

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ANDERSON WILLIAN AMARAL DA SILVEIRA

**POTENCIALIZAÇÃO DE UM EQUIPAMENTO DE PROCESSAMENTO DE CABOS
ELÉTRICOS COM O USO DA FERRAMENTA DE PLANEJAMENTO E ANÁLISE
DE EXPERIMENTOS**

CAXIAS DO SUL

2017

ANDERSON WILLIAN AMARAL DA SILVEIRA

**POTENCIALIZAÇÃO DE UM EQUIPAMENTO DE PROCESSAMENTO DE CABOS
ELÉTRICOS COM O USO DA FERRAMENTA DE PLANEJAMENTO E ANÁLISE
DE EXPERIMENTOS**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade de Caixas do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.
Orientador: Profa. Me. Michele Otobelli Bertéli

CAXIAS DO SUL

2017

ANDERSON WILLIAN AMARAL DA SILVEIRA

**POTÊNCIALIZAÇÃO DE UM EQUIPAMENTO DE PROCESSAMENTO DE CABOS
ELÉTRICOS COM O USO DA FERRAMENTA DE PLANEJAMENTO E ANÁLISE
DE EXPERIMENTOS**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade de Caixas do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Profa. Me. Michele Otobelli Bertéli

Aprovado em ____ / ____ / ____

Banca examinadora

Profa. Me. Michele Otobelli Berteli
Universidade de Caixas do Sul – UCS

Prof Dr. Gabriel Vidor
Universidade de Caixas do Sul – UCS

Prof. Dr. Leandro Luís Corso
Universidade de Caixas do Sul – UCS

Eng Marcos Fernando Martini
Marcopolo S/A

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família por todos esses anos de dedicação ensinamentos e carinho.

RESUMO

A aplicação da técnica de *design of experiments* (DOE) é importante para os resultados da organização, pois permite otimizar os resultados e gerar conhecimento do projeto que se está avaliando, auxiliando na tomada de decisão. Com isso, o presente trabalho apresenta a aplicação dessa técnica em uma empresa do setor metalmecânico de Caxias do Sul. O uso dessa ferramenta, por meio de um projeto fatorial 3^k , possibilitou uma análise mais aprofundada de um equipamento de processamento de cabos elétricos, o qual a empresa não tinha conhecimento sobre as possíveis causas que geravam o descarte de cabos. A aplicação da análise de experimentos propôs a descoberta dos principais fatores que influenciam o equipamento, bem como a sensibilidade do mesmo. Com o uso da ferramenta se conseguiu parametrizar o equipamento para um aumento de produtividade e buscar os fatores que otimizavam o descarte de cabos. Dentro os 18 fatores controlados durante um dos experimentos realizados somente 3 se mostraram significativos para a variável proposta descarte de cabos; modelos de cabos, pressão das correias e pressão das garras. Para o aumento de produtividade foi possível identificar velocidades ótimas para se melhorar em até 7% o resultado. Ao final, indica-se para a empresa a utilização da técnica *Evolutionary Operation* (Evop) para descoberta dos ajustes ótimos para redução de desperdício de cabos, uma vez que nessa oportunidade foi possível identificar os fatores significantes que mais contribuem para a variável Y descarte de cabos.

Palavras-chave: DOE. Otimização. Evop.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista área planta Marcopolo Caxias do Sul	16
Figura 2 - Produto gerado pelo equipamento.....	17
Figura 3 - Início processo decisório.....	20
Figura 4 - Modelo de um sistema	24
Figura 5 - Exemplo de aplicação fatores ANOVA	29
Figura 6 - Zeta 633L	35
Figura 7 - Principais parâmetros prensa 03.....	36
Figura 8 - Principais parâmetros prensa 04.....	36
Figura 9 - Principais parâmetros cabos.....	37
Figura 10 - Diagrama de atividades	39
Figura 11 - Vista superior Zeta divisão estações	40
Figura 12 - Processo máquina.....	44
Figura 13 - Gráfico ocorrências por estações	45
Figura 14 - Gráfico diagrama de pareto.....	46
Figura 15 - Reunião <i>Brainstorming</i>	46
Figura 16 - Produto padrão	48
Figura 17 - Gráfico velocidades da estação 2 vs velocidades de prensa	52
Figura 18 - Imagens recipientes coleta de cabos	56
Figura 19 - Gráfico consumo vs descarte diário	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modelo implementação <i>Brainstorming</i>	22
Quadro 2 - Representação 5W2H	23
Quadro 3 - Comparativo de implementação do planejamento de experimento	27
Quadro 4 - Comparação de modelos de experimento	28
Quadro 5 - Tabela ANOVA	29
Quadro 6 - Principais parâmetros controláveis	37
Quadro 7 - Folha de coleta de dados	41
Quadro 8 - Fatores de controle e níveis definidos para o experimento	47
Quadro 9 - Hipóteses experimento tempos de produção	49
Quadro 10 - Fatores e níveis análise de regressão estação 1 e 2	54
Quadro 11 - Fatores e níveis análise de regressão 3 estações	57
Quadro 12 - Comparação consumo e pressões geral	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Projeto cruzado	31
Tabela 2 - Projeto aninhado	32
Tabela 3 - Tabela ANOVA para os tempos de produção	50
Tabela 4 - Tabela <i>post hoc</i> para velocidades da estação 1.....	51
Tabela 5 - Tabela <i>post hoc</i> para velocidades da estação 2.....	51
Tabela 6 - Tabela <i>post hoc</i> para velocidades de prensa.....	51
Tabela 7 - Tabela ANOVA análise de regressão estação 1 e 2	54
Tabela 8 - Modelo de regressão	54
Tabela 9 - Coeficientes análise de regressão estação 1 e 2.....	55
Tabela 10 - Tabela ANOVA análise de regressão 3 estações.....	57
Tabela 11 - Modelo análise de regressão 3 estações.....	58
Tabela 12 - Coeficientes análise de regressão 3 estações	58
Tabela 13 - Comparação consumo e pressões	61
Tabela 14 - Comparação pressões modelos de cabos 1.0	61
Tabela 15 - Tabela comparativa ajustes pressões	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM	Amarelo
ANOVA	Análise de variância
ASR	Análise de Superfície de Resposta
AZ	Azul
BR	Branco
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
CFA	<i>Crimp force analysis</i>
Cia.	Companhia
CZ	Cinza
DOE	<i>Design of experiment</i>
EVOP	<i>Evolutionary Operation</i>
FABUS	Associação Nacional dos Fabricantes de Ônibus
GDL	Graus de liberdade
H	Hipótese
LA	Laranja
LTDA	Limitada
LZ	Lilás
MA	Marrom
MQ	Média quadrática
MQG	Média quadrática devido aos tratamentos
MQR	Média quadrática devido aos erros
PT	Preto
RS	Rosa
S/A	Sociedade anônima
SAP	<i>Systeme, Anwendungen, Produkte</i>
SQ	Soma quadrática
SQG	Soma dos quadrados devido ao tratamento
SQR	Soma dos quadrados devido ao erro
SQT	Soma quadrática total
t	<i>student</i>
VD	Verde
VM	Vermelho
VS	Versus

LISTA DE SIMBOLOS

%	Por cento
β	Beta
μ	Mi
ε	Erro
$^{\circ}\text{C}$	Graus célsius
X	Variável controlável
Y	Variável incontrolável
Z	Fatores de ruído
K	Representa os níveis dos fatores
N	Representa o numero das observações
τ	Efeito da interação do fator
$\tau\beta$	Efeito da interação média

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	13
1.2	JUSTIFICATIVA	13
1.3	OBJETIVOS	15
1.3.1	Objetivo geral.....	15
1.3.2	Objetivos específicos	15
1.4	PERFIL DA EMPRESA E AMBIENTE DE TRABALHO.....	15
1.5	ABORDAGEM E DELIMITAÇÃO.....	17
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	TOMADA DE DECISÃO	19
2.2	FERRAMENTAS DE APOIO A TOMADA DE DECISÃO	20
2.2.1	Ferramentas da qualidade	21
2.2.2	Planejamento e avaliação de experimentos	23
2.2.2.1	Análise de variância (ANOVA).....	27
2.2.2.2	Projeto fatorial	30
2.2.2.3	<i>Evolutionary Operation</i> (EVOP).....	32
3.	PROPOSTA DE TRABALHO	34
3.1	CENÁRIO ATUAL	34
3.2	ETAPAS DO TRABALHO.....	38
3.2.1	Fase 01: Planejamento e execução do experimento	40
3.2.2	Fase 02: Análise dos resultados	42
3.2.3	Fase 03: Planejamento e execução novo experimento	42
4.	APLICAÇÃO DA PROPOSTA DE TRABALHO	44
4.1	FASE 01: PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	44
4.2	FASE 02: ANÁLISE DOS RESULTADOS	49
4.3	FASE 03: PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO NOVO EXPERIMENTO	53
4.4	ANÁLISES ADICIONAIS.....	59
5.	CONCLUSÃO	64
	REFERÊNCIAS.....	66
	APÊNDICE A – MATRIZ COLETA DE DADOS.....	70

APÊNDICE B – COLETA DE DADOS REGRESSÃO.....	71
APÊNDICE C – CRONOMETRAGEM TEMPOS DE PRODUÇÃO.....	72

1. INTRODUÇÃO

A ferramenta de planejamento e avaliação de experimentos vem crescendo nos últimos anos em decorrência do aumento da implantação da metodologia de *6 Sigmas*, uma vez que as empresas estão cada vez mais buscando tecnologias ou métodos de trabalho de redução de custos, parametrização de processos, produtividade e melhorias de desempenho com uma produção mais eficaz (SILVA; SILVA, 2008).

Para Furterer (2009) a metodologia de *6 Sigmas* é uma abordagem para melhoria da qualidade, que busca reduzir a variação e eliminar desperdícios na organização, junto a esta metodologia a técnica de *Design Analysis of Experiment* (DOE) proporciona a avaliação de um processo como um todo. Num experimento é preciso identificar as variáveis de entrada e saída de um processo e de que forma estas afetam o produto final, para Montgomery (2001) os experimentos são realizados por pessoas com o objetivo de se descobrir resultados sobre algum sistema ou processo. Ainda, o autor acrescenta que, em muitos casos, o objetivo desta técnica é desenvolver um processo robusto, que este seja afetado o mínimo possível por variáveis externas indesejadas. A utilização de DOE também ocorre na implantação de projetos de *Lean Manufacturing*. Conner (2004) define o sistema *Lean* como um sistema com foco principal em redução de desperdícios.

A ferramenta de DOE auxilia no desenvolvimento de diversas metodologias, se tornando, por vezes, mandatória em processos de tomadas de decisão. Os objetivos gerais desta ferramenta incluem determinar as variáveis que mais afetam os resultados; determinar como mudar estas variáveis para que se chegue mais próximo do resultado esperado; determinar onde e como as variáveis são afetadas e, por fim, determinar qual a melhor maneira de alterar alguma variável controlável para que as incontroláveis sejam afetadas o mínimo possível (MONTGOMERY, 2001). Dessa forma, a ferramenta em estudo vincula-se neste contexto, auxiliando na busca de encontrar a melhor parametrização do processo e reduzindo custos em uma área de processamento de cabos elétricos.

Diante disto, a pesquisa é aplicada na empresa Marcopolo S/A, a qual pertence ao setor metalmeccânico, localizada em Caxias do Sul/RS, cujo os produtos são carrocerias para ônibus do modelo Urbano¹ e Rodoviário² especificamente no setor de fabricação de chicotes elétricos³.

¹ Urbano: Ônibus de uso exclusivo no transporte público dentro do município (FABUS, 2006).

² Rodoviário: Ônibus para transporte intermunicipal, interestadual, internacional, turismo ou fretamento (FABUS, 2006).

³ Chicote elétricos: Conjunto de cabos elétricos responsável pela ligação elétrica eletrônica de um veículo (FABUS, 2006).

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A empresa Marcopolo (2016, não paginado) guiada pela sua missão de “desenvolver soluções valorizadas pelos clientes, com base nos princípios da inovação e da sustentabilidade, contribuindo para a evolução do transporte coletivo de passageiros e o progresso social”, procura desenvolver métodos de trabalho para alcançar os seus objetivos, no ano de 2016 o novo *Chief Executive Officer* (CEO) trouxe para a empresa a metodologia de grupos de melhoria contínua, que busca alternativas mais eficazes de produção.

Devido a crescente concorrência do mercado, a busca pela padronização de processos, por produtos mais tecnológicos de qualidade, de baixo custo e atendimento e missão da empresa, a ferramenta DOE pode ser utilizada, visto que proporciona uma melhor visualização do processo, identificando parâmetros capazes de gerar um melhor resultado (MONTGOMERY, 2001).

Para se avaliar processos é importante a utilização de técnicas que tragam o resultado esperado, preferencialmente, que esta tenha a capacidade de utilizar todas as combinações de fatores que a empresa entende como importante para que se chegue ao resultado esperado. Nesse sentido, destaca-se a citação de Montgomery (2001, p. 2) que ressalta a DOE como ferramenta que necessita identificar diversos fatores (métodos, equipamentos, pessoas e outros) que influenciam na transformação do produto gerado. Dessa forma é possível identificar que a ferramenta deve auxiliar a Marcopolo alcançar os seus objetivos.

A empresa tem como princípios a verticalização de diversos processos, isto acaba sendo uma das vantagens competitivas da empresa, um exemplo é a fabricação de chicotes elétricos. Este setor foi verticalizado no ano de 2008, onde foram adquiridos equipamentos e mão de obra especializada, dentre os equipamentos o setor em questão possui dois indispensáveis para produção de corte e crimpagem de terminais, da empresa Komax, modelos Zeta 633 e Zeta 633L.

1.2 JUSTIFICATIVA

Conforme cita Montgomery (2009, p. 8) “Um experimento planejado é extremamente útil na descoberta das variáveis-chave que influenciam as características da qualidade de interesse no processo”.

Técnicas de planejamento de experimentos veem sendo utilizadas como uma ferramenta para verificar o funcionamento de sistemas ou processos produtivos,

permitindo a melhorias destes, como a redução na variabilidade e conformidade próximas do resultado desejado, além de diminuição no tempo de processo e, conseqüentemente, nos custos operacionais. (WERKEMA, 1996 apud SILVA; SILVA, 2008, p. 42).

Segundo Saramago et al. (2008, p. 1) “Em processos industriais, é comum a existência de muitos fatores ou variáveis que afetam a qualidade global do produto final”. Diante disto o trabalho destes autores consiste em utilizar a técnica de Análise de Superfície de Resposta (ASR), com dois enfoques principais, o primeiro deles é usar a ASR com objetivo de otimizar e planejar o queijo Minas Frescal, pela adição de leite reconstituído, e no segundo estudo se busca a otimização da fabricação de válvulas de motores de combustão. Em ambos casos os resultados foram satisfatórios, mostrando que a ASR é eficiente para otimização de sistemas.

No trabalho apresentado por Silva e Silva, (2008), foi utilizado a ferramenta de DOE com objetivo de reduzir os custos, aumentar a qualificação e reduzir os tempos do processo de soldagem a ponto de tubos. Os resultados encontrados apresentaram que a aplicação desta técnica foi bem-sucedida, visto que as premissas do projeto foram alcançadas.

Com o enfoque em identificar fatores que influenciam o desempenho de um digitador, o estudo apresentado por Vieira et al. (2013), utilizou a técnica de projetos fatoriais, dentre estes, dois fatores foram identificados como sendo os mais influentes, a experiência do operador e o computador que influenciaram de forma significativa a variável de resposta.

Ainda, no artigo apresentado por Levingstone et al. (2015) foi utilizada a técnica de DOE para descoberta dos parâmetros ideais no processo de pulverização térmica a plasma em implantes não cimentados no ramo da odontologia e ortopedia. Como resultado foi possível identificar os efeitos de cinco plasmas em estudo, permitindo reconhecer as influências que cada um gera durante o processo.

Por fim, Meng et al. (2013), acrescentam que há aumento da procura por produtos com melhor acabamento superficial. Dessa forma os autores utilizaram a técnica de DOE em um novo sistema de polimento onde este é afetado por muitas variáveis, como concentração das partículas abrasivas e o tamanho das mesmas. Após a evidência de todos os fatores influentes no processo, utilizou-se a técnica de experimentos com o objetivo de descobrir os parâmetros ideais e constatou-se então quais eram e como influenciavam a variável no resultado.

Estes estudos mostraram que a técnica de aplicação de experimentos é capaz de trazer resultados satisfatórios e decisivos que auxilia nas tomadas de decisão. Na empresa Marcopolo na máquina Zeta 633L, o equipamento apresenta eficiência média de 55,8% e são descartados em torno de 7200 metros de cabos por semana, o que representa em torno de 1,45% do total

consumido no equipamento. Evidencia-se que não existem parâmetros definidos para operar o equipamento, como exemplo, aceleração, desaceleração, etc. Dessa forma percebe-se que existe oportunidade de melhoria e a técnica de DOE pode ser útil e auxiliar nas tomadas de decisões.

1.3 OBJETIVOS

A seção 1.3 apresenta o objetivo geral e específicos do trabalho.

1.3.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo geral aplicar a ferramenta de planejamento e análise de experimentos na empresa Marcopolo S/A, no setor de fabricação de chicotes elétricos na máquina Zeta 633L, a fim de reduzir o descarte de cabos.

1.3.2 Objetivos específicos

Com objetivo de atendimento ao objetivo geral, os objetivos específicos são:

- a) descrever as variáveis que compõem o sistema atual;
- b) identificar os fatores de maior importância que afetam o problemas;
- c) selecionar o delineamento experimental;
- d) planejar a execução do experimento;
- e) conduzir o experimento;
- f) analisar os resultados;
- g) realizar recomendações necessárias.

1.4 PERFIL DA EMPRESA E AMBIENTE DE TRABALHO

A Marcopolo é uma das maiores empresas fabricantes de carrocerias para ônibus do mundo fundada em 06 de agosto de 1949, com razão social de Nicola & Cia. Ltda., onde em 1917 o presidente decidiu alterar o nome para Marcopolo S/A (MARCOPOLO, 2016).

Atualmente conta com 18 fábricas distribuídas em todos os continentes e com mais de 21 mil colaboradores (MARCOPOLO, 2016). No Brasil são quatro unidades, duas localizadas no estado do Rio Grande do Sul, na cidade de Caxias do Sul, uma localizada no Rio de Janeiro e uma localizada em Espírito Santo, voltada a produção de ônibus de menor porte. A produção das unidades do Rio Grande do Sul já chegou em 90 carrocerias por dia, como resultado do mês

de junho de 2016 a Associação Nacional dos fabricantes de Ônibus (FABUS), traz que a empresa Marcopolo produziu 447 veículos, divididos nos segmentos de Rodoviário, Urbanos, Intermunicipais e Micro-ônibus, isso representa 29,79% do total de 1501 unidades de carrocerias produzidas entre as fabricantes nacionais.

A unidade instalada em Caxias do Sul é responsável por grande parte de fabricação dos produtos Marcopolo, nesta unidade são produzidos os ônibus Rodoviários e Urbano. A Figura 1 ilustra a planta fabril de Caxias do Sul.

Figura 1 - Vista área planta Marcopolo Caxias do Sul



Fonte: Marcopolo (2016)

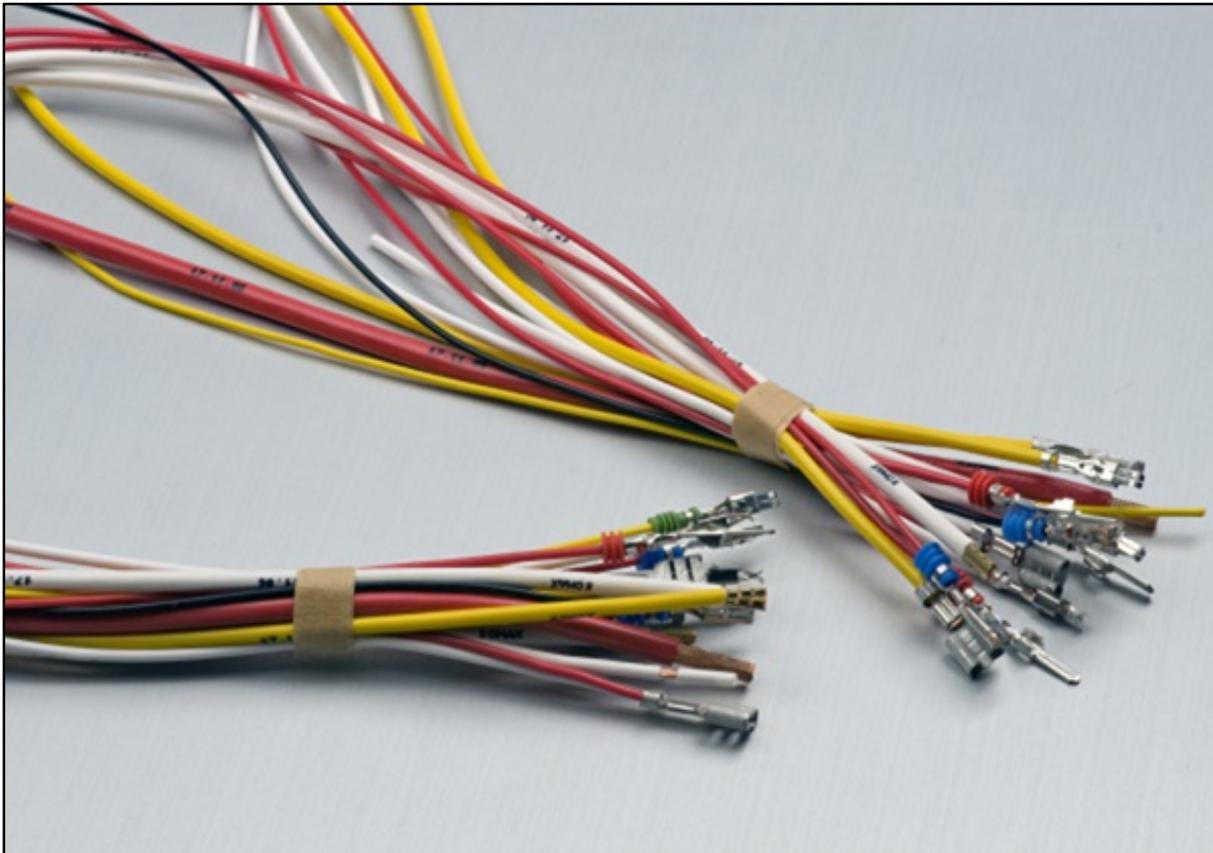
Esta unidade também é responsável pela fabricação de chicotes elétricos para as outras unidades nacionais, contando com um setor dedicado a parte elétrica/eletrônica dos veículos, as unidades do exterior adquirem estes componentes de terceiros.

O setor de fabricação de chicotes elétricos conta com 137 colaboradores divididos em 2 turnos de trabalho. O processo de fabricação de chicotes consiste em corte dos cabos elétricos, fechamento com isolantes, aplicação dos terminais nas extremidades dos cabos e por fim a conexão. Na área de corte conta-se com o auxílio de duas máquinas automatizadas Zeta 633 e Zeta 633L, um dos equipamentos foi adquirido no ano de 2008 e o outro no ano de 2010.

O processo dos equipamentos consiste em medição do comprimento, corte do cabo, gravação com tinta e crimpagem dos terminais nas extremidades do cabo. Após o

processamento os cabos são encaminhados para a etapa seguinte. A Figura 2 representa a imagem de um produto gerado pelo equipamento.

Figura 2 - Produto gerado pelo equipamento



Fonte: KomaxGroup (2016)

1.5 ABORDAGEM E DELIMITAÇÃO

Este trabalho possui uma abordagem quantitativa, com objetivo exploratório realizado através de um estudo de caso. “A pesquisa quantitativa baseia-se na quantificação para coletar e, mais tarde, tratar os dados obtidos” (MASCARENHAS, 2012, p. 44). Já para Roesch (2009, p. 130) “Se o propósito do projeto implica medir relações entre variáveis (associação ou causa-efeito), ou avaliar o resultado de algum sistema ou projeto, recomenda-se utilizar preferentemente o enfoque da pesquisa quantitativa [...]”.

“A fase exploratória consiste em descobrir o campo de pesquisa, os interessados e suas expectativas e estabelecer um primeiro levantamento (ou “diagnóstico”) da situação, dos problemas prioritários e de eventuais ações” (THIOLLENT, 2003, p. 48). “A pesquisa exploratória realiza descrições precisas da situação e quer descobrir as relações existentes entre os elementos componentes da mesma” (CERVO; BERVIAN, 2002, p. 69). Para Roesch, (2009,

p. 130) “Se o propósito do projeto é explorar um tema que foi pouco estudado, utilizam-se pesquisas exploratórias.”. Já para Thums (2000, p. 117) “Estudos exploratórios: compreendem aqueles que visam a oferecer maior familiaridade com o problema de pesquisa ou com a construção de hipóteses”.

“O estudo de caso é uma pesquisa bem detalhada sobre um ou poucos objetos. A ideia é refletir sobre um conjunto de dados para descrever com profundidade o objeto de estudo [...]” (MASCARENHAS, 2012, p. 50). Yin (2010, p. 24) ressalta que “o método de estudo de caso permite que os investigadores retenham as características holísticas e significativas dos eventos da vida real [...].

Conforme Thums (2000, p. 125), “a delimitação do tema é um passo mais complexo da atividade de investigação científica”, portanto, considerando o que foi apresentado, o presente trabalho é delimitado na aplicação da técnica de planejamento e avaliação de experimentos, na máquina Zeta 633L, do setor de fabricação de chicotes elétricos, na empresa Marcopolo S/A de Caxias do Sul bairro Ana Rech. Dessa forma, os resultados obtidos nesse experimento refletem o comportamento específico desse local, sendo que não pode ser ampliado para outras situações, sem levar em conta as variáveis específicas de cada cenário. O período de aplicação ocorre de janeiro de 2017 até abril do mesmo ano.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica consiste em apresentar uma base de estudo para o assunto abordado, visando os tópicos de tomada de decisão, ferramentas de apoio, ferramentas da qualidade e projeto de experimentos.

2.1 TOMADA DE DECISÃO

Para Chiavenato (2004) em nossa vida cotidiana vivemos tomando decisões, e estas ocorrem quando se tem duas ou mais opções para se decidir, ou seja, cursos alternativos de ação. “A decisão é uma escolha diante de várias alternativas de ação quando apenas uma delas deve ser adotada. Decisão sempre envolve opção e escolha” (CHIAVENATO, 2004, p. 252).

“Tomar decisões é identificar e selecionar um curso de ação para lidar com um problema específico ou extrair vantagens em uma oportunidade” (CHIAVENATO, 2004, p. 254). Ainda conforme o autor, o processo de tomada decisão está diretamente ligado a problemas. Um problema surge quando algo está fora do normal, ou fora das expectativas do tomador de decisões. Para Andrade (2009, p. 2) “uma decisão é um curso de ação escolhido pela pessoa, como meio efetivo à sua disposição, para alcançar os objetivos pretendidos, ou seja, para resolver o problema que o incomoda”. “Uma decisão é um resultado de um processo que se desenvolve a partir do instante em que o problema foi detectado o que geralmente ocorre através da percepção de sintomas” (ANDRADE, 2009, p. 2).

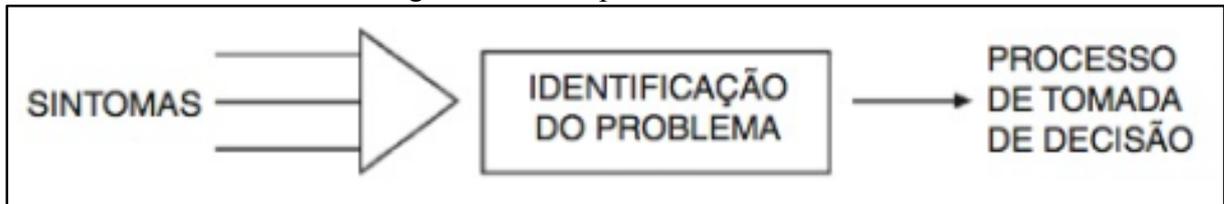
Conforme Pinel (1996, p. 24), “ a tomada de decisões envolve a identificação dos problemas, a definição dos objetivos a serem alcançados, a análise das alternativas e a decisão, que é a opção por uma dessas alternativas”. “O processo de tomada de decisão possui três estágios: identificação e definição do problema; geração de alternativas de soluções; e seleção e implementação da solução (NASCIMENTO, 2012, p. 111).

“O processo de decisão envolve o reconhecimento do problema, identificação de alternativas seguidas de ações, avaliação potencial e escolha” (OLIVEIRA, 1992, p. 17). Ainda segundo o autor “a tomada de decisão é também frequentemente descrita como um cálculo racional feito por um individuo que maximiza, otimiza, ou satisfaz suas preferencias de utilidades, selecionando alternativas conhecidas em uma dada situação de decisão” (OLIVEIRA, 1992, p. 3).

Conforme mencionado, para os autores Oliveira (1992), Chiavenato (2004), Andrade (2009), e Nascimento (2012), o processo de decisão tem início no momento em que se identifica

algum problema que se quer mudar, ou ainda, quando se é identificada alguma oportunidade que se tem intenção de melhorar. Para Andrade (2009) a Figura 3 representa o início do processo decisório.

Figura 3 - Início processo decisório



Fonte: Andrade (2009)

Para os autores, Oliveira (1992), Chiavenato (2004), Andrade (2009), e Nascimento (2012), muitas vezes o processo de decisão está diretamente ligado a fatores emocionais dos tomadores de decisão, dentre os fatores se incluem ambiente de trabalho, conhecimento de causa, elementos de identificação do problema e por vezes até nível hierárquico ocupado dentro das organizações. Estes fatores influenciam diretamente a qualidade da tomada da decisão, conforme Andrade (2009) pode-se medir a qualidade da decisão de três formas:

- a) identificando a satisfação de todos envolvidos;
- b) alcançando os objetivos traçados;
- c) validando e continuando o que foi definido.

Por fim, o processo de tomada de decisão leva em consideração duas alternativas: pode-se decidir sobre algo baseado em situação qualitativa ou quantitativa. Montgomery (2009) cita que as técnicas estatísticas são úteis para a tomada de decisão. Ainda conforme o autor, a técnica de planejamento de experimentos pode ser útil para otimização do processo, visto que se o processo já está em funcionamento e controlado, é difícil que o resultado do processo gere algo diferente para se tomar alguma decisão, portanto; utilizando a técnica de DOE é possível realizar alterações no processo e medir os resultados, posteriormente o experimentador pode tomar as decisões baseado nos dados obtidos.

2.2 FERRAMENTAS DE APOIO A TOMADA DE DECISÃO

“Ferramentas de suporte à tomada de decisão ajudam empresas a organizarem seu processo de tomada de decisão, e respectiva execução a partir da distribuição de papéis, responsabilidades, e metas claras a todos os envolvidos nos processos decisórios [...]” (RIGBY, 2009, p. 21).

A tomada de decisão esta baseada em técnicas qualitativas e quantitativas, dentre técnicas quantitativas se usa cálculos estatísticos, e junto a cálculos estatísticos se trabalha com ferramentas da qualidade, onde algumas serão apresentadas (MONTGOMERY, 2001; CHIAVENATO, 2004; ANDRADE, 2009).

2.2.1 Ferramentas da qualidade

“A importância das ferramentas para a qualidade está em sua efetiva utilização no desenvolvimento das metodologias utilizadas para identificação e a eliminação das falhas de processo” (SELEME; STADLER, 2012, p. 35). Os autores indicam a utilização de algumas ferramentas, em diversas fases, de identificação, solução de problemas e tomadas de decisão, dentre estas ferramentas algumas serão destacadas como, diagrama de Pareto, *Brainstorming*, diagrama de atividades, proposta por Mello (2011), 5W2H e projeto de experimentos.

O diagrama de Pareto foi criado em 1848 por Vilfred Pareto e aperfeiçoado por Juran (CUSTODIO, 2015). Esta ferramenta consiste em uma coleta de dados utilizando uma lista de verificação. Após os dados coletados são dispostos em uma lista com grau de maior ao menor, e em seguida, calculado o percentual acumulado de cada um. Este método gera dados para utilizar outras ferramentas como *Brainstorming* e Diagrama de Ishikawa (CUSTODIO, 2015). Barros e Bonafini (2014) e Seleme e Stadler (2012) indicam construir o gráfico de Pareto levando-se em consideração que os fatores devem ser divididos em essenciais e secundários, para Seleme e Stadler (2012, p 88), “a maior quantidade de defeitos, se refere a poucas causas”.

Conforme Barros e Bonafini (2014), a aplicação do método de Pareto consiste em algumas fases, conforme:

- a) identificação do problema: normalmente um resultado percebido pelo responsável e muitas vezes baseado em reclamações de clientes;
- b) estratificação: nesta fase se divide o problema, ou seja, normalmente se escreve algumas causas que originam;
- c) coleta de dados: nesta fase os dados são coletados bem como a ocorrência dos mesmos;
- d) priorização utilizando o diagrama de Pareto: nesta fase se faz a reorganização dos dados coletados de acordo com a ocorrência;
- e) desdobramento: nesta fase os itens que foram prioritários são tratados de forma diferente, se tornando o problema;

- f) estabelecimento de metas: nesta fase se estabelece metas a serem cumpridas para solucionar os problemas.

“*Brainstorming*, é quando pessoas se reúnem a busca por ideias ou por solução de problemas. Esses encontros são mediados por um líder, que apresenta o motivo da reunião e um secretário, que anota todas as ideias sugeridas sem permitir debate, desprezo ou crítica”. (CUSTODIO, 2015, p. 20). O autor ressalta que se pode trabalhar de duas maneiras, ou com um grupo estruturado e organizado, onde as ideias são dadas em uma ordem, e as pessoas são chamadas para expô-las ou com um grupo não estruturado, onde as ideias que surgirem podem ser dadas a todo o tempo, sem que haja uma ordem. Ainda, para Custodio (2015) a implementação desta técnica deve ser dividida em cinco etapas principais, sendo elas a definição do grupo; tema do trabalho; a geração de ideias; análise e seleção das ideias; priorização das ideias principais definidas pelo grupo. Já para Seleme e Stadler (2012) a implementação está dividida em três etapas e em cada uma, alguns passos devem ser seguidos. O Quadro 1 representa o modelo descrito pelos autores.

Quadro 1 - Modelo implementação *Brainstorming*

Fase	Passo	Descrição
1	1	Escolhe-se um facilitador para o processo que definirá o objetivo.
	2	Formam-se grupos de até 10 pessoas.
	3	Escolhe-se um lugar estimulante para a geração de ideias.
	4	Os participantes terão um prazo de até 10 minutos para fornecer suas ideias, que não devem ser censuradas.
2	5	As ideias deverão ser consideradas e revisadas, disseminando-se entre os participantes.
	6	O facilitador deverá registrar as ideias em local visível (quadro, cartaz, etc.), esclarecendo novamente o propósito.
3	7	Deverão ser eliminadas as ideias duplicadas.
	8	Deverão ser eliminadas as ideias fora do propósito delimitado.
	9	Das ideias restantes devem ser selecionadas aquelas

Fonte: Adaptado de Seleme e Stadler (2012)

O diagrama de atividades é uma ferramenta que auxilia no acompanhamento de projetos, um dos objetivos principais é fazer com que a pessoa que esta desenvolvendo um projeto planeje o tempo de duração das tarefas, as atividades predecessoras, e o prazo de finalização de cada uma (MELLO, 2011). Conforme autor para se montar um diagrama de

atividades o primeiro passo é elencar todas as atividades a serem feitas, bem como aquelas que devem ocorrer em paralelo com outras, após esta etapa se indica montar um diagrama, calcular prazos de cada atividade e revisar se for necessário.

Para Selene e Stadler (2012) a ferramenta 5W2H utiliza perguntas que auxiliam na resolução de problemas. “A utilização de tal ferramenta permite que um processo em execução seja dividido em etapas, estruturadas partir das perguntas, com o intuito de serem encontradas as falhas e impedem o término adequado do processo” (SELEME; STADLER, 2012, p. 42).

“Á técnica os 5W2H consiste em um plano de ação organizado simples, que encaminha a solução dos problemas, ordenando de forma prática a tomada de ações, identificando os principais elementos a serem abordados” (CUSTODIO, 2012, p. 32). O Quadro 2 representa a planilha 5W2H proposta por Seleme e Stadler (2012).

Quadro 2 - Representação 5W2H

Pergunta	Significado	Pergunta Instigadora	Direcionador
<i>What?</i>	O quê?	O que deve ser feito?	O objeto
<i>Who?</i>	Quem?	Quem é o responsável?	O sujeito
<i>Where?</i>	Onde?	Onde deve ser feito?	O local
<i>When?</i>	Quando?	Quando deve ser feito?	O tempo
<i>Why?</i>	Por quê?	Porque é necessário Fazer?	A razão/o motivo
<i>How?</i>	Como?	Como será feito?	O método
<i>How much?</i>	Quanto custa?	Quanto vai custar?	O valor

Fonte: Adaptado de Seleme e Stadler (2012)

2.2.2 Planejamento e avaliação de experimentos

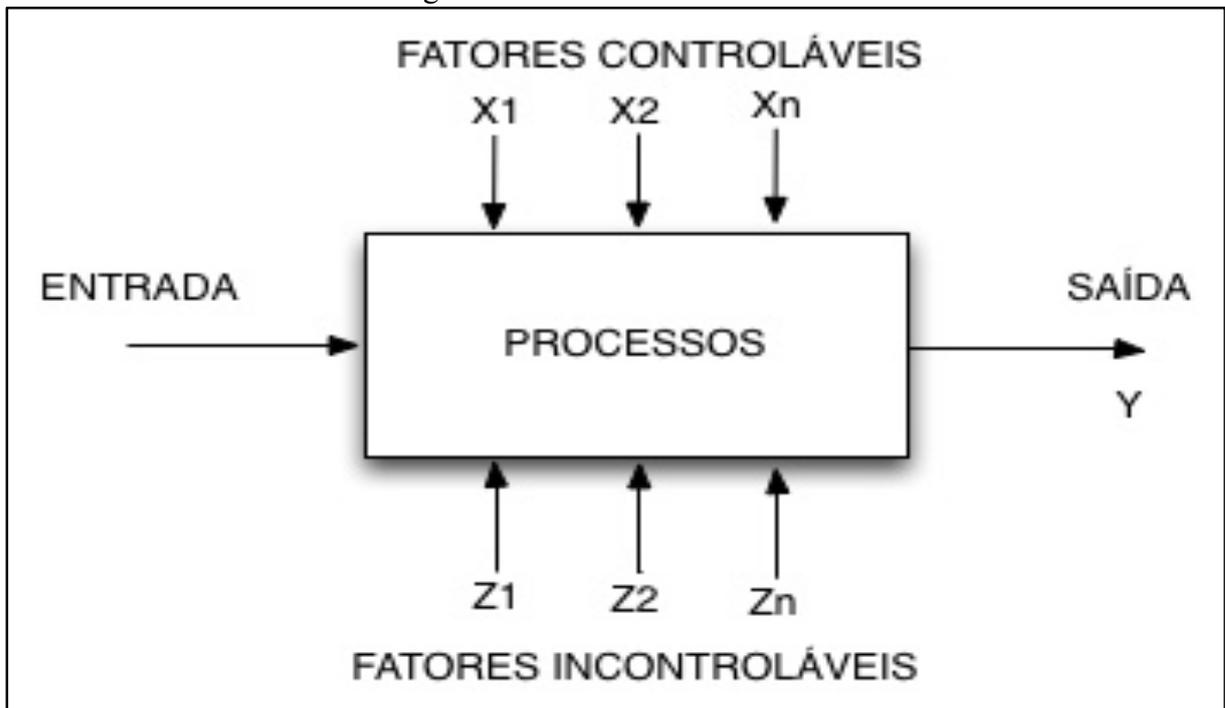
Em geral experimentos são testes feitos por pessoas com objetivo de se descobrir algo sobre um sistema, ou um processo que se está avaliando. Com isso é possível realizar alterações controladas de um processo e se identificar os resultados apresentados, da mesma maneira que se é identificado é possível analisar as causas da mudança causada (MONTGOMERY, 2001).

“O projeto (estatístico) dos experimentos é um procedimento eficiente para planejar experiências, pois os dados obtidos podem ser analisados e promovem a obtenção de conclusões válidas e objetivas” (SELEME; STADLER, 2012, p. 110).

“Experimentos são usados para estudar a performance de processos e sistemas” (MONTGOMERY, 2001, p. 2, tradução nossa). Neste contexto, para o autor, leva-se em conta

tudo que pode afetar a processo, fatores controláveis e incontroláveis, como pessoas, máquinas e outros fatores. A Figura 4 ilustra o modelo de entradas controláveis e incontroláveis que podem afetar o resultado.

Figura 4 - Modelo de um sistema



Fonte: Montgomery (2001, tradução nossa)

Montgomery (2001) desenvolve alguns conceitos essenciais para implementação de experimentos. O primeiro é a replicação, este consiste em realizar o mesmo experimento mais de uma vez. Este método produz duas propriedades importantes, a primeira delas é conceder ao experimentador uma estimativa de erro, permitindo identificar se as diferenças observadas são realmente diferentes, a segunda é a possibilidade de se realizar uma média dos valores encontrados, dessa forma se a variação das medidas obtidas for muito distante da média isso implica que o experimento pode gerar um erro, pois os valores obtidos não seguem um padrão.

Outro conceito importante é a randomização. Consiste em realizar o experimento de forma aleatória, por meio de testes de diferentes maneiras (MONTGOMERY, 2001). Para o autor o conceito de blocagem também é uma importante técnica, normalmente aplicado a fatores que influenciam no experimento. Esta técnica consiste em criar blocos destes fatores, pois se está interessado somente na influência como um todo, e não na interação entre eles.

Conforme Montgomery (2001), para se estabelecer um planejamento e avaliação de experimentos se faz necessário que todos os envolvidos estejam capacitados, que os objetivos

sejam claros e que os dados sejam analisados de maneira similar. Dessa forma o Montgomery (2001) desenvolve um guia para aplicação da ferramenta.

A primeira etapa é conhecer o problema, nesta fase comumente se trabalha com um time de pessoas, compreendendo diversas áreas, como engenharia, produção, manutenção até o cliente, pois muitas vezes é difícil estabelecer o problema de maneira clara a todos. A elaboração do problema e os objetivos acabam sendo norteador para as outras etapas. Muitas vezes são feitos pequenos experimentos para se descobrir o real problema e compreender a natureza do estudo (MONTGOMERY, 2001).

Conforme Montgomery (2001) como segunda etapa se tem a escolha dos níveis e fatores, nesta fase o experimentador irá descobrir os fatores potenciais, aqueles que se imagina que possa influenciar na resposta. Ainda nesta descoberta o experimentador deve encontrar fatores que existem e influenciam no processo, porém não serão avaliados no momento, conhecidos como *held-constant factors*, estes afetam diretamente o processo, porém é evidente para o cientista que não se tem variação, ou ainda que a variação pode existir, porém baixa e dessa forma pode ser desconsiderada em primeiro momento. Um outro tipo de fator é o *allowed-to-vary*, neste se tem conhecimento da variação, como exemplo matéria-prima, que varia milimetricamente, neste caso se utiliza a randomização para balancear os efeitos e tornar único no experimento.

Para os fatores influentes, se pode classificar de três maneiras, sendo eles controláveis, incontroláveis e fatores de ruído. Fatores controláveis são aqueles possíveis de se variar, ou seja, os níveis podem ser estabelecidos pelo experimentador. Se o fator não pode ser controlado, mas de alguma forma este pode ser medido, então se usa a análise de covariância, esta técnica é “um método de ajuste dos efeitos das variáveis incontroláveis dos fatores que influenciam o processo” (MONTGOMERY, 2001, p. 604, tradução nossa). Quando o fator varia naturalmente e não pode ser controlado, porém o processo pode ser controlado no fim do experimento temos o fator chamado de ruído, e muitas vezes o objetivo do experimento é reduzir este tipo de fator (MONTAGOMERY, 2001).

Ainda para Montgomery (2001), na etapa 2 os fatores influentes devem ser analisados, para isso o experimentador deve ter conhecimento do processo, conhecer as variáveis significativas e ter a capacidade de mensurar e estabelecer níveis para entender qual a região que se deve analisar de cada fator, para isso é importante que se tenha o conhecimento do processo avaliado, *process know ledge*. Dessa forma pode-se trabalhar de duas maneiras, a primeira utilizando o conhecimento prévio da equipe que está planejando o experimento, ou ainda utilizando técnicas estatísticas, como exemplo o projetor fatorial que será apresentado

posteriormente, com a possibilidade de identificar todos os fatores que tem influência no experimento.

Como terceira etapa Montgomery (2001), cita que se deve escolher a variável de resposta. Para o autor normalmente não se trabalha com múltiplas respostas, mas sim poucas. É importante nesta fase identificar a variável que realmente traga algum resultado para o experimentador, e que este resultado possa ser compreendido e analisado, normalmente nesta fase pode ocorrer algum erro, pois a equipe pode identificar a variável que não traga resultados, neste caso o autor indica fazer um pré-experimento, coletando os dados e verificando se estes trazem o resultado esperado. Já para Caten e Ribeiro (1996) nesta fase se indica fazer a modelagem individual das variáveis de resposta, para os autores se pode ter mais de uma variável, porém utilizando algum sistema de modelagem, como por exemplo regressão linear. Isto possibilita ao experimentador conhecer quais fatores controláveis influenciam em cada variável resposta, concedendo a oportunidade de eliminar algum fator que não influencia o experimento.

A quarta etapa se desenvolve na escolha do *experimental design*, para Montgomery (2001) ou para os autores Caten e Ribeiro (1996), o projeto de experimento deve ser escolhido com base nas etapas anteriores, considerando todas as variáveis que serão controladas e os resultados esperados, Montgomery (2001) cita que conforme o modelo utilizado existe *softwares* específicos para projetos experimentais, facilitando o trabalho do pesquisador. Montgomery (2001) cita alguns exemplos de projetos de experimentos, como análise de variância (ANOVA) e projetos fatoriais. Caten e Ribeiro (1996) indicam utilizar projetos cabíveis a empresa, visando custo e facilidade de implementação, ambos autores concluem que para um projeto de experimento ser bem-sucedido se faz necessário um bom planejamento.

A quinta etapa consiste em rodar o experimento, ou seja, colocar em prática o que foi planejado, analisando se está tudo de acordo. Caso o experimentador identifique alguma inconsistência é possível retornar ao planejamento e verificar o que está acarretando algum erro (MONTGOMERY, 2001).

A sexta etapa consiste em análise dos dados, Montgomery (2001) menciona que da mesma forma que na quarta etapa, se usa *softwares* estatísticos como auxílio nesta análise. Comumente se utiliza análise gráfica dos resultados, facilitando a interpretação do experimentador. Montgomery (2001) ressalta que os dados sozinhos não resolvem o objetivo do experimento, ou seja, o problema que se esta sendo estudado, porém, fornece uma base para o experimentador tomar as decisões corretas. Assim, utilizando o método correto, e os dados sendo interpretados também de maneira apropriada, facilita o processo de tomada de decisão.

Por fim, a sétima etapa consiste nas recomendações e conclusões. Nesta etapa o experimentador irá fazer as recomendações necessárias, como as ações a serem tomadas para solucionar o problema. Nesta fase serão testadas as hipóteses iniciais, caso todas sejam inválidas serão obtidas novas hipóteses e o projeto de experimento se inicia novamente (MONTGOMERY, 2001). O Quadro 3 apresenta as principais ideias dos autores consultados:

Quadro 3 - Comparativo de implementação do planejamento de experimento

Etapas	Montgomery (2001)	Caten e Ribeiro (1996)	Borges (2014)
Etapa 1	Identificação do problema, e objetivos do experimento	Identificação do problema, objetivos e variável resposta	Reconhecer e definir o problema
Etapa 2	Identificação dos fatores e níveis	Identificação dos fatores, níveis, escolha do projeto de experimentos e execução.	Definir as variáveis e fatores
Etapa 3	Escolha da variável resposta (somente uma)	Análise individual das variáveis resposta, podendo ser mais de uma.	Identificar quais variáveis serão controladas
Etapa 4	Escolha do projeto de experimento	Definir uma função	Selecionar uma ou mais variáveis de resposta
Etapa 5	Rodar o experimento	Otimização, análise de dados e conclusões	Determinar o nível de cada fator
Etapa 6	Análise dos dados		Escolher o tipo de planejamento de experimentos
Etapa 7	Recomendações e conclusões		Executar o experimento
Etapa 8			Analisar os resultados
Etapa 9			Recomendações e Conclusões

Fonte: do Autor (2016), com base em Montgomery (2001), Caten e Ribeiro (1996) e Borges (2014)

2.2.2.1 Análise de variância (ANOVA)

“A análise de variância é a metodologia estatística que avalia a significância dos diversos fatores e interações” (RIBEIRO; CATEN, 2011, p. 19). Ainda para os autores o objetivo desta técnica é analisar as diferenças entre médias, a partir de variações dos dados. Já

para Souza et al. (2002 p. 19), “a ideia da análise de variância, é comparar a variância devido aos tratamentos com a variação devida ao acaso, ou resíduo”. Para Montgomery (2001) a análise de variância é utilizada quando se deseja comparar diferentes fatores em diferentes níveis. Percebe-se que para os autores, a análise de variância (ANOVA) é uma técnica estatística capaz de realizar interações entre diferentes níveis de fatores, para encontrar o ajuste ótimo em um experimento.

Montgomery (2001), Souza et al. (2002), Ribeiro e Caten (2011), estabelecem alguns pressupostos para que se possa aplicar esta técnica:

- a) os dados devem estar em uma distribuição normal;
- b) aleatoriedade dos erros;
- c) atributo dos efeitos;
- d) os valores observados não podem ter correlação.

Ribeiro e Caten (2011) citam que os fatores controláveis nos experimentos podem ser de caráter quantitativos ou qualitativos, porém a variável resposta deve ser de quantitativa. Existem dois modelos de análise de variância, modelos fixos ou modelo aleatório. No modelo fixo os fatores são controláveis a níveis fixos, já para o modelo aleatório os fatores são também controláveis a nível aleatório. O Quadro 4, apresenta a diferença destes modelos para os autores.

Quadro 4 - Comparação de modelos de experimento

Modelos	Ribeiro e Caten (2011)	Souza et al. (2002)	Montgomery (2001)
Fixos	Possível de repetir o experimento tempo depois	São modelos em que os tratamentos representam a totalidade, de interesse do experimentador.	Os fatores podem ser escolhidos pelo experimentador, neste modelo se realiza os testes e conclusões somente dos fatores considerados na análise.
Aleatórios	Impossível de repetir o experimento tempo depois	Representam uma amostra aleatória, conduzindo o experimento de forma real	Amostra aleatória, dando condições do experimentador fazer conclusões sobre a variabilidade.

Fonte: do Autor (2016)

A fórmula estatística apresentada por Ribeiro e Caten (2011) da ANOVA é apresentada na Equação 1, abaixo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

onde: μ = média geral
 τ_j = efeito do grupo j
 ε_{ij} = erro aleatório

Para elaboração da ANOVA é necessário se identificar as hipóteses, como hipótese zero (H_0) deve vir de acordo com o objetivo do experimento, ou seja, nesse momento (H_0) assume que não há variação entre as médias dos valores medidos, já a hipótese (H_1), deve ser em discordância da hipótese zero, ou seja negar a primeira hipótese e assumir que há variância entre as médias (RIBEIRO; CATEN, 2011).

Após a identificação das hipóteses é necessário reunir os fatores com os seus diferentes níveis, e dessa forma medir os resultados. A Figura 5 relaciona um exemplo de aplicação da tabela ANOVA com apenas um fator sendo controlado em três níveis, desenvolvido por Ribeiro e Caten (2011).

O cálculo estatístico para elaboração da tabela ANOVA será visto no Quadro 5 a seguir, dessa forma, abaixo o Quadro 5 representa o modelo descrito por Ribeiro e Caten (2011).

Figura 5 - Exemplo de aplicação fatores ANOVA

Temperatura			Fator controlável
15°C	25°C	35°C	
12	20	17	Repetições
13	19	16	
11	18	18	

Medição da variável de resposta

Fonte: Ribeiro e Caten (2011)

Quadro 5 - Tabela ANOVA

Fonte	SQ	GDL	MQ	Teste F
Entre grupos	SQG	K-1	MQG	F=MQG/MQR
Dentre grupos	SQR	N-K	MQR	
Total	SQT	N-1		

Fonte: Ribeiro e Caten (2011)

Para construção da tabela apresentada é necessário realizar alguns cálculos, a serem preenchidos na própria tabela. Dessa forma, a tradução de cada item da tabela é apresentada abaixo, conforme Montgomery (2001):

- a) SQ: soma quadrática;
- b) SQG: soma dos quadrados devido ao tratamento;
- c) SQR: soma dos quadrados devido ao erro;
- d) SQT: soma quadrática total;
- e) GDL: graus de liberdade;
- f) K: representa os níveis dos fatores;
- g) N: representa o numero das observações;
- h) MQ: média quadrática;
- i) MQG: média quadrática devido aos tratamentos;
- j) MQR: média quadrática devido aos erros.

Uma das maneiras indicadas por Ribeiro e Caten (2011), para tirar as conclusões sobre o experimento é a utilização da tabela de Fischer, onde se utiliza o teste F, dessa forma se o F calculado for maior que o F tabelado se rejeita H_0 , ou seja, se aceita H_1 .

Conforme Montgomery (2001), Ribeiro e Caten (2011), se utiliza a ANOVA nos experimentos onde envolvem somente um fator ou dois fatores, *ANOVA ONE WAY* ou *ANOVA TWO WAY*. Nos experimentos onde se utilizam mais de dois fatores se aconselha a utilizar o projeto fatorial.

2.2.2.2 Projeto fatorial

Em muitos experimentos não se está interessado em analisar somente a interação de um ou dois fatores, mais sim um conjunto de fatores em diferentes níveis. Neste caso se utiliza o projeto fatorial. O projeto fatorial fornece a condição do experimentador analisar e verificar a interação de mais de um fator em diferentes níveis. O resultado esperado deste projeto é conceder ao experimentador a possibilidade de tomar decisões sobre o processo que está sendo avaliado, identificando os fatores mais influentes e menos influentes e as interações entre eles. (MONTGOMERY, 2001). Este tipo de projeto de experimento propicia a identificação da influência que cada fator tem sobre outro e é um projeto de melhor custo benefício (RIBEIRO; CATEN, 2011).

Montgomery (2001) menciona que o projeto fatorial é um projeto que possui algumas vantagens em relação a outros projetos de experimento, destas vantagens se destaca a

minimização do erro experimental, devido ao fato de se ter mais fatores controlados e a possibilidade de se descobrir a interação entre estes.

Conforme Montgomery (2001) as considerações iniciais para um projeto fatorial prevalecem as mesmas da ANOVA, porém agora se está analisando mais de um fator. A Equação 2 representa a equação geral do projeto fatorial apresentada por Ribeiro e Caten (2011).

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (2)$$

onde: μ = média geral
 τ_i = efeito do i-ésimo nível de A
 β_j = efeito do j-ésimo nível de B
 $(\tau\beta)_{ij}$ = é o efeito da interação AB
 ε_{ijkl} = é o erro aleatório

A aplicação do projeto fatorial pode ser feita de duas formas, em projetos cruzados ou em projetos aninhados (RIBEIRO; CATEN, 2011). Para os autores nos projetos cruzados é possível identificar a interação entre fatores. A Tabela 1 representa um modelo de projeto cruzado proposto por Ribeiro e Caten (2011), onde em cada nível do fator A, no exemplo material, existem três níveis diferentes do fator B, no caso temperatura, porém os níveis de temperatura são as mesmas para cada material.

Tabela 1 - Projeto cruzado

Materiais								
1			2			3		
Temperatura			Temperatura			Temperatura		
50	75	100	50	75	100	50	75	100
xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx

Fonte: Adaptado de Ribeiro e Caten (2011)

Já nos projetos aninhados não se pode identificar interação entre os fatores, a Tabela 2 apresenta o modelo de projeto aninhado descrito por Ribeiro e Caten (2011) onde é possível identificar que para cada nível do fator A, no exemplo material, existem diferentes níveis do fator B, no caso temperatura.

Tabela 2 - Projeto aninhado

Materiais								
1			2			3		
Temperatura			Temperatura			Temperatura		
40	50	60	100	120	160	60	75	90
xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx

Fonte: Adaptador de Ribeiro e Caten (2011)

Por vezes o interesse está em descobrir uma equação que determine qual o valor da variável resposta se alterarmos os níveis dos fatores que estamos controlando, para isso se propõe o modelo de regressão (MONTGOMERY, 2001). O autor apresenta a Equação 3, que expressa a equação geral para este modelo.

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{12}x_1x_2 + \varepsilon \quad (3)$$

onde: β 's = representa os valores que serão determinados

x 's = representa as variáveis de cada fator

ε = erro

Com o uso do modelo apresentado é possível calcular a variável resposta somente utilizando a equação, não sendo necessário rodar o experimento novamente, esta equação dá a condição ao experimentador de realizar testes em diferentes níveis dos fatores e descobrir o valor da variável resposta (MONTGOMERY, 2001).

2.2.2.3 Evolutionary Operation (EVOP)

Segundo Hicks e Kenneth (1999) a Operação Evolutiva (EVOP) é um método estatístico aplicado em um processo que se está avaliando, onde este processo não sofre qualquer parada. A qualidade do produto não é afetada e normalmente se utiliza métodos fatoriais para aplicação (HICKS; KENNETH, 1999).

A aplicação consiste em conduzir o experimento enquanto o processo produtivo não para, ou seja, enquanto se esta produzindo algumas variáveis são controlados em um nível estabelecido pelo experimentador, após um determinado ciclo de produção é conferido o

resultado, e este resultado é utilizado para um novo experimento de um novo ciclo (HICKS; KENNETH, 1999).

Ainda, segundo Hicks e Kenneth (1999), o objetivo deste método é mover-se ao encontro de uma resposta que otimize a variável resposta, porém durante o processo de produção.

Montgomery (1997), cita que quando se deseja aplicar um método que avalia todos os fatores e condições que podem passar despercebidos para o experimentador, a técnica ideal é o EVOP, onde essa técnica segundo o autor é aplicada e monitorada continuamente na produção, não gerando distúrbios.

Porto (2014), ressalta que a aplicação de um experimento pode gerar algumas paradas no processo que se está avaliando, contudo, a utilização do EVOP se mostra aplicável quando o processo não pode ser interrompido e o produto final continua sendo entregue com qualidade. “A EVOP é, portanto, uma ferramenta de gestão que faz uso da experimentação *online*, mas o utiliza em ciclos sucessivos, em um formato muito específico.” (PORTO, 2014, p. 49).

Um experimento EVOP, seria um teste no processo produtivo que se está avaliando, onde variáveis de entrada são alteradas ciclicamente e são controladas as repostas da varível dependente (PORTO, 2014).

3. PROPOSTA DE TRABALHO

Neste capítulo se apresenta a proposta de trabalho para conduzir o atendimento do objetivo geral e objetivo específicos.

Dessa forma, apresentam-se a estrutura da empresa, especificamente no setor de fabricação de chicotes elétricos, o estado atual e os problemas enfrentados, logo se caracteriza as etapas para elaboração da proposta de trabalho e implementação do projeto de experimentos em um equipamento processador de cabos elétricos.

3.1 CENÁRIO ATUAL

O setor de fabricação de chicotes elétricos localizado na unidade Marcopolo Ana Rech, é responsável pela fabricação dos chicotes elétricos das unidades nacionais. Este setor adquiriu em 2008 um equipamento de origem suíço da empresa Komax. Este equipamento por sua vez processa cabos elétricos possibilitando o corte, gravação, decape e crimpagem de terminais de forma automática. Em 2010 a empresa optou pela compra de um outro equipamento, porém um modelo recente da época Zeta 633L, dessa forma a empresa conta com dois equipamentos para processar estes modelos de cabos.

Ambos os equipamentos são capazes de processar até 36 modelos de cabos diferentes variando de 0,13 mm² a 6 mm², a diferença é que o equipamento mais recente trabalha com 8 estações de crimpagem (prensas) e uma estação de selo, enquanto o outro equipamento somente com 5 estações de crimpagem. Os modelos de cabos utilizados nos equipamentos são de 0,5 mm² até 6 mm² e são utilizados somente 8 modelos de terminais evitando-se o *setup*.

Após o processamento dos cabos nos equipamentos os demais processos decorrentes a fabricação de chicotes é feito de forma manual, dividindo-se em, montagem, acabamento, ultrassom, prensas, conexão e embalagem.

Em média nos equipamentos automatizados, são descartados 7000 mil metros de cabos por semana, variando entre os 36 modelos utilizados, em decorrência de fatores desconhecidos. Alguns grupos de trabalho já foram formados na empresa buscando encontrar as causas desta sucata gerada, e alguns fatores mais evidentes são a falta de experiência, treinamento dos operadores, qualidade da matéria-prima e parâmetros do equipamento.

A Figura 6 é uma imagem do equipamento Zeta 633L instalada na planta da unidade Marcopolo Ana Rech.

Figura 6 - Zeta 633L



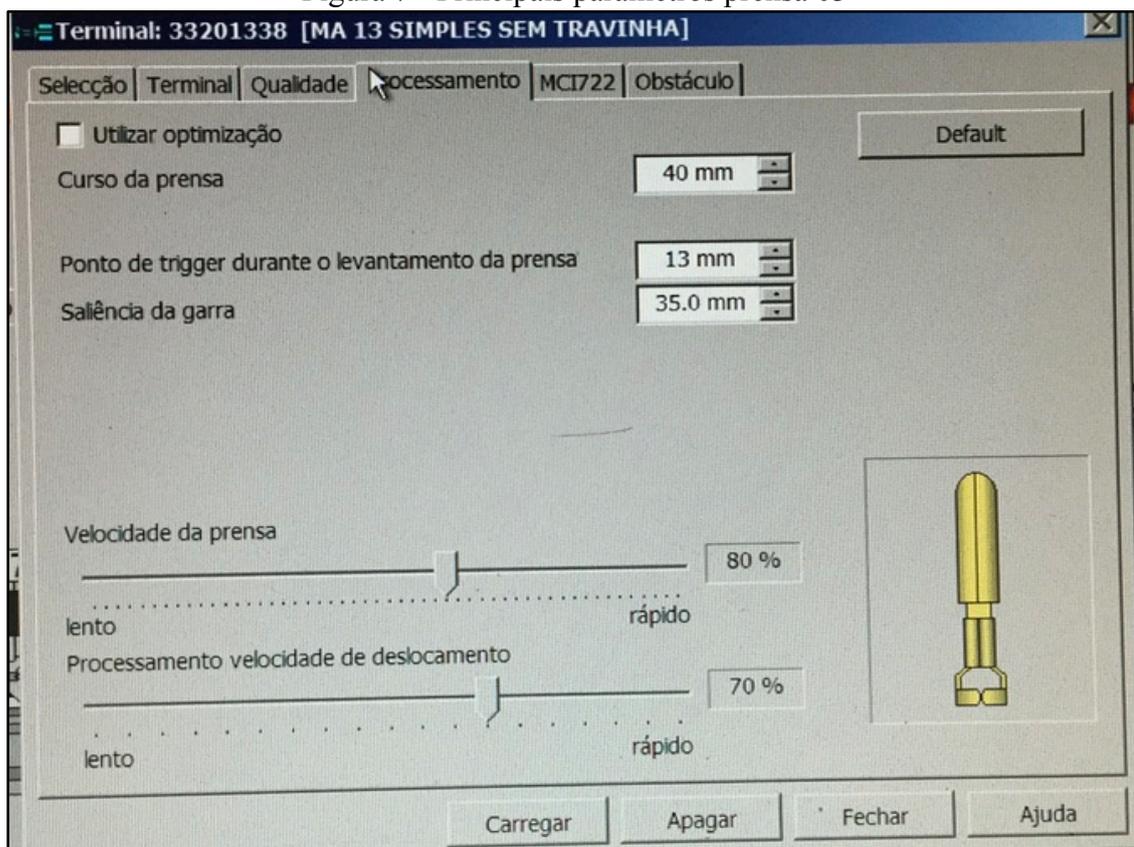
Fonte: do Autor (2016)

Dentre os parâmetros do equipamento alguns devem ser citados. As Figuras 7 e 8, demonstram que não existe parâmetro definido, ficando a cargo do operador ajustar o equipamento apenas pela sua experiência, na busca por melhor resultado.

As imagens mostram os níveis de alguns fatores que podem ser controlados. Nota-se que a prensa 03 trabalha com velocidade e processamento de 80 e 70% respectivamente, enquanto a prensa 04 trabalha com 100%, dessa forma se denota a falta de parâmetros definidos nesta estação.

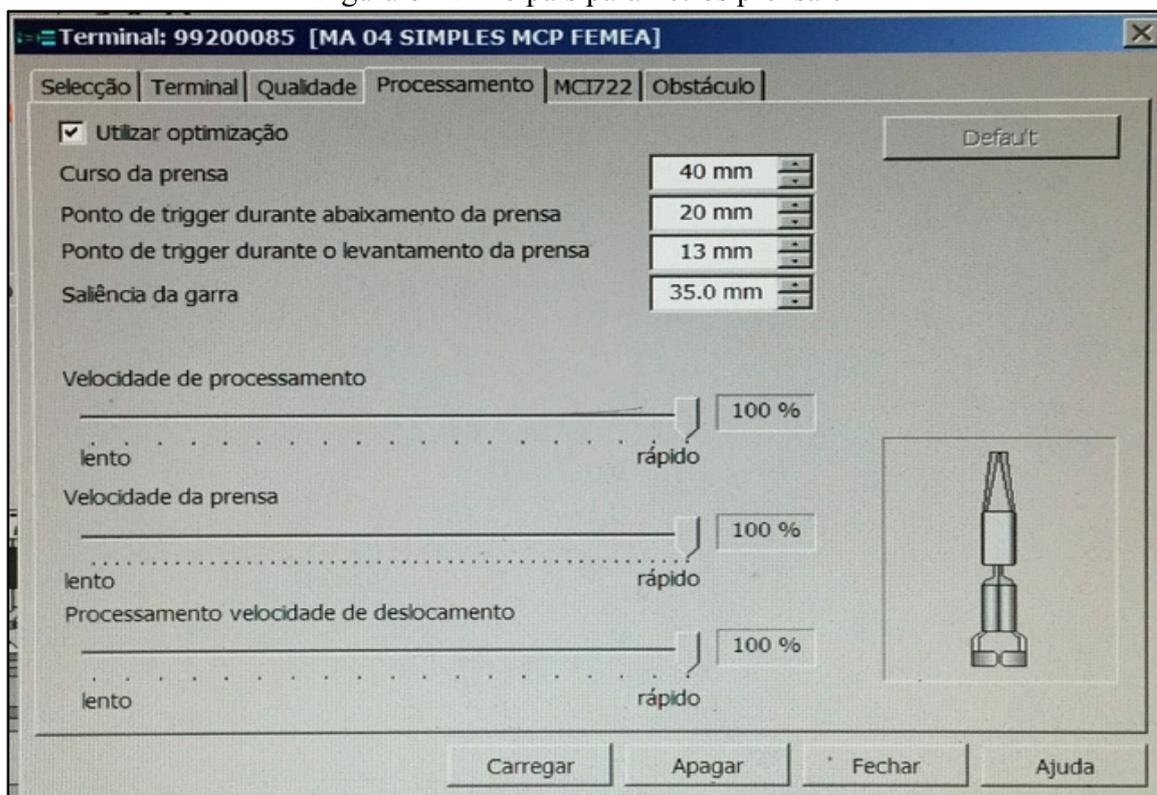
Estes parâmetros devem ser estabelecidos de acordo com a necessidade de cada cliente, no momento da aquisição o fornecedor indicou realizar um *try-out* do equipamento antes da entrega do mesmo. No equipamento adquirido em 2010 a empresa realizou o *try-out* na Suíça onde foram estabelecidos parâmetros de acordo com a matéria-prima utilizada pela própria empresa buscando atingir a melhor eficiência do equipamento e o menor desperdício possível, porém, os parâmetros ajustados na época são mecânicos, como facas de corte e diâmetros dos tubos de passagem de cabos, enquanto parâmetros de ajuste fino, ainda não foram estabelecidos.

Figura 7 - Principais parâmetros prensa 03



Fonte: do Autor (2016)

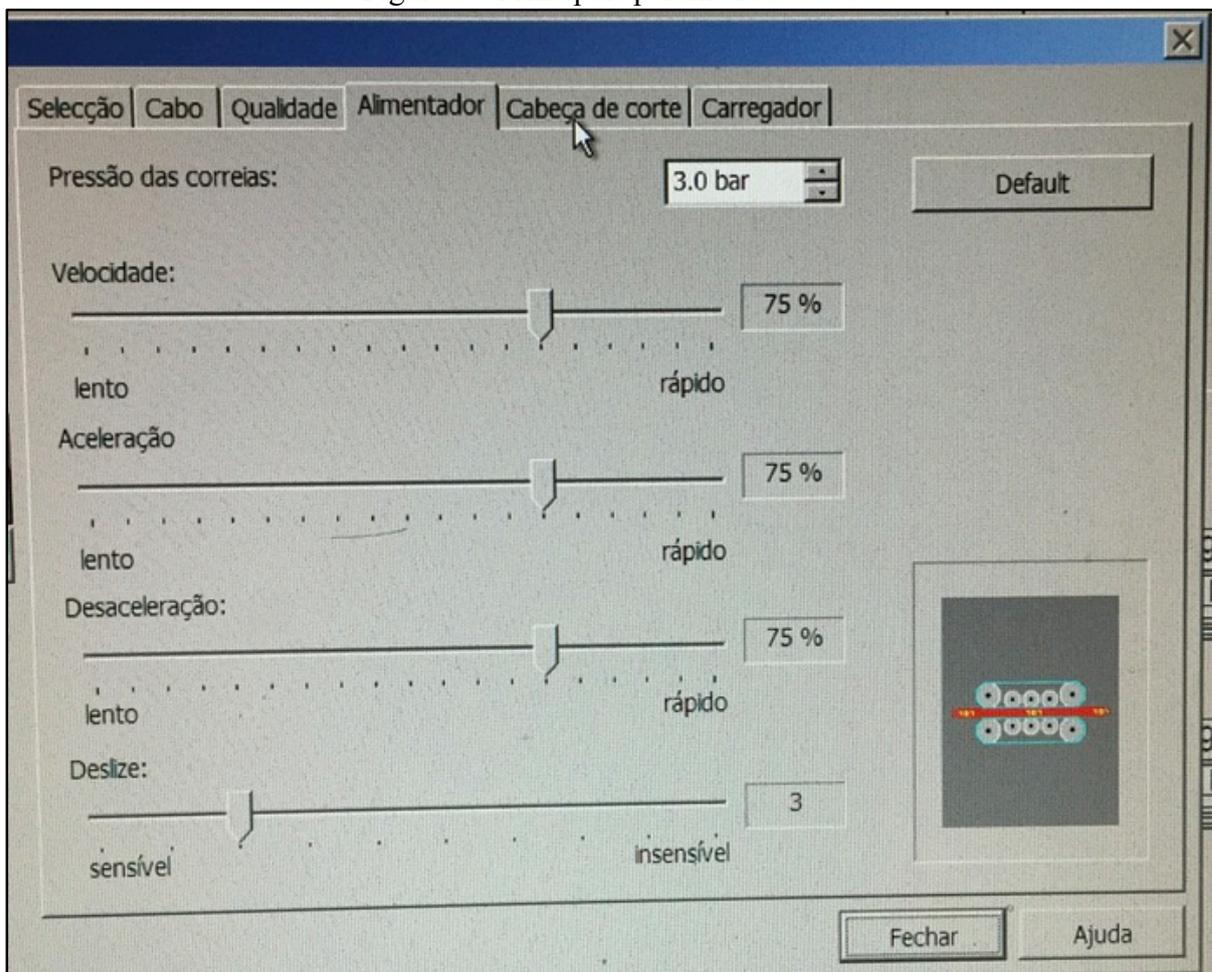
Figura 8 - Principais parâmetros prensa 04



Fonte: do Autor (2016)

No processamento dos cabos, da mesma forma que as prensas, é possível alterar parâmetros do equipamento. A Figura 9 apresenta alguns parâmetros que podem ser controlados com relação a cabos.

Figura 9 - Principais parâmetros cabos



Fonte: do Autor (2016)

Para demonstrar os principais parâmetros que podem ser controlados o Quadro 6, apresenta a relação destes parâmetros, bem como a variação dos níveis possíveis.

Quadro 6 - Principais parâmetros controláveis

(continua)

Fatores	Cabo		Desnude/Decape		Prensa	
	Parâmetro	Nível	Parâmetro	Nível	Parâmetro	Nível
Aceleração	Sim	0 – 100	Não		Não	
Desaceleração	Sim	0 – 100	Não		Não	
Velocidade	Sim	0 – 100	Sim	0 – 100	Sim	0 – 100
Velocidade de processamento	Não		Não		Sim	0 – 100
Deslize	Sim	1 – 10	Não		Não	

(conclusão)

Pressão correia	Sim	0 – 6	Não		Não	
Pressão garra	Não		Sim	0 – 6	Não	
Velocidade impressão	Sim	0 – 100	Não		Não	
Velocidade de deslocamento	Não		Não		Sim	0 – 100
Velocidade de extração	Não		Sim	0 – 100	Não	
Otimização	Não		Não		Sim	<i>on- off</i>
Sensibilidade	Não		Não		Não	

Fonte: do Autor (2016)

Estes parâmetros foram estabelecidos pelos próprios técnicos dos equipamentos no momento da instalação, porém os mesmos podem ser alterados de acordo com a necessidade do cliente, por exemplo, a velocidade de tracionamento dos cabos pode ser alterado de acordo com a matéria-prima utilizada, a velocidade de processamento das prensas, também deve ser estabelecida de acordo com o fornecedor e qualidade do material de composição do terminal, a velocidade de extração ou decape de cabos, também deve ser estabelecida de acordo com a qualidade, e diâmetro do cabo utilizado, dessa forma o ajuste fino deve ser feito no *software* do equipamento.

No cenário atual os equipamentos trabalham 2 turnos de trabalho das 7:30 da manhã até as 2:28 da noite. A eficiência média é de 60% e são descartados, em média, 1,5% dos cabos processados. As causas das paradas e sucata podem ter influência pela falta de parametrização do equipamento ou até mesmo pela falta de expertise dos operadores, ou dos técnicos de manutenção responsáveis.

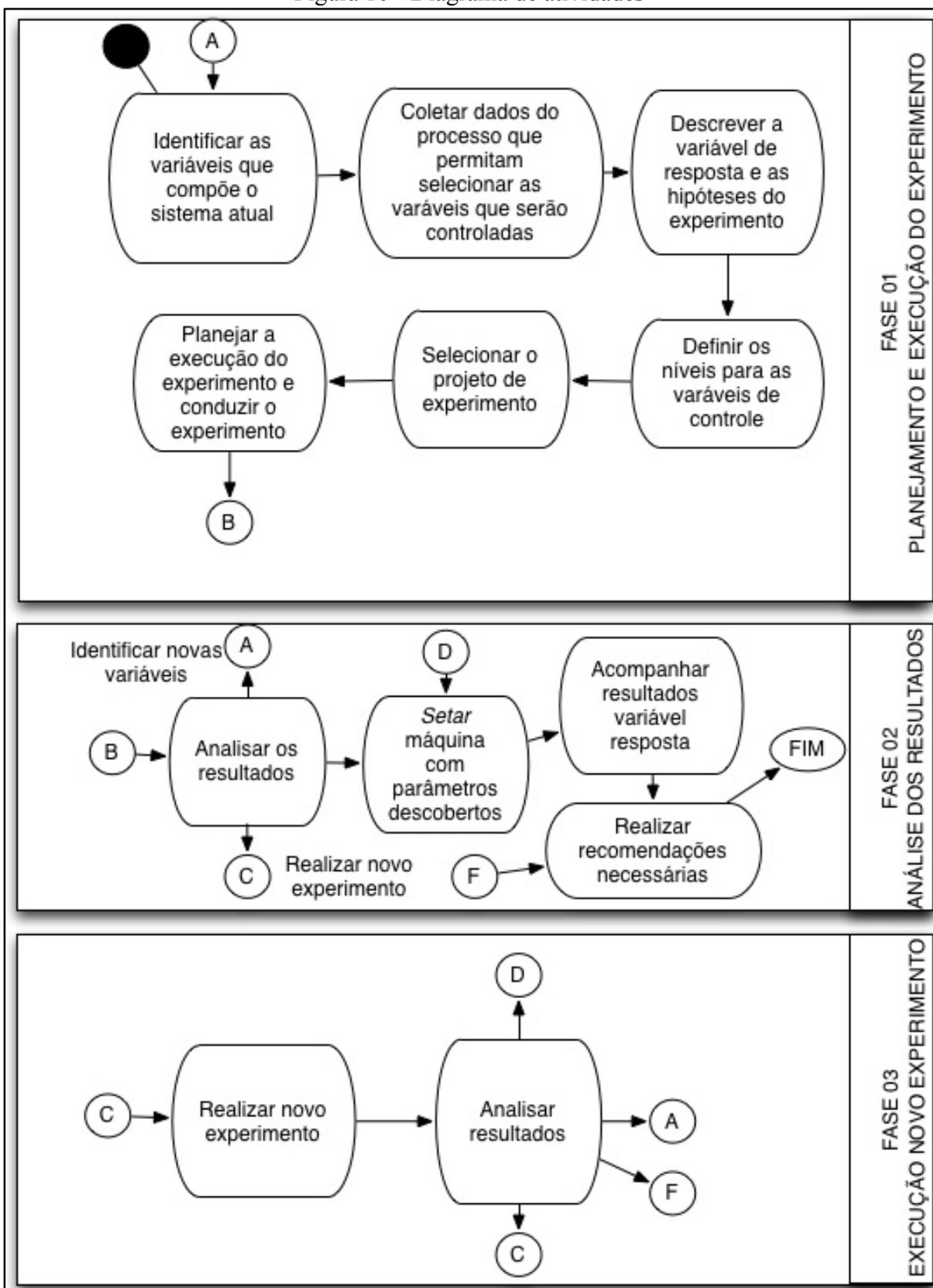
Dessa forma o presente trabalho consiste em aplicar a técnica de planejamento de experimentos para parametrizar o equipamento Zeta 633L buscando a melhor interação entre os níveis dos fatores controláveis.

3.2 ETAPAS DO TRABALHO

A fim de facilitar o desenvolvimento desse trabalho, buscou-se ilustrar as etapas necessárias para atingir o objetivo através de uma representação gráfica. Na representação é possível identificar as datas estabelecidas para cumprimento de cada etapa.

Assim, a Figura 10 apresenta o diagrama de atividades que compreende as três fases bem como as etapas para implementação do projeto de experimentos na máquina explicada.

Figura 10 - Diagrama de atividades



Fonte: do Autor (2017)

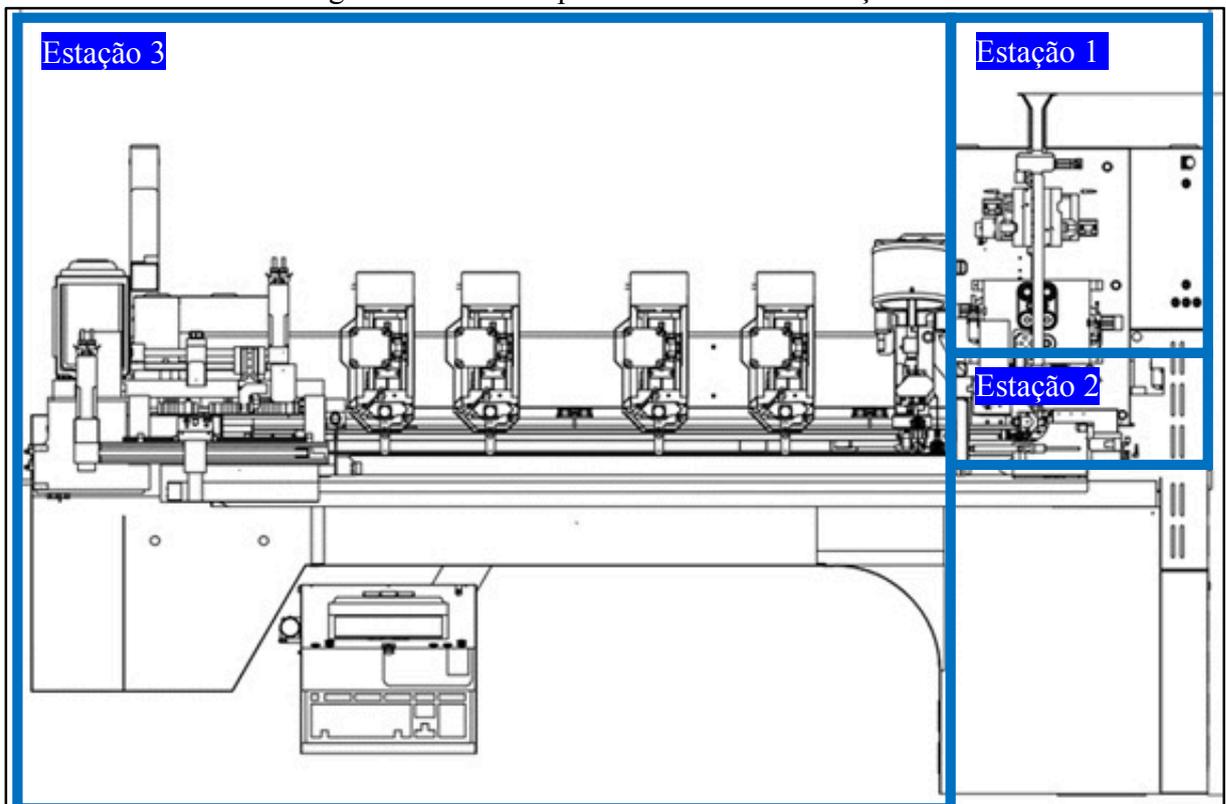
3.2.1 Fase 01: Planejamento e execução do experimento

Com o objetivo de descobrir as variáveis que compõem o sistema atual, o equipamento foi dividido em 3 estações. Para cada estação pretende-se pontuar fatores externos e internos. Fatores externos compreendem a falta da matéria-prima e negligência do operador ao disponibilizar o material para a máquina trabalhar. Fatores internos representam qualquer problema que possa ocorrer no equipamento e que não teve influência externa, por exemplo:

- a) perda do cabo;
- b) erro de crimpagem;
- c) erro de decape;
- d) qualidade de gravação no cabo.

Dessa forma busca-se separar as causas do problema entre os que sofrem influência de fatores humanos e os que não sofrem qualquer influência. As estações estão divididas conforme Figura 11.

Figura 11 - Vista superior Zeta divisão estações



Fonte: Komaxgroup (2016)

A estação 1 é formada pelo magazine dos cabos processados do equipamento, este magazine é composto por 36 modelos de cabos. Nesta estação é possível controlar a velocidade

de tracionamento dos cabos, aceleração, desaceleração e gravação. Nesta mesma unidade o equipamento conta com um encoder para auxiliar na contagem de metros. A estação dois é responsável por realizar o decape ou semi-decape dos cabos, onde são utilizadas facas de corte, para o corte zero, ou seja, início da medida do cabo ou para realizar decape. A estação 3 é composta por uma unidade de selo, 8 unidades de prensa para crimpagem de terminais e uma unidade de aplicação de fita para embalagem. Nesta estação se pode controlar a qualidade de crimpagem dos terminais aplicados, variando fatores como, otimização da prensa, velocidade do processamento, desaceleração das prensas, aceleração da prensa e CFA.

Para identificar qual o modelo de cabo, qual a prensa e qual o terminal responsável pelo maior índice de problemas (geração de sucata), se fará uso de uma folha de coleta de dados representada pelo Quadro 7.

Quadro 7 - Folha de coleta de dados

Paradas	Modelo cabo	Fatores																
		Internos										Externos						
		Estação 3								Estação 2		Estação 1		Est. 3	Est. 1	Est. 3	Est. 3	
		Prensa 01	Prensa 02	Prensa 03	Prensa 04	Prensa 05	Prensa 06	Prensa 07	Prensa 08	Estação selo	Decape/Desnude	Perda do cabo	Deslize/Cabo na máquina	Impressão	Terminal	Cabo	Fita	Selo

Fonte: do Autor (2016)

Utilizando os dados encontrados, será montado um diagrama de Pareto com o objetivo de descobrir em qual estação há maior incidência de problemas.

Por meio da ferramenta *Brainstorming* com um grupo de pessoas composto por manutenção, produção, qualidade e engenharia de processos definiram-se quais as variáveis devem ser controladas no experimento. Logo, o mesmo grupo pontuará quais os fatores que

podem estar influenciando o problema encontrado de maior incidência e os níveis que serão controlados durante o experimento.

A escolha do projeto de experimento ficará a cargo do experimentador responsável, baseado nos dados que serão encontrados.

3.2.2 Fase 02: Análise dos resultados

No período que compreende março a abril de 2017 será iniciado o planejamento do experimento e a condução do mesmo. Para iniciar este planejamento nesta data o experimentador terá de posse os fatores que serão controlados e em quais níveis bem como a variável resposta, tendo condições de planejar de que forma será conduzido experimento. Assim, pretende-se criar um produto para a máquina que compreende o terminal e o cabo que mais apresentaram problemas no levantamento realizado na fase 01.

Este produto terá no mínimo 40 cabos com comprimentos variados, também terá crimpagem em ambas as pontas e crimpagem em somente 1 ponta do cabo. Este produto deverá ser produzido durante o horário de trabalho com acompanhamento dos envolvidos e medindo-se a variável resposta. Para cada produção de um conjunto de 40 cabos os níveis dos fatores controláveis serão variados conforme definido pela equipe de trabalho. Dessa forma o experimento será conduzido durante uma semana em ambos os turnos de trabalho, sendo que cada turno deverá produzir a quantidade de conjuntos necessários para que os níveis possam ser variados e medidos.

Após a definições dos níveis de cada fator que acontecerá no final da semana escolhida, o equipamento será acompanhado até final de abril para entender os resultados comparando com o estado atual e verificando a necessidade de conduzir um novo experimento.

3.2.3 Fase 03: Planejamento e execução novo experimento

Na primeira semana de maio de 2017 os resultados serão comparados, com o estado do equipamento antes de se realizar o experimento e definições dos níveis de cada fator. Dessa forma espera-se encontrar resultados que permitam tirar conclusões sobre o experimento conduzido. A análise dos resultados será feita utilizando dados históricos da variável resposta do período de novembro e dezembro de 2016 com dados do período de abril e maio de 2017.

Conforme o resultado alcançado deve-se definir ações para manter constante a variável resposta. Dessa forma será sugerido a empresa ações recomendadas baseado no resultado do experimento.

4. APLICAÇÃO DA PROPOSTA DE TRABALHO

A seção 4 compreende a fase de aplicação da proposta de trabalho da ferramenta de planejamento e análise de experimentos em uma empresa do setor metal mecânico. A primeira parte do capítulo relata a aplicação do trabalho dividida por fases, conforme proposta de trabalho apresentada, enquanto que na segunda parte estão os resultados obtidos e uma sugestão para trabalhos futuros.

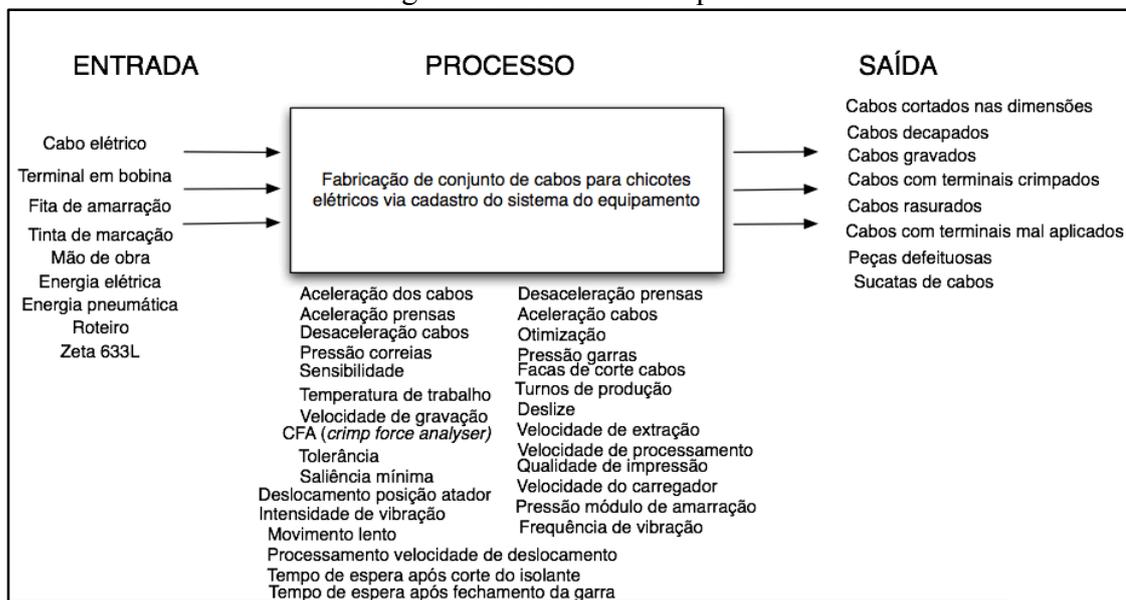
4.1 FASE 01: PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DO EXPERIMENTO

A fase 01 compreendeu a identificação do problema, objetivo do experimento, identificação dos fatores e níveis de controle, definição da variável resposta, escolha do projeto de experimentos e rodagem do projeto de experimentos.

A identificação do problema ocorreu no dia 17 de outubro de 2016, onde se identificou que o setor de fabricação de chicotes elétricos descartava em média até 7000 mil metros de cabos por semana dividido em dois equipamentos automatizados. Dessa forma, com o objetivo de reduzir a quantidade de sucata de cabos, foi escolhido um equipamento Zeta 633L para aplicação da ferramenta de análise de experimentos.

Em primeiro momento entre os dias 18 a 21 de outubro de 2016 foram identificados os fatores de entrada, fatores de saída e processo do equipamento. A Figura 12 representa o processo do equipamento em estudo.

Figura 12 - Processo máquina

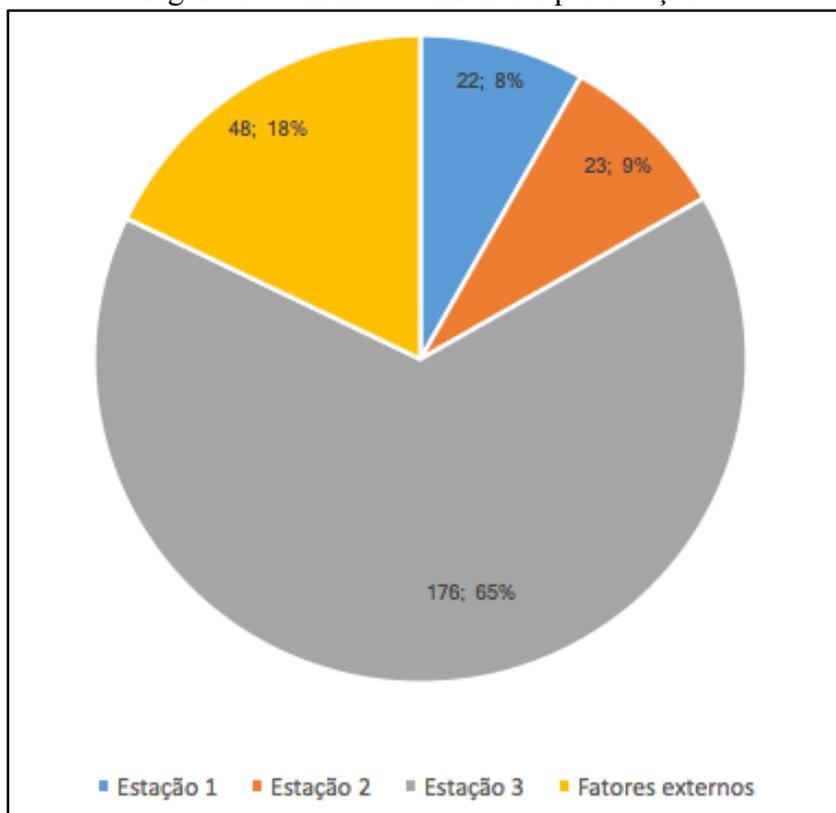


Fonte: do Autor (2017)

No dia 25 de outubro de 2016, foi realizada uma reunião para alinhamento de informações com integrantes da engenharia de processos, um representante da área de manutenção e três pessoas da produção. O objetivo principal da reunião foi apresentar a todos o problema em questão, e informar que alguns dados estariam sendo coletados no equipamento para identificar a estação que apresenta o maior índice de paradas e, por consequência, desperdício de cabos.

Durante o mês de novembro de 2016 dados foram coletados do equipamento utilizando-se a folha de verificação proposta no capítulo 3 (Quadro 6). A Figura 13, apresenta o gráfico do número de ocorrências divididos por estações, conforme proposto no capítulo anterior, durante o período analisado.

Figura 13 - Gráfico ocorrências por estações

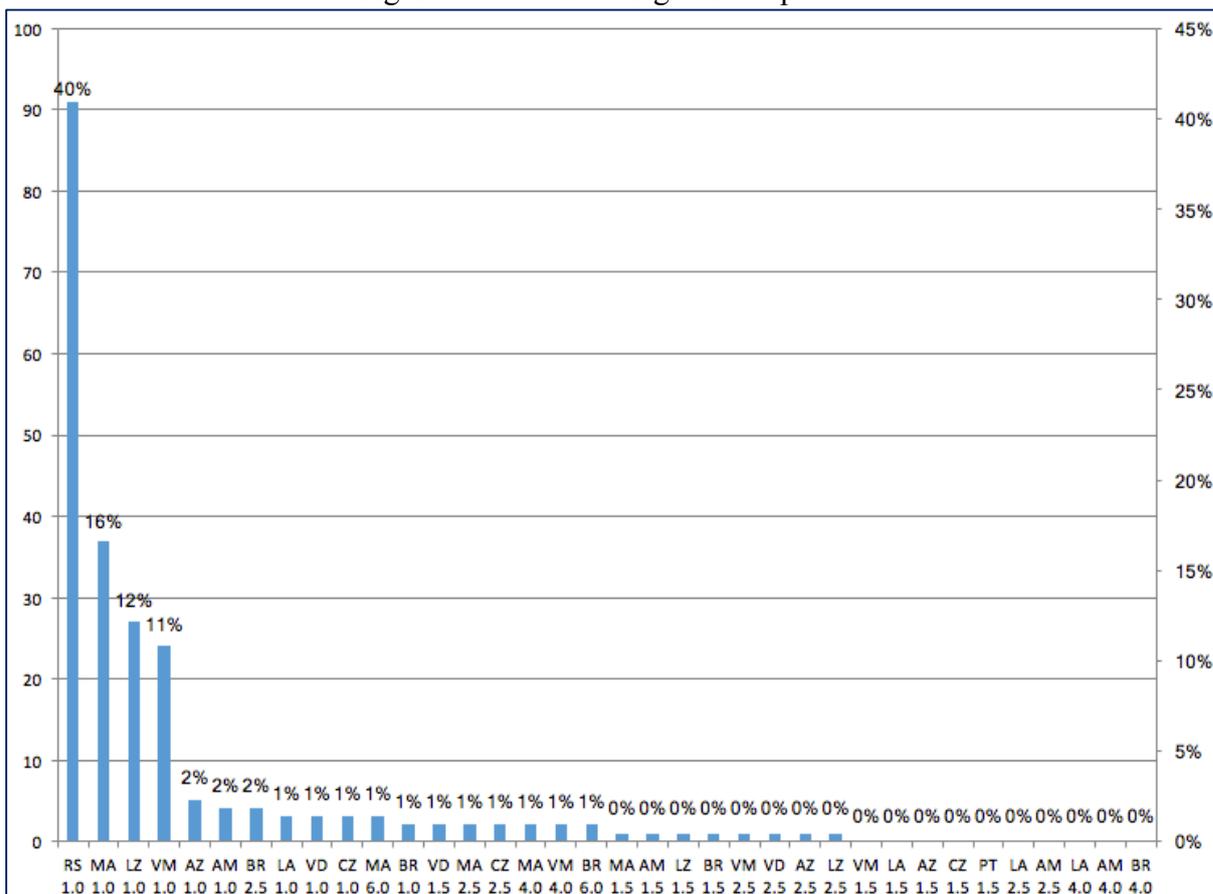


Fonte: do Autor (2017)

Nota-se que 65% das ocorrências aconteceram na estação 3, sendo composta pelas prensas, e dentre as 176 marcações, 135 são somente da prensa 04, isso representa 76,7%.

A Figura 14 mostra o gráfico do diagrama de pareto de incidências de cabos, sendo que do total de 36 modelos, apenas 4 representam 79% das paradas ocasionadas. Ou seja, a estação onde se teve mais apontamentos foi na estação 3, prensa 4, e destes apontamentos os cabos que mais apareceram na folha de coleta de dados foram, rosa, marrom, lilás e vermelho.

Figura 14 - Gráfico diagrama de pareto



Fonte: do Autor (2017)

Identificada a estação e modelos de cabos que mais apresentaram apontamentos de defeitos, uma segunda reunião foi marcada no dia 5 de dezembro de 2016, composta pela mesma equipe da primeira reunião, a Figura 15 ilustra o acontecimento da reunião.

Figura 15 - Reunião *Brainstorming*

Fonte: do Autor (2017)

Em caráter de *Brainstorming*, a reunião teve início com a apresentação do processo do equipamento e os dados coletados durante o período de novembro de 2016, deixando evidente o problema, que é o desperdício de cabos. Assim, a variável resposta ficou definida como sendo sucata de cabos e as hipóteses do experimento como:

- a) H_0 = Não há influência entre os fatores de controle selecionados com relação ao desperdício de cabos;
- b) H_1 = Há influência entre os fatores com relação ao desperdício de cabos;

Seguindo uma das sugestões apresentadas por Montgomery (2001) para a fase de definição dos fatores de controles, que é a opinião dos envolvidos, os convidados foram impulsionados a sugerir alternativas para combater o problema apresentado, dessa forma, em consenso, a equipe decidiu que alguns fatores poderiam estar influenciando em maior peso o desperdício. O Quadro 8 apresenta os fatores e níveis de controle definidos ao final da reunião para execução do experimento.

Quadro 8 - Fatores de controle e níveis definidos para o experimento

Fatores	Níveis	Estação pertencente
Velocidade de extração	50 – 75 – 100	Estação 2
Velocidades estação 1	50 – 75 – 100	Estação 1
Velocidades de prensa (estação 3)	50 – 75 – 100	Estação 3
Tipo de faca	Nova – média (7 dias) – Velha (12 dias)	Estação 2

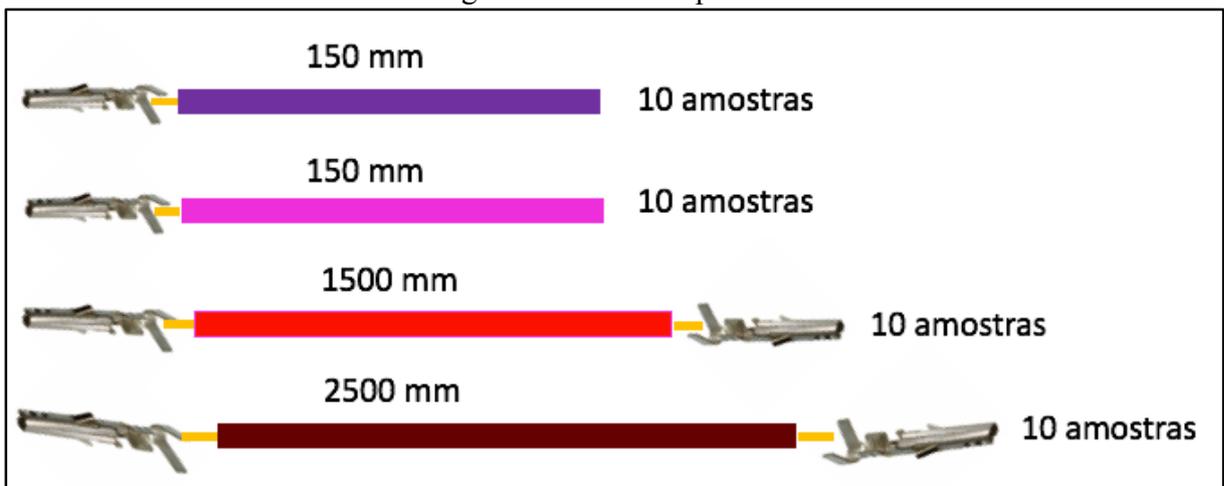
Fonte: do Autor (2017)

A velocidade de extração consiste na velocidade que o equipamento aplica para extrair o pvc do cobre, ou seja o decape do mesmo. O fator velocidades da estação 1 contemplam velocidade do cabo, a aceleração, e a desaceleração. Já as velocidades de prensa contemplam o trabalho efetuado pela prensa e da ação de baixar e voltar para posição inicial, e por fim, o tipo de faca, que é trocada a cada 15 dias e considerada velha a partir de 12 dias de uso.

Após a definição dos fatores de controle e seus níveis, foi necessário planejar o experimento. Neste contexto, o delineamento de experimentos escolhido foi um projeto fatorial 3^k , onde k assume o valor 4, e são controlados em 3 níveis considerado baixo, médio e alto, uma vez que não existe um padrão utilizado. Assim, os fatores foram tabelados e montou-se uma matriz, Apêndice A, para correlacionar os níveis e fatores a serem controlados no momento do experimento.

Ainda na fase de planejamento do experimento foi criado um produto padrão para o equipamento, onde este produto compreendia 40 amostras de cabos, sendo destas, 10 amostras do cabo lilás com 150mm e o terminal da prensa 4 aplicado somente em uma das pontas, 10 amostras do cabo rosa com 150mm e o terminal da prensa 4 aplicado também em somente uma das pontas, 10 amostras do cabo vermelho com 1500mm com o terminal da prensa 4 aplicado nas duas pontas e por fim, mais 10 amostras do cabo marrom com 2500mm com o terminal da prensa 4 aplicado nas duas pontas do cabo. A escolha destes comprimentos e aplicação foi planejado para posterior utilização dos cabos, evitando o desperdício, além disso este modelo de produto é utilizado em grande escala na empresa e contemplou o terminal, prensa, e cabos identificados como causa raiz no descarte de produtos durante a coleta de dados. A Figura 16 representa o produto padrão de corte utilizado no experimento.

Figura 16 - Produto padrão



Fonte: do Autor (2017)

No dia 21 de dezembro de 2016 ocorreu a rodagem do experimento durante o período das 5:30 até as 8 horas da manhã, onde o mesmo teve acompanhamento do responsável do experimento e o operador do equipamento. O Apêndice A, apresenta a matriz utilizada na coleta de dados, juntamente com os dados coletados, além de locais para marcar o descarte de cabos, também foi previsto local para anotar o tempo de produção em segundos de cada conjunto de cabos cortados no equipamento.

Como resultado do experimento, não foi encontrado nenhum descarte de cabos por meio da alteração dos níveis e fatores de controle selecionados conforme apresentado no Apêndice A.

4.2 FASE 02: ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Fase 02 compreende a análise dos dados obtidos, e por meio dos resultados encontrados, a decisão de setar a máquina com os novos parâmetros ou realizar um novo experimento.

Ao rodar o experimento planejado, foram produzidas 40 unidades de produtos e nenhum cabo foi descartado nas diferentes combinações de fatores de controle e seus níveis conforme a matriz apresentada no Apêndice A. Assim, o resultado ficou inconclusivo e o fluxo seguiu para a realização de um novo experimento, conforme ilustrado na Figura 10. Contudo, os tempos de produção resultantes das diferentes combinações dos níveis dos fatores de controle utilizados no experimento foram utilizados para realizar uma análise de variância. As hipóteses do experimento, considerando a variável resposta como sendo o tempo de produção foram:

Quadro 9 - Hipóteses experimento tempos de produção

Fatores controláveis	<i>H</i>₀ (Hipótese nula)	<i>H</i>₁ (Hipótese alternativa)
Velocidade de prensa	<i>H</i> ₀₁ = Não há diferença entre as médias do tempo de produção devido a velocidade de prensa	<i>H</i> ₁₁ = Há diferença entre as médias dos tempos de produção devido a velocidade de prensa
Velocidade da estação 1	<i>H</i> ₀₂ = Não há diferença entre as médias do tempo de produção devido as velocidades da estação 1	<i>H</i> ₁₂ = Há diferença entre as médias do tempo de produção devido as velocidades da estação 1
Velocidade da estação 2	<i>H</i> ₀₃ = Não há diferença entre as médias do tempo de produção devido as velocidades da estação 2	<i>H</i> ₁₃ = Há diferença entre as médias do tempo de produção devido as velocidades da estação 2
Interação entre prensa e estação 1	<i>H</i> ₀₄ = Não há diferença entre as médias do tempo de produção devido a interação entre prensa e estação 1	<i>H</i> ₁₄ = Há diferença entre as médias do tempo de produção devido a interação entre prensa e estação 1
Interação entre prensa e estação 2	<i>H</i> ₀₅ = Não há diferença entre as médias do tempo de produção devido a interação entre prensa e estação 2	<i>H</i> ₁₅ = Há diferença entre as médias do tempo de produção devido a interação entre prensa e estação 2
Interação entre estação 1 e estação 2	<i>H</i> ₀₆ = Não há diferença entre as médias do tempo de produção devido a interação entre estação 1 e estação 2	<i>H</i> ₁₆ = Há diferença entre as médias do tempo de produção devido a interação entre estação 1 e estação 2
Interação entre prensa, estação 1 e estação 2	<i>H</i> ₀₇ = Não há diferença entre as médias do tempo de produção devido a interação entre prensa, estação 1 e estação 2	<i>H</i> ₁₇ = Há diferença entre as médias do tempo de produção devido a interação entre prensa, estação 1 e estação 2

Fonte: do Autor (2017)

Para auxiliar na geração dos dados foi utilizado o *software* estatístico SPSS. Assim, a Tabela 3 apresenta o resultado do teste ANOVA para os tempos de produção.

Tabela 3 - Tabela ANOVA para os tempos de produção

Fonte	Tipo III Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	F	Sig.
Modelo corrigido	1846,926 ^a	26	71,036	3,695 ^a	,001
Ordenada na origem	288058,074	1	288058,074	14985,680	,000
Velocidade_Prensa	577,148	2	288,574	15,013	,000
Estação_2	845,148	2	422,574	21,984	,000
Estação_1	64,037	2	32,019	1,666	,208
Velocidade_Prensa * Estação_2	20,630	4	5,157	,268	,896
Velocidade_Prensa * Estação_1	59,407	4	14,852	,773	,553
Estação_2 * Estação_1	131,074	4	32,769	1,705	,178
Velocidade_Prensa * Estação_2 * Estação_1	149,481	8	18,685	,972	,478
Erro	519,000	27	19,222		
Total	290424,000	54			
Total corrigido	2365,926	53			

Fonte: do Autor (2017)

Por meio da análise da tabela ANOVA verifica-se que existe significância nos fatores de controle velocidade de prensa e estação 2, ou seja, com 95% de confiança, aceitam-se as hipóteses alternativas, H_{11} e H_{13} , da mesma forma aceita-se com 95% de confiança as hipóteses nulas, $H_{02}, H_{04}, H_{05}, H_{06}$ e H_{07} .

Ou seja, na estação 1, tanto faz atuar com velocidade 50, 75 ou 100 em relação ao tempo de produção; enquanto que na estação 2 existe diferença significativa, bem como na velocidade de prensa.

Diferentemente da variável descarte de cabos, nesse caso pode-se chegar há algumas conclusões. A Tabela 4 ilustra o teste *post hoc*, mostrando a significância das velocidades da estação 1, onde nota-se que não há valor significativo, ou seja, para esse fator de controle (velocidade estação 1) não há diferença na produtividade em função da velocidade parametrizada.

Tabela 4 - Tabela *post hoc* para velocidades da estação 1

(I) Estação_1	(J) Estação_1	Diferença média (I-J)	Modelo padrão	Sig.
50	75	-1,39	1,461	,350
	100	1,28	1,461	,390
75	50	1,39	1,461	,350
	100	2,67	1,461	,079
100	50	-1,28	1,461	,390
	75	-2,67	1,461	,079

Fonte: do Autor (2017)

A Tabela 5, ilustra a tabela *post hoc* para velocidades da estação 2.

Tabela 5 - Tabela *post hoc* para velocidades da estação 2

(I) Estação_2	(J) Estação_2	Diferença média (I-J)	Modelo padrão	Sig.
50	75	7,94*	1,461	,000
	100	8,78*	1,461	,000
75	50	-7,94*	1,461	,000
	100	,83	1,461	,573
100	50	-8,78*	1,461	,000
	75	-,83	1,461	,573

Fonte: do Autor (2017)

Nota-se neste caso que há diferença significativa para as médias dos grupos 50% - 75% e 50% - 100%. A Tabela 6 ilustra a tabela *post hoc* para as velocidades de prensa.

Tabela 6 - Tabela *post hoc* para velocidades de prensa

(I) Velocidade_Prensa	(J) Velocidade_Prensa	Diferença média (I-J)	Modelo padrão	Sig.
50	75	6,28*	1,461	,000
	100	7,44*	1,461	,000
75	50	-6,28*	1,461	,000
	100	1,17	1,461	0,432
100	50	-7,44*	1,461	,000
	75	-1,17	1,461	,432

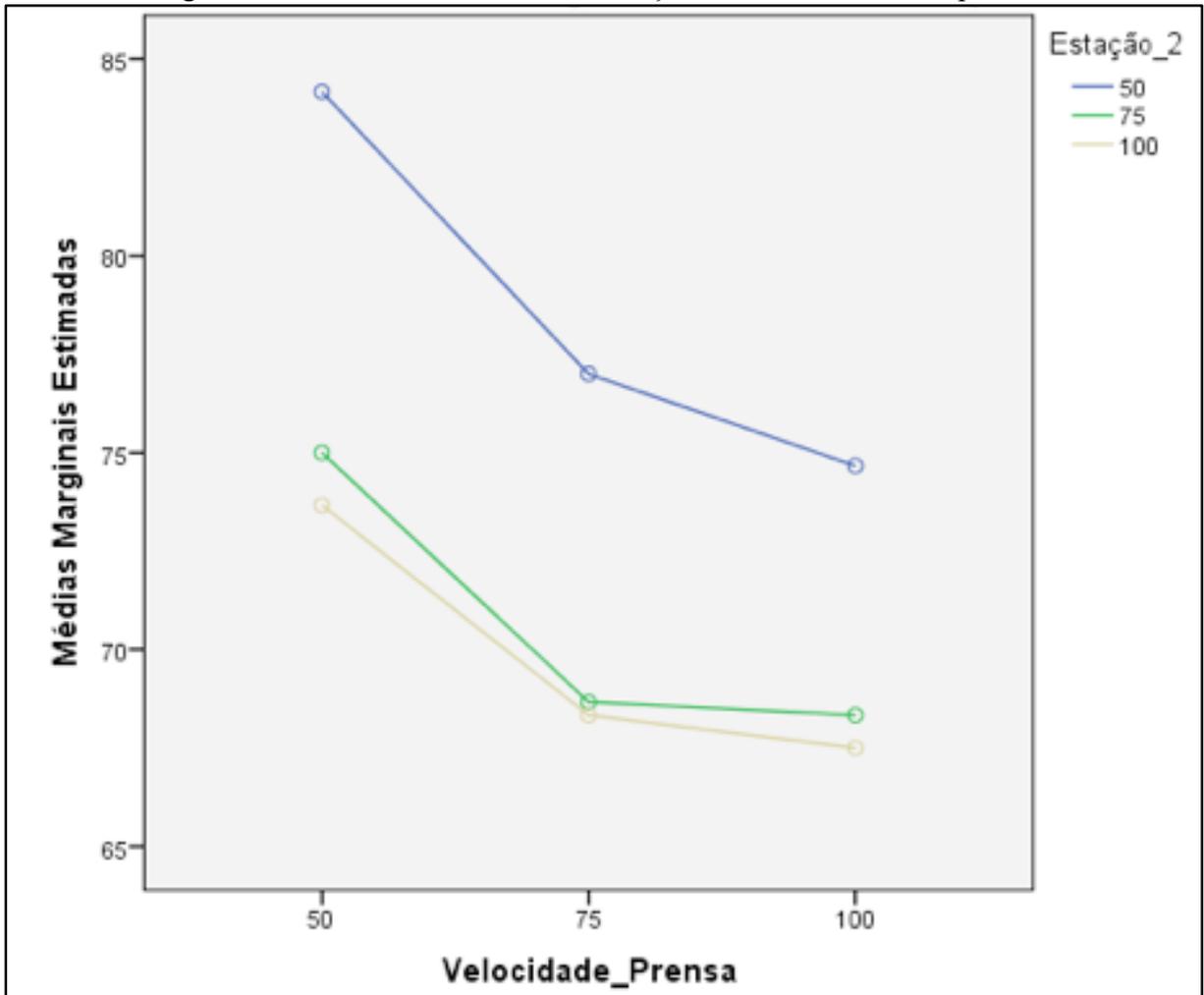
Fonte: do Autor (2017)

Nota-se que há diferença significativa ao se comparar a média dos grupos 50% - 75% e 50% - 100%.

Buscando-se a melhor produtividade e com auxílio gráfico foi possível identificar qual o nível de cada fator de controle que se diferencia, o eixo Y, representa o tempo de produção do conjuntos de cabos, ou seja o *lead time*, dessa forma quanto menor melhor.

A Figura 17 apresenta o gráfico da interação entre velocidades da estação 2 com velocidades de prensa, ressaltando-se os níveis selecionados (50, 75, 100) para ambos fatores.

Figura 17 - Gráfico velocidades da estação 2 vs velocidades de prensa



Fonte: do Autor (2017)

Dessa forma é possível concluir que, se a necessidade da empresa é aumentar a produtividade dos equipamentos, é necessário que se trabalhe com velocidades de prensa em 100 ou 75%, (estação 3), velocidades das estações 1 em 50%, 75% ou 100% e velocidades da estação 2 em 100% ou 75%, com essas velocidades se tem o menor tempo de produção para o produto padrão em teste e não há descarte de cabos significativos.

Considerando que antes do experimento, sem alterações dos níveis levou-se 72 segundos para a produção do produto, e ajustando o equipamento para velocidades de prensa

em 100% e velocidades das estações 1 e 2 em 50 e 100% respectivamente leva-se em média 67 segundos, dessa forma pode-se aumentar a produtividade em 7%. Dessa forma se decidiu manter as velocidades encontradas como ótimas.

Após o experimento, algumas evidências foram observadas e a equipe registrou que:

- a) os parâmetros atuais da máquina estão perdendo tempo de produtividade de cabos;
- b) o descarte de cabos pelo equipamento é insensível as condições das facas;
- c) a velocidade de prensa e velocidade da estação 2 é o que estabelece o ritmo da produção do equipamento;
- d) existe a possibilidade de aumentar a produtividade em 7% sem comprometer o resultado do produto.

Como evidenciado neste experimento, o teste para o descarte de cabos foi inconclusivo, dessa forma se planejou a realização de um novo experimento e a fase 2 finalizou com a análise dos dados.

4.3 FASE 03: PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO NOVO EXPERIMENTO

Conforme demonstrado na Fase 02, não se pode concluir a respeito dos fatores que influenciam o descarte de cabos, dessa forma se buscou utilizar um delineamento capaz de demonstrar a sensibilidade do equipamento, dando condições de uma análise mais aprofundada, então decidiu-se aplicar a análise de regressão, seguindo a metodologia proposta por Montgomery (2001), ou seja aplicar um novo experimento.

Durante os meses de Fevereiro e Março de 2017 foram coletados a quantidade de metros de cabos descartados, sendo assim, diariamente a quantidade de metros de sucata de cabo de cada modelo foi tabulada. O equipamento comporta 36 modelos, dessa forma, no início do mês de Abril obteve-se uma tabela com registros de quantos metros de cabos foram descartados de cada modelo, totalizando 1080 preenchimentos.

O Apêndice B ilustra a tabela utilizada para coleta de dados. Para os resultados tabulados se utilizou o *software SPSS* para construir uma análise de regressão.

Durante a fase de coleta dos dados, os fatores e níveis foram anotados, os fatores escolhidos compreendem somente as estações 1 e 2, pois nesse primeiro momento se estava interessado em montar uma análise de regressão utilizando-se bastante apontamentos, sendo assim o Quadro 10, representa os fatores e seus respectivos níveis de controle, ressaltando que os níveis variam de acordo com o cabo que está sendo processado.

Quadro 10 - Fatores e níveis análise de regressão estação 1 e 2

Modelo fator	Fatores	Níveis
X1	Modelo do cabo	Variando nos 36 modelos disponíveis
X2	Velocidade cabo	Variando de 20 a 70%
X3	Aceleração cabo	Variando de 25 a 75%
X4	Desaceleração cabo	Variando de 25 a 75%
X5	Deslize	Variando de 3 a 4
X6	Pressão correias	Variando de 2,8 a 5,1 bar
X7	Pressão garras	Variando de 3 a 5,5 bar
X8	Velocidades de extração	Variando de 35 a 50%
X9	Tempo de espera após fechamento da garra	Variando de 0 a 10 ms
X10	Tempo de espera após corte do isolante	Variando de 0 a 5 ms
X11	Velocidade do carregador	Variando de 80 a 90 %

Fonte: do Autor (2017)

A análise de regressão resultou em um modelo significativo, com R de 0,425 e um R² de 0,181. Onde o R² explica a variabilidade do modelo adequado em função dos dados coletados.

A fórmula utilizada foi:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_4 + \beta_5x_5 + \beta_6x_6 + \beta_7x_7 + \beta_8x_8 + \beta_9x_9 + \beta_{10}x_{10} + \beta_{11}x_{11} + \varepsilon \quad (4)$$

Ao final o modelo gerou as Tabelas, 7, 8 e 9. A Tabela 7 apresenta a ANOVA, a Tabela 8 apresenta o modelo de regressão e a Tabela 9 apresenta os coeficientes.

Tabela 7 - Tabela ANOVA análise de regressão estação 1 e 2

Modelo		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	F	Sig.
1	Regressão	48341,404	11	4394,673	21,425	,000 ^b
	Resíduos	219062,795	1068	205,115		
	Total	267404,199	1079			

Fonte: do Autor (2017)

Tabela 8 - Modelo de regressão

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,425 ^a	,181	,172	14,32184

Fonte: do Autor (2017)

Tabela 9 - Coeficientes análise de regressão estação 1 e 2

Modelo	Coeficientes não padronizados		Coeficientes Padronizados	t	Significância
	B	Modelo padrão	Beta		
(Constante)	12,206	25,720		,475	,635
Modelos de cabos	-,718	,106	-,474	-6,789	,000
Velocidade cabos	,057	,086	,040	,662	,508
Aceleração cabos	,273	,512	,210	,533	,594
Desaceleração cabos	-,352	,518	-,266	-,680	,497
Deslize cabos	,620	1,965	,009	,316	,752
Pressão correias	6,651	2,104	,259	3,162	,002
Pressão garras	-,789	2,639	-,032	-,299	,765
Velocidade de extração	,089	,181	,019	,492	,623
Tempo de espera após fechamento garras	-,105	,380	-,012	-,277	,782
Tempo de espera após corte do isolante	3,731	,608	,195	6,138	,000
Carregador Velocidade	-,197	,258	-,031	-,762	,446

Fonte: do Autor (2017)

Se decidi que os dados seriam coletados conforme apresentado, pois exigia-se um alto esforço de trabalho, visto que cada cabo descartado precisaria ser tomado nota e para uma boa análise de regressão é importante que se tenha bastante apontamentos.

Dessa forma, conforme apresentado pela Tabela 9, a fórmula geral para análise de regressão considerando os fatores de controle da estação 1 e 2 é apresentada:

$$y = 12,20 - 0,718x_1 + 0,057x_2 + 0,273x_3 - 352x_4 + 0,620x_5 + 6,651x_6 - 0,789x_7 + 0,089x_8 - 0,105x_9 + 3,731x_{10} - 0,197x_{11} \quad (5)$$

Assim, conclui-se que as variáveis de controle pressão correias, tempo de espera após corte do isolante, modelo de cabo e pressão das garras explicam em maior peso o comportamento da equação. Sendo que destas, somente a pressão das correias, o modelo do cabo e tempo de espera para corte do isolante se mostraram significativas.

Com base nos fatores controlados se pode concluir a respeito das estações 1 e 2, pois somente foram controlados fatores dessas estações devido a maneira que os dados foram

coletados conforme apresentado. Para uma análise mais aprofundada do equipamento se fez necessário controlar mais fatores, onde para registro se exigiu mais esforço de trabalho, porém obteve-se a possibilidade de controlar fatores das 3 estações.

Se decidiu aplicar uma nova análise de regressão, controlando os fatores que influenciam as estações 1, 2 e 3, estação das prensas. Dessa forma durante os dias 10 e 14 de abril, foram coletados os metros de cabos descartados por cada prensa, com isso se pode incluir mais fatores de controle envolvendo as estações de prensa. Para isso se fez necessário acumular em recipientes os metros dos diferentes modelos de cabos descartados, ao final de uma semana se pode gerar uma nova tabela para análise com 181 apontamentos.

A Figura 18, ilustra os recipientes disponíveis para coleta de cabos descartados, no final de cada dia de trabalho todos os recipientes eram vistoriados e anotado a quantidade de metros descartados.

Figura 18 - Imagens recipientes coleta de cabos



Fonte: do Autor (2017)

Nesta segunda análise os seguintes fatores de controle foram anotados nos seus níveis, o Quadro 11, ilustra os fatores e níveis para esta segunda análise envolvendo as 3 estações.

Quadro 11 - Fatores e níveis análise de regressão 3 estações

Modelo fator	Fatores	Níveis
X1	Modelo de cabos	Variando nos 36 modelos disponíveis
X2	Modelo de prensa	Variando nos 8 modelos de prensa
X3	Turno de trabalho	Variando entre diurno e noturno
X4	Velocidade cabos	Variando de 20 a 70%
X5	Aceleração cabos	Variando de 25 a 75%
X6	Desaceleração cabos	Variando de 25 a 75%
X7	Deslize cabos	Variando de 3 a 4
X8	Pressão correias	Variando de 2,8 a 5,1 bar
X9	Pressão garras	Variando de 3 a 5,5 bar
X10	Velocidade de extração	Variando de 35 a 50%
X11	Otimização prensas	Variando entre <i>on</i> ou <i>off</i>
X12	CFA (teste qualidade prensas)	Variando entre <i>on</i> ou <i>off</i>
X13	Velocidade de processamento prensas	Variando de 65 a 90%
X14	Velocidade de prensa	Variando de 65 a 100%
X15	Processamento velocidade de descolamento prensas	Variando de 55 a 100%
X16	Tempo de espera após fechamento das garras	Variando de 0 a 10 ms
X17	Tempo de espera após corte do isolante	Variando de 0 a 5 ms
X18	Velocidade do carregador	Variando de 80 a 90 %

Fonte: do Autor (2017)

Esta segunda análise de regressão resultou em um modelo significativo, com R de 0,556 e um R^2 de 0,309.

A fórmula utilizada para essa segunda análise foi:

$$\begin{aligned}
 y = & \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_4 + \beta_5x_5 + \beta_6x_6 + \beta_7x_7 + \beta_8x_8 + \beta_9x_9 \\
 & + \beta_{10}x_{10} + \beta_{11}x_{11} + \beta_{12}x_{12} + \beta_{13}x_{13} + \beta_{14}x_{14} + \beta_{15}x_{15} + \beta_{16}x_{16} \\
 & + \beta_{17}x_{17} + \beta_{18}x_{18} + \varepsilon
 \end{aligned} \quad (6)$$

Com auxílio do *software* SPSS as Tabelas 10, 11 e 12 foram geradas, a Tabela 10 apresenta a ANOVA, a Tabela 11 apresenta o modelo e a Tabela 12 os coeficientes.

Tabela 10 - Tabela ANOVA análise de regressão 3 estações

(continua)

Modelo	Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	F	Sig.	
1	Regressão	639,946	18	35,553	4,026	,000 ^b

(conclusão)

Resíduos	1430,644	162	8,831		
Total	2070,590	180			

Fonte: do Autor (2017)

Tabela 11 - Modelo análise de regressão 3 estações

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,556 ^a	,309	,232	2,97172

Fonte: do Autor (2017)

Para essa segunda análise de regressão se utilizou 18 fatores de controle, enquanto que na primeira análise se utilizou 11 fatores.

Tabela 12 - Coeficientes análise de regressão 3 estações

(continua)

Modelo	Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados	t	Significância
	B	Modelo padrão	Beta		
(Constante)	8,142	26,811		,304	,762
Modelos de cabos	,478	,156	1,396	3,059	,003
Modelos de prensa	,110	,204	,085	,538	,591
Turnos de trabalho	-,028	,724	-,004	-,039	,969
Velocidade cabos	,042	,048	,244	,888	,376
Aceleração cabos	,339	,283	1,304	1,197	,233
Desaceleração cabos	-,367	,317	-1,363	-1,156	,249
Deslize cabos	1,696	1,819	,161	,933	,352
Pressão correias	1,620	2,841	,269	,570	,569
Pressão garras	-9,170	2,804	-1,339	-3,270	,001
Velocidade de extração	,347	,469	1,070	,741	,460
Otimização prensas	,198	1,614	,057	,122	,903
CFA (teste de qualidade prensas)	,399	5,581	,058	,071	,943
Velocidade de processamento prensas	-,012	,012	-,112	-,991	,323
Velocidades de prensa	-,046	,050	-,533	-,920	,359
Processamento velocidade de deslocamento prensas	,036	,023	,436	1,532	,127

(conclusão)						
	Tempo de espera apos fechamento garras	,646	,488	,453	1,323	,188
	Tempo de espera apos corte do isolante	-2,749	2,822	-1,605	-,974	,331
	Carregador Velocidade	-,071	,143	-,065	-,500	,618

Fonte: do Autor (2017)

Com isso, conforme apresentado pela Tabela 12, a fórmula geral para análise de regressão considerando fatores de controle das 3 estações é:

$$\begin{aligned}
 y = & 8,142 + 0,478x_1 + 0,110x_2 - 0,028x_3 + 0,042x_4 + 0,339x_5 - 0,367x_6 \\
 & + 1,696x_7 + 1,620x_8 - 9,170x_9 + 0,347x_{10} + 0,198x_{11} + 0,399x_{12} \\
 & - 0,012x_{13} - 0,046x_{14} + 0,036x_{15} + 0,646x_{16} - 2,749x_{17} - 0,071x_{18} \\
 & + \varepsilon
 \end{aligned} \tag{7}$$

Assim, conclui-se que as variáveis de controle pressão garras, tempo de espera após corte do isolante, deslize cabos e pressão correias explicam em maior peso o comportamento da equação. Nesta análise se mostraram significativas os fatores pressão garras e modelo dos cabos.

4.4 ANÁLISES ADICIONAIS

Durante o acompanhamento da execução dos experimentos conduzidos foram coletados os dados gerados, resultando numa matriz que permitiu a realização de análises adicionais, até então não conhecidas na gestão do posto de trabalho, conforme ilustra o Quadro 12.

Para cada modelo de cabo foram sendo preenchidas as informações de quantidade de ocorrências que a máquina parou de operar em função de algum problema durante o dia da coleta de dados, ou pelo pouco uso do cabo nesse dia, gerando o não apontamento de descarte, consumo diário em metros, quantidade de metros de cabos descartados, e anotou-se os parâmetros setados na máquina para a pressão das correias e das garras, que foram os fatores que apresentaram como sendo os significativos nas análises de regressão efetuadas.

Quadro 12 - Comparação consumo e pressões geral

Modelos cabos	Qtd de ocorrências em 30 dias	Consumo diário	Y (média descarte diário)	% de descarte	Pressão correais	Pressão garras
AM 1.0	26	5682,58	17,33	0,31%	2,8	3
AM 1.5	19	363,13	3,97	1,09%	3,2	3,5
AM 2.5	13	424,96	1,83	0,43%	3,8	4
AM 4.0	7	127,95	2,43	1,90%	4,2	4,5
AZ 1.0	29	4510,09	11,67	0,26%	2,8	3
AZ 1.5	16	376,09	2,30	0,61%	3,2	3,5
AZ 2.5	11	797,27	1,00	0,13%	3,8	4
BR 1.0	30	2742,09	9,13	0,33%	2,8	3
BR 1.5	15	1274,96	8,77	0,69%	3,2	3,5
BR 2.5	19	1514,68	11,07	0,73%	4,2	4
BR 4.0	13	232,78	1,00	0,43%	4,2	4,5
BR 6.0	12	341,86	1,80	0,53%	5,1	5,5
CZ 1.0	29	3498,13	14,20	0,41%	3	3
CZ 1.5	15	626,87	3,93	0,63%	3,2	3,5
CZ 2.5	8	64,34	0,73	1,14%	3,9	4
LA 1.0	27	2926,31	10,07	0,34%	2,8	3
LA 1.5	19	668,10	3,53	0,53%	3,2	3,5
LA 2.5	11	401,40	1,83	0,46%	3,8	4
LR 4.0	17	253,29	1,67	0,66%	4,5	4,5
LZ 1.0	27	3353,69	29,37	0,88%	4	4
LZ 1.5	19	524,85	3,07	0,58%	3,2	3,5
LZ 2.5	12	123,41	0,63	0,51%	3,8	4
MA 1.0	30	8387,12	32,40	0,39%	2,9	3
MA 1.5	28	1420,44	6,23	0,44%	3,2	3,5
MA 2.5	23	1483,57	6,63	0,45%	4	4
MA 4.0	15	400,99	1,70	0,42%	4,2	4,5
MR 6.0	12	415,94	0,97	0,23%	5	5,5
PT 1.5	16	457,33	2,90	0,63%	3,2	3,5
RS 1.0	26	957,36	12,23	1,28%	4	4
VD 2.5	15	137,53	1,57	1,14%	3,9	4
VD 1.0	30	3760,72	15,57	0,41%	2,8	3
VD 1.5	20	584,56	3,77	0,64%	3,2	3,5
VM 1.0	30	4228,70	15,73	0,37%	4	3
VM 1.5	26	878,18	5,90	0,67%	3,2	3,5
VM 2.5	19	496,18	5,93	1,20%	3,9	4
VM 4.0	15	95,52	0,97	1,01%	4,2	4,5

Fonte: do Autor (2017)

Entre os dados coletados, os modelos de cabos que mais foram descartados considerando a quantidade de ocorrência, utilização nos produtos da empresa e porcentagem que o descarte representa estão representados na Tabela 13.

Tabela 13 - Comparação consumo e pressões

Modelos cabos	Consumo diário	Y diário	% de descarte	Pressão correias	Pressão garras	Qtd de ocorrências em 30 dias
LZ 1.0	3353,69	29,37	0,88%	4	4	27
RS 1.0	957,36	12,23	1,28%	4	4	26
VM 2.5	496,18	5,93	1,20%	3,9	4	19
AM 1.5	363,13	3,97	1,09%	3,2	3,5	19
VD 2.5	137,53	1,57	1,14%	3,9	4	15
AM 4.0	127,95	2,43	1,90%	4,2	4,5	7

Fonte: do Autor (2017)

Com a matriz montada percebeu-se que os dois cabos que mais tiveram incidência de rejeição no processo produtivo (Lilás e Rosa), também são os cabos que representam consumo diário alto e são os únicos que utilizam parametrização de 4 bar na pressão das correias e das garras. Ao serem comparados com os demais cabos de mesma bitola, percebeu-se que os demais não apresentavam tanta rejeição no processo produtivo, confirmando que a pressão das correias e das garras, de fato, impactam na variável resposta desse estudo.

A Tabela 14 ilustra a comparação dos cabos Lilas e Rosa 1.0 com os demais cabos de mesmo diâmetro. A comparação é das pressões das correias e pressão das garras, onde estes fatores se mostraram significativos pelas análises de regressão apresentadas.

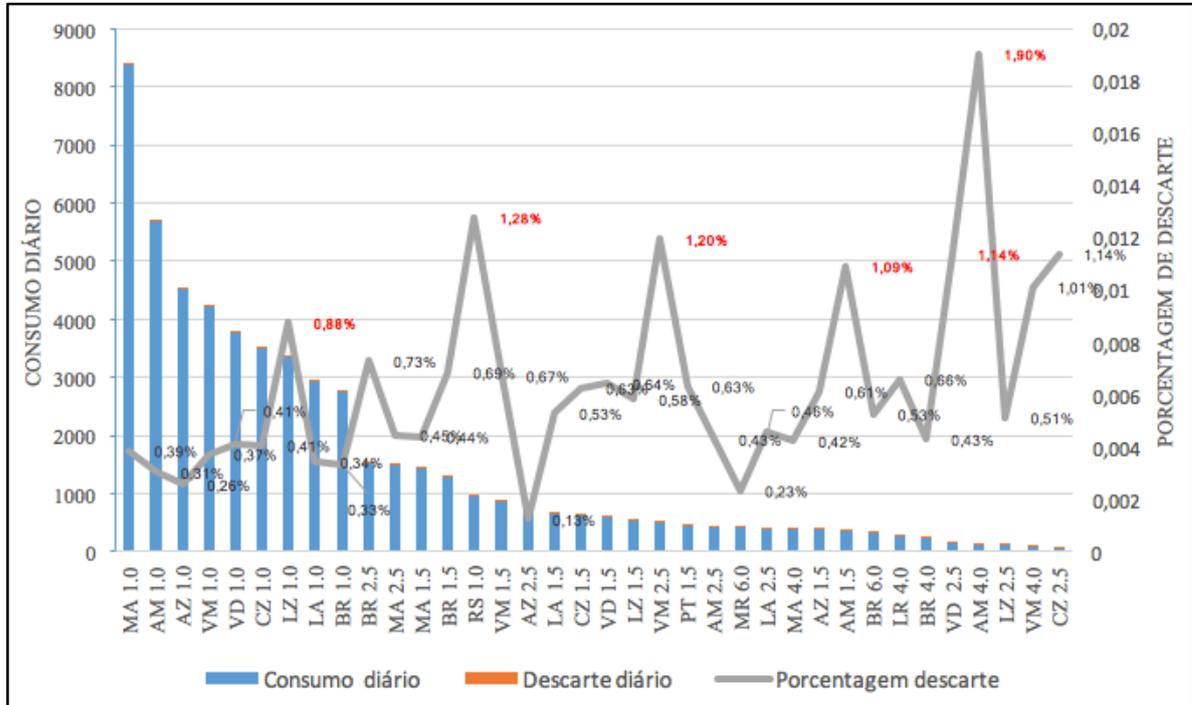
Tabela 14 - Comparação pressões modelos de cabos 1.0

Modelos	Pressão correias (bar)	Pressão garras (bar)
MA 1.0	2,9	3
AM 1.0	2,8	3
AZ 1.0	2,8	3
VM 1.0	4	3
VD 1.0	2,8	3
CZ 1.0	3	3
LZ 1.0	4	4
LA 1.0	2,8	3
BR 1.0	2,8	3
RS 1.0	4	4

Fonte: do Autor (2017)

A Figura 19 apresenta o gráfico do consumo dos cabos, descarte diário (Y) e a porcentagem que o descarte representa do consumo.

Figura 19 - Gráfico consumo vs descarte diário



Fonte: do Autor (2017)

Como mencionado, nota-se que os modelos LZ 1.0 e RS 1.0 possuem pressões diferentes se comparados aos outros modelos de cabos de mesmo diâmetro. Durante os dias 5 até 9 de junho as pressões das correias e garras dos cabos rosa e lilás foram ajustadas para 2,9 e 3 respectivamente. Com isso se obteve o seguinte resultado apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 - Tabela comparativa ajustes pressões

Dias	RS 1.0	LZ 1.0
05/jun	9	11
06/jun	12	30
07/jun	14	25
08/jun	7	22
09/jun	8,5	27
Média descarte (Y)	10,1	23
Média descarte anterior sem mudança pressões	12,23	29,37
Diferença	2,13	6,37
Porcentagem redução média (Y)	17%	22%

Fonte: do Autor (2017)

Conforme demonstrado na tabela, durante os dias em que o descarte de cabos foi coletado houve uma redução do desperdício de 17% para o cabo RS e de 22% para o cabo LZ. Isso implica em dizer que, as pressões de garra e correias tem influência na variável resposta (Y), como houve uma redução do descarte de cabos pela diminuição das pressões ao nível similar aos demais cabos de mesma bitola.

Entende-se que para esses modelos de cabos as pressões de 2,9 bar para correia e 3 bar para garras é melhor que a usual de 4 bar para ambas pressões. Com isso as novas pressões adotadas pela empresa para cabos de 1mm² são de 2,9 bar para correias e 3 para garras, para se descobrir o valor ótimo se faz necessário rodar um novo experimento o qual fica como sugestão para trabalhos futuros.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que a utilização da ferramenta de planejamento e análise de experimentos proporcionou um estudo mais aprofundado de um equipamento para processamento de cabos elétricos o qual a empresa não obtinha conhecimento sobre os parâmetros, fatores e níveis de controle.

Com o uso da ferramenta foi possível entender a sensibilidade do equipamento e os fatores que mais influenciavam a variável resposta, bem como quais as variáveis que se mostram significativa para a redução do desperdício de cabos.

Ainda, com o uso desta técnica foi possível descobrir que o equipamento estava perdendo produtividade pela utilização de níveis de velocidade inadequados, com isso se pode justificar o aumento dos níveis e para as estações de estudo, fazendo com que a produtividade fosse aumentada em até 7%, teoricamente. Com disso durante os dias 5 e 9 de junho a produtividade do equipamento foi comparada ao que se tinha anteriormente ao primeiro experimento realizado no equipamento, para o modelo de veículo rodoviário, o tempo de ciclo de produção no equipamento reduziu de 45 minutos para 41 minutos, um aumento de produtividade de 8,8%, para os veículos urbanos da empresa, o tempo de ciclo reduziu de 39 minutos para 33 minutos, representando um aumento de produtividade em 15,38%. As cronometragens do tempo de produção são evidenciadas no Apêndice C.

Para o objetivo de redução de desperdício de cabos, foi possível encontrar os dois principais fatores que influenciam, onde estes são, pressão das correias e pressão das garras. Foi possível identificar que o nível ótimo está em utilização de pressões menores para os cabos de diâmetros menores, porém não foi possível encontrar o valor ótimo em decorrência que o equipamento apresentou ruídos que não aparecem durante o experimento, ou seja não foi identificado significância dos fatores controlados. Contudo, se indica utilizar a técnica *EVOP*, empregada para os experimentos onde se há necessidade que o equipamento não pare durante o processo produtivo e os fatores são controlados em diferentes níveis. Indica-se utilizar esta técnica com mudanças pequenas nas variáveis de controle, e que o resultado encontrado semanalmente fosse utilizado para se planejar a próxima mudança da variável.

A técnica de planejamento de experimentos é uma técnica estatística baseada em dados reais, diante disso algumas dificuldades são encontradas durante a aplicação, pois nem sempre os dados se comportam conforme se espera. Em diversos casos, como apresentado neste trabalho existem fatores incontroláveis que interferem no processo e o experimentador necessita tomar a decisão de qual caminho seguir. Além disso, esta técnica é utilizada em trabalhos de

six sigma, então sugere-se a empresa um estudo mais aprofundado deste tema onde poderia ser utilizado em aplicações gerenciais.

Neste contexto a utilização do planejamento de experimentos cumpriu o seu papel, proporcionando a empresa o conhecimento, da possibilidade de aumento da produtividade e redução de desperdícios, porém cabe a empresa continuar empregando a técnica para encontrar os níveis ótimos de utilização do equipamento.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. **Introdução à pesquisa operacional: Métodos e Modelos para Análises de Decisões**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2009.

BARROS, Elsimar; BONAFINI, Fernanda. **Ferramentas da qualidade**. São Paulo: Person Education do Brasil, 2014. Disponível em: <<https://ucs.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788543009940/pages/-6>>. Acesso em: 01 out. 2016.

BORGES, Aline Ramos. **Modelagem em experimentos fatoriais replicados para melhoria de processos industriais têxteis**. 2014. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Pontifca Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/24390/24390.PDF>>. Acesso em: 01 out. 2016.

CATEN, Carla S. Ten; RIBEIRO, José Luis Duarte. Etapas na otimização experimental de produtos e processos: Discussão e estudo de caso. **Production**, Belo Horizonte, v. 6, n. 1, p.45-64, jul. 1996. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65131996000100003>. Acesso em: 17 set. 2016

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. **Metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2002.

CHIAVENATO, Idalberto. **Administração nos novos tempos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

CONNER, Gary B. **Lean manufacturing: Certification Workshop Guidebook**. Newport: Lean Enterprise Training, 2004. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=z1WoEGVY9-cC&printsec=frontcover&dq=lean+manufacturing&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwic1ImStMzOAhUBDZAKHQjbA2gQ6AEIPzAB#v=onepage&q=lean%20manufacturing&f=false>>. Acesso em: 26 jul. 2016.

CUSTODIO, Marcos Franqui. **Gestão da qualidade e produtividade**. São Paulo: Person Education do Brasil, 2015. Disponível em: <<https://ucs.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788543010120/pages/-8>>. Acesso em: 01 out. 2016.

FABUS. **Modelos de ônibus**. 2016. Disponível em: <<http://www.fabus.com.br/modelos.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

FURTERER, Sandra L. **Lean six sigma in service: applications and case studies**. Northwest Washington: Crc Press Taylor & Francis Group, 2009. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=u8oMtunoOY8C&printsec=frontcover&dq=Six+sigma&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjA8f_EuMvOAhUBg5AKHfG8BBYQ6AEIPzAB#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 26 jul. 2016.

HICKS, Charles Robert; KENNETH, V. Turner. **Fundamental Concepts in the Design of Experiments**. 5. ed. Berlin: Oxford University Press, 1999.

KOMAXGROUP. **Zeta 633L**. 2016. Disponível em: <http://www.komaxgroup.com/en/Wire/Products-and-Solutions/Products/Harness-Manufacturing/Zeta-633-L/>. Acesso em: 21 ago. 2016.

LEIVINGSTONE, Tanya J. et al. Plasma sprayed hydroxyl apatite coatings: Understanding process relationships using design of experiment analysis. **Surface & coatings technology**, v. 283, [S. I.], p. 29-36. out. 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S025789721530339X>. Acesso em: 29 ago. 2016.

Marcopolo. 2016. Disponível em: <http://marcopolo.com.br> Acesso em: 20 ago. 2016.

MASCARENHAS, Sidnei. **Metodologia científica**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

MELLO, Carlos Henrique Pereira. **Gestão da qualidade**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2011. Disponível em: https://ucs.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788576056997/pages/_7. Acesso em: 01 out. 2016.

MENG, Kai et al. Orthogonal experiment and analysis on process parameters of bowl feed polishing (BFP). **International symposium on photoelectronic detection and imaging 2013: micro/nano optical imaging technologies and applications**, v. 9811, [S.I.], p.1-10, 23 ago. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2034686>. Acesso em: 29 ago. 2016.

MONTGOMERY, Douglas C. **Design and Analysis of Experiments**. 4. ed. New York: Library Of Congress Cataloging-in-publication Data, 1997.

MONTGOMERY, Douglas C. **Design and analysis of experiments**. 5.ed. New York: John Wiley & Sons, 2001.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científico, 2009.

NASCIMENTO, Eunice. **Comportamento organizacional**. Curitiba: Iesde, Brasil, 2012. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=f0-Cb_p5rz8C&printsec=frontcover&dq=comportamento+organizacional&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjb54rzwPnOAhWIS5AKHeSZCMsQ6AEINTAC#v=onepage&q=tomada de decis%C3%A3o&f=false](https://books.google.com.br/books?id=f0-Cb_p5rz8C&printsec=frontcover&dq=comportamento+organizacional&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjb54rzwPnOAhWIS5AKHeSZCMsQ6AEINTAC#v=onepage&q=tomada%20de%20decis%C3%A3o&f=false). Acesso em: 05 set. 2016.

OLIVEIRA, Newton de. **O processo de tomada de decisão em nível de corporação em empresa multinacional**. 1992. 205 f. Tese (Doutorado em Administração) - Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 1992. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/FGV_7bfbdbca6964a6f3ab7ac53b0b06942d. Acesso em: 05 set. 2016.

PINEL, Damáris Vieira Novo. **Comportamento gerencial neurose e tomada de decisão**. 1996. 219 f. Dissertação (Mestrado em Administração Pública) - Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1996. Disponível em:

<http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/FGV_95f83663f940be7f8cf2030c684e3fc2>. Acesso em: 05 set. 2016.

PORTO, Walter Accioly Costa. **A utilização da estatística experimental em indústrias da grande Salvador e seu ensino**. 2014. 245 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014. Disponível em: <[http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/4462/1/TESE_A utilização da estatística experimental em indústrias da grande Salvador e seu ensino.pdf](http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/4462/1/TESE_A%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20da%20estat%C3%ADstica%20experimental%20em%20ind%C3%BAstrias%20da%20grande%20Salvador%20e%20seu%20ensino.pdf)>. Acesso em: 3 jun. 2017.

RIBEIRO, José Luis Duarte; CATEN, Carla Schwengber Ten. **Série monográfica qualidade: Projeto de experimentos**. Porto Alegre: Eletrônica, 2011.

RIGBY, Darrel. **Ferramenta de gestão: Um guia para executivos**. São Paulo: Bain & Company, 2009. Disponível em: <http://www.bain.com/offices/saopaulo/pt/Images/Management_tools_2009_POR.pdf>. Acesso em: 01 out. 2016.

ROESCH, Sylvia Maria Azevedo. **Projetos de estágio e de pesquisa em administração: guia para estágios, trabalhos de conclusão, dissertações e estudos de caso**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

SARAMAGO, Simone P. et al. Planejamento de experimentos e otimização de sistemas mistos. **Famat**, [S.I.], n. 11, p.231-246, out. 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Valder_Steffen_Jr/publication/228551708_PLANEJAMENTO_DE_EXPERIMENTOS_E_OTIMIZACAO_DE_SISTEMAS_MISTOS/links/0046351f0ff15c94f7000000.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2016.

SELEME, Robson; STADLER, Humberto. **Controle da qualidade: As ferramentas essenciais**. Curitiba: Intersaberes, 2012. Disponível em: <<https://ucs.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788565704861/pages/5>>. Acesso em: 01 out. 2016.

SILVA, Helder Antônio da; SILVA, Messias Borges da. Aplicação de um projeto de experimentos (DOE) na soldagem de tubos de zircaloy-4. **Rev. eletrônica produção & engenharia**, v. 1, n. 1, p.41-52, dez. 2008.

SOUZA, Adriano Mendonça et al. **Introdução a projeto de experimentos**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação**. 12. ed. São Paulo: Cortez, 2003.

THUMS, Jorge. **Acesso à realidade: técnicas de pesquisa e construção do conhecimento**. Porto Alegre: Sulina: Ulbra, 2000.

VIEIRA, Joao Francisco da Fontoura et al. Aplicação de projeto de experimentos na identificação de fatores que influenciam o desempenho da atividade do digitador. In: **Encontro nacional da engenharia de produção – ENEGEP**, [S.I.], p.1-18, 11 out. 2013. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_178_015_22559.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2016.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**.4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

APÊNDICE B – COLETA DE DADOS REGRESSÃO

CÓDIGOS DE CABOS	MA 1.0	30/jan	31/jan	01/fev	02/fev	03/fev	06/fev	07/fev	08/fev	09/fev	10/fev	13/fev	14/fev	15/fev	16/fev	17/fev	20/fev	24/fev	27/fev	28/fev	01/mar	02/mar	03/mar	06/mar	07/mar	08/mar	09/mar	10/mar	27/mar	28/mar	29/mar	
98200116	MA 1.0	11	11	4	8	18	21	38	13	29	7	7	8	47	13	55	28	45	58	168	21	54	24	27	42	49	16	68	36	24	22	
98200111	VM 1.0	5	11	5	21	5	16	46	20	17	13	5	7	12	6	18	16	26	14	32	32	5	3	21	9	30	20	18	3	28	8	
98200117	LA 1.0	5	3	5	2	75	14	15	2	8	3	1	23	13	10	0	21	33	7	13	0	7	7	9	10	5	0	2	4	3	2	
98200114	AM 1.0	24	103	0	1	66	6	7	38	2	9	25	3	15	4	5	21	32	20	13	20	19	20	0	0	7	8	4	7	41		
98200112	VD 1.0	19	8	9	22	7	16	4	3	7	3	43	9	4	3	5	24	21	80	17	6	13	30	14	35	25	10	7	10	9	4	
98200113	AZ 1.0	9	6	2	9	8	1	8	18	2	3	39	11	33	2	0	14	20	9	8	27	4	5	15	3	10	18	17	14	18	17	
98200236	LZ 1.0	21	4	2	15	47	0	10	1	20	13	0	4	4	94	1	49	14	22	28	13	183	101	137	1	64	9	0	7	6	11	
98200115	CZ 1.0	27	10	17	7	0	22	15	6	15	3	34	21	2	14	10	7	43	13	9	37	16	4	2	23	13	1	8	28	1	18	
98200109	BR 1.0	8	4	3	2	14	6	6	1	13	16	1	16	3	5	6	21	23	6	1	11	16	18	2	32	9	1	1	22	6	1	
98200246	RS 1.0	8	0	1	5	0	24	1	0	16	6	1	2	2	16	9	33	21	11	5	4	58	13	15	0	110	1	1	1	2	1	
98200108	MA 1.5	8	2	0	1	32	4	7	1	1	2	1	1	2	5	13	11	23	8	0	2	4	1	1	4	21	1	1	5	9	16	
98200105	VM 1.5	3	1	1	0	1	0	1	1	1	11	1	1	1	1	6	1	18	6	0	1	26	0	1	1	2	1	5	1	6	78	
98201215	LA 1.5	4	2	0	0	0	33	0	1	5	3	0	0	8	3	1	1	0	4	0	5	3	13	0	0	6	3	2	3	6	0	
98200130	AM 1.5	62	1	1	0	0	0	1	5	6	2	1	1	0	4	1	5	2	6	0	0	14	0	0	0	0	0	1	4	1	1	
98200106	VD 1.5	1	0	12	26	0	0	1	0	0	2	6	1	1	2	1	0	8	0	1	35	4	1	1	5	0	0	0	2	1	2	
98200053	AZ 1.5	14	1	0	0	0	31	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	2	0	0	0	0	1	0	1	9	2	0	
98200237	LZ 1.5	11	1	0	0	0	22	1	0	0	2	1	0	1	1	1	0	3	0	0	5	2	3	2	11	1	0	0	7	16	1	
98200107	CZ 1.5	2	1	0	0	14	12	1	0	14	2	0	0	1	0	1	0	22	0	0	5	2	2	2	0	37	0	0	0	2	0	0
98200103	BR 1.5	43	1	0	0	23	0	19	0	0	0	15	0	2	2	0	0	19	0	1	0	2	72	0	0	12	0	7	28	0	17	
98200104	PT 1.5	1	1	0	0	1	0	0	1	2	2	0	2	7	5	7	3	3	0	0	0	20	1	0	0	1	30	0	0	0	0	
98200137	MA 2.5	5	4	0	1	16	0	2	1	1	3	7	5	3	4	0	0	31	1	1	0	4	0	1	1	3	12	1	30	62	0	
98200102	VM 2.5	4	1	0	0	1	0	0	1	14	1	0	17	1	1	1	48	53	0	0	1	1	1	1	0	0	3	0	3	25	0	
98200216	LA 2.5	16	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1	1	1	1	0	25	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	0	
98200131	AM 2.5	3	30	0	2	0	0	0	2	1	1	0	0	2	4	0	0	2	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	3	0	1	
98200132	VD 2.5	2	0	1	0	0	0	0	3	0	0	1	0	2	9	1	0	6	0	0	5	4	0	0	5	1	1	0	4	2	0	
98200129	AZ 2.5	8	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	2	0	8	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	3	2	
98200238	LZ 2.5	5	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	2	0	0	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	2	0	1	
98200134	CZ 2.5	2	8	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	3	0	3	
98200128	BR 2.5	2	2	0	0	62	0	1	1	10	1	10	0	2	3	0	0	8	0	1	0	3	0	0	10	1	0	17	2	68	128	
98201011	MA 4.0	8	2	0	0	0	7	4	0	1	0	1	0	1	4	0	0	4	0	1	1	9	0	0	0	0	0	0	5	1	2	
98201010	VM 4.0	1	2	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	1	0	5	0	1	3	1	0	0	2	3	0	0	0	0	0	2	1	2
98200217	LR 4.0	1	1	1	6	0	12	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	15	0	0	1	2	0	0	0	0	0	1	3	1	1	
98200222	AM 4.0	66	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1	0	
98200243	BR 4.0	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3	0	1	0	2	0	0	1	1	0	1	0	0	0	2	2	1	0
98200214	MR 6.0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	10	2	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	5	2	2	2
98200244	BR 6.0	27	1	0	0	0	5	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	10	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4	0	0

APÊNDICE C – CRONOMETRAGEM TEMPOS DE PRODUÇÃO

Antes do primeiro experimento	
Modelos de produtos	Tempo disponível SAP em minutos
Média carros rodoviário	45 minutos
Média carros Urbanos	39 minutos
Pós experimentos, com os níveis dos fatores de velocidade alterados	
Média carros rodoviário	41
Média carros Urbanos	33