADORES  
ATRAVÉS DO MÉTODO SMED

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. Alexandre Zammar

Orientador

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Me. Cassiano Rodrigues Moura

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Dr. Joel Stryhalski

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU

Aos meus pais, irmãos, noiva e amigos pelo apoio e incentivo  
ao longo desta importante etapa de minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me agraciar com a vida, e por permitir que chegasse até este momento.

A meus pais pelo incentivo ao estudo desde jovem, mas principalmente ao longo dos últimos 4 anos.

A meus amigos e colegas que de alguma maneira contribuíram para que chegasse até aqui, seja realizando tarefas de minha responsabilidade para que pudesse coletar dados ou demonstrando apoio.

A meu orientador e amigo Alexandre Zammar, por acreditar na minha capacidade quando eu mesmo não o fazia.

E a minha noiva e companheira Rutila pela paciência e compreensão durante o período de execução deste.

Mudar é fácil.  
Melhorar é muito mais difícil.  
(Ferdinand Porsche, 1951)

## RESUMO

Este trabalho foi realizado sobre o conceito de melhoria contínua, e tem como objetivo reduzir o tempo de processo para realizar o ensaio de alternadores, bem como aumentar a capacidade produtiva do laboratório de ensaios elétricos e diminuir os custos para a realização dos testes. A ferramenta utilizada para o desenvolvimento do trabalho foi a SMED (*Single Minute Exchange of Die*), que é uma ferramenta do processo *Kaisen*. Durante o desenvolvimento do trabalho foi realizada inspeção visual, não sendo esta suficiente para obter os resultados desejados, foi decidido realizar a filmagem do processo para obter maior detalhamento. Após gravado, o processo foi explodido em tabela específica da empresa para o desenvolvimento da ferramenta de SMED, onde 58 etapas foram estabelecidas, sendo que 14 delas foram consideradas passíveis de alterações, sendo elas, eliminação, aprimoramento, combinação ou simplificação. Os resultados obtidos mostram um aumento estimado da capacidade produtiva após as melhorias de 18,16%, com redução do tempo médio de teste em 15,5%, o que gera um ganho anual de R\$ 57.557,50, sendo que os gastos para implantação de tais melhorias foi inferior a 1,7% do ganho.

**Palavras-Chave:** Alternador. Otimização. SMED. Processo de Ensaio.

## ABSTRACT

This work was carried out on the concept of continuous improvement, and aims to reduce the process time to perform the alternator test, as well as increase the productive capacity of the electrical test laboratory and reduce the costs for the tests. The tool used for the development of the work was SMED (*Single Minute Exchange of Die*), which is a tool of the *Kaisen* process. During the development of the work, visual inspection was performed, and this was not sufficient to obtain the desired results. It was decided to carry out the filming of the process to obtain greater detail. After being recorded, the process was exploded in a company-specific table for the development of the SMED tool, where 58 steps were established, of which 14 were considered changeable, being elimination, improvement, combination or simplification. The results obtained show an estimated increase of the productive capacity after the improvements of 18.16%, with reduction of the average test time in 15.5%, which generates an annual gain of R\$ 57,557.50, with expenses for improvement was less than 1.7% of the gain.

**Keywords:** Alternator. Optimization. SMED. Test procedure

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estágios conceituais e técnicas práticas SMED.....	19
Figura 2 - Melhoria revolucionária x Melhoria continua .....	23
Figura 3 - Alternador WEG linha G.....	26
Figura 4 - Fluxograma das etapas aplicadas.....	26
Figura 5 - Checklist com evidência na área referente ao ensaio.....	31
Figura 6 - AVR com acesso ao N <sup>o</sup> S obstruído.....	32
Figura 7 - Fonte de Alta Tensão.....	33
Figura 8 - Medidor de isolamento.....	33
Figura 9 - Diagrama de comando para Hipot/ Megômetro.....	34
Figura 10 - Mapa dos laboratórios de ensaios.....	36
Figura 11 - Bucha de acoplamento para GTA 200.....	37
Figura 12 - Desenho acoplamento AG10 280.....	38
Figura 13 - Cabo de 150mm <sup>2</sup> em placa de bornes para GTA 160.....	39
Figura 14 - Conexão dos cabos de curto para GTA 160.....	39
Figura 15 - Placa de Bornes para GTA 160.....	41
Figura 16 - Multimedidor KRON.....	43
Figura 17 - AVR para testes/ AVR do alternador.....	45
Figura 18 - Diagrama de comando para troca de AVR's.....	46
Figura 19 - Trimpots de ajuste com selo padrão WEG.....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Correntes máximas para GTA 160.....	40
Tabela 2 - Somatória dos tempos poupados.....	49
Tabela 3 - Componentes e seus respectivos preços.....	52
Tabela 4 - Tempo para retorno sobre capital investido.....	53

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

SMED – Single Minute Exchange of Die

TRF – Troca Rápida de Ferramenta

AVR – Automatic Voltage Regulator (Regulador automático de tensão)

OP – Ordem de Produção

NºS – Número de Série

GCF – Gerenciador de chão de fábrica

CTG – Cabine de Teste de Geradores (software para testes)

kVA – Kilo Volt Ampere (unidade de potência)

CC – Corrente Contínua

CA – Corrente Alternada

EE – Especificação Eletromecânica

PCP – Planejamento e Controle da Produção

Vad – Volt Adjust (ajuste de tensão)

Cap - Capacidade

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Omega$  - Ohm

V – Volt

mm<sup>2</sup> - Unidade de área

A – Ampere

I – Corrente elétrica

P – Potência

$\sqrt{\quad}$  - Operação matemática radiciação

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 OBJETIVOS .....	16
<b>1.1.1 Objetivo geral</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>16</b>
1.2 PROBLEMA .....	16
1.3 JUSTIFICATIVA.....	17
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>18</b>
2.1 SMED – SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE .....	18
<b>2.1.1 Caracterização do método</b> .....	<b>18</b>
2.2 APLICAÇÕES EM EMPRESA.....	20
<b>2.2.1 Caso 1</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.2 Caso 2</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.3 Caso 3</b> .....	<b>21</b>
2.3 KAIZEN .....	22
<b>2.3.1 Princípios básicos do Kaizen</b> .....	<b>23</b>
2.4 ALTERNADOR TRIFÁSICO BRUSHLESS.....	25
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>26</b>
3.1 AMBIENTE DE PESQUISA .....	25
3.2 SELEÇÃO DA AMOSTRA UTILIZADA .....	26
3.3 INSPEÇÃO VISUAL .....	26
3.4 FILMAGEM DO PROCESSO .....	28
3.5 DETALHAMENTO DO PROCESSO.....	28
<b>4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
4.1 HISTÓRIA DA EMPRESA .....	29
4.2 PROCEDIMENTO DE ENSAIO DE LINHA .....	30
4.3 ALTERAÇÕES PROPOSTAS AOS PROCESSOS.....	30
<b>4.3.1 Registro do número de série do AVR (automatic voltage regulator)</b> .....	<b>31</b>
<b>4.3.2 Medição da resistência de isolamento</b> .....	<b>32</b>
<b>4.3.3 Levar documentação à bancada</b> .....	<b>35</b>
<b>4.3.4 Colocar, fixar e soltar acoplamento</b> .....	<b>37</b>
<b>4.3.5 Fixar cabos de curto para GTA 160</b> .....	<b>38</b>
<b>4.3.6 Fixar e soltar cabos de curto na placa de bornes</b> .....	<b>38</b>

<b>4.3.7 Cabos para leitura de tensão .....</b>	<b>42</b>
<b>4.3.8 Calcular corrente nominal do alternador .....</b>	<b>43</b>
<b>4.3.9 Substituir AVR .....</b>	<b>44</b>
<b>4.3.10 Selar Trimpots do AVR .....</b>	<b>46</b>
<b>4.4 ANÁLISES DOS RESULTADOS SOBRE AS MELHORIAS REALIZADAS .....</b>	<b>47</b>
<b>4.4.1 Separação das melhorias .....</b>	<b>47</b>
4.4.1.1 Melhorias não aplicáveis a toda linha de produtos.....	48
4.4.1.2 Melhorias aplicáveis a toda linha de produtos.....	48
<b>4.4.2 Somatórias de tempos das melhorias aplicáveis e não aplicáveis a toda a linha de produtos .....</b>	<b>49</b>
<b>4.4.3 Redução do tempo de produção de alternadores .....</b>	<b>49</b>
<b>4.4.4 Redução do custo por ensaio realizado.....</b>	<b>50</b>
<b>4.4.5 Equipamentos necessários para realização dos trabalhos .....</b>	<b>51</b>
<b>4.4.6 Trabalho especializado de instalação.....</b>	<b>52</b>
<b>4.4.7 Retorno sobre capital investido .....</b>	<b>53</b>
<b>4.4.8 Custo das melhorias em relação ao ganho anual .....</b>	<b>53</b>
<b>4.4.9 Aumento da capacidade produtiva .....</b>	<b>53</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>59</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Vista a grande concorrência no mercado de bens de consumo, mais especificamente o de máquinas elétricas, é constante a busca pela melhoria e redução de custos na fabricação de produtos. A WEG S.A uma das maiores do mundo no ramo, busca constantemente a otimização de seus processos, visando oferecer um produto de alta qualidade por um preço competitivo. Diante disso, buscou-se realizar um trabalho no laboratório de ensaios de baixa tensão, de alternadores, uma vez que o aprimoramento do processo favorece não apenas quem o realiza, mas principalmente a empresa que oferece um produto de maior qualidade e maior competitividade, e o cliente final que é beneficiado por um produto com maior qualidade.

Quando um novo projeto de alternador é desenvolvido, é fabricado um protótipo, este passa por uma bateria de ensaios, que são denominados ensaio de tipo. No ensaio de tipo o alternador trabalha em carga, ou seja, na situação real em que trabalhará no campo.

Após os ensaios em situação semelhante a encontrada em campo, alternadores de características elétricas semelhantes são testados em uma bateria de testes mais simples, testes estes denominados Ensaio de Linha, o qual compara dados obtidos destes, com os coletados no Ensaio de tipo.

Considerando o grande volume de alternadores testados anualmente, cerca de 9.625 no ano de 2017, pequenas alterações no processo de testes podem significar ganhos consideráveis, inclusive no que diz respeito a capacidade produtiva da área de ensaios. Assim sendo, optou-se pela realização de um trabalho para redução do tempo do processo, com metodologia baseada no sistema SMED (Single Minute Exchange of Die), onde o processo é separado em etapas, as quais por sua vez se dividem em processos internos, os quais são realizados com máquina parada, e externos que são realizados com máquina rodando, onde se busca através de análise aprimorar ou até eliminar as etapas que se mostrem desnecessárias.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral reduzir o tempo de processo para o ensaio de linha de alternadores, através da aplicação da metodologia SMED

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar o processo atual de ensaio de alternadores;
- Reduzir em 10% o tempo utilizado para testar um alternador;
- Reduzir em 10% o custo do ensaio realizado;
- Verificar a viabilidade econômico/ financeira de implementar alterações no processo.

## 1.2 PROBLEMA

O mês de abril de 2016 marcou a mudança do gerenciamento na área de ensaios de alternadores, a qual pertencia à própria área produtiva, e que passou a pertencer à área de ensaios de baixa tensão, por considerar-se um conflito de interesses. Como consequência, novas diretrizes no que diz respeito ao controle da qualidade, baseadas em problemas de campo, acrescentaram ao longo de meses vários pequenos processos, responsáveis por um aumento significativo na qualidade do produto, na integridade dos componentes avaliados na área de ensaios, por consequência no alternador como um todo.

Nunca houve preocupação quanto a otimização de tais processos, os quais agregaram tempo nunca estabelecido pelo Planejamento e Controle da Produção (PCP) para o ensaio, fazendo-se assim necessária a realização de um trabalho avaliativo e posteriormente atuante na melhoria, não apenas dos processos adicionados recentemente, mas também dos já realizados anteriormente, visto a baixa autonomia que possuíam os colaboradores atuantes, para realização de trabalhos deste gênero.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Considerando a necessidade de oferecer produtos cada vez mais competitivos, a WEG equipamentos elétricos S.A., busca constantemente otimizar os processos produtivos. Ao tratar da área de alternadores, a busca por melhorias é ainda mais evidente, sendo que desde 2012 já foram realizadas 3 mudanças de *layout*, buscando aumento de produtividade e redução de custos. A área de ensaios por sua vez sofreu mudança de posicionamento dentro do *layout* da fábrica, mas não do *layout* do laboratório em si.

No ano de 2015, 100 alternadores eram produzidos diariamente, ou seja, ultrapassava a capacidade produtiva da fábrica e dos laboratórios que é de 83 alternadores por dia, sendo assim, necessário que outras unidades produtivas absorvessem o que não era possível produzir na fábrica de alternadores.

Diante da autonomia dada pela nova gerência aos seus colaboradores, decidiu-se por realizar um trabalho de redução do tempo do processo utilizando o método SMED (Single Minute Exchange to Die), o qual poderá trazer melhorias relevantes, não apenas em relação a qualidade do processo, mas também quanto a redução de custos e aumento da capacidade produtiva.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), tornar o processo enxuto baseia-se em, executar as operações simples de maneira correta, buscando sempre a melhoria e eliminando o desperdício em todas as etapas.

Martins e Laugeni (2005) creem que a execução de tarefas simples parte de uma conscientização nos altos escalões das empresas, chegando aos colaboradores, com o princípio de que se a execução de tais não se faz possível, como será com as de maior complexidade, para aqueles que buscam dimensões globais de mercado?

### 2.1 SMED – SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE

#### 2.1.1 Caracterização do método

É uma ferramenta elaborada paralelamente por Taiichi Ohno e Shigeo Shingo. É utilizado para reduzir o tempo do processo de preparação de máquinas, equipamentos, linhas de produção, transporte de matéria-prima (*setup*), ou seja, por meio da otimização de processos, reconfiguração e utilização de ferramentas consegue-se um melhor resultado operacional.

Mota (2007), afirma que o Single Minute Exchange of Die - SMED também é conhecido como sistema de troca rápida de ferramentas (TRF), é um método da filosofia de produção magra ou enxuta, criado para reduzir desperdícios de produção. Conceito nascido no Japão ao final da década de 50, quando Shigeo Shingo, na época engenheiro da Toyota buscava o cálculo ideal de produtos que cada lote deveria ter, de maneira a reduzir custos com estoques. A implementação do SMED produz efeitos imediatos e diretos no tempo disponível para a produção e redução do tempo efetivo do ciclo produtivo.

Diante disto, o SMED ou Sistema de Troca de Ferramentas, é um sistema que tem como principal objetivo diminuir o tempo perdido na troca de ferramentas da linha trabalhando no próprio *setup*, e não nas pessoas que o executam e nem em estratégias de sequenciamento e produção.

A interrupção da produção por qualquer motivo que seja leva a perda de ritmo do trabalhador e assim, quanto mais rápida for esta troca, melhor é a capacidade de

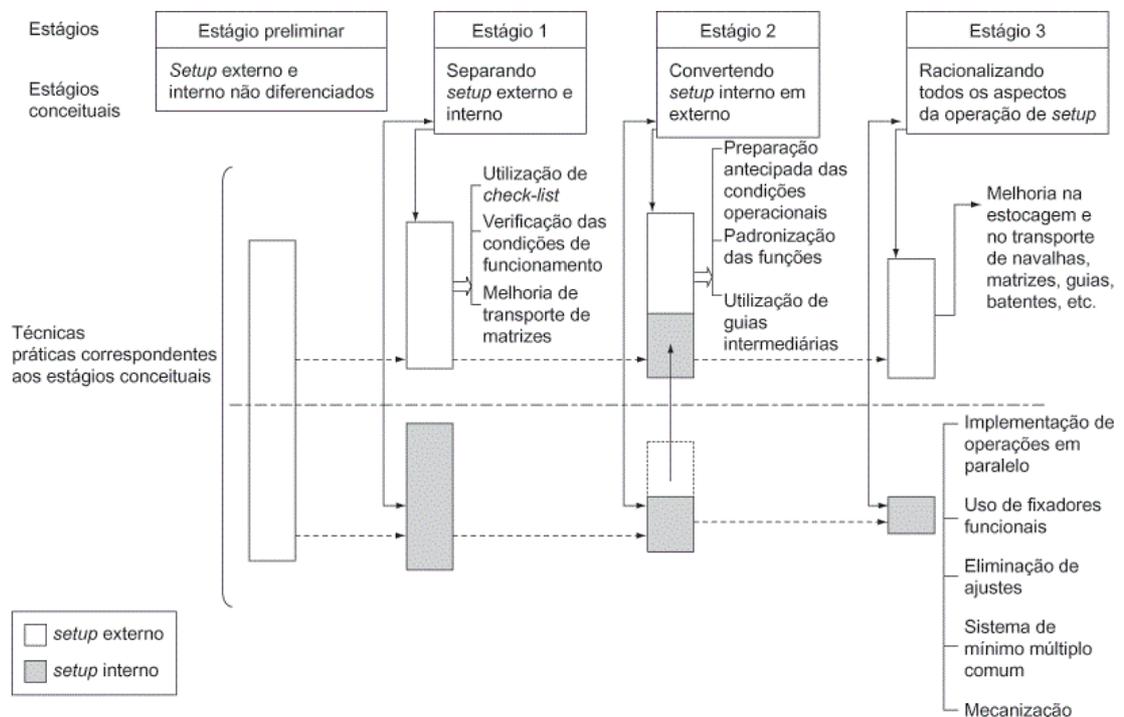
retomada do ritmo de produção. Com este sistema, o processo de produção não é alterado e a qualidade é mantida, há rapidez na entrega do produto para o cliente já que as reduções de tempo no *setup* tornarão o processo mais rápido, não haverá interferência na confiabilidade, já que com a aplicação do TRF a tendência é a redução do lead time e nivelamento da produção (OHNO, 2007).

Shingo (2008), passou tempo estudando os tempos nas atividades que não agregam valor à produção. Shingo identificou e classificou em duas categorias as operações dos colaboradores:

1. Internas: montagem e desmontagem – somente possível com a máquina parada.
2. Externas: transporte entre a área de armazenagem das peças e a máquina, pode ser realizado com a máquina operando.

A figura 2 apresenta os estágios de implantação SMED proposta por Shingo.

Figura 1 – Estágios conceituais e técnicas práticas SMED



Fonte: Shingo, 2008.

No estágio preliminar as condições de setup interno e externo não se distinguem. Nesta fase é possível observar como o setup é realizado e analisar o que é setup interno e o que é externo. Esta separação não é tão evidente à primeira vista já que as atividades de setup se confundem. As reais condições do chão de fábrica devem ser estudadas, a produção deve ser analisada e tempos medidos continuamente ou quando essa opção não for possível pode ser realizado estudo do tipo amostragem do trabalho, porém esta opção é eficiente somente quando há grande número de repetições. Outra abordagem é entrevistar os trabalhadores da linha e também filmar toda a operação e exibir o filme logo após a elaboração do vídeo. Muitas ideias são geradas quando os operadores veem a si mesmos em ação (SHINGO, 2000).

Após essa análise é possível seguir para o próximo estágio: Separar setup interno e externo. O estágio um, considerado por muitos a etapa mais importante, pode reduzir de 30% a 50% o tempo de máquina parada. Para garantir um setup externo eficiente algumas técnicas podem ser utilizadas: utilização de *checklist* dos componentes e passos necessários, mesa de verificação para componentes e ferramentas utilizadas, verificação das condições de funcionamento e melhoria no transporte de matrizes e outros componentes (SHINGO, 2000). Nessa fase ainda não é justificável mudar os tamanhos dos lotes e, portanto, não há economias com redução de estoques, reduções significativas em folhas de pagamento ou dos custos marginais. Pode ocorrer aumento na disponibilidade das máquinas, reduzindo horas extras e adiando compras de novos equipamentos (HARMON & PETERSON, 1991).

## 2.2 APLICAÇÕES EM EMPRESAS

O SMED é uma ferramenta amplamente utilizada por empresas que buscam aprimorar seus processos devido à sua eficiência, portanto três casos de aplicações na indústria serão demonstrados a seguir juntamente com os resultados atingidos

### 2.2.1 Caso 1

A aplicação da ferramenta SMED no primeiro caso aconteceu na multinacional INPLAS do grupo SIMOLDES, fabricante de peças injetadas em plástico voltadas ao ramo automotivo, tendo como principal objetivo reduzir o tempo de *setup* das

máquinas de injeção. Segundo Pais (2009) depois de tomada de tempo das três variações de *setup* existentes, uma comparação foi feita com os tempos já estabelecidos para tais, onde foi descoberta a desigualdade entre tais tempos. Uma avaliação minuciosa das tomadas de tempo revelou varias causas das variações ocorridas, entre elas:

- Descoordenação entre as pessoas envolvidas no *setup*;
- Descumprimento dos procedimentos pré-estabelecidos para o *setup*;
- Falta de conhecimento dos operadores em relação ao procedimento;
- Más condições das ferramentas utilizadas;
- Esperas devido ao atraso da chegada de matéria-prima ao posto de trabalho.

Conhecidas as falhas no processo, foi realizada a aplicação da ferramenta em que obtida uma redução 45% em média dos três *setups* avaliados, reduzindo assim €362.960 em procedimentos de *setup* por ano.

### **2.2.2 Caso 2**

Neste caso, a ferramenta SMED foi aplicada em uma empresa fabricante de elevadores. O objetivo de aplicação da ferramenta foi reduzir o tempo de movimentação e *setup* para prensas de chapas, onde o maior problema detectado foi o *setup* da prensa, pois era necessário em toda troca de ferramenta um ajuste manual de parâmetros. Foi realizado treinamento do operador com técnico da empresa fornecedora da prensa, e criado programa com parametrização para troca rápida da ferramenta. (COSTA, 2013)

Os três *setups* existentes para a prensa levavam 21,65, 24,27 e 19,10 minutos cada para serem executados, após treinamento específico do operador e criação de programa para troca rápida foi obtida uma redução nos *setups* de 65, 67 e 53% respectivamente. As reduções de *setup* geraram ganhos de €1628,70 ao ano.

### **2.2.3 Caso 3**

A aplicação da ferramenta no terceiro caso aconteceu em uma indústria

farmacêutica, mais especificamente na empresa Sanofi-Aventis, onde a intenção foi a redução drástica do tempo de *setup* nas linhas de embalagens, processo esse que levava muito tempo para ser realizado devido ao rigor quanto a limpeza necessária em uma empresa farmacêutica. (KANZAWA, 2006)

A linha onde a ferramenta foi aplicada foi escolhida devido ao maior volume de produção e mix de produtos dentre todas, e o resultado da aplicação resultou em uma redução de 44% do tempo de *setup*.

### 2.3. KAIZEN

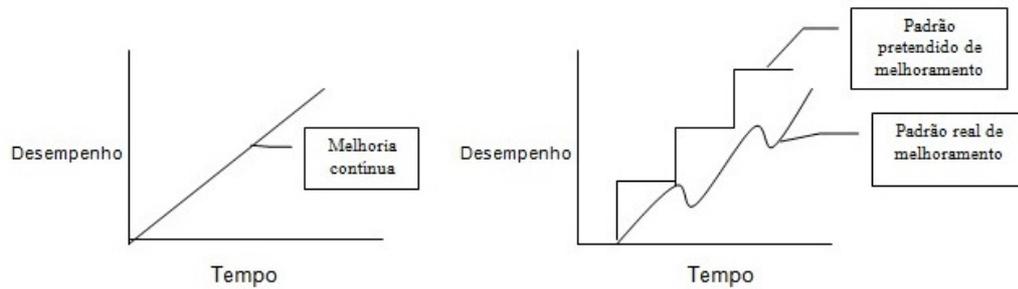
A palavra *kaizen*, japonesa de origem, é constituída de duas outras menores, KAI que tem por significado *modificar*, e ZEN que quer dizer *para melhor*. O *kaisen* tem por finalidade estabelecer o conceito de Melhoria Continua não apenas no trabalho, mas expandi-lo também para o ambiente familiar, tendo sido implantado administrativamente por Massaki Imai em 1986.

O *kaisen* tornou-se, no Japão, uma cultura, na qual não apenas existe a busca pela melhoria, mas também pela continuidade da mesma (MARTINS e LAUGENI, 2005).

A realização de pequenas mudanças é incentivada na Melhoria Continua, uma vez que o nome sugere a adoção de alterações, que serão menos nocivas ao processo quando e enquanto forem executadas. A dimensão das alterações, não se faz tão importante quanto a continuidade dos trabalhos, como por exemplo a alteração do acoplamento de uma máquina, visando reduções de tempo, que sozinhas não são relevantes, mas junto a diversas alterações trazem melhoras significativas (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009).

A figura 1 ilustra a comparação entre o Melhoramento Revolucionário Planejado e o Melhoramento Contínuo, onde é possível observar que na melhoria contínua o desempenho não é alterado ao longo do tempo, já na melhoria revolucionária existe uma discrepância da relação desempenho/ tempo, sendo o padrão esperado, atingido após longo período de tempo.

Figura 2 - Melhoria revolucionária x Melhoria contínua



Fonte: Demetrio Jr., 2012.

Duarte (2013), explica que o *kaizen* foi elaborado por Masaaki Imai, no Japão e, atualmente, é renomado no mundo todo. Imai introduziu o conceito no ano de 1986, no livro “*Kaizen – The key to Japan’s Competitive Success*”. Ademais, Murugan (2005), afirma que Imai teve a ideia dentro de vários estudos sobre a produtividade americana, estudos estes que buscavam melhorias inovadoras.

Imai (1994), descreve o *kaizen* como uma filosofia empresarial que significa melhoramento. Melhoramento contínuo, do chão de fábrica até o alto escalão, a filosofia do *kaizen* afirma que todo modo de vida merece ser constantemente melhorado.

Chiavenato (2003, p.125), caracteriza o *kaizen* como: “[...] uma filosofia de contínuo melhoramento de todos os empregados da organização, de maneira que realizem suas tarefas um pouco melhor a cada dia [...]”.

Duarte (2013, p.6) expõe o *kaizen* como:

[...] mudar o modo como as coisas são. Se você supor que as coisas estão certas do modo como estão, não poderá implementar o Kaizen. [...] Conceito do sistema produtivo japonês, sendo o pilar para qualquer tipo de produção enxuta (LeanProduction).

Como visto, o *kaizen* é uma filosofia que busca melhorar o desempenho organizacional, seja, pequenas ou grandes mudanças, oriundo do Japão e difundido ao redor do mundo.

### 2.3.1. Princípios básicos do *kaizen*

Yamada (2002), cita Imai ao afirmar que o *kaizen* só funciona de forma adequada se forem seguidos dez princípios fundamentais:

1. Jogar fora ideias enraizadas de como realizar as atividades;
2. Pensar em como o método funcionará e não o contrário;
3. Não aceitar desculpas para procrastinações no setor e nas atividades;
4. Não procurar a perfeição e sim pequenas melhorias;
5. Corrigir os erros no momento em que forem descobertos, jamais deixá-los para depois;
6. Não gastar muito dinheiro em melhorias;
7. Problemas dão a chance de pensar e usar a cabeça – aproveite a oportunidade;
8. Questionar-se, perguntar o motivo até encontrar a causa do problema;
9. As idéias de dez pessoas normalmente são melhores que idéias de uma só;
10. Melhorias não possuem limites.

Uma organização que consiga criar um ambiente em que todos esses princípios são levados a sério sempre estará mais motivada e preparada para achar os erros e sanar os problemas. Essa mentalidade ajuda a criar e desenvolver a melhoria contínua dentro da organização.

Outro ponto muito importante para um ambiente de melhoria contínua é o desperdício, ou melhor, o não desperdício, definido por Hornburg (2007), como qualquer atividade que consuma recursos e não agregue nenhum tipo de valor ao produto/serviço ao cliente. A finalidade de um evento *kaizen* é eliminar qualquer tipo de desperdício, Ortiz (2010), explica que são cinco tipos diferentes de desperdícios que prejudicam o desempenho organizacional.

1. Superprodução: a produção em excesso deve ser considerada uma perda, resulta em estoques excessivos.
2. Estoque: estoques excessivos são desperdícios, ao gerar novos estoques outros processos produtivos de maior necessidade poderiam estar sendo executados.
3. Transporte: movimentação desnecessária de materiais, como peças de um lado a outro, sem o local correto de armazenamento definido, por exemplo, não agregam valor algum ao processo final.

4. Espera: são perdas que ocorrem quando um produto espera um recurso para ser processado, ou seja, quando os processos estão fora de sincronia, ocasionando um gargalo na produção.

Defeito/retrabalho: como o nome já diz, produzir com defeitos pode ser pior que não produzir, visto que gera custo de matéria-prima, mão de obra, etc., e precisa ser refeito, visto que é inaceitável um produto com defeito.

## 2.4 ALTERNADOR TRIFÁSICO *BRUSHLESS*

Segundo Anzai (2009), alternadores são máquinas que tem por função transformar energia mecânica em energia elétrica.

A transferência da potência mecânica, geralmente obtida de um motor diesel, é dada através de acoplamento elástico projetado este para suportar esforços de partida e torque nominal, sem gerar esforços axiais em ambas as máquinas (BLASKOWSKI & SIQUEIRA, 2014).

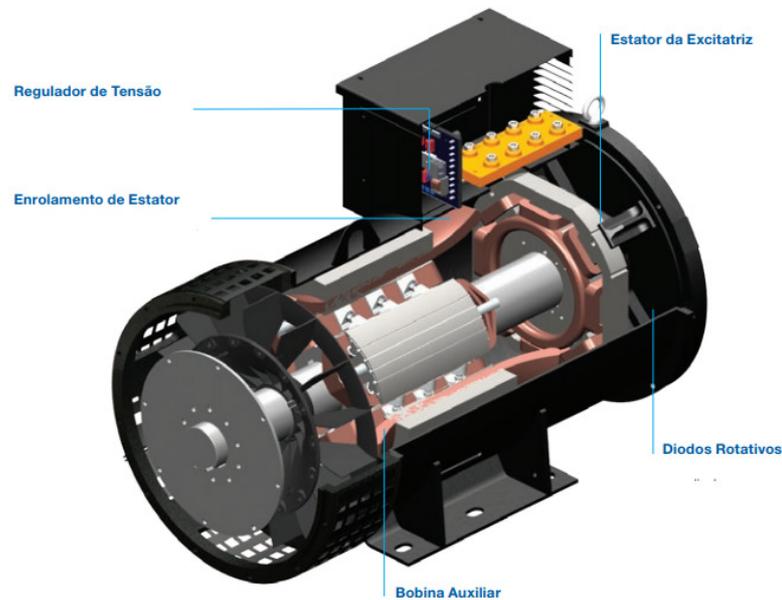
O sistema de excitação *Brushless* funciona como um gerador de menor porte, também conhecido como excitatriz, o qual trabalha com corrente alternada no seu estator, porém tem sua tensão no rotor principal continua, uma vez que passa por ponte retificadora de onda completa (BLASKOWSKI & SIQUEIRA, 2014).

O alternador de excitação *Brushless* tem cinco componentes principais para seu funcionamento, sendo eles, estator principal, rotor principal, estator da excitatriz, rotor da excitatriz e regulador de tensão (AVR). (BLASKOWSKI & SIQUEIRA, 2014)

O estator principal trifásico possui três grupos de bobinas a 120° defasados uma da outra, e a tensão de saída de tais grupos é determinada pelo fluxo magnético variável oriundo pelo rotor. O rotor principal, portanto, tem a função de produzir tal fluxo variável no estator (ANSAI, 2009).

O conjunto excitatriz, que é composto de estator e rotor da excitatriz, é responsável por estabelecer a corrente elétrica presente no rotor principal, e possibilita manter uma mesma tensão de saída em variações de carga, através do controle da corrente de excitação, controle esse que é realizado eletronicamente pelo AVR, este que através de monitoramento da tensão de saída, pode realizar correções para que esta não sofra grandes alterações.

Figura 3 – Alternador WEG Linha G



Fonte: Catálogo Alternadores Linha G WEG, 2015.

### 3 METODOLOGIA

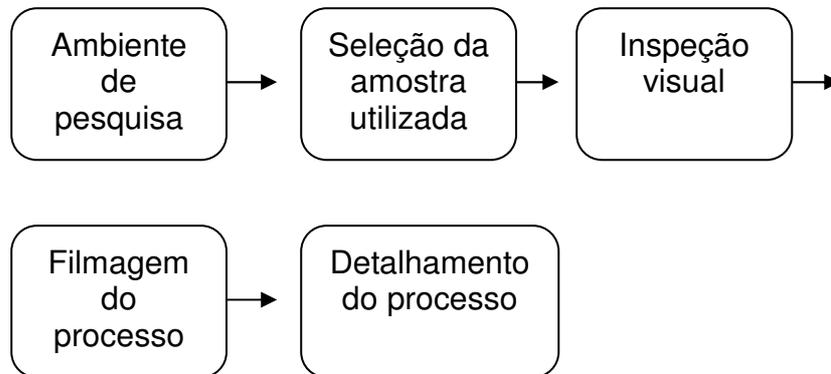
Este capítulo trata do método utilizado para realização do trabalho, bem como as ferramentas nele aplicadas.

Este trabalho possui característica de uma pesquisa exploratória, que busca evidenciar falhas de qualquer gênero no processo de ensaio, para uma posterior realização de um trabalho no formato de *kaisen*.

Considerando a experiência de campo (conhecimento empírico) do colaborador responsável pelas sugestões de melhorias e a intenção de realizar mudanças em seu posto de trabalho, considera-se a natureza desta metodologia como aplicada.

O fluxo metodológico utilizado no desenvolvimento do trabalho pode ser visto na figura 4, onde observa-se a sequência das etapas aplicadas.

Figura 4 – Fluxograma das etapas aplicadas



Fonte: O autor, 2018.

### 3.1 AMBIENTE DE PESQUISA

O presente trabalho, tanto da inspeção visual, quanto da filmagem, foi realizado no laboratório de Ensaios de Alternadores, pertencente à seção Ensaios de Baixa Tensão, do Departamento da Qualidade, unidade WEG Energia, no parque Fabril II em Jaraguá do Sul, nos dias 12 e 13 de abril de 2018.

### 3.2 SELEÇÃO DA AMOSTRA UTILIZADA

Dentre os 8 tamanhos de carcaça existentes no portfólio WEG em relação a alternadores, por questão de disponibilidade, foi testado durante as filmagens um alternador GTA 200, este que por sua vez representou 44,78% dos alternadores testados no ano de 2017.

Após a escolha da amostra foi realizada a inspeção visual e posteriormente filmagem do processo.

Para realização das filmagens foi utilizada uma câmera digital de modelo DSC-W800 Cybershot, da marca Sony, e para avaliação do processo em vídeo foi utilizado o software Windows Media Player 8.

No caso do processo 17 da planilha SMED, pertinente ao teste de outro alternador, a filmagem foi feita separadamente e, considerando seus tempos de teste semelhantes, o valor obtido para tal foi somado diretamente na planilha, como se houvesse sido executado junto ao ensaio completo.

### 3.3 INSPEÇÃO VISUAL

Em um primeiro momento, uma inspeção visual do processo foi realizada, procurando revelar possíveis falhas com relação à:

- Movimentação;
- Processo de ensaio;
- Setup do alternador.

Não sendo a inspeção visual suficiente para apontar falhas relevantes, foi decidido realizar a filmagem do processo.

### 3.4 FILMAGEM DO PROCESSO

Para realização das filmagens foi utilizada uma câmera digital de modelo DSC-W800 Cybershot ®, da marca Sony, e para avaliação do processo em vídeo foi utilizado o software Windows Media Player 8.

No caso do processo 17 da planilha SMED, pertinente ao teste de outro alternador, a filmagem foi feita separadamente e, considerando seus tempos de teste semelhantes, o valor obtido para tal foi somado diretamente na planilha, como se houvesse sido executado junto ao ensaio completo.

### 3.5 DETALHAMENTO DO PROCESSO

Em busca de um maior detalhamento do processo, que possibilitaria obter resultados mais consistentes dentro dos objetivos estipulados, foi escolhida para avaliação a ferramenta SMED.

Apesar de originalmente ser uma ferramenta voltada a melhorias de *Setup*, mostrou-se ideal para explodir o processo como um todo, não por isso perdendo suas características, podendo ser aplicada em sua plenitude.

Após a filmagem do processo, ainda sem alterações, 58 operações foram identificadas, sendo que 14 destas mostram-se passíveis de melhorias sendo separadas por:

- Converter para processo externo: três operações;
- Combinar: seis operações;
- Simplificar: cinco operações.

Com tempo de teste médio estimado em 20 minutos, o alternador GTA 200, levou 19 minutos e 56 segundos para ser testado na filmagem (somando processo N°17), demonstrando, portanto, coerência em relação ao valor pré-estabelecido pelo PCP (planejamento de controle de produção).

Para obtenção dos resultados finais, uma segunda filmagem foi realizada, executando as alterações desejadas.

## **4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### **4.1 HISTÓRIA DA EMPRESA**

Em 16 de setembro de 1961, na cidade de Jaraguá do Sul/SC, as habilidades de um electricista, de um administrador e de um mecânico foram unificadas e resultaram na fundação da Eletromotores Jaraguá. Nascida da coragem de empreendedores visionários, após um tempo a empresa passou a se chamar WEG, em alusão às iniciais dos fundadores Werner, Eggon e Geraldo. Nome que, hoje, é reconhecido como uma das maiores fabricantes de equipamentos elétricos do mundo.

Produzindo inicialmente motores elétricos, a WEG ampliou suas atividades a partir da década de 80, com a produção de componentes eletroeletrônicos, produtos para automação industrial, transformadores de força e distribuição, tintas líquidas e em pó e vernizes eletroisolantes. A empresa se consolidou não só como fabricante de motores, mas como fornecedora de sistemas elétricos industriais completos.

A trajetória da organização, idealizada por Werner, Eggon e Geraldo, é marcada pelo êxito. O conjunto de valores, crenças e ideais sustentados pelos fundadores estão enraizados na organização e ditam os caminhos vitoriosos pelos quais a empresa trilha sua história. A essência destemida, dinâmica e grandiosa é a fonte que mantém a WEG funcionando em direção ao sucesso.

## 4.2 PROCEDIMENTO DE ENSAIO DE LINHA

O procedimento de ensaio é basicamente a sequência de atividades realizadas, para melhor compreensão da continuidade deste capítulo segue a sequência estabelecida para realização do ensaio de linha:

- Recebimento do alternador para teste
- Ensaio de tensão aplicada e resistência de isolamento
- Montagem e acoplamento do alternador à bancada
- Ensaio em curto-circuito
- Ensaio em vazio
- Ensaio de tensão suportável
- Registro dos ensaios

## 4.3 ALTERAÇÕES PROPOSTAS AOS PROCESSOS

Neste capítulo será abordada a análise e discussão dos resultados, sendo que em um primeiro momento serão demonstradas as alterações propostas, com os possíveis ganhos para cada processo, e logo em seguida serão demonstrados os resultados pertinentes aos objetivos deste trabalho.

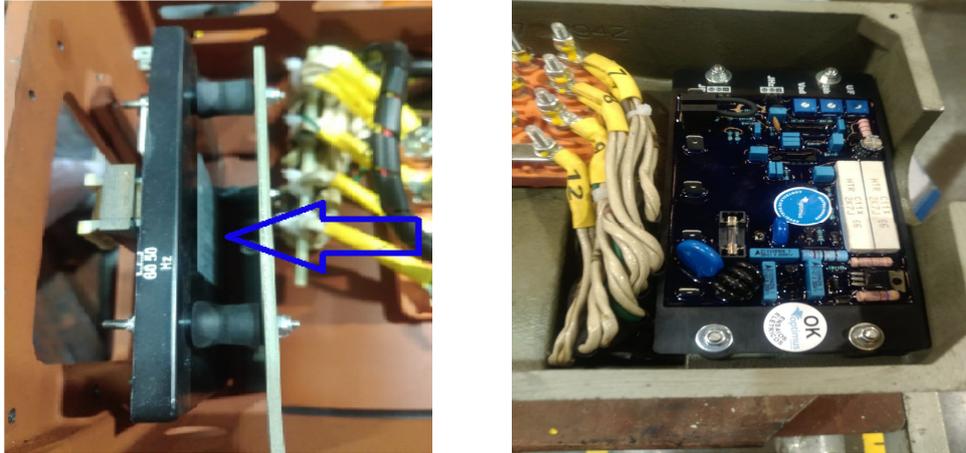
### 4.3.1 Registro do número de série do AVR (automatic voltage regulator)

Antes da realização de qualquer ensaio, o alternador, assim que entra no laboratório, passa por um *checklist* no qual são verificadas as seguintes informações:

- Igualdade entre número de série do alternador batido na carcaça e número de série anotado pela montagem no check-list;
- Igualdade entre Ordem de Produção e Material anotados no check-list em relação à própria OP;
- Ligação do estator principal e numeração dos cabos conforme especificado em desenho técnico mecânico;
- Integridade física dos componentes e acessórios.



Figura 6 – AVR's com acesso ao N<sup>o</sup>S (número de série) obstruído



Fonte: O autor, 2018.

#### 4.3.2 Medição da resistência de isolamento

Uma vez aprovado no *checklist* inicial, o alternador deve passar pelos ensaios de tensão aplicada e resistência de isolamento. Para a realização da tensão aplicada é utilizado uma fonte de alta tensão modelo DPM96 da marca Adelco (ver figura 7), a qual possui 4 garras de alta tensão e uma de aterramento, possibilitando assim que estator principal, rotor principal, estator da excitatriz e bobina auxiliar ou excitatriz auxiliar tenham seus valores de corrente de fuga obtidos ao mesmo tempo.

Figura 7 – Fonte de Alta Tensão



Fonte: O autor, 2018.

O estator principal deve ser submetido à tensão aplicada de duas vezes sua própria tensão nominal mais 1.000V, sendo o mínimo aplicável 1.500V, por 1 minuto, este último que também vale como padrão para acessórios, como rotor principal e estator da excitatriz. Aprovado no ensaio de tensão aplicada, estator principal e acessórios passam por medição da resistência de isolamento, o aparelho utilizado para tais aferições é um INSULATION TESTER 1507 da marca Fluke conforme mostra a figura 8.

Figura 8 – Medidor de Isolamento



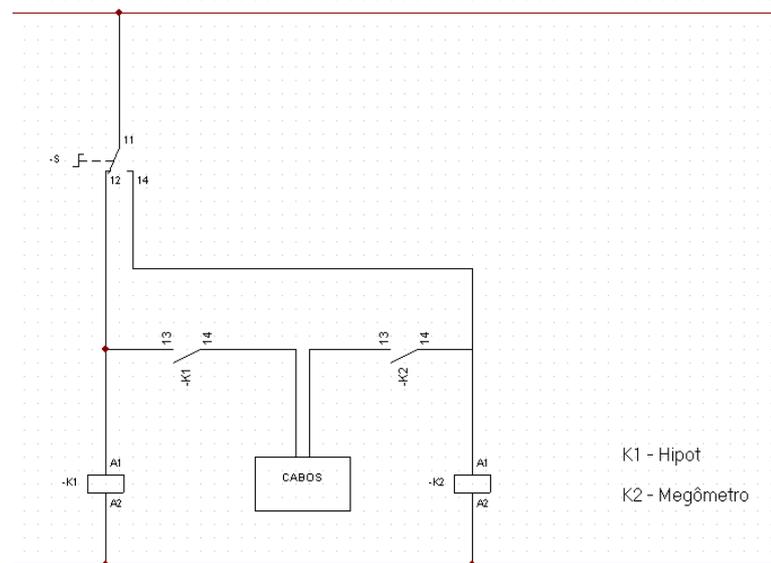
Fonte: O autor, 2018.

500V devem ser aplicados a cada um dos componentes por 1 minuto sendo que uma resistência de isolamento de no mínimo 100  $\Omega$  deve ser obtida em cada um deles. Considerando três medições realizadas, o tempo na troca dos cabos do aplicador de tensão para o medidor de isolamento, mais a troca dos cabos do medidor de um componente para outro, o tempo resultante é de 3 minutos e 23 segundos.

A solução para reduzir o tempo é a utilização de um comando com dois contatores e uma chave seletora de duas posições, instalada na própria fonte, (esquema na figura 9) que tornará possível utilizar o mesmo cabeamento do aplicador de tensão para o medidor de isolamento, realizando a medição de todos os componentes em um teste de 1 minuto apenas.

Levando em conta 5 segundos como tempo para a seleção do aparelho a ser utilizado via chave seletora, a eliminação de duas trocas de cabos e duas medições de isolamento, a redução de tempo por alternador testado é de 2 minutos e 25 segundos, o que ao longo de um ano resulta na redução de 23.260,42 minutos ou 387 horas, 40 minutos e 26 segundos.

Figura 9 – Diagrama de comando para Hipot/ Megômetro



Fonte: O autor, 2018.

### **4.3.3 Levar documentação à bancada**

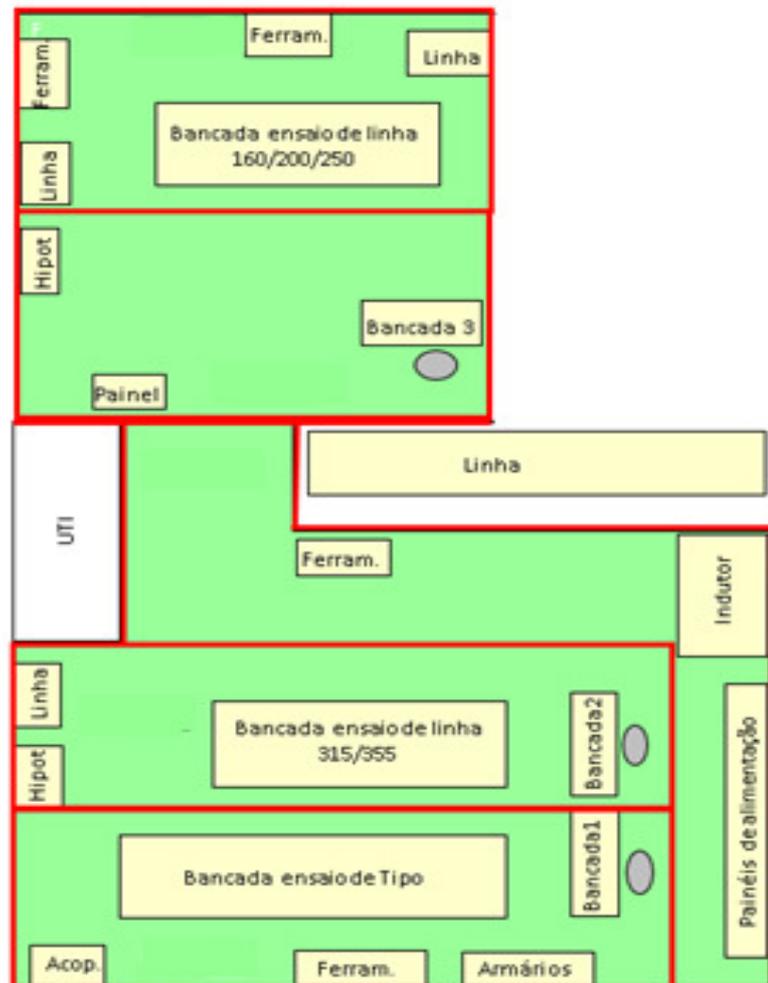
Uma vez que aprovado nos ensaios de tensão aplicada e resistência de isolamento, o operador leva a documentação do alternador à bancada de testes, onde irá realizar os ensaios do mesmo em rotação nominal, assim que este estiver devidamente acoplado.

A movimentação realizada por todos os operadores, é hábito adquirido de quando se utilizava no laboratório o equipamento GCF (Gerenciador de Chão de Fabrica), pois para registrar a preparação do alternador era necessário validar o código de barras presente na OP (Ordem de Produção), e tal equipamento estava instalado junto à bancada de testes. Após a retirada do equipamento, tal movimentação continuou sendo realizada quase que automaticamente, uma vez considerada a repetitividade do processo.

A alternativa encontra-se após a preparação do alterador para o teste, pois sendo obrigatório o deslocamento até a bancada para a realização do ensaio, pode-se aproveitar tal movimentação para levar tais documentos, os quais estariam juntos a pasta se devolvidos após ensaios de tensão aplicada e resistência de isolamento.

Segue na figura abaixo o mapa dos laboratórios de ensaios.

Figura 10 – Mapa dos laboratórios de ensaios



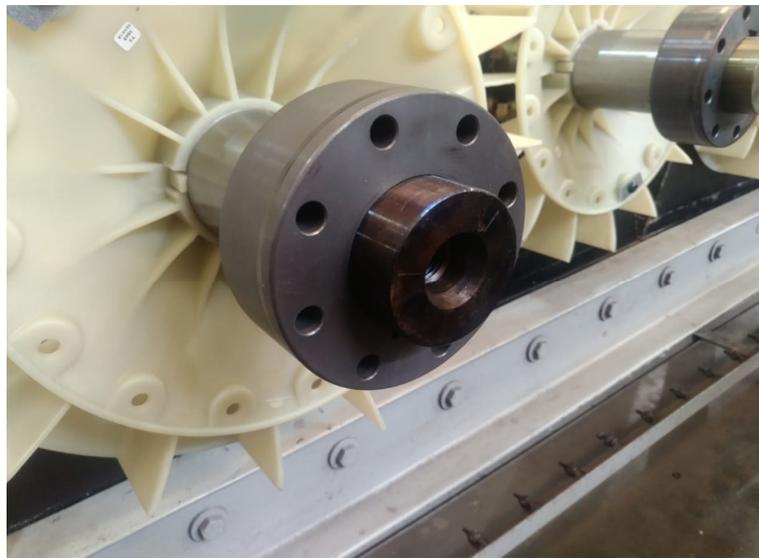
Fonte: WEG Energia, 2018.

A movimentação a ser eliminada, portanto é do *Hipot* (Fonte de Alta Potência), até a Bancada 3 e do *Hipot* até a Bancada 2, visto que abrange toda a linha de ensaios. O tempo utilizado para deslocar-se por tal trajeto é de 13 segundos, o qual, porém não representa o ganho, já que 3 segundos são utilizados para apanhar os documentos da pasta antes da movimentação até a bancada de testes. Assim sendo, o ganho real é de aproximadamente 10 segundos por alternador testado, que multiplicado pelos 9625 alternadores testados em 2017 resulta em 96.250 segundos, 1.604 minutos e 10 segundos ou 26 horas 44 minutos e 10 segundos de ganho.

#### 4.3.4 Colocar, fixar e soltar acoplamento

Após aprovado nos ensaios de Tensão Aplicada e Resistência de Isolamento, o alternador é içado por ponte rolante e levado até a base onde são realizados os testes. Antes de ser fixado na base, um acoplamento é encaixado na ponta do eixo do alternador (sendo que, nos casos onde não há mancal dianteiro, o acoplamento é parafusado na bucha de acoplamento presente próxima a ponta do eixo).

Figura 11 – Bucha de acoplamento para GTA 200



Fonte: O autor, 2018.

O tempo gasto para realizar a fixação do acoplamento na bucha, que é feita via parafusos e leva cerca de 20 segundos, tanto na colocação quanto na retirada. Uma vez que nos testes de linha o alternador não é submetido a carga, o torque na ponta do eixo é considerado baixo.

A alteração seria basicamente substituir os parafusos por pinos de mesmo diâmetro, em acoplamentos que não possuem chaveta e a colocação de imãs na face do acoplamento, proporcionando de igual maneira o encaixe da interface bucha-acoplamento. Nos acoplamentos com chaveta não se faz necessário o uso de pinos, uma vez que a própria suporta o torque aplicado sobre ela. Segue desenho do acoplamento após alterações (Figura 12).



Figura 13 – Cabo de 150mm<sup>2</sup> em placa de bornes para GTA 160



Fonte: O autor, 2018.

A fixação dos cabos extensores a aqueles que vem do contator de curto é realizada por meio de parafusos e porcas apertadas manualmente (ver figura 14) e posteriormente isoladas para evitar contato entre si ou com a base na qual os ensaios são feitos.

Figura 14 – Conexão dos cabos de curto para GTA 160



Fonte: O autor, 2018.

A solução sugerida para garantir a fixação adequada dos cabos e o suporte a corrente máxima atingida por alternadores desse porte e o uso de alicates porta eletrodo, os quais originalmente, são utilizados no processo de solda por eletrodo revestido. A WEG Energia comercializa alternadores de carcaça GTA 160 de no máximo 42 kVA. Considerando tal potência segue abaixo tabela com valores de corrente nominal e possíveis picos máximos, para as 5 tensões mais comumente solicitadas por clientes em geral.

Tabela 1 – Correntes máximas para GTA 160

Vnominal	Inominal (A)	Imáx (A)
220	110,22	330,66
380	63,81	191,43
400	60,62	181,86
440	55,11	165,33
480	50,51	151,53

Fonte: O autor, 2018.

Os cálculos utilizados para a obtenção de tais correntes são:

$$I_{nominal} = \frac{P * 1000}{V_{nominal} * \sqrt{3}} \quad (1)$$

Onde:

P = Potência nominal em kVA

Vnominal = Tensão nominal

$\sqrt{3}$  = Utilizado para cálculo de corrente em máquinas trifásicas

$$I_{máx} = \frac{P * 1000}{V_{nominal} * \sqrt{3}} * 3 \quad (2)$$

Onde:

P = Potência nominal em kVA

Vnominal = Tensão nominal

$\sqrt{3}$  = Utilizado para cálculo de corrente em máquinas trifásicas

3 = Extrapolação máxima da corrente nominal

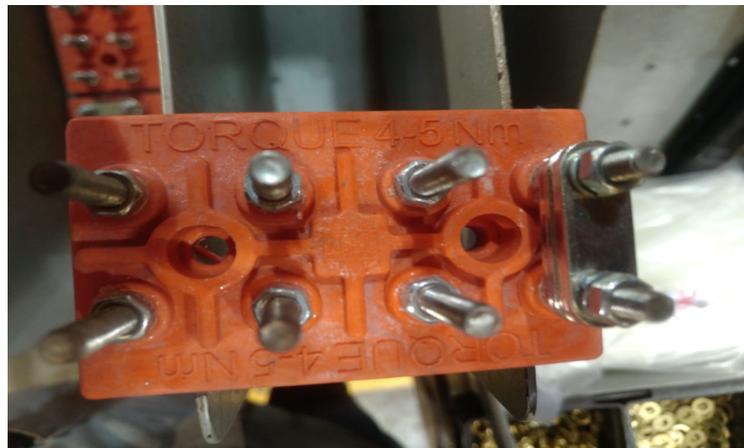
Já que em nenhuma das situações acima demonstradas na tabela 1, a corrente ultrapassou os 350 A, o porta eletrodo utilizado poderá ser para 500 A.

A redução de tempo para cada processo efetuado é de 47 segundos na preparação e 66 segundos na despreparação, portanto considerando números de 2017 onde em 496 vezes foi necessário realizar tal preparação, serão poupados anualmente 56.048 segundos ou 934 minutos e 8 segundos ou 15 horas 34 minutos e 8 segundos.

#### 4.3.6 Fixar e soltar cabos de curto na placa de bornes

Em meados de 2016 a fixação dos cabos no alternador à placa de bornes era realizada utilizando parafusadeira, porém como existe uma faixa de torque máxima de aperto para a placa de bornes conforme mostra a figura 15, ocasionalmente ocorria a quebra dessas placas no aperto.

Figura 15 – Placa de Bornes para GTA 160



Fonte: O autor, 2018.

Devido à ausência do controle de torque na parafusadeira que geralmente é maior do que o aplicado na placa, no momento em que as porcas utilizadas para fixação dos cabos do ensaio eram soltas, as colocadas pela montagem também se soltavam, gerando assim não conformidades e por consequência retrabalho. O uso de um torquímetro pneumático parecia correto, porém se mal posicionadas, assim como no uso da parafusadeira, as porcas causavam danos a rosca dos fusos presentes na placa. Sendo mais segura para a integridade dos componentes, a

fixação manual não é a melhor opção considerando o tempo de 1 minuto e 28 segundos, somando colocação e retirada dos cabos.

Sendo necessária a fixação dos cabos de curto circuito em 100% dos alternadores que passam pelo laboratório, a utilização de dispositivos de engate rápido, substituindo as porcas fixadas manualmente, se faz mais do que necessária visando tornar o processo enxuto.

#### **4.3.7 Cabos para leitura de tensão**

Quando em vazio, o teste do alternador possui duas etapas:

- Coleta dos dados em 30% acima da tensão nominal;
- Ajuste da tensão e coleta dos dados na tensão nominal.

Para que a coleta de tais dados seja possível, garras R,S e T para a leitura de tensão são posicionadas sobre as saídas correspondentes no barramento, levando os dados para um multimedidor trifásico modelo MKM-D da marca KRON Medidores conforme figura 16.

Com a obrigatoriedade da realização dos ensaios em curto circuito, e, portanto, da fixação dos cabos de curto em todos os alternadores testados, uma possibilidade foi aberta, a de colocar as garras de leitura de tensão definitivamente na saída do contator de curto. Tal alteração além de evitar eventual desgaste de tais garras pelo uso excessivo poupará também um tempo médio de 20 segundos por ensaio, se contabilizadas preparação e despreparação, ou seja, 192.500 segundos, 3.208 minutos e 20 segundos ou 53 horas 28 minutos e 20 segundos anuais.

Figura 16 – Multimetro KRON



Fonte: O autor, 2018.

#### 4.3.8 Calcular corrente nominal do alternador

A primeira etapa do ensaio com o alternador em rotação nominal é em curto circuito, sendo, portanto, necessário conhecer o valor da corrente nominal do alternador, com a qual é possível, através de excitação independente (Conversor CC/CA), obter valores de tensão e corrente no campo e na bobina auxiliar, os quais podem ser comparados aos presentes na EE (Especificação Eletromecânica), caso haja necessidade. Na equação 3 pode se observar o cálculo para a obtenção da corrente nominal.

$$I_{nominal} = \frac{P * 1000}{V_{nominal} * \sqrt{3}} \quad (1)$$

Após solicitado pelo cliente, seja um pedido já estabelecido, ou baseado em uma necessidade específica, cabe a área de projetos estabelecer a tensão (V), potência (P) e corrente (I) nominais do alternador, entre outros detalhes, para que o PCP possa repassar as áreas produtivas e técnicas o que deve ou não ser feito. Apesar de já previamente determinada, a corrente nominal do alternador não vem discriminada na ordem de ensaio, fazendo-se necessário, portanto, calculá-la para

que o ensaio em curto circuito possa ser realizado. Como alternativa ao modo como tal tarefa é realizada atualmente, duas melhorias são sugeridas, sendo elas:

- Passar o processo de interno para externo, realizando o cálculo da corrente durante o teste de tensão aplicada;
- Eliminar o processo, solicitando ao PCP para que a corrente esteja discriminada na ordem de ensaio.

Em ambas as ideias, o tempo que se leva para realizar tais cálculos será eliminado do tempo final do teste, o qual na simulação realizada foi de 12 segundos ou seja, haverá uma economia de 115.500 segundos, 1.925 minutos ou 32 horas e 5 minutos.

#### **4.3.9 Substituir AVR**

Uma vez que o alternador está acoplado a base e devidamente conectado ao painel de testes, o ensaio é iniciado. Após acionamento do contator de curto o motor de indução, que neste caso simula a atuação do motor a diesel no grupo gerador, é acionado.

Quanto o alternador atinge rotação nominal (a qual varia conforme frequência), o conversor CC é acionado, o alternador é excitado até sua corrente nominal e os valores são coletados. Na etapa seguinte o AVR do alternador em teste é acionado, porém quando o alternador está em vazio uma referência de tensão da fase R é conectada a ele, fazendo com que a tensão se mantenha no valor desejado, já quando em curto o AVR deixa de ter esta referência e a corrente tende a disparar, possibilitando assim a obtenção dos valores solicitados no ensaio, uma vez que é dada ao cliente a garantia de que esta corrente atinge 3 vezes a nominal do alternador.

Alguns AVR's do portfólio WEG possuem um bloqueio eletrônico que impede o disparo da corrente, fazendo-se necessário o uso de outro que possibilite esta manobra, porém após coletados os valores o AVR original do alternador deve ser conectado, pois quando em vazio é necessário que seja feito o ajuste da tensão nominal.

Com a movimentação do operador até a bancada para troca do AVR e retorno para acionamento do mesmo, uma vez que aquele utilizado para tais testes fica sobre a bancada, o tempo aproximado para da operação é de 26 segundos.

Na figura 17 é possível observar tanto o AVR utilizado para testes sobre a bancada, quanto o AVR do próprio alternador montado na caixa de ligação.

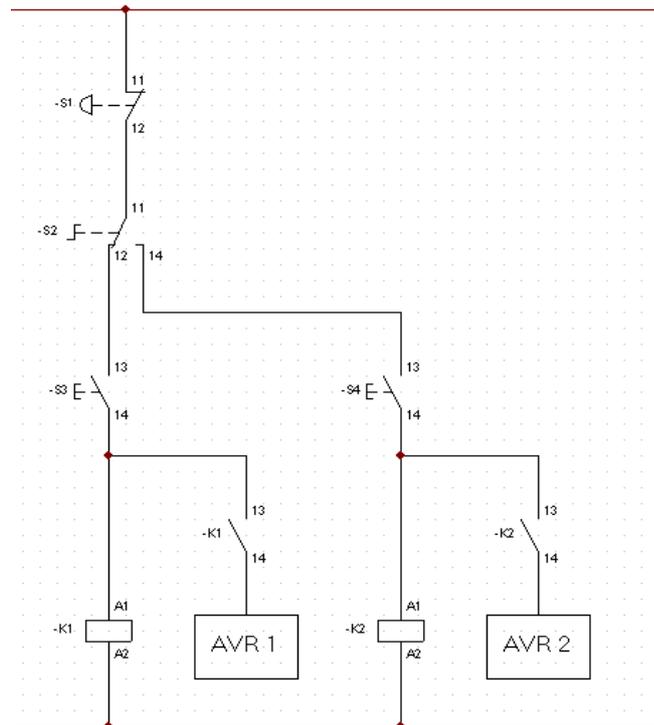
Figura 17 – AVR para testes / AVR do alternador



Fonte: O autor, 2018.

Considerando que no ano de 2017 2.274 trocas foram realizadas, o processo foi avaliado e chegou-se a uma solução para eliminar este deslocamento. Primeiro, o acionamento do AVR que é feito por botoeira com trava, passará por uma chave seletora de duas posições, para então ser acionado por botoeiras separadas, levando assim o sinal para o AVR desejado. Segue diagrama de comando elétrico na figura 18.

Figura 18 – Diagrama de comando



Fonte: O autor, 2018.

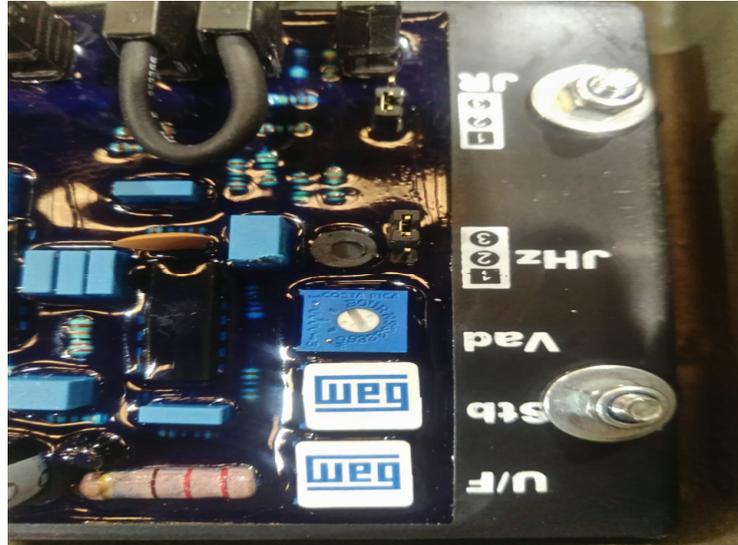
Se realizada a melhoria, o tempo de troca entre AVR's passará de 26 para 2 segundos, e considerando dados de 2017, onde em 2.274 oportunidades houve a necessidade da troca do mesmo, serão poupados 54.576 segundos, 909 minutos e 36 segundos ou 15 horas 9 minutos e 36 segundos.

#### 4.3.10 Selar trimpots do AVR

Se aprovado em todos os testes, os cabos utilizados conectados ao alternador são retirados, o chicote com cabos dos acessórios e referências do alternador são conectados diretamente ao seu AVR, e todos os trimpots, que são potenciômetros em menor escala (a quantidade varia conforme modelo do AVR), à excessão do Vad (Responsável pelo ajuste de tensão), são devidamente selados com adesivo padrão WEG (ver figura 19), para que possíveis alterações realizadas pelos clientes, sejam facilmente percebidas, evitando assim a empresa em situações como esta à arcar com os custos de assistência técnica. O tempo gasto para selar reguladores varia conforme quantidade de trimpots, no alternador utilizado como

referência apenas 2 foram selados, visto que o seu AVR é um modelo K38L da marca KVA, que possui 3, levando em torno de 10 segundos para fazê-lo.

Figura 19 – Trimpots de ajuste com selo padrão WEG



Fonte: O autor, 2018.

A proposta de alteração consiste em passar o processo de interno para externo, pois como o AVR é retirado da embalagem antes mesmo de chegar a área de ensaios, aqueles que o manuseiam seja no almoxarifado (onde as caixas de ligação são previamente montadas com os AVR's), ou na montagem (para aquelas que não se permitem ser montadas na primeira situação), são plenamente capazes de realizar tal tarefa. A execução de tal não compromete a integridade ou qualidade do ensaio de tal componente, visto que qualquer mudança sutil realizada é perceptível durante os testes e imediatamente corrigida se assim necessário.

Passar tal processo de interno para externo elimina o tempo para realização do mesmo do tempo final de teste, então 96.250 segundos, 1.604 minutos e 9 segundos ou 26 horas 44 minutos e 9 segundos serão poupados anualmente.

#### 4.4 ANÁLISES DOS RESULTADOS SOBRE AS MELHORIAS REALIZADAS

##### 4.4.1 Separação das melhorias

As melhorias desejadas se dividem em dois grupos, as aplicáveis e as não aplicáveis a toda a linha de produtos.

#### 4.4.1.1 Melhorias não aplicáveis a toda a linha de produtos

Segregando das melhorias desejáveis, aquelas não aplicáveis a toda a linha de alternadores encontram-se:

- Registrar N°S do AVR: Uma vez que alguns clientes optam por comprá-los separadamente de outros fornecedores;
- Fixar acoplamento: Alternadores que possuem mancal dianteiro não se enquadram a melhoria proposta;
- Fixar cabos GTA 160: Aplicável apenas aos alternadores de carcaça 160;
- Troca do AVR para ensaio em curto circuito: O ensaio em curto circuito é realizado em 100% dos alternadores testados, mesmo que estes não sejam vendidos com AVR, pois há no laboratório um padrão para este fim;
- Selar Trimpots do AVR: Não se faz necessário quando não há AVR incluso no pacote vendido;
- Soltar acoplamento: A exemplo da atividade “Fixar acoplamento” nos alternadores que possuem mancal dianteiro não se faz necessária tal atividade.
- A melhoria para “Fixar Cabos de Curto Circuito” não será contabilizada, uma vez que nenhuma solução para altas correntes se demonstrou capaz de garantir uma superfície de contato eficaz.

#### 4.4.1.2 Melhorias aplicáveis a toda linha de produtos

- Medição da resistência de isolamento: 100% dos alternadores tem sua resistência de isolamento medida ao passar pelo ensaio;
- Levar documentação a bancada: Hábito adquirido no período da utilização de GCF;
- Calculo da corrente nominal do alternador: Visto a obrigatoriedade do ensaio em curto circuito, todos os alternadores devem ser submetidos a suas respectivas correntes nominais, tornando assim o calculo de tais indispensável;
- A melhoria para “Soltar Cabos de Curto Circuito” não será contabilizada, uma

vez que nenhuma solução para altas correntes se demonstrou capaz de garantir uma superfície de contato eficaz.

#### 4.4.2 Somatórias de tempos das melhorias aplicáveis e não aplicáveis a toda a linha de produtos

Segue abaixo tabela com a somatória dos ganhos em segundos de todos os processos.

Tabela 2 – Somatória dos tempos poupados

Alteração	ganho (em segundos por ano)
Registro do N°S do AVR	115.502
Medição da resistência de isolamento	1.395.626
Levar documentação à bancada	96.250
Colocar, fixar e soltar acoplamento	154.793
Fixar cabos de curto para GTA 160	56.048
Cabos para leitura de tensão	192.500
Calcular corrente nominal do alternador	115.500
Substituir AVR	54.576
Selar trimpots do AVR	96.250
<b>Total</b>	<b>2.277.045</b>

Fonte: O autor, 2018.

#### 4.4.3 Redução do tempo de produção dos alternadores

Para estabelecer a redução no tempo do processo (em %), foi necessário estabelecer um tempo padrão para todos os alternadores, uma vez que duas bancadas testam alternadores simultaneamente. O alternador utilizado para as filmagens foi testado na bancada onde cada teste é realizado em aproximadamente 20 minutos (Linha GTA), tempo este estabelecido pelo PCP, porém na outra bancada de testes (Linha AG10), o tempo médio é de 35 minutos por alternador.

Realizando a divisão do período de trabalho de um turno pelos tempos estabelecidos, temos uma capacidade produtiva de 26,4 alternadores na linha GTA e 15,1 na linha AG10, ou seja, 41,5 alternadores por turno, ou 83 por dia. Uma média dos tempos de ambas as linhas é resultado do cálculo de tempo médio de teste como mostra a equação 3.

$$\frac{((CapGTA) \times 20) + (CapAG10 \times 35)}{41,5} = 26,25 \text{ Segundos} \quad (3)$$

Onde Cap (GTA) é a capacidade diária do laboratório Linha GTA , Cap(AG10) é a capacidade diária do laboratório Linha AG10 e 41,5 é a produção de um turno somando ambas as linhas. Após multiplicados pelos tempos médios de suas respectivas linhas e somados, a resultante deve ser dividida pela capacidade máxima para atingir o valor médio total que é de 25 minutos e 26 segundos.

Uma vez descoberto o tempo médio, para saber a redução média por alternador é necessário dividir o valor dos ganhos totais (em segundos) pela produção do ano de 2017, uma vez que algumas alterações são exclusivas a alguns produtos. Portanto o ganho médio é determinado pelo tempo poupado anualmente dividido pela quantidade de alternadores testados em um ano, neste caso 2017. A redução média portanto é determinada pela equação 4.

$$\frac{2.227.045 \text{ total}(s)}{9625 \text{ alternadores}} = 236,58 \text{ Segundos} \quad (4)$$

Onde:

Total (s) = Somatória dos ganhos anuais por processo

9625 = Quantidade de alternadores produzidos em 2017

236,58 s = Tempo poupado por alternador testado

Cada ensaio, portanto, será reduzido em média em 3 minutos e 57 segundos, ou considerando o tempo médio 15,5%.

#### 4.4.4 Redução do custo por ensaio realizado

Para estabelecer o custo médio de cada ensaio realizado, o tempo médio determinado anteriormente de 25 minutos e 26 segundos deve ser dividido por 60 minutos, para posteriormente ser multiplicado pelo valor de Hora Homem + Hora Maquina que é de R\$ 90,86. O custo médio, portanto, pode ser estabelecido por uma regra de três simples:

*Se 60 minutos = R\$ 90,86*  
*Então 25,43 minutos = x*

$$60x = 90,86 * 25,43$$

$$60x = 2.310,5698$$

$$x = 2.310,5698 / 60$$

$$x = R\$ 38,50949667 \text{ ou por arredondamento } R\$ 38,51 \quad (5)$$

Uma vez determinado o custo médio por ensaio realizado, é necessário determinar a redução média por ensaio, que possibilita também o conhecimento da redução anual, se multiplicado este pela quantidade de alternadores testados em 2017. Assim como no caso anterior uma regra de três simples será usada para calcular a redução média:

*Se 60 minutos = R\$ 90,86*  
*Então 3,95 minutos = x*

$$60x = 90,86 * 3,95$$

$$60x = 358,897$$

$$x = 358,897 / 60$$

$$x = R\$ 5,981616667 \text{ ou por arredondamento } R\$ 5,98 \quad (6)$$

Os ganhos anuais são determinados pela fórmula:

*Produção anual (2017) x Redução média*

$$9625 \times R\$ 5,98 = R\$ 57.557,50 \quad (7)$$

#### **4.4.5 Equipamentos necessários para realização dos trabalhos**

As melhorias referentes aos tópicos 4.1.2, 4.1.5 e 4.1.10, só podem ser efetuadas mediante a compra de componentes.

Os valores demonstrados foram obtidos, à exceção dos cabos, considerando a compra em mercado ordinário online.

Segue abaixo lista de componentes necessários, separados pelos processos em que serão aplicados.

Após levantamento, os componentes escolhidos e seus respectivos preços foram tabulados em tabela demonstrada a seguir:

Tabela 3 – Componentes e seus respectivos preços

Processo	Componente	Loja (site)	Preço (em R\$)
4.1.2	Botoeira Metaltex P20 ssr 2-b 1A	Mercadolivre	10,00
	Cabo 1 metro bitola 10mm <sup>2</sup> 500V	WEG Motores	1,75
	Contator WEG CWB12-11-20 C03	Mercadolivre	80,00
	Contator Finder 22.64.0.120.4310	electricautomationnetwork	210,54
4.1.5	Três Portas eletrodo 500A	Ferramentas Gerais	49,90
4.1.10	Contator CWB12-11-20 C03	Mercadolivre	80,00
	2 metros cabo 6 vias	WEG Motores	2,17
	Botoeira Metaltex P20 ssr 2-b 1A	Mercadolivre	10,00
	Botão Liga Desliga WEG Csw-bd-wh	Mercadolivre	17,95

Fonte: O autor, 2018.

O componente “Cabo de 6 Vias” deve ter seu valor multiplicado por dois, pois o preço em R\$ indica o valor unitário, sendo assim o valor real do cabo é R\$ 4,34.

O componente “Porta eletrodo” deve ter seu valor multiplicado por três, pois o preço em R\$ indica o valor unitário, sendo assim o valor real dos três porta eletrodos é R\$ 149,70.

A somatória dos valores dos componentes a serem comprados totaliza então R\$ 462,31.

#### 4.4.6 Trabalho especializado de instalação

Quanto a mão de obra necessária para realização dos trabalhos 4.1.2 e 4.1.10, foi considerado o valor cobrado pela área de manutenção. O custo da hora da área de manutenção, mais especificamente da Manutenção VI, responsável pelos trabalhos na área de alternadores, é de R\$ 49,06.

Foi determinado pela manutenção a necessidade de 3 horas para a realização do trabalho 4.1.2 e 5 horas para o trabalho 4.1.10, totalizando, portanto, 8 horas, que multiplicado pelo valor horário acima citado, gera um custo de R\$ 392,48.

#### 4.4.7 Retorno sobre capital investido

Este será considerado de maneira individual, ou seja, a relação custo/ retorno será estabelecida para cada um dos três processos, uma vez que este trabalho se baseia em *Kaisen*, portando as alterações não serão realizadas simultaneamente.

Segue tabela com a relação custo/retorno:

Tabela 4 – Retorno sobre capital investido

Processo	Ganho anual (em R\$)	Gasto com melhorias (em R\$)	Tempo p/ retorno (em horas)
4.1.2	35.224,05	449,47	4h e 57 minutos
4.1.5	1.414,59	149,70	1h e 39 minutos
4.1.10	2.429,24	357,59	3 h e 56 minutos

Fonte: O autor, 2018.

#### 4.4.8 Custo das melhorias em relação ao ganho anual

O ganho baseado na redução anual foi de R\$ 57.557,50, um dos objetivos deste trabalho é delimitar os gastos com melhoria em no máximo 10% deste valor, ou seja, R\$ 5.755.75.

Apenas três das nove alterações realizadas demandam compra de componentes e a somatória dos gastos de todas elas totaliza R\$ 956,76, ou seja, corresponde a 1,66% do ganho anual.

#### 4.4.9 Aumento da capacidade produtiva

Para conhecer a atual capacidade produtiva do laboratório de alternadores, é necessário multiplicar a quantidade de alternadores que podem ser testados diariamente, depois de recalculado o tempo médio para teste, pela quantidade de dias úteis em um ano. A capacidade produtiva atual é de:

$$83 \times 251 = 20.833 \text{ alternadores ano} \quad (8)$$

Onde:

83 = Quantidade de alternadores produzidos por dia

251 = Dias úteis em 2017

Sabendo que a produtividade já atingiu em anos anteriores a marca de 100 alternadores dia, percebe-se que não existe a possibilidade de suprir a demanda, se esta atingir novamente tais patamares. A capacidade produtiva, levando em consideração todos os processos alterados será de:

$$98,3 \times 251 = 24.676 \text{ alternadores ano} \quad (9)$$

Onde:

98,3 = Quantidade de alternadores produzidos por dia

251 = Dias úteis em 2017

Os 3.843 alternadores que poderão ser testados a mais por ano representam um aumento de 18,16% na capacidade produtiva do laboratório.

## 5 CONCLUSÃO

Considerando que a área de ensaios estabelece padrões de qualidade, porém não agrega valor ao produto, e que o ensaio de alternadores não possui um valor fixo, podendo ser até oferecido gratuitamente conforme o lote de máquinas vendidas, a necessidade de ações que possam gerar lucro é ainda maior.

A Melhoria Revolucionária foi preterida em relação à Melhoria Continua, não apenas porque neste trabalho demandaria altos investimentos, uma vez que a proposta deste é alcançar os objetivos a baixos custos, mas também porque produtividade seria afetada, considerando a adaptação dos operadores a uma mudança rígida no processo.

O objetivo geral visava a redução do tempo individual de ensaio, para que por consequência se obtivesse um aumento da capacidade produtiva. Tendo sido reduzido o tempo para o ensaio de um alternador, sendo este mais detalhado em parágrafo abaixo. A capacidade produtiva passou de 20.833 para 24.676 alternadores por ano, o que representa um aumento de 18,16% ano.

Quanto ao primeiro objetivo específico, a análise do processo através de filmagem e posterior separação das etapas em tabela da ferramenta SMED mostrou-se eficiente, sendo possível avaliar 58 processos realizados, dos quais 14 foram escolhidos para realizar possíveis sugestões de melhorias.

A redução em 10% no tempo utilizado para testar um alternador que é o segundo objetivo específico foi alcançada com êxito, já que o tempo médio para teste foi de 25 minutos e 26 segundos para 21 minutos e 29 segundos, ou seja, uma redução de 15,5%.

A redução de 15,5% no tempo de teste foi de essencial para que se alcançasse o terceiro objetivo específico, que é reduzir em 10% o custo do ensaio realizado, já que a relação entre a redução de tempo e a redução financeira é direta, ou seja a redução de R\$ 5,98 por ensaio realizado é representada pelos mesmos 15,5%.

Com a necessidade de compra de componentes para a realização de melhorias em apenas 3 dos 14 processos escolhidos, o quarto objetivo específico foi dentre todos, o alcançado com maior facilidade, pois, as somatórias dos custos de componentes com os da mão de obra especializada totalizaram R\$ 956,76, ou 1,66%.

Por fim, a ferramenta SMED mostrou-se eficiente para a realização de trabalhos de *kaizen* à baixos orçamentos, uma vez que todos os objetivos relacionados a produtividade foram alcançados, com o objetivo financeiro também sendo atingido, portanto o uso de tal ferramenta aliada a maiores orçamentos pode construir trabalhos com resultados de maior significância.

## REFERÊNCIAS

- ANSAI, G.P; **Otimização de um sistema integrado de geração de energia alternativa e produção de Biodiesel**. 2009. 113f. Dissertação de Mestrado – USP, São Paulo, 2009.
- BLASKOWSKI, D.; SIQUEIRA, E.S. **Integração de tecnologias em sistemas de energia com demandas críticas enfocando a fonte concessionária e conversores de energia – Estudo de Caso**. 2014. 111f. Trabalho de Conclusão de Curso – UFTPR, Curitiba, 2014.
- CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração da produção**. 2. Ed. Rio de Janeiro Campus, 2003.
- DEMETRIO JUNIOR. **Tipos de Melhorias Voltadas para a Qualidade**. Disponível em: <<http://demetriolpbjr.blogspot.com/2012/03/tipos-de-melhorias-voltadas-para.html>>, 2012.
- DUARTE, L. **Melhoria contínua através do Kaizen**. Porto alegre 2013.
- Hornburg, S. **Introdução da Filosofia de Melhoria Continua nas Fábricas através de eventos Kaizen**. Foz do Iguaçu, 2007.
- IMAI, M. **Kaizen: uma estratégia improvável**. Elsevier: Rio de Janeiro: 1994.
- MARTINS, P.G.; LAUGENI, F.P. **Administração da Produção**. 2ª Ed. São Paulo: Saraiva, 2005.
- MOTA, P. P. **Estudo e implementação da metodologia SMED e seu impacto numa linha de produção**. Portugal, 2007.
- MURUGAN, N. **Implementação do Kaizen passo a passo**. Atlas: São Paulo, 2005.
- Ohno, T. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Artes Produtivas, 2007.
- SHINGO, S. **Sistema de Troca Rápida de Ferramenta – uma revolução nos sistemas produtivos**. Porto Alegre: Bookman, 2000.
- SHINGO, S. **Sistema Toyota de Produção, do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3ª Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

VIEIRA, T.F.O. **Soluções técnicas e econômicas para produção de energia para o abastecimento de centralidades em Angola.** 2016. 228f. Dissertação de Mestrado – ISEP, Cidade do Porto, 2016.

WEG WEBSITE. **Catalogo Alternadores Linha G WEG** disponível: em: <[http://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Gera%C3%A7%C3%A3o%2C-Transmiss%C3%A3o-e-Distribui%C3%A7%C3%A3o/Geradores/Alternadores-para-Grupos-Geradores/Industrial/c/GLOBAL\\_GENSET\\_IND](http://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Gera%C3%A7%C3%A3o%2C-Transmiss%C3%A3o-e-Distribui%C3%A7%C3%A3o/Geradores/Alternadores-para-Grupos-Geradores/Industrial/c/GLOBAL_GENSET_IND)>. Acesso em 05.06. 2018.

YAMADA, F. H. **Implementação da metodologia kaizen em uma linha de de produção em uma fábrica de chocolates.** São Paulo: 2012.

PAIS, G.S.F. **Estudo e implementação da metodologia SMED na Inplas.** 2009. 61f. Dissertação de Mestrado – Universidade de Aveiro, Aveiro, 2009.

COSTA, E. **An industrial application of the SMED methodology and other Lean production tools.** 2013. University of Minho. Guimarães, 2013.



