

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
FELIPY TAVARES CALHEIROS

LEAN MANUFACTURING: capacidade de processos em linha produtiva

Varginha
2018

FELIPY TAVARES CALHEIROS

LEAN MANUFACTURING: capacidade de processos em linha produtiva

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Me. Sidinei Pereira.

Varginha

2018

FELIPY TAVARES CALHEIROS

LEAN MANUFACTURING: capacidade de processos em linha produtiva

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

OBS:

Dedico este trabalho a todos aqueles que
contribuíram para sua realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, amigos, colegas de trabalho e professores por terem ajudado na construção deste trabalho.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

Albert Einstein

RESUMO

Neste trabalho serão abordados os principais conceitos e métodos para se determinar a confiabilidade e a capacidade de um processo, através de análises de variação, coleta de dados e correção de parâmetros. Serão apresentados inicialmente os pontos a serem analisados para que se tenha um processo capaz, além de falhas e discontinuidades que podem ocorrer ao longo de uma cadeia produtiva. As variáveis para uma análise são inúmeras e índices de acompanhamento e definição são comumente aplicados, alguns dos principais índices que auxiliam nessa análise são o Cp, Cpk, Pp e Ppk, aliados a ferramentas de monitoramento e detecção de mudança de comportamento ao longo do tempo, como gráficos de controle. Através dessas ferramentas será possível analisar um processo de produção, apontando suas desconformidades, por meio de amostras e regulagens, sendo possível concluir se o processo é capaz de atender a parâmetros específicos de produção. A capacidade de um processo pode ser medida por meio de amostragens e análise de comportamento das mesmas, sendo possível tomar medidas de correção de parâmetros para que se chegue ao objetivo e atenda às necessidades tanto do cliente quanto do fabricante.

Palavras-chave: Confiabilidade. Análise. Ferramentas. Processo capaz.

ABSTRACT

In this work, the main concepts and methods to determine the reliability and the capability of a process will be addressed, through analysis of variation, data collection and correction of parameters. The points to be analyzed will be presented initially to have a capable process, as well as failures and discontinuities that can occur along a productive chain. The variables for an analysis are numerous, and indexes of monitoring and definition are commonly applied, some of the main indexes that help in this analysis are the Cp, Cpk, Pp and Ppk, allied to the tools of monitoring and detection of change of behavior over time, such as control charts. Through these tools it will be possible to analyze a production process, pointing out its non-conformities, through samples and adjustments, and it is possible to conclude if the process is able to meet specific production parameters. The capability of a process can be measured by means of sampling and analysis of its behavior, and it is possible to take measures to correct the parameters so that it meets the target and meets the needs of both the customer and the manufacturer.

Keywords: *Reliability. Analysis. Tools. Capable process.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelo Produção Enxuta.....	13
Figura 2 – Sistemas de produção.....	14
Figura 3 - Gráfico de controle.	16
Figura 4 – Cp, Cpk e Desvios padrões.	18
Figura 5 – Processo concentrado e descentralizado.	18
Figura 6 – Índice Pp	19
Figura 7 – Processo centrado e não concentrado.....	20
Figura 8 – Processo centrado e concentrado.	20
Figura 9 – Gráfico de controle amostras ensaque.....	24
Figura 10 – Máquina de Ensaque.	25
Figura 11 – Sistema de Dosagem.	26
Figura 12 – Gráfico de controle após regulagem.	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Amostras ensaques.	22
Tabela 2 – Parâmetros de ensaques.....	26
Tabela 3 – Amostras após regulagem.....	27
Tabela 4 - Resumo amostras.....	31
Tabela 5 – Resumos resultado de regulagens.....	31
Tabela 6 – Índices de Capabilidade antes da regulagem.	32
Tabela 7 – Resumo índices de capabilidade pós regulagem	32

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

CEP - Controle Estatístico do Processo

TPS - Toyota Production System

LSC - Limite Superior de Controle

LIC - Limite Inferior de Controle

LM - Linha Média

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO	13
2.1 A Produção Enxuta	13
2.1.1 Lean Manufacturing x Sistema Tradicional	13
2.2 Controle Estatístico do Processo	14
2.2.1 Carta de controle	15
2.3 Capacidade ou capabilidade do processo	17
2.3.1 O Cp e Pp	17
2.3.2 O Cpk e Ppk	19
2.3.3 Interpretação dos índices de capabilidade	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 Exemplo prático	21
3.1.1 Coleta de dados	21
3.1.2 Funcionamento e Regulagem da máquina	25
4 RESULTADOS E DISCUSÕES	27
4.1 Coleta de dados após regulagem dos parâmetros	27
4.2 Análise dos índices de capabilidade	31
4.2.1 Processo antes da regulagem	31
4.2.2 Processo depois da regulagem	32
4.3 Redução no peso do produto	33
5 CONCLUSÕES	33
REFERÊNCIAS	35
ANEXO A – Análise de capabilidade antes das regulagens, software Minitab.	36
ANEXO B – Análise de capabilidade depois das regulagens, software Minitab.	38

1 INTRODUÇÃO

As indústrias do mundo inteiro atualmente estão em uma fase cada vez mais antagonista e seu objetivo principal é se manter no mercado, para isso é preciso aprimorar seus métodos, processos e modo de gestão constantemente. As ferramentas da qualidade proporcionam à empresa métodos e soluções de modo que simplifiquem ao máximo seus meios de gerar lucro, sem desperdício, otimizando o tempo e fazendo com que seus colaboradores contribuam de maneira mais eficiente utilizando a melhoria contínua em uma produção enxuta. Um dos principais conceitos adotados na melhoria contínua em processos produtivos é a confiabilidade, que mostra o quão confiável é um processo ou um equipamento. Além da confiabilidade, um fator determinante é a capacidade ou capacidade do processo, que permite analisar e identificar seus pontos de deficiência e que conseqüentemente resultarão na qualidade final do produto.

Equipamentos por mais sofisticados que sejam atualmente, sempre apresentam uma probabilidade de falha ou avaria que possa levá-los a não operar conforme o esperado. Um processo pode sofrer influência de inúmeras variáveis, que podem ser as causas de variação do processo produtivo. Algumas causas são inevitáveis e estão presentes no processo, já outras são claramente identificáveis e podem ser eliminadas. Podemos entender por variáveis tudo o que pode ser medido por algum equipamento ou instrumento de medição (MARTINS e LAUGENI, 2005). Para o controle das variáveis, o Controle Estatístico de Processo (CEP) abrange ferramentas essenciais para análise, algumas dessas ferramentas, como o gráfico de controle são comumente utilizadas. Essas ferramentas estão ligadas diretamente a análise de capacidade, pois garantem que o processo irá operar dentro do planejado, permitindo o controle de capacidade e uma visão mais holística do processo.

Em processos onde são exigidos que o produto seja o mais próximo possível do ideal, a análise de variações pode ser a solução para diversos problemas. Através dessa ferramenta, utilizando o CEP é possível identificar os tipos de variações e controlá-las através dos índices de capacidade, que definem a faixa total de variação inerente de um processo estável.

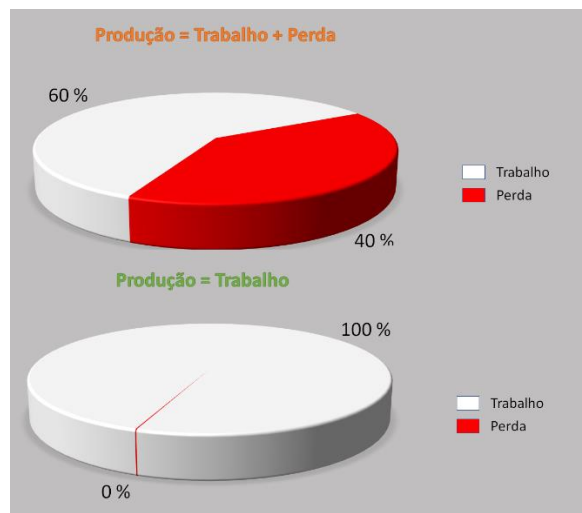
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 A Produção Enxuta

Produção enxuta é reduzir continuamente as perdas em todas as áreas e de todas as formas (Francois, VILLIERS, 2006), são inúmeras as definições para o modelo de produção criada pela Toyota, na década de 50.

Também chamada de *Toyota Production System* (TPS) ou *Lean manufacturing*, a produção enxuta representa um modelo de produção onde se busca um processo com o mínimo de desperdício e que atenda às necessidades do cliente, conforme mostra a figura abaixo.

Figura 1 – Modelo Produção Enxuta.



Fonte: O autor.

Em um processo é impossível que se tenha zero de perda, como representa a figura 01, porém, a produção enxuta é focada em ter o mínimo possível de desperdício. Além disso, ao contrário da produção em massa, tudo se baseia no pressuposto de que os processos de fabricação são operados de forma capaz e previsível.

2.1.1 Lean Manufacturing x Sistema Tradicional

Muitas empresas cometem o erro de focar em ter grandes estoques e produtos sempre que o cliente precisar. Isso é consequência de um planejamento vendas, que quando não é atendido, resulta em produtos no estoque, o que não é lucro para a empresa.

A figura abaixo representa uma comparação da produção enxuta e da produção em massa:

Figura 2 – Sistemas de produção.

	Artesanal	“Em massa”	<i>Lean Manufacturing</i>
Produção	Uma peça por vez	“Em massa” e padronizada	O cliente solicita
Volume de Produção	Baixo volume	Foco no volume de produção	Possibilita alta produção sob demanda
Ferramentas	Simples e flexíveis	Máquinas caras e pouco flexíveis	Máquinas flexíveis
Qualidade	O que puder ser feito	Bom e suficiente	Melhoria contínua
Cliente/Mercado	Produto definido pelo cliente	Produto padrão para o mercado	Alta variedade de produtos
Mão-de-obra	Altamente especializada	Pouco qualificados	Qualificado e multifuncional
Custo	Altíssimo	Baixo	Mais baixo ainda

Fonte: Voitto.

Nas fábricas de produção em massa, somente o gerente da linha pode pará-la, porém esta é interrompida constantemente, não para corrigir erros, mas em função de problemas com o suprimento de materiais e coordenação (WOMAK, JONES e ROSS, 1990). No sistema de produção enxuta, ao contrário da produção em massa, ao invés de produzir e gerar estoque, o objetivo é produzir somente o que for necessário para o cliente.

2.2 Controle Estatístico do Processo

O Controle Estatístico do Processo (CEP), considerado uma das sete ferramentas da qualidade, é um método que permite a análise de variação ao longo de um processo, através da coleta de dados e verificação de amostras. No gerenciamento de variáveis, o objetivo usual não é alcançar exatamente o mesmo comprimento para cada haste de aço, o mesmo diâmetro para cada pistão, o mesmo peso para cada comprimido, os números de venda exatamente como previsto, mas sim reduzir a variação de produtos e parâmetros em torno de um valor alvo (OAKLAND, 1996). Analisando as amostras de um processo é possível identificar seu comportamento e as não conformidades ou os chamados “pontos fora da curva”, procurando identificar a causa raiz dessas não conformidades. Segundo Martins e Laugeni (2005, p. 524) “não há dois produtos exatamente iguais, já que os processos que os geram podem apresentar inúmeras fontes de variação”, porém, essas variações podem ser minimizadas e o produto ficará cada vez mais próximo do ideal.

As causas de variação no processo podem ser classificadas como causas comuns e causas especiais.

As causas comuns são consideradas como inevitáveis e aleatórias, sendo assim, as variáveis do processo seguem uma distribuição normal (MARTINS e LAUGENI, 2005).

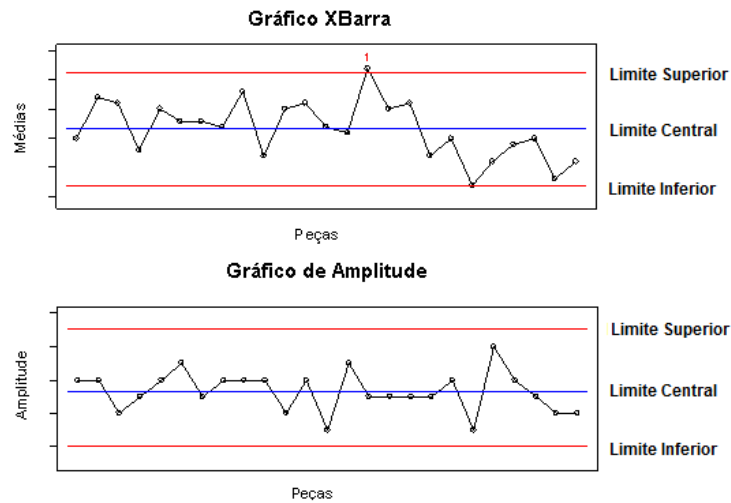
Já as causas especiais podem ser claramente identificadas e eliminadas, essas causas provocam alterações nos parâmetros do processo, como a média e desvio padrão (MARTINS e LAUGENI, 2005).

2.2.1 Carta de controle

Uma das ferramentas mais utilizadas para o controle de processos, o gráfico de controle determina o comportamento de amostras ao longo do tempo dentro de limites especificados denominados limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC), que contornam a linha média (LM). Através do gráfico de controle é possível controlar a média e o desvio padrão, que quando não apresentam variação, pode caracterizar o processo como o chamado “processo sob controle”. De acordo com Martins e Laugeni (2005, p. 524) “um processo sob controle é aquele em que as variáveis não apresentam variação de média ou de desvio padrão ao longo do tempo”.

Para a aplicação do gráfico de controle é necessário que sejam coletadas amostras, que são distribuídas entre as linhas de limites. Na figura abaixo é possível entender essa distribuição.

Figura 3 - Gráfico de controle.



Fonte: Portal Action.

Para o entendimento das amostras basta analisar as linhas de limite, onde os pontos ou amostras que estiverem fora dos limites de controle indicam que o processo pode estar “fora de controle”. É possível ver na figura 03 que o comportamento das amostras pode ser diferente ao longo do tempo. No gráfico XBarra as amostras demonstram o que se chama de comportamento aleatório, onde as amostras estão dispersas, porém há uma amostra acima do LSC. É possível observar também que as últimas amostras do gráfico estão abaixo do LIC, o que pode ser um determinado lote como a causa de variação.

De acordo com Martins e Laugeni (2005), os limites de controle podem ser calculados como:

$$LSC = \bar{X} + A \cdot \bar{R}$$

$$LIC = \bar{X} - A \cdot \bar{R}$$

em que,

\bar{X} = Média

\bar{R} = Média das amplitudes

A = Coeficientes tabelados em função do número de elementos de cada amostra n .

Os coeficientes são definidos no quadro abaixo:

Quadro 01 – Coeficientes em função do número de amostras.

N	A	D4	D3
2	1,880	3,268	0
3	1,023	2,574	0
4	0,829	2,282	0
5	0,577	2,115	0
6	0,483	2,004	0
7	0,419	1,924	0,076
8	0,373	1,864	0,136
9	0,337	1,816	0,184
10	0,308	1,777	0,223
12	0,266	1,716	0,284
14	0,235	1,671	0,329
16	0,212	1,636	0,364
18	0,194	1,608	0,392
20	0,180	1,586	0,414

Fonte: Martins e Laugerini (2005).

2.3 Capacidade ou capabilidade do processo

Com a busca por meios de redução de custo, as indústrias investem cada vez mais em processos em que se tenha um alto nível de confiabilidade. Segundo Martins e Laugeni (2005, p. 528) “Um processo é denominado capaz quando, além de estar sob controle atende às especificações do cliente”. Existem processos sob controle, porém incapazes. Um processo pode ter suas amostras dentro de seus limites estabelecidos, entretanto, se o conjunto das amostras não atende às especificações determinadas pelo cliente, seja o peso, diâmetro, dimensões, o processo é considerado incapaz.

Para que se possa ter uma medição de capacidade ou capabilidade, é necessário que o processo esteja sob controle, para isso são utilizados índices que representam o comportamento das amostras dispersas no gráfico de controle. Tais índices são o Cp, Cpk, Pp e Ppk.

2.3.1 O Cp e Pp

O Cp representa a concentração das amostras no gráfico, ou seja, o índice está relacionado a concentração das amostras. Esse índice mede a relação entre a variação permitida entre os limites de especificações e a variação do processo (desvio padrão). O Cp pode ser calculado de acordo com a equação abaixo:

$$C_p = \frac{LSC - LIC}{6\sigma}$$

Onde:

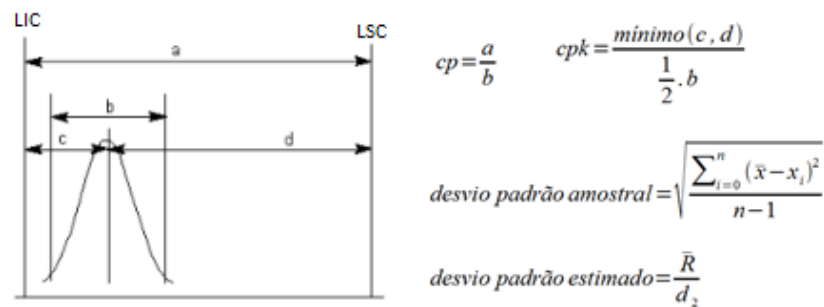
LSC = Limite Superior de Controle.

LIC = Limite Inferior de Controle.

σ = Desvio Padrão estimado.

O cálculo do desvio padrão pode ser entendido através da figura abaixo:

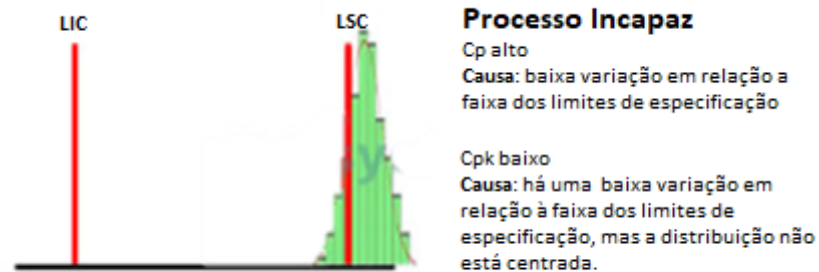
Figura 4 – Cp, Cpk e Desvios padrões.



Fonte: Infonemesis.

As amostras podem estar concentradas, porém em valores diferentes do valor alvo ou distantes da linha média do gráfico de controle, como mostra a figura 03, ou seja, o processo apresenta precisão, mas não tem exatidão. O exemplo pode ser entendido na figura abaixo.

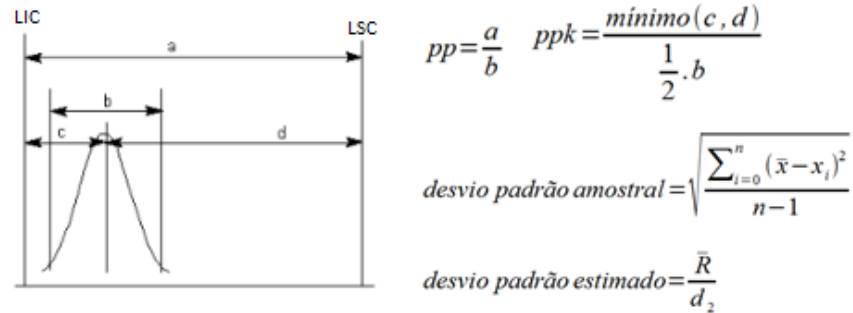
Figura 5 – Processo concentrado e descentralizado.



Fonte: Citisystems.

O Pp considera também a concentração das amostras, entretanto, diferentemente do Cp, o desvio padrão considerado é em relação ao padrão estimado, conforme pode ser visto na figura abaixo.

Figura 6 – Índice Pp.



Fonte: Infonemesis.

2.3.2 O Cpk e Ppk

O Cpk pode ser definido como a centralização das amostras em relação aos limites de controle, representa o quão centralizadas estão as amostras na distribuição. O Cpk é calculado de acordo com a equação 02.

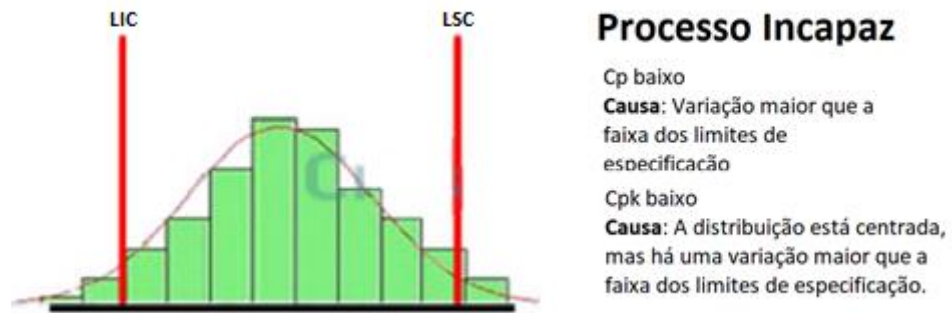
$$C_{pk} = \min\left(\frac{\bar{X} - LIC}{3\sigma}\right), \left(\frac{LSC - \bar{X}}{3\sigma}\right)$$

\bar{X} = Média das amostras.

Sigma = σ = Desvio Padrão estimado.

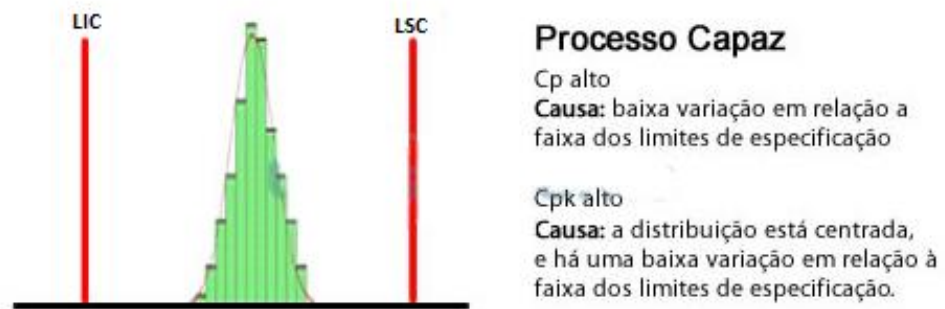
Como o índice de Cpk leva em consideração a centralização das amostras, algumas amostras podem estar dispersas no gráfico de maneira centralizada, porém não concentrada. As figuras abaixo representam cenários para o índice.

Figura 7 – Processo centrado e não concentrado.



Fonte: Citisystems.

Figura 8 – Processo centrado e concentrado.



Fonte: Citisystems.

2.3.3 Interpretação dos índices de capacidade

Tão importante quanto calcular os índices e analisar a dispersão das amostras, é identificar os valores desses índices e entendê-los de maneira aplicável ao processo. São eles que irão definir se o processo é capaz ou não.

São definidos valores mínimos de aceitação que definem se o sistema é capaz ou não, esses valores mínimos têm relação direta com a concentração e centralização de uma distribuição de amostras, que são os valores de Cp e Cpk. Na prática, quanto maior os índices de Cp e Cpk, melhor será o processo e menor será a probabilidade de uma amostra ocorrer fora dos limites de especificação. Os índices e sua classificação podem ser observados abaixo. De acordo com Oakland (1996), levando em conta mudanças de média, dispersão e possíveis complicações na distribuição normal o Cpk representa um determinado nível de confiança na capacidade do processo:

- a) $C_{pk} > 1$ - Uma situação em que o processo não é capaz e o produto inevitavelmente sairá não-conforme.
- b) $C_{pk} = 1$ situação em que o processo não é realmente capaz, já que qualquer mudança dentro do processo poderá resultar em algumas indetectáveis saídas não conformes.
- c) $C_{pk} = 1,33$ - Uma situação aceitável desde que seja detectado pelos gráficos de controle de processo.
- d) $C_{pk} = 1,67$ - Saída promissora, a não conformidade poderá ocorrer, mas há uma grande chance de que isso seja detectado.
- e) $C_{pk} = 2$ - Alto nível de confiança no processo, com cartas de controle em uso regular.

Alguns autores consideram os valores para C_p e C_{pk} igual a 1,33 um valor aceitável, em algumas empresas esse valor é utilizado, porém em indústrias automobilísticas um valor satisfatório que torna um processo confiável e capaz são os índices equivalentes a 1,67.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o entendimento dos índices e conceitos de capacidade, foram coletadas algumas amostras em uma máquina de ensaio, de uma empresa de rações. Através das amostras coletadas foi possível analisar o processo e o comportamento seu ao longo do tempo, sendo possível avaliar a capacidade do sistema, seu estado atual e tomar medidas de correção para que se pudesse chegar aos parâmetros desejados.

3.1 Exemplo prático

Para a análise do estudo, foram coletadas amostras de uma máquina de ensaio modelo VECTRA VC/2G-50AP. Foi escolhido para o estudo, um produto com peso nominal de 15 kg. O objetivo principal foi levantar dados para a análise do estado atual da quantidade média de ração por saco, enviada ao cliente. Com base nos dados do estado atual do produto, foi elaborado um plano de ação para um projeto de sobrepeso, com intuito de reduzir a quantidade de produto enviada em excesso para cada saco.

3.1.1 Coleta de dados

Inicialmente foram coletados lotes de 80 amostras em 5 dias variados, para que se pudesse obter o estado atual da média de peso de produto ensacado. As amostras estão representadas em Kg, na tabela a seguir:

Tabela 1 – Amostras ensaque.

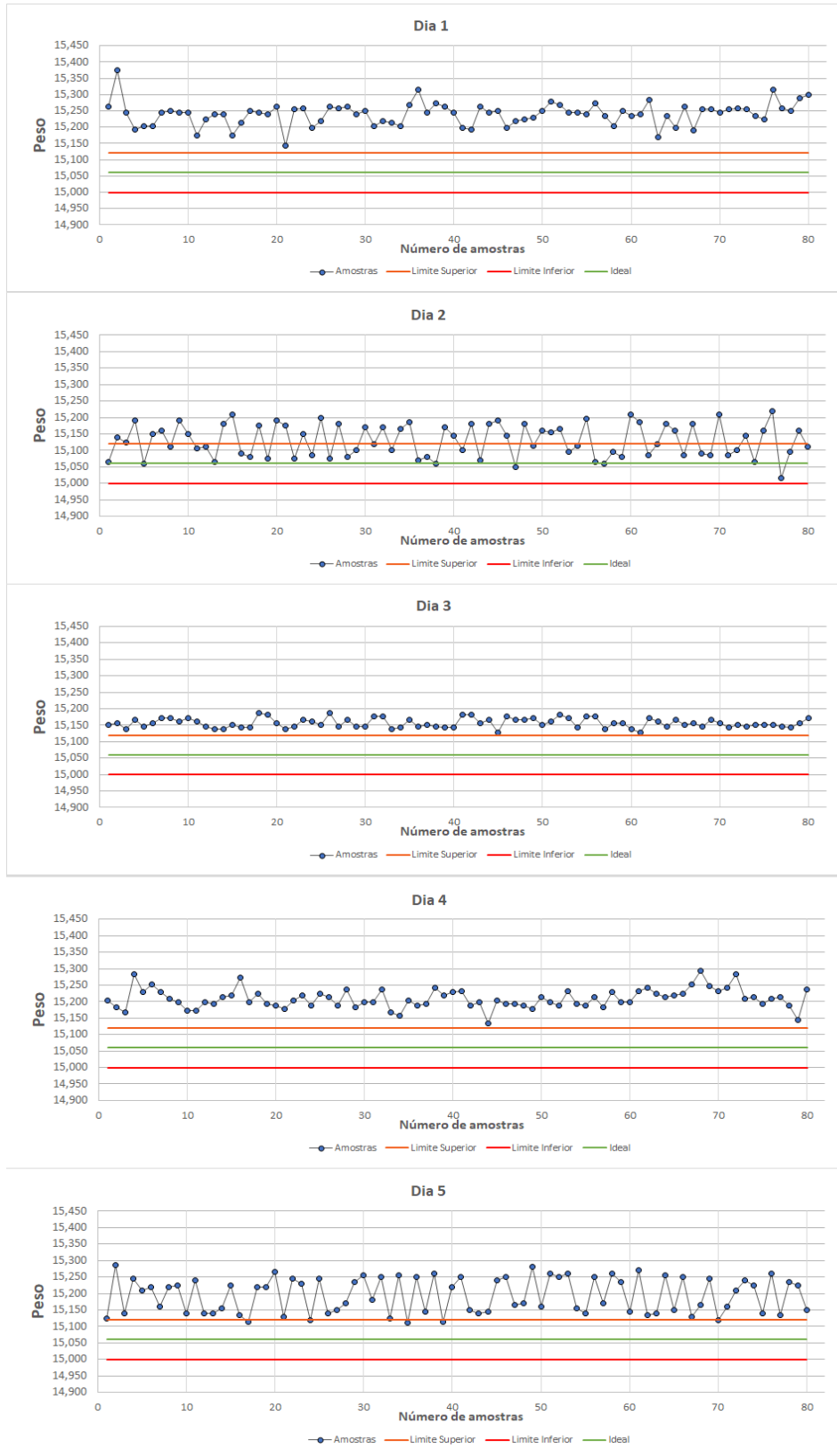
Amostras	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
# 1	15,264	15,065	15,152	15,203	15,125
# 2	15,374	15,139	15,157	15,183	15,285
# 3	15,244	15,125	15,137	15,168	15,140
# 4	15,194	15,190	15,167	15,283	15,245
# 5	15,204	15,060	15,147	15,228	15,210
# 6	15,204	15,150	15,157	15,253	15,220
# 7	15,244	15,160	15,172	15,228	15,160
# 8	15,249	15,110	15,172	15,208	15,220
# 9	15,244	15,190	15,162	15,198	15,225
# 10	15,244	15,150	15,172	15,173	15,140
# 11	15,174	15,105	15,162	15,173	15,240
# 12	15,224	15,110	15,147	15,198	15,140
# 13	15,239	15,065	15,137	15,193	15,140
# 14	15,239	15,180	15,137	15,213	15,155
# 15	15,174	15,210	15,152	15,218	15,225
# 16	15,214	15,090	15,142	15,273	15,135
# 17	15,249	15,080	15,142	15,198	15,115
# 18	15,244	15,175	15,187	15,223	15,220
# 19	15,239	15,075	15,182	15,193	15,220
# 20	15,264	15,190	15,157	15,188	15,265
# 21	15,144	15,175	15,137	15,178	15,130
# 22	15,254	15,075	15,147	15,203	15,245
# 23	15,259	15,150	15,167	15,218	15,230
# 24	15,199	15,085	15,162	15,188	15,120
# 25	15,219	15,200	15,152	15,223	15,245
# 26	15,264	15,075	15,187	15,213	15,140
# 27	15,259	15,180	15,147	15,188	15,150
# 28	15,264	15,080	15,167	15,238	15,170
# 29	15,239	15,100	15,147	15,183	15,235
# 30	15,249	15,170	15,147	15,198	15,255
# 31	15,204	15,120	15,177	15,198	15,180
# 32	15,219	15,170	15,177	15,238	15,250
# 33	15,214	15,100	15,137	15,168	15,125
# 34	15,204	15,165	15,142	15,158	15,255
# 35	15,269	15,185	15,167	15,203	15,110
# 36	15,314	15,070	15,147	15,188	15,250
# 37	15,244	15,080	15,152	15,193	15,145

# 38	15,274	15,060	15,147	15,243	15,260
# 39	15,264	15,170	15,142	15,218	15,115
# 40	15,244	15,145	15,142	15,228	15,220
# 41	15,199	15,100	15,182	15,233	15,25
# 42	15,194	15,180	15,182	15,188	15,150
# 43	15,264	15,070	15,157	15,198	15,140
# 44	15,244	15,180	15,167	15,133	15,145
# 45	15,249	15,190	15,127	15,203	15,240
# 46	15,199	15,145	15,177	15,193	15,250
# 47	15,219	15,049	15,167	15,193	15,165
# 48	15,224	15,180	15,167	15,188	15,170
# 49	15,229	15,115	15,172	15,178	15,280
# 50	15,249	15,160	15,152	15,213	15,160
# 51	15,279	15,155	15,162	15,198	15,260
# 52	15,269	15,165	15,182	15,188	15,250
# 53	15,244	15,095	15,172	15,233	15,260
# 54	15,244	15,115	15,142	15,193	15,155
# 55	15,239	15,195	15,177	15,188	15,140
# 56	15,274	15,065	15,177	15,213	15,250
# 57	15,234	15,060	15,137	15,183	15,170
# 58	15,204	15,095	15,157	15,228	15,260
# 59	15,249	15,080	15,157	15,198	15,235
# 60	15,234	15,210	15,137	15,198	15,145
# 61	15,239	15,185	15,127	15,233	15,270
# 62	15,284	15,085	15,172	15,243	15,135
# 63	15,169	15,120	15,162	15,223	15,140
# 64	15,234	15,180	15,147	15,213	15,255
# 65	15,199	15,160	15,167	15,218	15,150
# 66	15,264	15,085	15,152	15,223	15,250
# 67	15,189	15,180	15,157	15,253	15,130
# 68	15,254	15,090	15,147	15,293	15,165
# 69	15,254	15,085	15,167	15,248	15,245
# 70	15,244	15,210	15,157	15,233	15,120
# 71	15,254	15,085	15,142	15,243	15,160
# 72	15,259	15,100	15,152	15,283	15,210
# 73	15,254	15,145	15,147	15,208	15,240
# 74	15,234	15,065	15,152	15,213	15,225
# 75	15,224	15,160	15,152	15,193	15,140
# 76	15,314	15,220	15,152	15,208	15,260
# 77	15,259	15,015	15,147	15,213	15,135
# 78	15,249	15,095	15,142	15,188	15,235
# 79	15,289	15,160	15,157	15,143	15,225
# 80	15,299	15,110	15,172	15,238	15,150

Fonte: O autor.

As amostras podem ser vistas também pelo gráfico de controle, na figura abaixo.

Figura 9 – Gráfico de controle amostras ensaque.



Fonte: O autor.

Através dos gráficos de controle foi possível observar a distribuição das amostras, que demonstraram resultados negativos quanto aos limites estabelecidos. Os limites utilizados foram definidos pela engenharia como LIC igual a 15,00 kg, já que não são aceitáveis valores menores que o peso nominal. Para LSC foi usado 15,120 kg, pois foi o valor definido para o projeto foi 0,8 % de média de sobrepeso.

3.1.2 Funcionamento e Regulagem da máquina

A máquina utilizada foi um modelo VECTRA DUPLA VC/2G-50/AP do fabricante VECTRA Equipamentos Serviços Ltda. A ensacadora consiste de moegas de alimentação, cabeçotes de dosagem, caixa de pré-pesagem onde situam-se células de carga e moegas de descarga do produto. A imagem abaixo mostra o modelo da máquina.

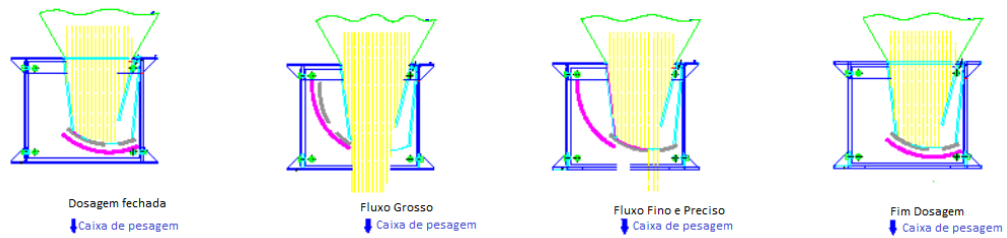
Figura 10 – Máquina de Ensaque.



Fonte: O autor.

O sistema de pesagem consiste de comportas côncavas que abrem e fecham controlando a passagem do produto. Existem alguns parâmetros de regulagem para o fechamento das comportas que determinam a precisão de pesagem. Esses parâmetros de regulagem influenciam diretamente na variação dos pesos do produto. O sistema de pesagem pode ser entendido através da figura.

Figura 11 – Sistema de Dosagem.



Fonte: Vectra Equipamentos Serviços.

Após feita a coleta de dados e análise das amostras, foram definidos os parâmetros a serem utilizados para que se pudesse atingir o peso dentro dos limites especificados. Os parâmetros indicados pelo fabricante VECTRA, juntamente com a engenharia foram definidos conforme a tabela abaixo:

Tabela 2 – Parâmetros de ensaue.

Parâmetros	Antes	Depois
Peso Meta	15,00	15,00
Pré-corte	5	6
Antecipação da Balança 1	0,37	0,32
Antecipação da Balança 2	0,34	0,28
Tolerância Positiva	0,1	0,1
Tolerância Negativa	0	0

Fonte: O autor.

Os parâmetros específicos da máquina foram ajustados para que se pudesse obter os produtos com peso dentro da margem permitida. De acordo com o fabricante, o peso do produto ensacado pode variar conforme produto e parâmetros, para tornar a pesagem mais precisa foi necessário um treinamento específico com os operadores de máquina, juntamente com técnicos para a definição e mudança dos parâmetros de pesagem expressos na Tabela 02.

4 RESULTADOS E DISCUSÕES

4.1 Coleta de dados após regulagem dos parâmetros

Após a regulagem dos parâmetros, foi feita uma nova coleta de dados para a análise dos pesos. A tabela abaixo contém os dados após a regulagem.

Tabela 3 – Amostras após regulagem.

Amostras	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
#1	15,073	15,071	15,072	15,053	15,074
#2	15,085	15,065	15,056	15,063	15,047
#3	15,068	15,049	15,065	15,088	15,031
#4	15,057	15,055	15,024	15,048	15,074
#5	15,068	15,092	15,035	15,053	15,054
#6	15,076	15,060	15,098	15,068	15,056
#7	15,065	15,046	15,048	15,061	15,085
#8	15,062	15,063	15,059	15,058	15,049
#9	15,071	15,048	15,035	15,057	15,044
#10	15,070	15,094	15,062	15,058	15,113
#11	15,059	15,057	15,055	15,067	15,050
#12	15,089	15,055	15,075	15,078	15,081
#13	15,048	15,041	15,056	15,053	15,065
#14	15,067	15,065	15,028	15,043	15,053
#15	15,086	15,035	15,085	15,058	15,067
#16	15,064	15,103	15,046	15,068	15,058
#17	15,076	15,099	15,069	15,073	15,072
#18	15,047	15,062	15,061	15,073	15,043
#19	15,027	15,055	15,079	15,056	15,102
#20	15,063	15,040	15,064	15,049	15,054
#21	15,082	15,075	15,059	15,075	15,069
#22	15,041	15,083	15,069	15,063	15,084
#23	15,074	15,042	15,075	15,053	15,069
#24	15,048	15,052	15,056	15,077	15,054
#25	15,055	15,057	15,036	15,068	15,079
#26	15,059	15,052	15,036	15,043	15,064
#27	15,064	15,052	15,098	15,082	15,069
#28	15,083	15,052	15,026	15,075	15,075
#29	15,068	15,083	15,103	15,055	15,067
#30	15,079	15,069	15,086	15,046	15,075
#31	15,066	15,072	15,078	15,056	15,089
#32	15,085	15,056	15,057	15,068	15,048

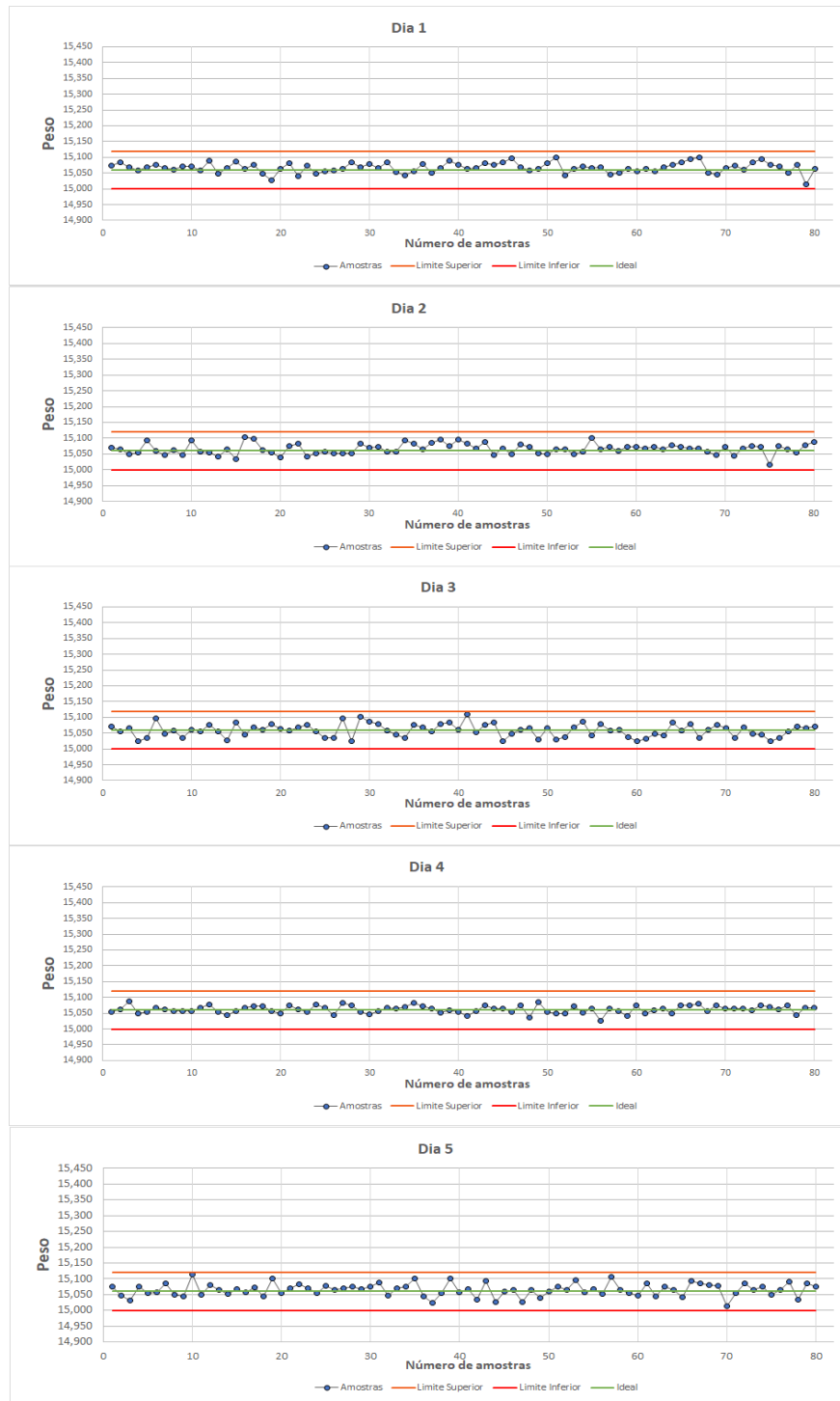
#33	15,053	15,058	15,046	15,065	15,069
#34	15,042	15,092	15,035	15,070	15,076
#35	15,055	15,083	15,075	15,083	15,100
#36	15,079	15,065	15,068	15,072	15,045
#37	15,050	15,086	15,056	15,065	15,023
#38	15,066	15,097	15,079	15,051	15,055
#39	15,088	15,075	15,084	15,060	15,100
#40	15,076	15,095	15,061	15,055	15,058
#41	15,064	15,083	15,110	15,040	15,067
#42	15,067	15,067	15,052	15,057	15,035
#43	15,082	15,089	15,075	15,074	15,093
#44	15,075	15,048	15,085	15,065	15,026
#45	15,084	15,067	15,025	15,065	15,060
#46	15,097	15,050	15,049	15,055	15,064
#47	15,068	15,081	15,062	15,074	15,026
#48	15,058	15,072	15,065	15,035	15,065
#49	15,063	15,053	15,031	15,084	15,040
#50	15,082	15,050	15,067	15,055	15,060
#51	15,099	15,065	15,029	15,050	15,075
#52	15,044	15,065	15,038	15,050	15,064
#53	15,064	15,050	15,068	15,072	15,095
#54	15,072	15,057	15,086	15,051	15,057
#55	15,067	15,100	15,043	15,065	15,067
#56	15,068	15,065	15,078	15,026	15,052
#57	15,045	15,072	15,058	15,064	15,105
#58	15,050	15,059	15,062	15,058	15,064
#59	15,064	15,072	15,037	15,040	15,055
#60	15,055	15,072	15,026	15,075	15,046
#61	15,064	15,068	15,033	15,048	15,085
#62	15,055	15,072	15,049	15,060	15,045
#63	15,068	15,065	15,043	15,065	15,076
#64	15,075	15,078	15,083	15,049	15,064
#65	15,084	15,072	15,057	15,076	15,042
#66	15,095	15,068	15,078	15,076	15,093
#67	15,100	15,068	15,034	15,079	15,086
#68	15,050	15,057	15,062	15,056	15,081
#69	15,046	15,046	15,076	15,075	15,077
#70	15,065	15,072	15,067	15,065	15,014
#71	15,073	15,045	15,034	15,064	15,055
#72	15,062	15,068	15,068	15,065	15,085
#73	15,085	15,075	15,047	15,060	15,066

#74	15,095	15,072	15,046	15,075	15,074
#75	15,075	15,016	15,026	15,070	15,049
#76	15,071	15,075	15,034	15,063	15,064
#77	15,050	15,064	15,056	15,075	15,091
#78	15,076	15,054	15,072	15,045	15,034
#79	15,015	15,079	15,067	15,067	15,085
#80	15,064	15,088	15,071	15,067	15,076

Fonte: O autor.

Com a nova regulagem e ajuste de parâmetros, a coleta de dados foi feita em lotes de 80 amostras, em 5 dias diferentes, assim como as amostras antes da regulagem. Os dados podem ser analisados no gráfico na imagem abaixo.

Figura 12 – Gráfico de controle após regulagem.



Fonte: O autor.

Com os novos parâmetros, foi possível chegar ao objetivo inicial, que era limitar o peso do produto a 0,8 % de sobrepeso. Através do gráfico de controle foi possível obter uma visão geral da distribuição das amostras, onde, em um cenário as amostras se apresentaram fora dos limites estabelecidos e em um processo fora do controle, totalmente diferente das amostras após

as regulagens dos parâmetros da máquina, que se comportaram de maneira aleatória dentro dos limites estabelecidos, mostrando um sistema sob controle. Os resultados podem ser analisados abaixo, onde é possível ver um resumo dos dados das Tabelas 01 e 03.

Tabela 4 - Resumo amostras.

Dados	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Média Geral
Peso Médio (Kg)	15,240	15,129	15,157	15,209	15,195	15,186
Amplitude (Kg)	0,230	0,205	0,060	0,160	0,175	0,166
Sobrepeso (Kg)	0,240	0,129	0,157	0,209	0,195	0,186
Sobrepeso (%)	1,60%	0,86%	1,05%	1,39%	1,30%	1,24%

Fonte: O autor.

Tabela 5 – Resumos resultado de regulagens.

Dados	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Média geral
Peso Médio (Kg)	15,067	15,066	15,059	15,062	15,065	15,064
Amplitude (Kg)	0,085	0,087	0,086	0,062	0,099	0,084
Sobrepeso (Kg)	0,067	0,066	0,059	0,062	0,065	0,064
Sobrepeso (%)	0,447%	0,441%	0,392%	0,414%	0,433%	0,425%

Fonte: O autor.

4.2 Análise dos índices de capacidade

Com os dados coletados, através do software Minitab, foi possível efetuar a análise dos índices antes e depois das regulagens dos parâmetros de máquina. Com base nos valores e nos gráficos gerados, foi possível classificar o processo e determinar seus índices de capacidade.

4.2.1 Processo antes da regulagem

Os valores da Tabela 01, resultaram em um processo com os seguintes índices representados em ANEXO A.

Como é possível observar os resultados, em todas as situações as amostras se encontraram fora dos limites de engenharia estabelecidos. Os valores dos índices de Cp e Cpk não são consideráveis, pois o comportamento das amostras mostra que o processo não está sob controle. É importante observar que no dia 3 foi obtido um valor de Cp igual a 1,5, apesar de um Cpk negativo. Este exemplo confirma o conceito dos índices abordados nos itens 2.3.1 e 2.3.2. As amostras se encontram concentradas, resultando em um valor positivo para Cp, porém

com um posicionamento não centralizado em relação aos limites de controle, o que resulta no valor de Cpk negativo.

As figuras do dia 2 e 5 têm um detalhe importante em comum a ser comentado, pois apresentam uma dispersão de amostras parecidas. As amostras se distribuem de forma que se dividem no gráfico, formando dois grupos no mesmo lote de dados. Uma possível explicação para isso é o fator máquina, que possui um sistema duplo de pesagem, onde as duas balanças carregam os sacos de forma alternada. Os valores de Cp e Cpk podem ser vistos na tabela abaixo:

Tabela 6 – Índices de Capabilidade antes da regulagem.

Índices	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Cp	0,69	0,34	1,50	0,83	0,30
Cpk	-1,38	-0,05	-0,92	-1,23	-0,38

Fonte: O autor.

4.2.2 Processo depois da regulagem

Os dados da Tabela 03 foram analisados no Minitab, obtendo os resultados em ANEXO B.

Após as devidas regulagens na máquina foi possível analisar as amostras coletadas. Como foi visto na imagem xx, as amostras se distribuíram dentro dos limites de controle estabelecidos do gráfico, entretanto, os índices de capacidade resultaram em valores não tão satisfatórios, comparados aos índices ideais citados no item 2.3.3.

Os valores de Cp e Cpk estão dispostos na tabela abaixo:

Tabela 7 – Resumo índices de capacidade pós regulagem.

Índices	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Média
Cp	1,33	1,29	0,96	1,58	0,86	1,204
Cpk	1,17	1,16	0,94	1,53	0,79	1,118

Fonte: O autor.

Ao analisar os resultados e comparar os índices reais do processo com o ideal estabelecido, é possível afirmar que o processo não é capaz a ponto de ser confiável ao processo. Entretanto, para controle de processo e analisando as amostras como um todo, com base na

Tabela 05, a média dos pesos dos produtos ao longo das medições permaneceu abaixo no limite superior estabelecido. Tendo a média dos pesos igual a 15,064 kg, enquanto o limite foi de 15,120 kg.

4.3 Redução no peso do produto

Através do controle do processo utilizando os gráficos e índices de capacidade, foi possível a redução de produto enviado em excesso por saco do produto analisado. A redução do produto no saco está diretamente relacionada ao custo de processo e ao ganho que se obtém. Utilizando valores simbólicos é possível calcular o ganho no processo.

De acordo com os resultados das Tabelas a redução de peso por saco foi de 15,186 kg para 15,064 kg.

$15.064 - 15,186 = -0,122 \text{ kg} \therefore$ **Redução de 122 g por saco.**

Em uma produção de 30000 kg por dia:

$$\frac{30000}{15} = 2000 \text{ sacos por dia}$$

$$2000 \cdot 0,122 \text{ kg} = 244 \text{ kg por dia} = 16 \text{ sacos}$$

Nessas condições a produção deixaria de enviar 16 sacos a menos de produto

5 CONCLUSÕES

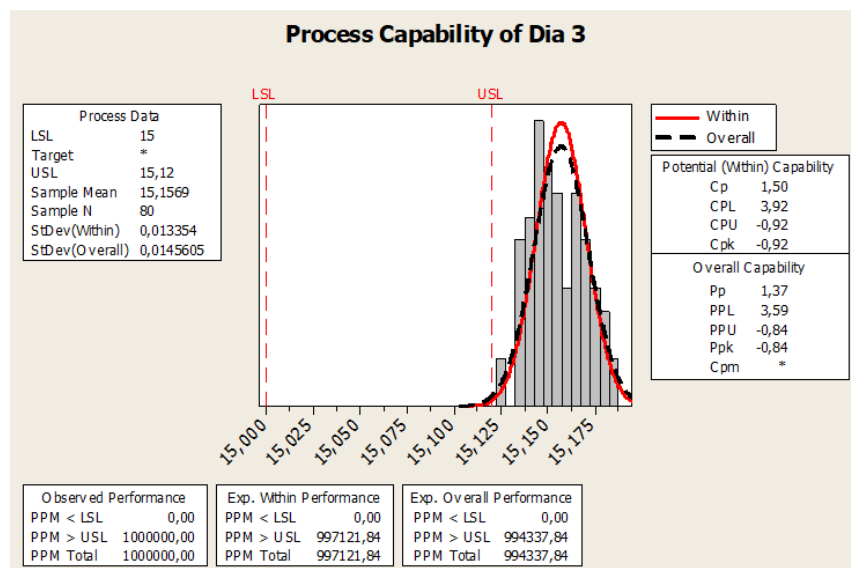
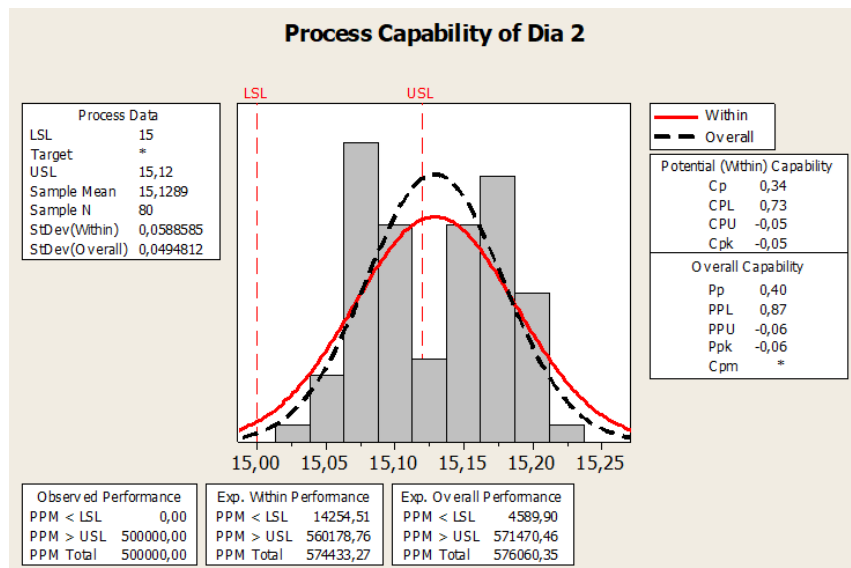
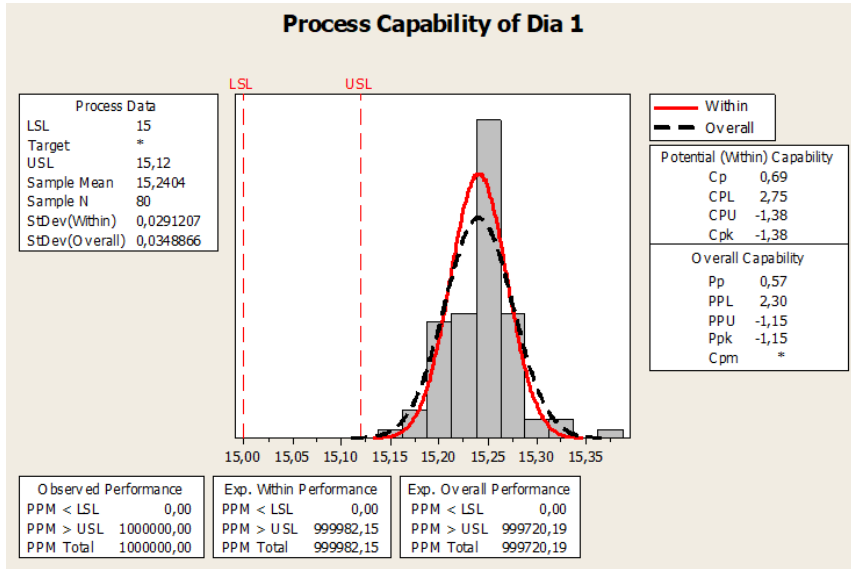
A análise estatística proporciona ao sistema de produção uma visão totalmente holística de um processo. Através das ferramentas de produção enxuta é possível detectar falhas e discontinuidades de processo que podem afetar diretamente nos custos e impactar na qualidade final do produto. A análise de capacidade juntamente com o gráfico de controle proporciona a empresa um dos métodos mais completos de análises, quando se trata de amostras em grande número e que podem apresentar algum tipo de variação. Através do controle estatístico de processo foi possível analisar os dados de uma linha produção, onde se apresentava um processo fora do controle, quando estabelecidos limites de projeto. Os gráficos de controle

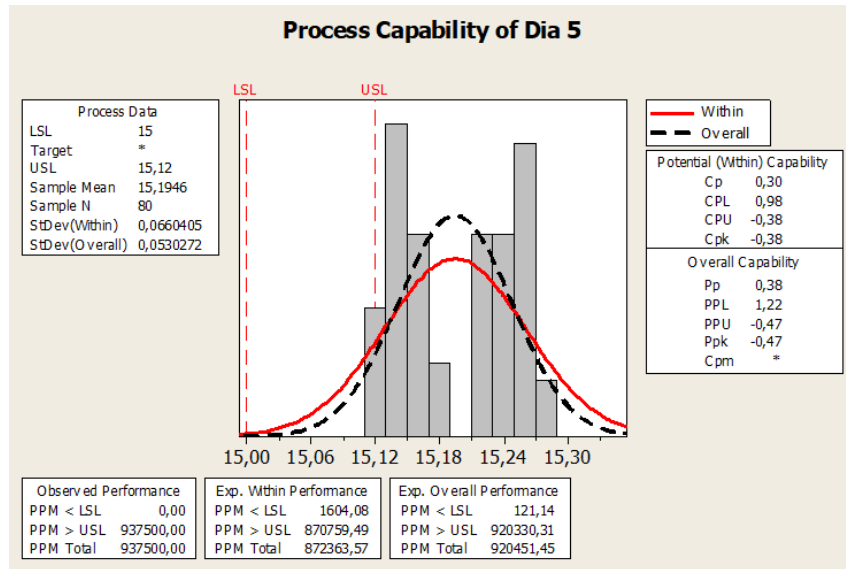
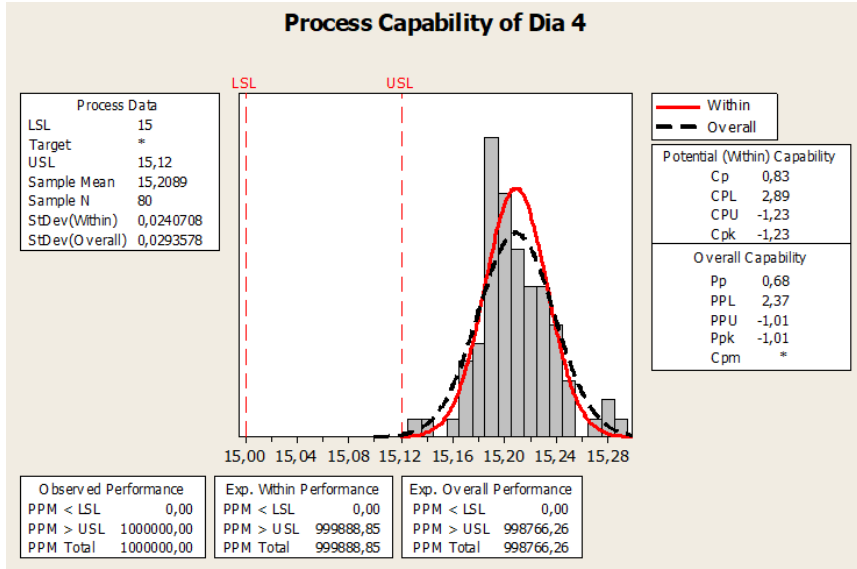
proporcionaram uma visão completa do comportamento das amostras, sendo possível tomar ações para que se pudesse obter o valor ideal de peso do produto. Foi possível concluir que o sistema possui um índice de capacidade de C_p igual a 1,204 e C_{pk} igual a 1,118, o que está abaixo do ideal utilizado. Apesar de um índice abaixo do ideal, o controle das amostras permitiu a redução de produto ensacado, além da melhoria na precisão do processo, sendo possível obter um processo sob controle, pois a média de peso dos produtos satisfaz ao limite especificado.

REFERÊNCIAS

- Infonemesis. **DADOS GERAIS.** Disponível em < <http://www.infonemesis.com.br/tutor004.aspx> >. Acesso em: 02 Out. 2018.
- LIMA, Marcelo. **Manufatura Cpk.** Disponível em < <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAuXkAE/manufatura-cpk> >. Acesso em: 06 Out 2018.
- LOPES, Junior. **Análise de Capacidade de Processo-ACP.** Disponível em < <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAgf7wAL/analise-capacidade-processo-acp> >. Acesso em 02 Out 2018.
- MARTINS, Petronio G.; LAUGENI, Fernando Piero. **Administração da produção.** 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2005.
- MOREIRA, Daniel A. **Administração da produção e operações.** 2ª ed. Ver. E ampl. São Paulo: Cengage Learning, 2012.
- MÜLLER, Bruna Luise. **Meta de Cp e Cpk.** Disponível em < <https://www.harbor.com.br/harbor-blog/2017/12/21/valores-de-cp-e-cpk/> >. Acesso em: 02 Out 2018.
- OAKLAND, John S. **Statistical Process Control.** 5ª ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 1986.
- RODRIGUES, Marcus Vinicius. **Entendendo, Aprendendo e Desenvolvendo Sistemas de Produção Lean Manufacturing.** 2ª ed. Editora Campus, 2017.
- WHEELER, Donald J.; CHAMBERS, David S.. **Understanding Statistical Process Control.** 3ª ed. SPC PRESS, 2010.
- WOMAK, James P.; DANIEL, T. Jones; DANIEL, Ross. **A máquina que mudou o mundo.** 1ª ed. Campus, 1990.

ANEXO A – Análise de capacidade antes das regulagens, software Minitab.





ANEXO B – Análise de capacidade depois das regulagens, software Minitab.

