



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

THAMIRES CAMILA TAVARES DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO:
ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA FABRICANTE DE
CHAPAS DE GESSO TIPO DRYWALL**

Juazeiro - BA

2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

THAMIRES CAMILA TAVARES DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO:
ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA FABRICANTE DE
CHAPAS DE GESSO TIPO DRYWALL**

Trabalho apresentado ao Colegiado de Engenharia de Produção, da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Cristina Gonçalves Castro Silva.

Juazeiro - BA

2019

	Oliveira, Thamires Camila Tavares de.
O48a	Aplicação do controle estatístico de processo: estudo de caso em uma empresa fabricante de chapas de gesso do tipo <i>drywall</i> / Thamires Camila Tavares de Oliveira. -- Juazeiro, 2019.
	xvi, 107 f. ; il.
	Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, Juazeiro - BA, 2019.
	Orientador (a): Profa. Dra. Ana Cristina Gonçalves Castro Silva.
	1. Gestão de Qualidade. 2. Processos produtivos. I. Título. II. Silva, Ana Cristina Gonçalves Castro. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.
	CDD 658.562

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF
Bibliotecário: Márcio Pataro CRB 5/1369

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

FOLHA DE APROVAÇÃO

THAMIRES CAMILA TAVARES DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO:
ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA FABRICANTE DE
CHAPAS DE GESSO TIPO DRYWALL**

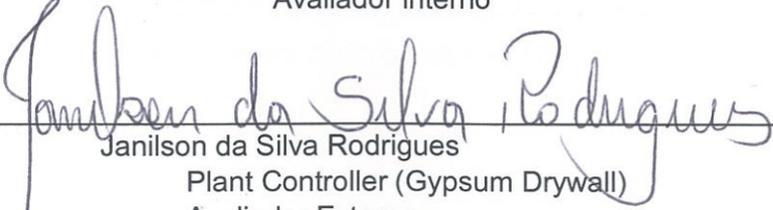
Trabalho Final de Curso apresentado
como requisito para obtenção de título
de Bacharela em Engenharia de
Produção, pela Universidade Federal
do Vale do São Francisco.



Profª Dra. Ana Cristina Gonçalves Castro Silva
(UNIVASF)
Orientadora



Prof. Dr. José Luiz Moreira de Carvalho
Avaliador interno



Janilson da Silva Rodrigues
Plant Controller (Gypsum Drywall)
Avaliador Externo

Aprovado pelo Colegiado de Engenharia de Produção em 28/03/19

AGRADECIMENTOS

Agradecer é preciso, apesar de todas as dificuldades que passamos, mesmo assim, o momento de agradecer é de supra importância. Começo por aquele que tenho fé, que me ampara, me dá esperança e me faz enxergar as coisas boas que a vida tem a oferecer. A meu Deus, eu tenho total gratidão por absolutamente tudo que me é proporcionado.

Sigo minha gratidão ao maior presente que pude ter durante essa minha passagem, ao meu filho Lucca Tavares. Meu filho, muito obrigada por me escolher para ser sua mãe e me mostrar a força que eu não sabia que tinha. Minha eterna gratidão pelo tanto de sabedoria que você me proporcionou e por ter elevado minha experiência nessa vida a outro nível.

À minha família pelo incentivo, pela força e por toda estrutura que me forneceu desde à infância até os dias de hoje, com certeza, sem o apoio de vocês nada teria sido alcançado. Em especial, à minha mãe, por muitos anos de sacrifícios físicos e mentais para nos prover o sustento diário.

Os demais familiares, amigos, colegas e companheiros de trabalho que de alguma forma me ajudaram a conquistar a minha graduação. Em especial, ao amigo Pedro Vieira e Ciro Fernandes pelo apoio acadêmico, moral e incentivo durante meu percurso na Univasf, principalmente durante meu período gestacional.

Agradeço também à minha orientadora Ana Castro, pela compreensão, apoio e entender as minhas dificuldades particulares quanto à elaboração desse estudo. À oportunidade de fazer parte um dia do Diretório Acadêmico (DAEP) e da empresa júnior de Engenharia de Produção da Univasf (Solucione Jr).

Grata a *Gypsum Drywall* (unidade Petrolina/PE) por ter me dado uma excelente experiência de estágio e suporte para o desenvolvimento do meu Trabalho de Conclusão de Curso. A todos, mesmo não citados, que em diferentes formas e parcelas me auxiliaram chegar até aqui.

OLIVIEIRA, Thamires Camila Tavares de. **Aplicação do Controle Estatístico do Processo**: estudo de caso em uma empresa fabricante de chapas de gesso tipo drywall. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Juazeiro (BA). Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2019.

RESUMO

Tendo em vista as novas demandas do mercado e certificações exigidas, as empresas tem buscado a adotar um novo modelo de gestão, e para isso a Gestão da Qualidade é de supra importância na prestação de bons serviços ao consumidor. Uma metodologia que proporciona suporte a essas atividades é o Controle Estatístico de Processo (CEP), onde é possível obter um monitoramento do processo produtivo. Diante das oportunidades de acesso às fábricas situadas no submédio do Vale do São Francisco, fez-se esse estudo em uma fábrica de *drywall* na cidade de Petrolina/PE, fazendo a aplicação de cartas de controle em sua produção, com o objetivo de observar estatisticamente o comportamento das análises frente aos requisitos que a certificação exige, sendo esta a norma da ABNT para esse tipo de unidade fabril, ABNT 14.715:2001 : Chapas de gesso acartonado – Requisitos. Em conjunto com o CEP fez-se uso de algumas ferramentas da Qualidade, como também foi realizada uma coleta de dados em campo e análise dos resultados com uma equipe multidisciplinar atuante no processo da empresa. Diante disso, foi possível confirmar que a empresa dispõe ao mercado um produto certificado em todos os itens exigidos, porém foi identificado a presença de causas assinaláveis e não-conformidade dentro do processo. Em seguida, fez-se um levantamento das possíveis interferências atreladas às variações apontadas pelos gráficos. A partir disso, foi elaborado um plano de ação que correspondesse soluções que fosse possível abranger todos os requisitos analisados, atuando na eliminação/diminuição das causas assinaláveis, visando atingir a melhor performance no CEP, tendo como resultado o fornecimento de produtos com uma melhor qualidade.

Palavras-chave: *Drywall*, Cartas de Controle, Qualidade, Melhoria.

OLIVIEIRA, Thamires Camila Tavares de. **Application of Statistical Process Control**: a case study at a drywall manufacturer. Final Paper (Production Engineering Graduation). Juazeiro (BA). Federal University of San Francisco Valley, 2019.

ABSTRACT

In view of the new market trends and required certifications, companies have sought to adopt a new management model, and for this Quality Management is of paramount importance in the provision of good services to the consumer. A methodology that supports these activities is the Statistical Process Control (CEP), where it is possible to obtain a monitoring of the productive process. Faced with the opportunities of access to the factories located in the sub-region of the São Francisco Valley, this study was carried out in a drywall factory in the city of Petrolina / PE, applying control charts in its production, with the aim of statistically observing the behavior of the analyzes against the requirements that certification requires, this being the ABNT standard for this type of plant, ABNT 14.715: 2001: Plasterboard – Requirements. In conjunction with the CEP, some quality tools were used, as well as data collection in the field and analysis of the results with a multidisciplinary team working in the company process. In view of this, it was possible to confirm that the company has a certified product in all the required items, but the presence of notable causes and non-compliance in the process has been identified. Then, a survey was made of the possible interferences linked to the variations indicated by the graphs. Based on this, a plan of action was elaborated that corresponded to solutions that could cover all the analyzed requirements, acting in the elimination / reduction of the remarkable causes, aiming to reach the best performance in the CEP, resulting in the supply of products with a better quality.

Key-words: Drywall, Control Charts, Quality, Improvement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Regras de identificação de causas especiais de acordo com a ISO 7870-2:2013	39
Figura 2: Definição das zonas de uma carta de Shewhart com distribuição Normal	39
Figura 3 - Processo industrial do drywall.....	48
Figura 4 - Sequência das atividades	50
Figura 5 – Carta de controle \bar{X} -R para peso seco	58
Figura 6 – Carta de controle \bar{X} -S de Peso	59
Figura 7 – Diagrama de causa e efeito (peso)	60
Figura 8 - Carta de controle \bar{X} -R para espessura seca	62
Figura 9: Gráfico após a retirada dos pontos 1 e 17	63
Figura 10 - Carta de controle \bar{X} -S para espessura seca.....	63
Figura 11 – Carta de controle \bar{X} -R para resistência mecânica	66
Figura 12 - Carta de controle \bar{X} -S para resistência mecânica	67
Figura 13 - Carta de controle \bar{X} -R para largura da chapa.....	69
Figura 14 - Carta de controle \bar{X} -S para largura da chapa.....	70
Figura 15 - Diagrama de causa e efeito (largura da chapa)	71
Figura 16 - Carta de controle \bar{X} -R para profundidade rebaixo	73
Figura 17: Carta de Zona - Profundidade Rebaixo.....	73
Figura 18 - Carta de controle \bar{X} -S para profundidade rebaixo	74
Figura 19: Carta de Controle X-R para prof. De rebaixo	75
Figura 20 - Diagrama de causa e efeito (prof. rebaixo)	76
Figura 21 – Análise de Capacidade (peso)	77
Figura 22 - Análise de Capacidade (espessura seca).....	78
Figura 23 - Análise de Capacidade (resistência mecânica)	79
Figura 24 - Análise de Capacidade (largura da chapa)	80
Figura 25 - Análise de Capacidade (profundidade do rebaixo)	81
Figura 26 – Série temporal para peso (kg/m ²).....	99
Figura 27 – Série temporal para espessura seca (mm)	99
Figura 28 – Série temporal para resistência mecânica (N)	100
Figura 29 – Série temporal para largura da chapa (mm).....	100
Figura 30 – Série temporal para profundidade rebaixo (mm).....	101

Figura 31 – Teste de normalidade para peso.....	102
Figura 32 – Teste de normalidade para espessura seca	102
Figura 33 – Teste de normalidade para resistência mecânica	103
Figura 34 – Teste de normalidade para largura da chapa.....	103
Figura 35 – Teste de normalidade para profundidade rebaixo	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Metodologias marcantes da Garantia da Qualidade	25
Quadro 2 - As “Eras” da qualidade e suas características	26
Quadro 3 – Mapeamento do processo	54
Quadro 4 – Mapeamento do processo	55
Quadro 5 - Número total de operações	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados amostrais para peso seco	57
Tabela 2 – Dados amostrais para espessura seca	61
Tabela 3 - Dados amostrais para resistência mecânica	65
Tabela 4 - Dados amostrais para largura da chapa	68
Tabela 5 - Dados amostrais para profundidade rebaixo.....	72
Tabela 6 – Fórmulas para cálculo dos limites de controle.....	105
Tabela 7: Fatores para cartas de controle.....	106

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: coeficiente de correlação	32
Equação 2: Tamanho da amostra	42
Equação 3: índice de capacidade	44
Equação 4: capacidade real do processo	45
Equação 5: índice de desempenho	45
Equação 6: índice de desempenho real	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEP - Controle Estatístico do Processo

CP - Índice de capacidade

CPK - Índices de capacidade

CPM - Índice de desempenho

CPMK - Índice de desempenho real

CTQ - Controle da Qualidade Total

ISO – *International Organization for Standardization*

LIC - Limite Inferior de Controle

LM - Linha central ou linha média

LSA - Limite Superior de Advertência

LSC - Limite Superior de Controle

PZD - Programa Zero Defeito

QCQ - Quantificação dos Custos da Qualidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Contextualização do problema	17
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo geral	19
1.2.2 Objetivos específicos	19
1.3 Justificativa	19
2.1 Contexto Histórico da Qualidade	24
2.2 Definições de Qualidade	27
2.2.1 Fluxograma	29
2.2.2 Diagrama de causa e efeito	29
2.2.3 Folha de verificação	30
2.2.4 Diagrama de Pareto	30
2.2.5 Histograma	31
2.2.6 Diagrama de dispersão	31
2.2.7 Gráfico de controle	32
2.2.7 5W2H	35
2.3 Controle Estatístico de Processo	36
2.4 Variabilidade em Processos	37
2.5 Identificação de causas especiais	38
2.6 Determinação dos limites de controle	39
2.7 Plano de Amostragem	40
2.8 Subgrupos Racionais	43
2.9 Capacidade e Capabilidade de um processo	43
3.0 Processo industrial de chapas de gesso tipo <i>drywall</i>	47
3. METODOLOGIA	49
3.1 Caracterização da pesquisa	49
3.2 Etapas da pesquisa	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1 Da empresa estudada	53
4.1.1 Mapeamento do processo local	53
4.2 Coleta e cálculo de dados	56

4.3 Determinação da capacidade	76
4.4 Proposta de Melhoria utilizando a ferramenta 5W2H	82
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
REFERÊNCIAS.....	88
APÊNDICES	99
APÊNDICE A – SÉRIES TEMPORAIS	99
APÊNDICE B – TESTES DE NORMALIDADE	102
ANEXOS	105
ANEXO A - FÓRMULAS PARA DETERMINAÇÃO DE LIMITES.....	105
ANEXO B – CONSTANTES PARA CARTAS DE CONTROLE.....	106

1. INTRODUÇÃO

Adequando-se a constante evolução do mercado, tendo em vista o aumento da competitividade, as empresas são induzidas a buscarem cada vez mais, métodos que proporcionem melhorias em suas operações e processos e, com isso, as conduzam para a sustentabilidade dos negócios. Nesse sentido, um dos aspectos considerados pelas organizações diz respeito a qualidade e estabilidade dos seus processos (MADANHIRE; MBOHWA, 2016).

Este comportamento deriva do fato de que novas demandas por parte dos clientes e/ou requisitos apresentam-se diante das empresas, fazendo com que adotem novos padrões de gestão (MAUGERI; ARCIDIACONO, 2014). Melhorar a qualidade reduzindo a variabilidade é a ideia fundamental numa perspectiva de sucesso gerencial, pautando-se com base no controle estatístico e na gestão da qualidade (EHIGIE; MCANDREW, 2005).

De acordo com Alvarenga et al. (2014) o Controle Estatístico de Processo (CEP) é um dos métodos amplamente empregados para avaliar e monitorar o processo em relação à sua estabilidade. Trata-se de um conjunto de ferramentas estatísticas orientado para processos, dando suporte à tomada de decisão por parte do gestor. Para Chakraborty e Tah (2006), o CEP baseia-se, na análise de dados coletados durante o processo e submetidos aos limites de controle definidos como aceitáveis.

Nesta metodologia, os resultados são verificados com base nos limites de controle que são calculados de acordo com o padrão desejado (KHEDIRI; WEIHS; LIMAM, 2010). Os valores obtidos a partir das medições indicarão se o processo tem aleatoriedade ou causas específicas de variabilidade (PAESE; CATEN; RIBEIRO, 2001). Contudo, como forma de suporte ao método, este é composto por sete ferramentas primordiais, sendo: histograma, folha de verificação, gráfico de Pareto, diagrama de causa e efeito, estratificação, diagrama de dispersão e cartas de controle (SOUZA; RIGÃO, 2005).

O Controle Estatístico de Processo é utilizado em diversos segmentos da indústria. É relativamente simples de ser utilizado, baseando-se no uso de

estatísticas para analisar as limitações do produto e/ou processo local. Em suma, por meio deste método, é possível controlar características importantes sistema produtivo instantaneamente, garantindo bons níveis de qualidade e melhorias no desempenho da indústria (NOMELINI; FERREIRA; OLIVEIRA, 2009).

Diante desse contexto, várias indústrias de diversos segmentos são passíveis de implementar o CEP em seus processos e com isso, garantirem melhorias significativas em suas operações. Uma delas é a indústria de gesso, responsável por grandes volumes de extração do minério (gipsita) e de produção do produto acabado nos Pólos industriais e atuante como fomento ao setor de construção civil (OLIVEIRA et al., 2012).

Do gesso natural obtido através da calcinação da gipsita, aproximadamente 96% destina-se diretamente ao emprego na construção civil. Para Barbosa, Ferraz e Santos (2014), este se apresenta de duas formas, como gesso de fundição e o de revestimento, os quais são empregados na confecção de placas, blocos e revestimentos de paredes, molduras para tetos e outros mais.

Entende-se que o setor da construção civil está cada vez mais competitivo, exigindo das empresas do ramo um melhor gerenciamento de suas operações industriais. Dessa maneira, as organizações conseguem um controle mais eficiente frente a sua produção. De acordo com Barbosa et al., (2013), a construção controlada apresenta a redução de perdas na produção em busca de melhoria na qualidade do produto e do processo, além de um menor custo. A eliminação de perdas tem sido essencial para as empresas adquirir esse pensamento de gestão.

1.1 Contextualização do problema

Controlar e melhorar a qualidade tornou-se uma importante estratégia de negócios para muitas organizações; desde fabricantes, distribuidores, empresas de transporte, organizações de serviços financeiros; profissionais de saúde até agências governamentais. A qualidade é, portanto, uma forma de garantir uma vantagem competitiva diante dos demais concorrentes (MONTGOMERY, 2016).

Além disso, Las Casas (2010) afirma que os consumidores têm também levado em consideração características, funções, benefícios e vantagens de tudo que lhes é oferecido, desejando adquirir mais do que simplesmente um bem ou um serviço, mas também um nível satisfatório de experiência de compra. Dessa forma, as empresas têm desenvolvido inúmeras estratégias para fidelização do consumidor à sua marca, dentre elas a confiabilidade e a qualidade do produto e/ou serviço ofertado.

Controlar o processo é um dos princípios que nortearão a empresa em oferecer produtos com maior qualidade e, com isso, possibilitar outras vantagens intrínsecas ao modelo de gestão adotado. Portanto, a metodologia de Controle Estatístico de Processo (CEP) pode ser usada principalmente como uma ferramenta para entender, modelar e reduzir a variabilidade de um processo industrial ao longo do tempo (FOURNIER et al., 2006).

O CEP comporta-se como uma forma de melhorar a qualidade dos produtos e serviços, sendo, principalmente, uma importante estratégia de negócios. Portanto, a problemática associada a falta de qualidade é uma exigência dos consumidores, mas acima de tudo, uma questão que está ligada a manutenção da posição no mercado almejada pela empresa (OGUNTUNDE; ODETUNMIBI; OLUWADARE, 2015).

Em outras palavras, observa-se que no atual ambiente de mercado, a necessidade de ser melhor é mais notória. Além disso, a necessidade de ser mais competitivo é uma necessidade para sobreviver. Isto é, a empresa deverá manter-se em constante atualização e buscando novas formas de administrar as operações, acompanhando as tendências mundiais (MADANHIREA; MBOHWA, 2016).

Dessa forma, chega-se ao seguinte questionamento que norteará essa pesquisa: Como a aplicação do Controle Estatístico do Processo poderá contribuir para a redução de variabilidade do processo e conseqüentemente no ganho de vantagens competitivas no processo produtivo de uma empresa fabricante de chapas de gesso tipo drywall?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Verificar a qualidade e estabilidade do sistema produtivo de uma empresa fabricante de chapas de gesso tipo *drywall*, localizada na cidade de Petrolina-PE, por meio da aplicação do Controle Estatístico do Processo (CEP), analisando sua certificação frente às normas da ABNT.

1.2.2 Objetivos específicos

A fim de atingir o objetivo principal deste estudo, definiu-se os seguintes objetivos específicos:

- Mapear o processo produtivo local;
- Aplicar Cartas de Controle em lotes de produção da chapa de gesso *drywall*;
- Analisar o comportamento do processo e a variabilidade do mesmo;
- Propor sugestões de melhorias utilizando o 5W1H.

1.3 Justificativa

Há uma crescente consciência de que bens e serviços de alta qualidade podem dar a uma organização considerável vantagem competitiva. Boa qualidade reduz custos de retrabalho, refugo e devoluções e, mais importante, atende as expectativas dos consumidores. As receitas podem incrementadas por melhores vendas e por preços mais altos no mercado. Ao mesmo tempo, os custos podem ser reduzidos pela melhor eficiência, produtividade e uso do capital (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Sabendo que a chave para ser competitivo reside na capacidade de exceder as necessidades e expectativas dos clientes. Fixa-se a necessidade de fornecer, em maneira exigida pelo cliente, um produto de qualidade a baixa custo, na hora certa, todas as vezes que solicitado (SALAHELDIN, 2009). Para gerenciar com eficiência os custos, otimizar o tempo do sistema e mitigar defeitos

/ falhas durante a fase de operação, a aplicação de monitoramento e controle de sistemas é incentivada. Nesse sentido, o gráfico de controle especificamente, é a abordagem de monitoramento mais comum (DEVER et al., 2014).

O gráfico de controle é responsável por fornecer alertas com relação ao comportamento de sistemas e processos, bem como mudanças na variabilidade do mesmo. Portanto, tem como objetivo fazer uma análise do processo, verificando se o mesmo é estável ou previsível, notando possíveis variações. Para determinar ações de melhoria no processo local poderão ser postas em prática quando se observa a variabilidade do processo, buscando controlá-la (MARQUES et al., 2015).

O CEP pode ter o papel estratégico em uma empresa. Sendo uma forma de melhorar a capacidade através da redução da variabilidade de produtos, entregas, processos, materiais e equipamentos (SRIKAE0; FURST; ASHTON, 2005). A correta implementação e utilização do CEP pode apoiar decisões baseadas em fatos e se ter uma percepção crescente sobre qualidade em todos os níveis. Ademais, é capaz de trazer benefícios operacionais e financeiros para a organização que o emprega (COOK; ZOBEL; WOLFE, 2006; ŠKULJ et al., 2013).

De acordo com Samohyl (2009), no mundo, as fábricas não podem deixar de aplicar pelo menos algumas ferramentas do Controle Estatístico do Processo (CEP) para a melhoria dos processos industriais. Tendo o CEP como ideia fundamental que os processos com menos variabilidade proporcionam melhores níveis de qualidade nos resultados da produção, significando menores custos.

Slack, Chambers e Johnston (2009) afirmam que conformidade à especificação significa produzir ou proporcionar um serviço conforme à suas especificações de projeto. Após estabelecer os padrões adequados que são capazes de ser atingidos pela produção, e que vão atingir as expectativas dos clientes, a produção então vai verificar se os produtos/serviços estão conformes aos padrões.

O Controle Estatístico de Processo preocupa-se com a checagem de um produto/serviço durante a sua criação. Caso haja algum problema com o

processo, o mesmo pode ser interrompido e os problemas podem ser identificados e reparados, onde for possível e adequado. Como em qualquer processo produtivo, em uma empresa fabricante de gesso também tem a constante busca pela qualidade. Percebe-se que os princípios atuais são baseados na qualidade como condição para produtividade e competitividade (GODINA; MATIAS; AZEVEDO, 2016).

Isto posto, o controle da qualidade como sendo uma das ferramentas empregadas no ambiente industrial poderá assegurar um certo nível de qualidade no produto manufaturado, neste caso, o gesso tipo drywall. Vale ressaltar que esta prática surgiu como uma prática gerencial primordial e um fator importante exigido por qualquer indústria bem-sucedida operando no ambiente de negócios altamente competitivo (THOR et al., 2007).

Portanto, o termo qualidade pode ser definido como conformidade com os requisitos ou expectativas e necessidade do cliente. Também pode ser definido como adequação à finalidade. Com base nesta perspectiva, o controle de qualidade é simplesmente definido como o uso de técnicas e atividades para alcançar, sustentar e melhorar a qualidade dos produtos e/ou serviços (RAHEEM; GBOLAHAN; UDOADA, 2016).

As características da análise a ser feita nesse estudo, condizem com a área de Controle Estatístico da Qualidade, pertencente a grande área da Engenharia de Produção, institucionalizadas pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO). Devido a atuação da autora deste trabalho diretamente no processo produtivo de fabricação de chapas de gesso tipo Drywall, optou-se, como forma de intervenção no sistema produtivo, analisar a estabilidade do mesmo.

Diversos periódicos, nacionais e internacionais foram consultados para embasamento teórico. Além disso, os anais eletrônicos da ABEPRO foram um dos canais de pesquisa para suporte ao desenvolvimento desse trabalho, onde foram encontrados diversos estudos onde o Controle Estatístico do Processo (CEP) tem sido utilizado em análise de processos produtivos.

Silva et al. (2016) analisaram através do CEP a produção de uma indústria cerâmica, onde houve a aplicação de gráficos de controle e determinação da

capacidade do processo, buscando mostrar se o processo está ou não sob efeito de causa especiais, e se o mesmo é capaz de atender as especificações do cliente. Com tal estudo, os autores observaram que o processo não estava sob controle, onde após a identificação das causas que provocavam instabilidade ao processo, foram retiradas as amostras que estavam além dos limites de controle, tornando o processo estável.

No trabalho desenvolvido por Menezes et al. (2016), com conhecimentos sobre Controle Estatístico do Processo (CEP) e ferramentas da qualidade foi feita uma análise em uma prestadora de serviços de fotocópias para monitorar o processo produtivo, trabalhando com gráficos de controle, fluxogramas, gráfico de Pareto e lista de verificação. Como resultado, os autores afirmaram que impressões feitas incorretamente pelos clientes representaram a maior parcela de não conformidade, o que estaria causando as perdas e refletindo nos custos da empresa.

Duarte et al. (2016) afirmam em seu trabalho que o CEP é uma ferramenta que vem sendo inserida em diversas empresas do ramo industrial, pois possibilita a obtenção de um melhor controle da qualidade. Eles fizeram a aplicação de gráficos de controle em uma empresa do setor alimentício, na fabricação de farinha de milho, e após descreverem todo o sistema produtivo, foi possível verificar que o processo estava sob controle estatístico.

No estudo de Toledo, Lizarelli e Santana Junior (2017), as ações implementadas durante a pesquisa com controle estatístico, contribuíram para mudar a cultura e o comportamento da planta operadores, para melhorar o objeto estudado (processo de sílica) e implantar a iniciativa em outras empresas. Também foi possível comprovar na prática a relevância dos fatores de sucesso para apoiar a foco tradicional nas implementações do CEP.

Segundo Andrade e Diehl (2011) as empresas buscam de forma geral o fornecimento de produtos de qualidade para seus clientes, pois devem apresentar robustez suficiente em relação aos seus processos de fabricação e condições de utilização. Para garantir que as empresas alcancem seus objetivos, faz-se o uso do Controle Estatístico do Processo (CEP).

A pesquisa desenvolvida pelos autores teve como objetivo aplicar ferramentas do CEP no processo de fabricação de blocos de concreto, utilizados na construção civil. Em seguida à aplicação dos gráficos de controle, notou-se que o processo não estava sob controle, e foi possível a identificação das causas especiais que influenciaram a fabricação (ANDRADE; DIEHL, 2011).

A qualidade e o desempenho das alvenarias, afeta diretamente os subsistemas dos edifícios, influenciando também na vida útil, nos custos de execução e manutenção das obras (KACZAM et al, 2016). Sendo assim, os autores acompanharam e investigaram o processo de produção de Blocos Cerâmicos de Vedação por meio de gráficos estatísticos. E, de acordo com os dados levantados, a fabricação esteve sob controle estatístico, indicando baixa variabilidade, e em conformidade com os valores previstos pela norma.

Outros estudos apontam a difusão das técnicas associadas ao CEP. Desde aplicações no setor militar (SCHUH; CANHAM-CHERVAK; JONES, 2017), em pequenas e médias empresas (DANGAYACH; DESHMUKH, 2005; RAHMAN et al., 2015), e ainda, no âmbito de hospitais (MOHAMMED; WORTHINGTON; WOODALL, 2008; PIMENTEL; BARRUETO JÚNIOR, 2015), comprovando a diversa aplicação do CEP, em realidades diferentes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Contexto Histórico da Qualidade

Okwiri (2014) cita que, a partir da dinamicidade e competitividade do mercado, as empresas são induzidas a buscarem por melhorias. De acordo com Garvin (2002) a qualidade antes era voltada para o departamento de produção, e com seu desenvolvimento, já está presente em outros setores nas organizações. Nesse sentido, o autor apresenta quatro fases da evolução da qualidade, sendo elas: Era da Inspeção, Era do Controle da Qualidade, Era da Garantia da Qualidade e Era da Gestão da Qualidade.

Na primeira, a Era da Inspeção (1900-1930), a produção era artesanal e em pequenos lotes. Com o aumento populacional e conseqüentemente a demanda, a produção precisou seguir um sistema de medidas de gabaritos para que os produtos fossem elaborados de forma precisa. Nessa época não existia uma análise sobre as causas e os defeitos da produção. E por muito tempo, os parâmetros da indústria era de produzir, inspecionar, aceitar ou não os produtos. Somente anos após foi observado a necessidade de um conhecimento mais eficiente e econômico para gerir melhor a manufatura (GARVIN, 2002; MAXIMIANO, 2006).

Na era na qual o Controle Estatístico da Qualidade desenvolveu-se (1930-1950), ocorria a rápida mudança na tecnologia industrial, onde as ferramentas estatísticas e de amostragem começaram a ser utilizadas. No contexto da época, havia a preocupação na inspeção de produtos. Walter A. Shewart apresentou o conceito do Controle Estatístico da Qualidade, nos seus estudos na Bell Telephone Laboratories, onde se observava os problemas da qualidade, reconhecendo a variabilidade na produção, de acordo com as especificações da peça a ser produzida (BALLESTERO-ALVAREZ, 2001).

Na Era da Garantia da Qualidade (1950-1980), o questionamento sobre a qualidade deixa de ser apenas pertencente ao chão de fábrica, com enfoque na prevenção de problemas. Os principais movimentos que compõe essa era foram: a quantificação de custos da qualidade, controle total da qualidade, técnicas de

confiabilidade e o programa Zero Defeitos de Crosby (1990), suas descrições estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Metodologias marcantes da Garantia da Qualidade

METODOLOGIA	DESCRIÇÃO
Quantificação dos Custos da Qualidade (QCQ)	Metodologia que sinalizava aos gestores os resultados das ações de quantidade sobre os custos industriais.
Controle da Qualidade Total (CTQ)	Controle significa que o processo está sendo inspecionado e que produz os resultados desejados. Total por envolver todos os colaboradores e atividades da organização. Qualidade é um conjunto de características que fazem com que o consumidor prefira um determinado produto.
Técnicas de Confiabilidade	O objetivo era o de evitar falhas do produto. A técnica Análise de Efeito e Modo de Falha (FMEA) foi desenvolvida nesse período.
Programa Zero Defeito (PZD)	Sua filosofia era a de fazer o trabalho corretamente e uma única vez, para evitar o retrabalho, o custo e o desperdício.

Fonte: Adaptado de Bueno (2006)

A Era da Gestão Estratégia da Qualidade apresenta que a responsabilidade pela qualidade é de todos os departamentos de uma empresa. Essa Era é marcada pela preferência dos consumidores, pois são eles que aceitam ou não os produtos. Estrategicamente, qualidade é eliminar a inadequação dos produtos e serviços. Além disso, busca pela melhoria contínua de produtos e processos, treinamentos, comprometimento e desenvolvimento dos colaboradores de todos os setores. (GARVIN, 2002; MELO FILHO; CHENG, 2007).

Garvin (2002) afirma também que não somente o enfoque no cliente e melhoria contínua são importantes, mas também educação e treinamento são de grande importância. Além disso, é preciso dar enfoque a avaliação de

programas, planejamento de objetivos relacionados com a qualidade e a aproximação dos departamentos nas empresas.

Em seguida no Quadro 2 é demonstrado as “Eras” da qualidade e suas particularidades, de acordo com Garvin (2002):

Quadro 2 - As “Eras” da qualidade e suas características

Característica	Ênfase	Métodos	Papel dos profissionais	Responsável
Inspeção	Um problema a resolver	Um problema a resolver	Inspeção, avaliação, classificação, contagem e reparo	Departamento de inspeção
Controle	Uniformidade do produto com menos inspeção	Ferramentas e técnicas estatísticas	Solução de problemas e aplicação de métodos estatísticos	Departamento de fabricação e engenharia (Controle de Qualidade)
Garantia	Toda a cadeia, e a contribuição de todos os grupos	Programas e sistemas	Planejamento e medição da qualidade e desenvolvimento de programas	Todos os departamentos com envolvimento superficial da alta administração
Gestão Estratégica	As necessidades do mercado e do cliente	Planejamento estratégico e estabelecimento de objetivos e mobilização da organização	Planejamento estratégico e estabelecimento de objetivos e mobilização da organização.	Todos na empresa, com a alta administração exercendo liderança

Fonte: Adaptado de Garvin (2002)

2.2 Definições de Qualidade

A qualidade de uma maneira geral, tem sido avaliada pela literatura como uma área de alta relevância, principalmente em cenários onde as mudanças ocorrem de maneira rápidas e constantes. O conjunto de parâmetros e características ao ser analisado é o que define a qualidade de um produto. O produto como o todo não é apenas observado pela parte física, mas também sua imagem e serviços vinculados a ele (BATALHA; AMARAL, 2000; TOLEDO, 2013).

De acordo com Montgomery (2004, p. 01):

A qualidade tornou-se um dos mais importantes fatores de decisão dos consumidores na seleção de produtos e serviços que competem entre si. O fenômeno é geral, independente do fato de o consumidor ser um indivíduo, uma organização industrial, uma loja de varejo, ou um programa militar de defesa. Conseqüentemente, compreender e melhorar a qualidade é um fator chave que conduz ao sucesso, crescimento e a uma melhor posição de competitividade de um negócio. A melhor qualidade e o emprego bem-sucedido da qualidade como parte integrante da estratégia geral da empresa produzem retorno substancial sobre o investimento. (MONTGOMERY, 2004, p. 01)

Com a implementação de programas de gestão da qualidade, as empresas podem utilizar as informações obtidas para caracterizar os seus pontos fortes, fracos, erros e áreas para melhorias. Podendo a empresa dispor de um maior valor global aos seus clientes. Se faz necessário criar um produto de alta qualidade e/ou oferecer um serviço de alto desempenho que satisfaça ou supere as expectativas dos consumidores internos e externos. As empresas que derem atenção para a gestão da qualidade, conseguirão um plano para o seu próprio sucesso (SIDIN; WAFA, 2014).

Alguns pesquisadores populares na literatura como estudiosos da área, ou os chamados “gurus” da qualidade apresentaram definições diversas sobre esta. Um deles, Juran em 1999, estabeleceu que qualidade é adequação ao uso.

Deming em 2000 cita que, qualidade significa atender e, se possível, exceder as expectativas do consumidor (SOKOVIC; PAVLETIC; PIPAN, 2010). Crosby em meados de 1985 firmou a ideia de que qualidade significa atender as especificações. Taguchi em 1999 propôs o significado, a produção, o uso e o descarte de um produto sempre acarretam prejuízos para a sociedade, e quanto menor for o prejuízo, melhor será a qualidade do produto (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

Por outro lado, Walter A. Schewhart teve a percepção que as ocorrências de variabilidade aos processos produtivos podem ser percebidas e sanadas de maneira antecipada. Com a concepção de qualidade como conformidade do produto, segundo as especificações, foi possível mensurar o controle da produção e elaborou métodos gráficos para o controle da qualidade (GARVIN, 2002; PALADINI, 2000).

Nesse sentido, com o desenvolvimento de técnicas e métodos foi possível notar como a qualidade é de grande importância para uma empresa. Para a implementação da Qualidade Total se faz o uso das suas ferramentas. Que são técnicas que tem como objetivo, definir, mensurar, analisar e sugerir soluções para problemas que apareçam e que, possam comprometer um processo. Tais técnicas foram desenvolvidas com o tempo, e desde então são de grande valia para as organizações. Pois, o seu uso busca a melhoria da qualidade de produtos, serviços e processos (PALADINI et al., 2012).

As sete ferramentas estatísticas da qualidade são um conjunto de técnicas gráficas usadas para compreender e melhorar o processo de produção. A denominação “sete ferramentas da qualidade” surgiram no Japão, logo após a Segunda Guerra Mundial, quando as empresas precisaram capacitar grande quantidade de mão de obra para o controle da qualidade. Como não era possível ensinar estatística para todo chão de fábrica, isto é, todos os trabalhadores, foram concentrados esforços no treinamento de pessoas para desenhar gráficos que fossem simples, mas resolvessem a maior parte das questões (VIEIRA, 2014, p. 07).

Dentro do escopo da função qualidade, as diversas ferramentas são aplicadas no contexto industrial. Os gráficos de controle são os mais comuns para determinar se um processo está sob controle do ponto de vista estatístico (MASON; JIJU, 2007). Mas, além dessa, outras ferramentas são citadas na literatura, como: fluxograma, diagrama de causa e efeito, folha de verificação, diagrama de Pareto, histograma e diagrama de dispersão (MADANHIREA; MBOHWA, 2016).

2.2.1 Fluxograma

Trata-se de uma representação gráfica que apresenta os passos de um processo. Tem como finalidade descrever e estudar um processo e/ou planejar as etapas de um novo (MALIK; SCHIESARI, 1998). É uma ferramenta de grande valia, tanto para o planejamento quanto para monitoramento/acompanhamento. Segundo Ramos (2000) grande parte da variação que possa existir em um processo pode ser mitigada somente quando se conhece o processo de manufatura. Isto é, que a sequência de produção, ou etapas, influenciam na variabilidade final das características do produto.

Através do fluxograma é possível analisar ações desnecessárias, pontos de estrangulamento, falhas e outros erros. Tem como finalidade a facilidade visual, pois utiliza símbolos simples e de fácil compreensão para os funcionários. Assim, dá para identificar pontos críticos que necessitam ser avaliados (VIEIRA, 2014).

2.2.2 Diagrama de causa e efeito

Esse tipo gráfico foi desenvolvido em 1943 por Kaoru Ishikawa. Chamado também de diagrama de Ishikawa, ou gráfico de espinha de peixe. Kaoru utilizou desse gráfico para explicar como diversos fatores podem ser comuns entre si e suas correlações. Para Carpinetti (2012, p. 83) esta ferramenta:

[..] foi desenvolvida para representar as relações existentes entre um problema ou o efeito indesejável do resultado de um processo e todas as possíveis causas desse problema, atuando como um guia para a identificação da causa fundamental deste problema e para a determinação das medidas corretivas que deverão ser adotadas (CARPINETTI, 2012, p.83).

O Diagrama de Causa e Efeito leva às causas, sem necessariamente mostrar a raiz dos problemas. Essa ferramenta estabelece a relação entre suas causas e efeitos. É possível também ser desenhado com o intuito de achar melhorias, que possam se estender a outros departamentos da empresa (VIEIRA, 2014).

2.2.3 Folha de verificação

Esta ferramenta trata-se de uma folha onde se registra as informações coletadas. Estas, são organizadas de acordo com as exigências de cada usuário. Com a funcionalidade de registro de dados por julgamento, medição, teste ou observação, também chamada de *Check-list* (PALADINI, 2012; VIEIRA, 2014).

2.2.4 Diagrama de Pareto

Esse modelo de gráfico é estruturado em ordem decrescente de importância, estabelecendo prioridades. No eixo horizontal são colocados os tipos de perdas e no vertical, as quantidades perdidas. É possível identificar de forma rápida os defeitos mais frequentes (MONTGOMERY, 2004).

O gráfico de Pareto foi apresentado por Pareto em 1987, este apresenta os dados de forma que possa dividir um problema grande em um número de problemas menores, através de uma leitura rápida dos dados, identificando os pontos vitais para análise (KUME, 1993). De acordo com Pimentel (2007), o objetivo desse gráfico é, além de apresentar as contribuições relativas das falhas de um problema, identificar e separar as causas graves das vitais (80% dos problemas deve-se a 20% das causas), e ainda detectar os esforços a serem priorizados.

Pimentel (2007) afirma que o Diagrama de Pareto se define de duas maneiras:

- Por efeitos: usado para identificar qual o maior problema entre os resultados não desejados;
- Por causas: este se relaciona com as causas do processo, pois é usado para identificar qual a maior causa do problema. Exemplo: máquina, ferramenta, matéria-prima.

2.2.5 Histograma

O histograma, conforme cita Carvalho et al. (2012, p. 367-368), é uma ferramenta amplamente utilizada na estatística, tendo como função “[...] descrever as frequências com que variam os processos”. Pode ser chamado de “[...] sumário gráfico da variação de uma massa de dados”. Os histogramas trazem os dados de uma maneira que estes possam ser facilmente visualizados e entendidos.

De acordo com Carpinetti (2012, p. 85), “o histograma é um gráfico de barras no qual o eixo horizontal, subdividido em vários pequenos intervalos, apresenta os valores assumidos por uma variável de interesse”. Uma barra vertical é construída para cada intervalo e este deve ser proporcional ao número de observações.

2.2.6 Diagrama de dispersão

Quando se tem um gráfico de pares ordenados (x, y), pode-se elaborar um diagrama de dispersão. Neste caso, cada par ordenado é plotado em um plano cartesiano. A variável x (independente ou explanatória) é medida na direção horizontal e a variável y (dependente ou resposta) é medida na direção vertical. Desta forma é possível perceber se, em um diagrama de dispersão existe uma correlação linear, isto é, se o alinhamento dos pontos se aproxima de uma reta (LARSON; FARBER, 2010).

Análises desse tipo, identificam se as variáveis (conjunto de dados) associadas variam em direção ao mesmo sentido ou em sentidos opostos ou não há correlação entre as variáveis. Nesse sentido, para determinar o grau de

associação da correlação entre dois conjuntos de dados mede-se o coeficiente de correlação amostral, r , (também conhecido como coeficiente de correlação de Pearson), que varia entre o intervalo de -1,0 e +1,0 (BAPTISTA, 2009).

A equação matemática empregada no cálculo de r , é:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Equação 1: coeficiente de correlação

Onde:

X e Y são as variáveis aleatórias, onde são medidas numéricas de associação linear existente entre as variáveis.

Segundo Doane e Lori (2014, p. 486), “quando r está próximo de zero, existe pouca ou nenhuma relação linear entre X e Y. Um valor de r próximo a +1 indica uma relação linear positiva forte, enquanto um valor de r próximo a -1 indica uma relação linear negativa forte.”

2.2.7 Gráfico de controle

Esse tipo de gráfico procura especificar as limitações (superiores e inferiores) de acordo com as medidas estatísticas associadas a uma certa população, que é determinada no processo analisado. Esse modelo foi desenvolvido por Shewhart na década de 20, como um dispositivo para uso de chão de fábrica para uso dos operários, por isso a sua configuração é simples e de fácil utilização (COSTA; EPPRECHIT; CARPINETTI, 2005; PALADINI, 2012).

Em outras palavras, é um gráfico em linha que torna possível a visualização dos dados coletados em relação aos limites estabelecidos de controle, mínimo, máximo e médio; o que permite visualizar a performance e/ou desempenho do processo em relação aos padrões estabelecidos (SELENE; STADLER, 2008).

O objetivo dessa ferramenta é apresentar a variabilidade inerente do processo ao longo do tempo. Existem três linhas paralelas: a central, a superior (LSC), e a inferior (LIC). Os LSC e LIC dão os limites das faixas de variação dos pontos. Esses pontos são ligados por retas, mostrando a evidência da sequência das amostras retiradas do processo (LAM et al., 2005). Conforme Ribeiro e Caten (2012), os conceitos a respeito dos limites podem ser apresentados como:

1.Linha Central (LC): representa o valor médio em monitoramento. Quando os valores das amostras analisadas se encontram próximos a ela, indica que o processo está sob controle e apenas causas aleatórias se fazem presentes;

2.Limite Inferior de Controle (LIC): representa o valor mínimo aceitável para o processo em análise. Se as amostras se encontram abaixo desse limite, o processo não está sob controle estatístico;

3.Limite Superior de Controle (LSC): representa o valor máximo aceitável para o processo em análise. Se as amostras se encontram acima desse limite, o processo não está sob controle estatístico (RIBEIRO; CATEN, 2012).

Através das cartas de controle é possível identificar as causas especiais e comuns de variação. As causas que não fazem parte do processo, são as causas comuns, exemplo: máquina desregulada ou defeitos na matéria-prima. As causas especiais são imprevisíveis, incomuns e inesperadas, quando há a sua presença, o processo se encontra fora de controle. Os pontos do gráfico se encontram fora dos limites de controle ou com disposição não aleatória (CAROLAN; KROS; SAID, 2009).

Existem outras maneiras que apresentam que o gráfico está fora de controle, se o mesmo apresentar pontos em disposição aleatória. Quando as amostras apresentam “subidas” e “descidas” com intervalos regulares, é chamado Periodicidade (*cyclic pattern*). Isso pode ser por conta de mudanças periódicas no processo, como troca periódica de funcionários ou máquinas (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI; 2012; DODGE, 2006).

O processo pode estar fora de controle quando os pontos apresentam um comportamento chamado Tendência (*trend*), ou seja, são direcionados de forma nítida para baixo, ou para cima. Isso se dá por conta de algum erro gradual de um fator crítico, como por exemplo, desgaste de alguma ferramenta. Pode ocorrer também o Deslocamento (*Shift*), onde há uma mudança da performance do processo. Isso pode ser ocasionado pela introdução de novos funcionários, métodos e máquinas (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI; 2012; VIEIRA, 2014).

De acordo com Montgomery (2004), a utilização de gráficos de controle traz vantagens como: previne a incidência de defeitos, evita ajustes desnecessários no processo, proporciona aumento de produtividade e fornece um diagnóstico da situação atual dos processos. E apresenta cinco razões para o seu uso, de acordo com Montgomery (2004), sendo:

1. O Gráfico de controle é uma técnica comprovada para a melhoria da produtividade, reduzindo sucatas e retrabalho e, conseqüentemente, aumento de produtividade e baixo custo do produto;
2. São eficazes na prevenção de defeitos, pois, com o processo sob controle, a organização produz certo da primeira vez;
3. Com os gráficos de controle, o operador intervém sobre o processo com a certeza, de um fundamento teórico e provável, de que o processo está fora de controle, ou seja, "se não está quebrado, não conserte";
4. Fornecem informações de diagnóstico. Para um operador ou engenheiro experiente, pode-se tirar, por meio dos pontos do gráfico de controle, uma possível mudança no processo que melhore seu desempenho;
5. Fornecem informações sobre a capacidade do processo, informam os valores de seus parâmetros mais importantes e também a estabilidade ao longo do tempo, permitindo que se estime a capacidade dos processos em atender às especificações dos clientes. (MONTGOMERY, 2004).

As cartas de controle podem ser tanto por atributos ou por variáveis, sua escolha será de acordo com o processo. As cartas por atributo analisam a variação do número ou da proporção de itens não conformes. O gráfico de

controle para variáveis estuda características quantitativas, exemplo: peso, comprimento e densidade (SELENE; STADLER, 2008; VIEIRA, 2014).

2.2.7 5W2H

Dentre as diversas ferramentas utilizadas na gestão empresarial, a 5W2H é uma das mais utilizadas. Trata-se de um método de gestão de qualidade que visa analisar o problema com o objetivo de alcançar soluções viáveis. Esta ferramenta ajuda na obtenção de uma perspectiva clara sobre os vários constituintes de um problema e, portanto, ajuda a melhorar o processo global (GAYATHRI; MANGAIYARKARASI, 2018).

Para Werkema (1995), ao trabalhar na gestão de um processo, esta é uma ferramenta muito simples para ajudar a pensar em oportunidades de melhoria. Na ótica de Morais e Costa (2013), esse método pode ser empregado em mapeamento e padronização de processos e ainda servir de base para elaboração de plano de ação. Behr et al. (2008, p. 39) ainda apontam que “essa ferramenta ajuda a melhorar a segregação de tarefas dentro de um processo e a ver, de maneira gerencial, como os processos estão se desenvolvendo.”

Em suma, tem-se que o 5W2H caracteriza-se, de acordo com Broday e Andrade Júnior (2013), como uma técnica para encontrar informações sobre um problema e suas causas. Logo, 5W2H significa 5 Ws e 2Hs ou *Why* (Por quê?), *What* (O que?), *Who* (Quem?), *When* (Quando?), *Where* (Onde?), *How* (Como?) e *How Much* (Quanto?). Assim, segundo Nagyova et al. (2015), os quesitos tem como princípios:

- *What*: qual o problema? O que será desenvolvido?
- *When*: quando a ação será executada?
- *Why*: por qual razão essa ação deverá ser implementada (resultado esperado)?
- *Where*: qual nível de abrangência da ação? Onde será executada?
- *Who*: quem será o responsável pela execução da ação?
- *How*: de que forma (como) a ação deverá ser conduzida?
- *How Much*: quanto custará?

Contudo, salienta-se que o objetivo do 5W2H não é apenas identificar a causa de uma falha, mas também facilitar a implementação de ações corretivas e preventivas eficazes. Este fato deriva da ideia de que, se a organização remover a causa da falha, ela impedirá a recorrência do(s) mesmo(s) problema(s) (CUSTÓDIO, 2015).

2.3 Controle Estatístico de Processo

Controle Estatístico de Processo (CEP) é a junção das ferramentas estatísticas que buscam o monitoramento e melhorias da qualidade em um processo. Onde determina-se variações baseadas nas amostragens, que permitem uma avaliação da variabilidade, tendo por objetivo reduzir perdas, intensificar a produtividade, padronizar o processo e buscar a melhoria contínua da qualidade (ADEOTI; OLAOMI, 2017).

O CEP identifica a variabilidade do processo e permite o seu controle ao longo do tempo. Pois, detecta as anomalias, proporcionando maior consistência e previsão do que pode acontecer nos processos. Logo, da base às tomadas de decisão e às melhorias para as organizações (MAUGERI; ARCIDIACONO, 2014). Montgomery (2016) afirma que o objetivo principal do Controle Estatístico de Processo é a identificação rápida de causas atribuíveis das mudanças do processo, essa investigação e a ação corretiva podem ser feitas antes que o processo se encontre fora do controle, podendo acarretar em grandes perdas financeiras para a empresa.

De acordo com Pitt (1994), o CEP faz o uso de métodos estatísticos, onde busca soluções para os quesitos referentes à qualidade, entendimento e previsão dos processos. Dentre uma das ferramentas bastante usadas são os gráficos de controle ou cartas de controle. Tais cartas acompanham e monitoram o processo, pois permitem a identificação de causas especiais (WU; YANGA; KHOOB, 2011).

2.4 Variabilidade em Processos

Todo processo possui variabilidade, que corresponde a distinções nas características dos produtos produzidos. Duas peças nunca serão produzidas exatamente iguais. Essa variação pode vir de diferentes fontes, como matéria-prima, meios de medição, máquinas, funcionários e fatores gerenciais (CARVALHO, 2005; VIEIRA, 2014).

A variabilidade está sempre presente em qualquer processo produtivo, independente de quão ele seja projetado e operado. Se compararmos duas unidades quaisquer, produzidas pelo mesmo processo, elas jamais serão exatamente idênticas. (...). Para o gerenciamento do processo e redução da variabilidade, é importante investigar as causas da variabilidade no processo. O primeiro passo é distinguir entre causas comuns e causas especiais (RIBEIRO; CATEN, 2012).

As causas comuns são de natureza aleatória, causam uma variabilidade natural, e têm um padrão consistente ao longo do tempo. Assim que são descobertas precisam ser retiradas, para que não haja comprometimento no desempenho do processo. O processo é dito como estável ou sob controle estatístico, quando há apenas presença de causas comuns. Exemplo: folgas normais entre os componentes da máquina, desgaste natural de uma ferramenta e pequenas oscilações da energia elétrica (RIBEIRO; CATEN, 2012; GRAÇA, 1996).

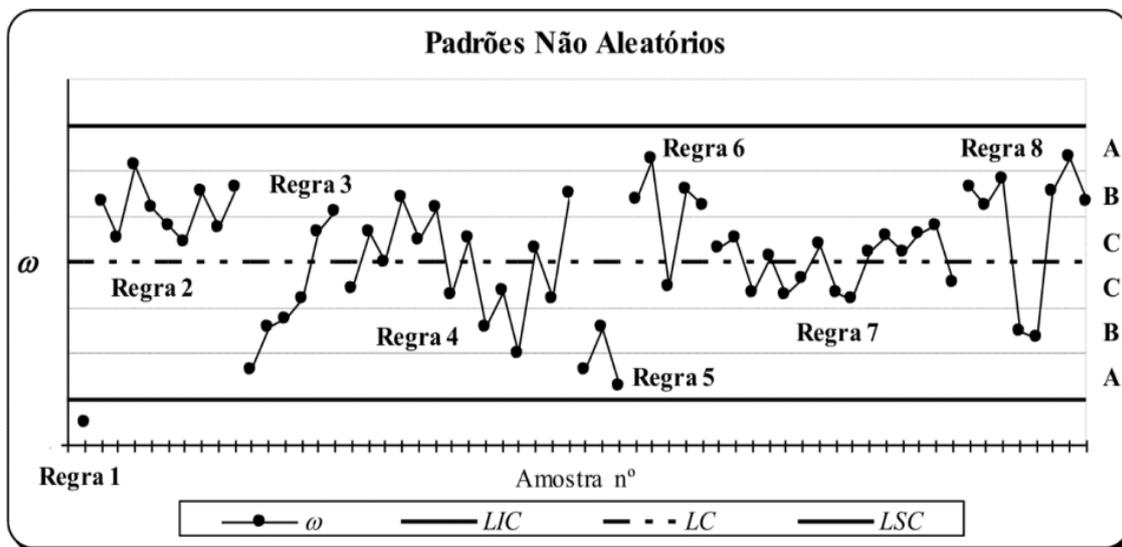
Essa variabilidade natural pode ser modificada com a presença de causas especiais (atribuíveis) de variação. Pois, são de natureza imprevisíveis, inesperadas e incomuns. Esse tipo de causa alteram o padrão natural de operação, deslocam a média da característica monitorada, causam grandes variações, e geralmente são acidentais. Quando forem detectadas precisam ser retiradas rapidamente do processo. Exemplos: quebra de ferramenta, operador inexperiente e queda de energia (MONTGOMERY, 2004).

2.5 Identificação de causas especiais

Quando se faz o uso de cartas de controle, analisa-se o comportamento da distribuição dos pontos. Tal comportamento demonstra se há ou não uma causa de variação no processo. A carta de controle é seccionada em zonas, (A, B e C), para que dessa forma possa fazer a interpretação da ocorrência de causas especiais. A partir da determinação dos limites de controle é possível dividir as seis zonas igualmente, obedecendo tal regra: $LC \pm 3\sigma\omega$, que tem um intervalo de 1σ e simétricas à linha central (Figura 2). De acordo com a norma ISO 7870-2:2013 (Cartas de Controle – Parte 2: Cartas de Controle de Shewhart), as regras mais utilizadas são as chamadas Western Electric Rules, onde determina oito regras que identificam as causas especiais de variação, sendo elas: (demonstradas na Figura 1)

1. Um qualquer ponto fora dos limites de ação.
2. Nove pontos consecutivos na zona C ou para além da zona C do mesmo lado da linha central.
3. Seis pontos consecutivos no sentido ascendente ou descendente.
4. Catorze pontos consecutivos crescendo e decrescendo alternadamente.
5. Dois de três pontos consecutivos na zona A, ou além desta zona, do mesmo lado da linha central.
6. Quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou A, ou além destas zonas, do mesmo lado da linha central.
7. Quinze pontos consecutivos na zona C acima e abaixo da linha central.
8. Oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha central, sem nenhum na zona C.

Figura 1: Regras de identificação de causas especiais de acordo com a ISO 7870-2:2013



Fonte: Ramos (2017)

Figura 2: Definição das zonas de uma carta de Shewhart com distribuição Normal



Fonte: MATOS (2016)

2.6 Determinação dos limites de controle

Lam et al. (2005) afirmam que os limites de controle tanto superior, quanto inferior indicam a variabilidade relativa do processo. Se no processo não constam causas especiais, a probabilidade de um ponto ultrapassar os limites é inferior a 1%, isso se deve aos cálculos usados para a determinação dos mesmos.

Após coletar 20 amostras ou mais, é possível calcular os limites de controle de uma carta para variáveis, sem que o processo em análise demonstre alguma anormalidade. Depois da coleta, determina-se os limites de controle para a média e amplitude, fazendo comparação com as amostras do processo. Caso

haja a pontos fora dos limites, os mesmos devem ser retirados das amostras e calculados novamente os limites (KONRATH, 2002).

De acordo com Soares (2000), os gráficos por atributos rapidamente são obtidos, mas podem mostrar controle com menos precisão. Já nos gráficos por variáveis, que são mais indicados para processos de produção, os mais usados são:

- a) Gráfico \bar{X} e R (média e amplitude): são anotadas as médias das amostras e a variabilidade é analisada via sua amplitude. Com os cálculos fáceis de serem elaborados. Geralmente esse tipo de gráfico é utilizados em tamanho da amostra menor que seis ($n < 6$);
- b) Gráfico \bar{X} e s (média e desvio-padrão): é utilizados para grandes amostras. As médias amostrais são registradas e a variabilidade é analisada via seu desvio-padrão. Porém, esse tipo de gráfico é mais difícil de ser interpretado;
- c) Gráfico \bar{X}_{med} e R (mediana e amplitude): onde as medianas e as amplitudes são anotadas. Não há necessidade de cálculos, tem maior facilidade no controle contínuo. Mas, a mediana é um estimador mais fraco que a média;
- d) Gráfico \bar{X}_i e R (valor individual e amplitude): são anotados valores individuais das medições. É aconselhável usar esse gráfico em situações especiais como processos com baixa variabilidade.

O Anexo A dispõe das equações para a determinação dos limites controle dos gráficos descritos. Deve-se considerar os valores de A2, A3, B3, B4, D3 e D4, nos quais estão disponíveis em tabelas estatísticas (ANEXO B).

2.7 Plano de Amostragem

Uma das fases do planejamento estatístico é o seu plano de amostragem, onde é a determinação da amostra do processo a ser realizado, onde após dessa determinação irá ocorrer a coleta de dados para análise de um procedimento (ELUAN, 2014). Para Morettin e Bussab (2005):

A descrição de um plano amostral deve especificar o universo de investigação, as unidades amostrais, os critérios de estratificação, os procedimentos de sorteio das unidades amostrais, as probabilidades de inclusão, os estimadores e os respectivos erros amostrais. Desse modo, saberemos do que é e de quem estamos falando e avaliando os desvios esperados para as estimativas (MORETTIN; BUSSAB, 2005).

Ainda de acordo com Morettin e Bussab (2005), as vantagens dos métodos de amostragem são:

- a) Custo reduzido: com uma fração menor a ser analisada, as despesas também ficam menores. E mesmo assim, consegue-se atingir resultados com precisão;
- b) Maior rapidez: dados podem ser analisados mais rápido do que se for analisar um censo integral;
- c) Maior amplitude: as amostras conseguem representar a população analisada;
- d) Maior exatidão: por analisar melhor as amostras do que o censo integral, consegue-se atingir os objetivos com exatidão.

Vieira (2014) afirma que quando as amostras são pequenas e de mesmo tamanho utiliza o gráfico \bar{X} - R. O gráfico de controle R (*within samples*) mede a variabilidade dentro das amostras, e o \bar{X} (*between samples*) monitora a variação entre elas.

A inspeção por amostragem é uma estratégia viável e amplamente utilizada com o intuito de inspecionar um lote, onde, através da conformidade do item amostral, o lote será considerado conforme (BORROR, 2008). De acordo com Paladini (2002), uma amostra deve ser de tamanho suficiente a ponto de representar a população. Antes de desenvolver o gráfico de controle é necessário que seja estabelecido o tamanho das amostras e a frequência da amostragem.

Além disso, Davis (2001, p. 196) completa a afirmação, dizendo que “o Tamanho das Amostras, Número de Amostras e Frequência da Amostragem são

fatores importantes na seleção dos tipos de gráficos e métodos de análise e representatividade do processo em observação.”

Bittencourt (2014, p. 29) cita que:

As técnicas de amostragem se dividem em: probabilísticas e não probabilísticas. As técnicas probabilísticas são aquelas onde todos os elementos da população têm uma probabilidade não nula de seleção; é possível associar probabilidade de seleção a todos elementos que compõem a população. Nas técnicas não-probabilísticas não podemos garantir que todos elementos têm probabilidade de serem selecionados para a amostra (BITTENCOURT, 2014, p. 29).

Montgomery (2004) cita que em casos onde a variável comporta-se de modo intervalar e a população estudada é classificada como finita, pode-se determinar o tamanho da amostra pela Equação 2:

$$n = \frac{Z^2 \cdot \sigma^2 \cdot N}{d^2(N - 1) + Z^2 \cdot \sigma^2}$$

Equação 2: Tamanho da amostra

onde:

Z = abscissa da normal padrão;

σ^2 = variância populacional;

N = tamanho da população;

d = erro amostral.

Em suma, segundo Martins (2005), tratando-se do tipo de amostragem a ser aplicado, o tipo aleatória simples é mais utilizada, sendo as amostras sorteadas a partir de uma população até alcance do número total necessário para a pesquisa. Por outro lado, a amostra considerada sistêmica, é retirada de acordo com critérios pré-estabelecidos. A chamada estratificada adequa-se a populações do tipo heterogêneas, diferenciando os subgrupos, chamados estratos. Após a definição dos estratos citados, tem-se a escolha das amostras aleatórias simples de cada subgrupo (MARTINS, 2005)

2.8 Subgrupos Racionais

Para construir um gráfico de controle é primordial que seja formado o seu subgrupo racional, ou, chamado de amostra por alguns autores. Que são os itens produzidos e retirados de uma produção com o objetivo de fornecer informações sobre tal (WERKEMA, 1995). Se houver alguma interferência no processo de produção, dificilmente irá ocorrer durante se forma o subgrupo. Pois, estes minimizam a probabilidade da amostra ser formada de diferentes populações. Por exemplo, ao invés de coletar 50 peças em uma única vez no processo, são retiradas amostras de subgrupos, observando-as ao longo do tempo (COSTA et al., 2005).

Segundo Juran (1991), para definir o subgrupo (n) é preciso buscar equilibrar o tempo de coleta, o custo de inspeção e sensibilidade dos gráficos. Não é preciso fazer a coleta em tempos precisos, porém a sua frequência amostrais seguem de acordo com o seu tamanho. O critério para determinar o tamanho e a frequência de coleta é:

- a) Amostra grande – baixa frequência: para apresentar um menor desvio-padrão da distribuição das médias, usa-se subgrupos grandes. Com limites de controle 3σ mais rigorosos e sensíveis no gráfico \bar{X} . Adota-se subgrupo como grande quando $n \geq 10$;
- b) Amostra pequena/moderada – alta frequência: nesse caso o processo geralmente está sob controle estatístico, logo, a produção de itens não conformes é baixa. O tamanho desse subgruo geralmente é $n=4$ a $n=6$;
- c) Amostras de $n=1$ (individual): usa-se quando a análise é caracterizada como destrutiva ou em processos cujo o único dado é suficiente para obter informações.

2.9 Capacidade e Capabilidade de um processo

A análise da Capacidade de um processo, segundo Rotondaro et. al (2002) tem como propósito estimar se o mesmo é capaz, efetivamente, de

cumprir as especificações requisitadas pelos clientes em relação a um produto e/ou serviço específico. Para isto, utiliza-se os índices: Cp, Cpk, Cpm, Cpmk.

- Índices de capacidade - Cp

Este índice, segundo Spiring et al. (2003), conceituado como de capacidade potencial do processo, considera a dispersão do processo comparado aos limites de especificação. Ou seja, entende o processo centrado no valor nominal especificado, sendo definido, de acordo com Montgomery (2016), pela Equação 3:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Equação 3: índice de capacidade

Onde:

Cp = índice de capacidade;

LSE = limite superior da especificação;

LIE = limite inferior da especificação;

σ = desvio-padrão do processo.

De acordo com Montgomery (2004), quando:

- a) $C_p < 1,00$: Entende-se que o processo é considerado incapaz;
- b) $1,00 \leq C_p < 1,33$: Tem-se que a capacidade do processo está dentro da especificação exigida, contudo o processo é relativamente incapaz sendo pouco confiável.
- c) $1,33 \leq C_p < 2,00$: Diz-se que o processo é capaz com boa confiabilidade;
- d) $C_p \geq 2,00$: O processo é considerado excelente e altamente confiável.

- Índices de capacidade – Cpk

Este índice, considera que o processo não está em sua totalidade centralizado. Trata-se de uma razão unilateral da capacidade, sendo estimada

observando o limite de especificação mais aproximado da média calculada (MONTGOMERY, 2004). Yum e Kim (2011) complementam, afirmando que este indicador será sempre inferior ou igual ao Cp. O Cpk é obtido através da Equação 4:

$$C_{pk} = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right)$$

Equação 4: capacidade real do processo

Onde:

Cpk = capacidade real do processo;

LSE = limite superior da especificação;

LIE = limite inferior da especificação;

μ = média do processo;

σ = desvio-padrão do processo.

Caso o processo esteja centralizado, o valor de Cp será igual ao Cpk obtido. Para Cp diferente de Cpk, tem-se que o processo está descentralizado, o que reflete o fato de que a média não está em coincidência com o valor nominal especificado (KANE, 1986).

- Índice de desempenho – Cpm

O indicador, atua de forma a comparar o desempenho do processo observado com a variação máxima estipulada pela tolerância calculada. Além disso, exibe uma medida do comportamento do processo em relação ao atendimento das necessidades de variabilidade, não sendo influenciado pela centralização do processo (IQA, 2005). É calculado com a Equação 5:

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

Equação 5: índice de desempenho

Sendo:

LSE = limite superior de especificação;

LIE = limite inferior de especificação;

μ = média do processo;

σ = desvio-padrão do processo;

T = valor nominal da especificação.

Neste caso, quando há aumento na variabilidade do processo, o denominador do índice Cpm aumentará, levando ao valor do índice a diminuir. Além disso, este índice apresenta uma vantagem quando comparado ao índice Cp: este fornece uma boa ideia da capacidade do processo (CHAN; CHENG; SPIRING, 1988).

- O índice de desempenho real – Cpmk

O índice considera a menor distância entre a média do processo e os limites especificados no numerador. Sua obtenção é dada pela Equação 6:

$$C_{pmk} = \min \left(\frac{LSE - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - LIE}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right)$$

Equação 6: índice de desempenho real

Onde:

LSE = limite superior de especificação;

LIE = limite inferior de especificação;

μ = média do processo; σ = desvio-padrão do processo.

T é o valor nominal da especificação

A metodologia de controle pode ser aplicada em diversos tipos de processos, em uma ampla variedade de segmentos. Uma das possibilidades de intervenção é no processo de fabricação de chapas de gesso tipo *drywall*.

3.0 Processo industrial de chapas de gesso tipo *drywall*

Como todo processo, na fabricação de chapas *drywall*, alguns insumos são utilizados e, dentre eles, o principal é o gesso em pó. Porém, antes do gesso configurar-se em pó, a extração do minério, ou seja, da gipsita, é feita. Trata-se de um mineral compacto de baixa dureza, tendo como fórmula química $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2008).

De acordo com Barbosa, Ferraz e Santos (2014, p. 501):

Após a extração, a gipsita passa por alguns processos de beneficiamento para adequação ao tipo de forno onde será calcinada. Basicamente, as etapas são as seguintes: britagem, moagem grossa; estocagem; secagem; moagem fina e acondicionamento. A calcinação é o processo térmico pelo qual a gipsita é desidratada (BARBOSA; FERRAZ; SANTOS, 2014, p. 501).

Após calcinada, a gipsita já possui formato de gesso em pó, que será a base da produção das placas tipo *drywall*. No ambiente fabril, a primeira operação envolve o estiramento do papel que revestirá a placa, ou seja, o papel cartão (NDUKWE; YUAN, 2016). Logo em seguida, são adicionados ao gesso em pó, num misturador, além da água, aditivos para gerar uma pasta. Concluída esta fase, a mistura é disposta sobre o papel numa esteira, configurando o processo de laminação contínua entre duas folhas do cartão próprio, que aderem química e mecanicamente ao gesso, formando painéis estruturados (BAUER, 2012; NAKAMURA, 2013).

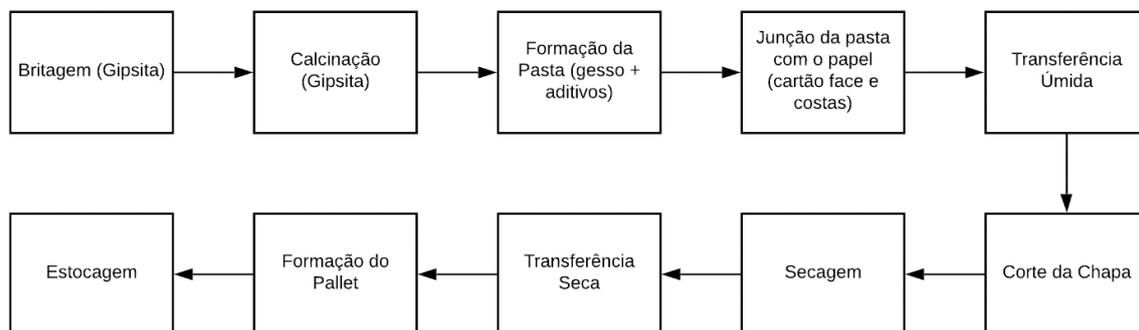
Na etapa seguinte do processo, um equipamento do tipo extrusor definirá a espessura da placa. Contudo, nessa atividade, chamada de Transferência Úmida, a mistura ainda se comporta como pasta, sendo necessário adicionar uma segunda folha de cartão, formando assim uma placa com duas faces de papel. Sobre uma correia de formação, o gesso reage com a água, endurecendo antes do corte que definirá o tamanho estipulado (WOJEWODA; ROGALSKI, 2010).

Numa guilhotina (tesoura), as placas, em natureza rígida, são submetidas a operação de corte, obedecendo os padrões estabelecidos. Antes da secagem, o material passa por um secador, sendo separadas por grupos. Nessa fase, o equipamento extrai a umidade contida ainda na placa *drywall* (LOSSO, 2004).

O produto ainda passa por equipamentos que realizarão acabamento no corte, agrupando as placas em pares. São adicionadas fitas gomadas, no equipamento chamado *bundler*, que protegem as bordas para a atividade de estocagem e também de manuseio no transporte. Por fim, as placas as placas são empilhadas com precisão e cuidado, formando pallets. Após essa etapa, eles são embalados e encaminhados aos locais para distribuição (NAKAMURA, 2013).

Em suma, a etapa de fabricação das chapas *drywall*, seguem as etapas contidas na Figura 3:

Figura 3 - Processo industrial do drywall



Fonte: Autoria própria (2019)

Porém, deve-se ressaltar que algumas empresas que fabricam as chapas de gesso tipo *drywall* não administram operações de extração do minério (gipsita) e não tem a Calcinação pertencente ao seu processo produtivo, isto é, compram o gesso em seu formato em pó para início do processo de manufatura das chapas.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da pesquisa

Em relação ao procedimento técnico, esta pesquisa comporta-se como estudo de caso, onde será analisado o processo de controle estatístico do sistema produtivo de uma empresa específica de produção de gesso tipo *drywall*.

Nesse tipo de abordagem, há “[...] uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos” (YIN, 2001 p. 33).

Segundo Ludwig (2009, p. 58):

O estudo de caso diz respeito a uma investigação de fenômenos específicos e bem delimitados, sem a preocupação de comparar ou generalizar. Algumas peculiaridades são próprias do estudo de caso. Uma delas é a de que ele visa identificar novos elementos que muitas vezes o pesquisador não pensa em descobrir (LUDWIG, 2009, p. 58).

Para Gil (2002, p. 42) a pesquisa descritiva “[...] têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômenos ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis”. Estendendo o conceito sobre pesquisa, os tipos qualitativa e quantitativa segundo Bogdan e Biklen (2003), englobam a obtenção de dados do tipo descritivos por intermédio do contato direto do pesquisador com a realidade analisada. Além disso, para os autores, essa pesquisa direciona-se para o processo e menos para o produto em si, sendo útil em retratar a perspectiva dos participantes.

Ainda de acordo com Malhotra (2001, p.155), a pesquisa qualitativa “[...] proporciona uma melhor visão e compreensão do contexto do problema, enquanto a pesquisa quantitativa procura quantificar os dados e aplica alguma

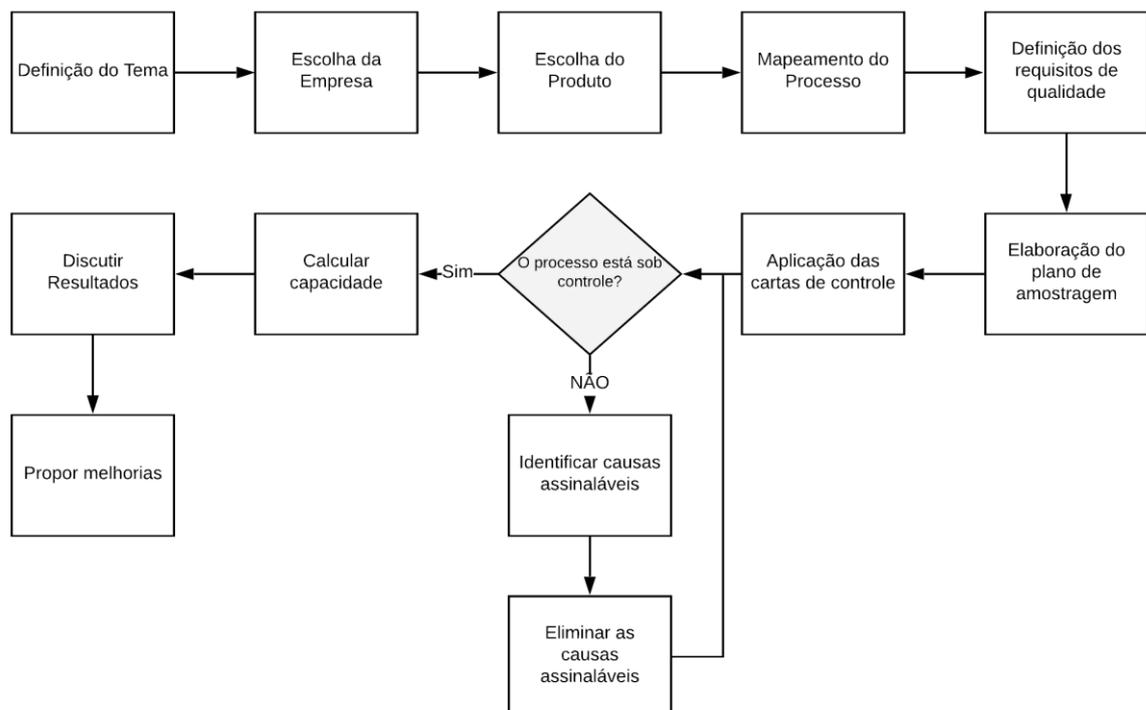
forma da análise estatística”. A pesquisa qualitativa pode ser usada, também, para explicar os resultados obtidos pela pesquisa quantitativa

No tocante a natureza dos resultados, este estudo conceitua-se como aplicado de cunho descritivo, tendo em vista que procura promover conhecimentos associados com a solução buscada para um problema específico, onde, de acordo com Ganga (2012) podem ser utilizados no cotidiano empresarial. E, quanto à abordagem, o estudo enquadra-se como do tipo qualitativa e quantitativa.

3.2 Etapas da pesquisa

A seqüência de atividades relacionadas a presente pesquisa obedecerá a algumas etapas, descritas na Figura 4.

Figura 4 - Sequência das atividades



Fonte: Autoria própria (2019)

Na primeira etapa, tem-se a escolha do produto. Nesse caso, foi escolhido o produto que representa maior importância para a empresa, do ponto de vista

de valor de venda, ou seja, a chapa tipo “*standard* 12,5 mm” pois, entende-se que este representa significativo valor agregado para o cliente final. Na segunda etapa, ocorreu o mapeamento do processo do produto escolhido para a pesquisa.

Na terceira fase, definiu-se os requisitos de qualidade, que se deu com base na influência destes para a qualificação do produto final seguindo parâmetros definidos pela norma ABNT NBR 14715-1:2010, a partir da coleta de dados na empresa. Foram definidos como fatores de qualidade: o peso seco, a espessura seca, a resistência mecânica, a largura da chapa e a profundidade do rebaixo. Para esse fim, as informações dadas pela empresa e as observações sobre o produto final e seu comportamento ao longo do tempo foram primordiais par a escolha.

A quarta fase foi feita a elaboração do plano de amostragem. Dentro da empresa há uma Laboratório de Qualidade responsável por todo o monitoramento das análises de qualidade da produção, sendo assim, os dados colhidos foram extraídos em campo acompanhados pelo supervisor de Qualidade e técnicos em laboratório. De início foi feito o cálculo da quantidade mínima de amostras necessárias e o subgrupo a se adotar para tal estudo estatístico, de acordo com a Equação 02, referenciada nesse trabalho. Após ter conhecimento sobre o tamanho da amostra, os dados extraídos foram tomados em diferentes dias e horários de produção referentes aos meses de Agosto a Dezembro de 2018, em busca da melhor retratação da população em análise.

Fez-se o cálculo, adotando-se:

- Erro amostral: 3,0 %
- Z (valor da norma padronizada para grau de confiança de 95 %): 1,96
- σ (desvio padrão em torno da média): 0,1

Após a obtenção do resultado do plano amostral seguiu-se para a aplicação das cartas de controle, onde determinou-se qual o tipo deveria ser utilizada e, a partir disso, executou-se os cálculos sobre parâmetros recomendados neste tipo de estudo, como média amostral, desvio padrão e amplitude. Para construção das cartas, o *software Minitab®* foi utilizado nesta

pesquisa. Com as cartas de controle dos lotes de produção construídas, os dados foram analisados. Nessa etapa, o comportamento do processo e a variabilidade do mesmo puderam ser identificados.

Após a aplicação das cartas de controle, o processo foi analisado se está ou não sob controle estatístico, baseando-se nos resultados obtidos. Foi feito também, o cálculo da capacidade do processo, que relaciona a variabilidade inerente ao processo com suas especificações. Nos casos em que verificou-se a ausência de controle no processo, foi feita a identificação de causas assinaláveis, que foram apontadas observando o parâmetro do processo, média e desvio padrão, que estavam fora dos limites de controle. Essas causas serviram de base para construção do plano de ação.

Buscou-se manter o controle do processo local, a partir da identificação e priorização das causas da variação da qualidade. Por fim, propostas de melhorias foram apontadas e estas serão apresentadas a gestão da empresa. Nessa etapa, as ações que poderão melhorar e/ou controlar estatisticamente o processo estudado foram propostas através da ferramenta 5W2H.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Da empresa estudada

A organização empresarial na qual o estudo foi aplicado, está localizada na cidade de Petrolina-PE. Trata-se de uma empresa do grupo Etex, líder mundial em chapas construtivas, e pioneiros em *drywall*, atuando há mais de 20 anos no mercado brasileiro. A Etex iniciou atividades na Bélgica em 1905 e atualmente conta com 3 centros de inovação e 107 fábricas em 42 países. As empresas do grupo empregam aproximadamente 15.000 pessoas ao redor do mundo.

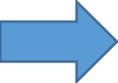
A empresa oferece uma certa variedade de produtos e sistemas à base de gesso para atender às necessidades práticas e os desempenhos especificados pelas normas brasileiras e legislações vigentes que definem as regras para construção de novos projetos e reformas do setor hoteleiro. Os produtos e sistemas *drywall* foram projetados e desenvolvidos pela empresa para oferecer ao arquiteto e ao especificador a possibilidade de transformar conceitos visuais e de conforto em realidade.

As chapas produzidas apresentam alto desempenho, tendo em vista que foram projetadas, especificamente, para atender às necessidades térmicas e acústicas, para resistir à impactos, à umidade e à ação do fogo; sendo fabricadas de acordo com as Normas ABNT NBR 14715, 14716.

4.1.1 Mapeamento do processo local

Como forma de ilustrar o processo produtivo das chapas *drywall*, mapeou-se o mesmo, detalhando-se as ações efetuadas sobre o material pelos operadores e/ou máquinas, conforme Quadro 3.

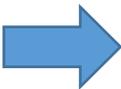
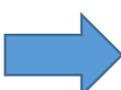
Quadro 3 – Mapeamento do processo

SÍMBOLO	OPERAÇÃO
	Estoque de matéria prima (gipsita)
	Encaminhamento da gipsita ao britador
	Britagem
	Estoque de gipsita britada
	Transporte de gipsita para forno calcinador
	Calcinação da gipsita
	Inspeção da qualidade do gesso
	Transporte para silo de armazenagem
	Estocagem de gesso em silos
	Junção de aditivos ao gesso
	Direcionamento do produto ao misturador
	Operação de mistura / formação da pasta (<i>slurry</i>)
	Estabilização do produto
	Produto transportado para mesa de formação
	Introdução do cartão à pasta (face e costas)
	Transferência úmida

(Continua...)

Fonte: Autoria própria (2019)

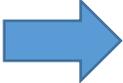
Quadro 4 – Mapeamento do processo

SIMBOLO	OPERAÇÃO
	Aguardo de reações químicas que originam o endurecimento e aderência do material
	Operação de corte
	Transporte via esteira para secador
	Secagem da chapa
	Transferência seca
	Formação de <i>pallets</i> no <i>bundler</i>
	Transporte para arqueamento
	Arqueamento dos <i>pallets</i> com fitas
	Inspeção e contagem
	Estoque de itens acabados.

Fonte: Autoria própria (2019)

No Quadro 4 são identificadas, quantitativamente, as operações envolvidas na fabricação das chapas *drywall*.

Quadro 5 - Número total de operações

Símbolo	Número
 (Operação)	09
 (Inspeção)	03
 (Estocagem)	04
 (Transporte)	09
 (Espera)	02

Fonte: Autoria própria (2019)

Após o mapeamento elaborado, indicando as etapas do processo, iniciou-se a coleta de dados, detalhada na sessão 4.2.

4.2 Coleta e cálculo de dados

Tendo em vista as diversas características de qualidade do processo, com foco no cliente (que neste caso são as normas ABNT 14.715:2001: Chapas de gesso acartonado - Requisitos), foram escolhidas para análise cinco delas: resistência mecânica, peso seco, espessura seca, profundidade rebaixo e largura da chapa. A escolha se deu devido ao fato de que estes aspectos são fabricados de acordo com normas da ABNT 14.715:2001, que devem ser seguidas para que o produto seja certificado, e assim, comercializado. Todas estas são referentes ao produto intitulado “*chapa standard 12,5 mm*”, que representa o item com maior demanda, representando aproximadamente 70% do volume produzido na planta local.

Após realizar executar o plano amostral obteve-se que a quantidade mínima de amostras a serem tomadas é 24 (vinte e quatro), ou seja, 24 chapas

de gesso acartonado a cada mês, onde em cada chapa é possível analisar os cinco requisitos de especificação de qualidade, durante as semanas que englobam os meses (Agosto a Dezembro) do segundo semestre de 2018, sobre os quais a quantidade de meses tomados se referem ao subgrupo de tamanho 5 (m) que foi adotado. As séries temporais com os dados completos a respeito de cada item avaliado, encontram-se no Apêndice A. No Apêndice B podem ser encontrados os testes de normalidade feito para cada item. O primeiro item observado foi o peso seco da chapa (em kg/m²), conforme Tabela 1.

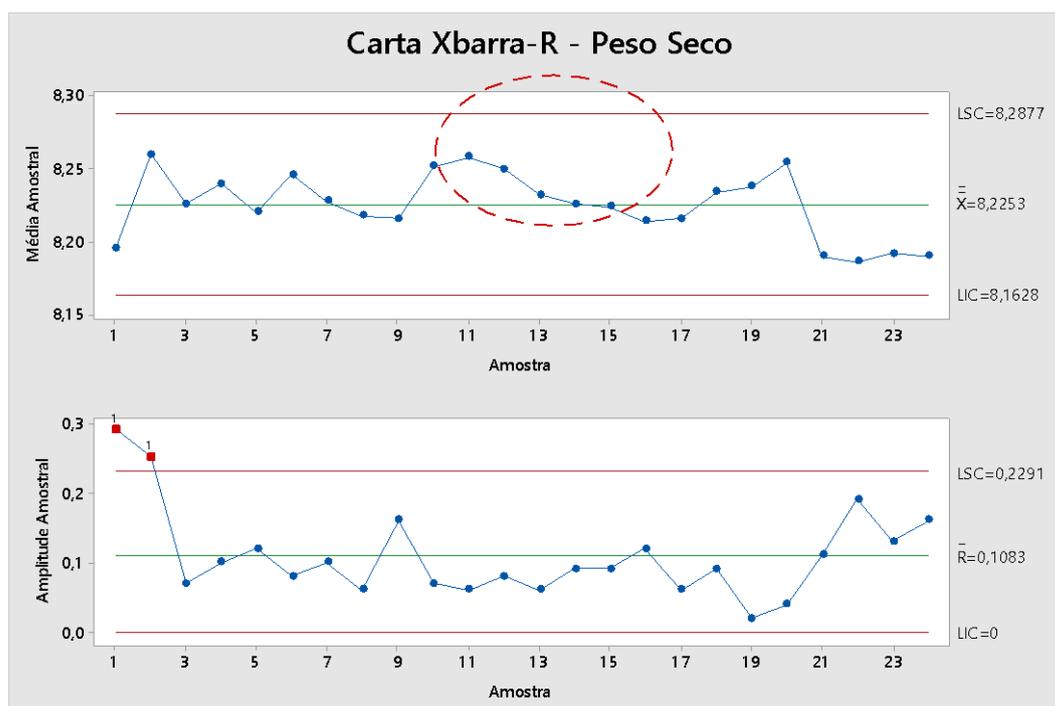
Tabela 1 - Dados amostrais para peso seco

Amostra	X ₁ (kg/m ²)	X ₂ (kg/m ²)	X ₃ (kg/m ²)	X ₄ (kg/m ²)	X ₅ (kg/m ²)	Média (\bar{X})
1	8,28	8,29	8,21	8,00	8,20	8,20
2	8,44	8,23	8,19	8,23	8,21	8,26
3	8,20	8,21	8,25	8,27	8,20	8,23
4	8,29	8,28	8,19	8,23	8,21	8,24
5	8,16	8,28	8,25	8,25	8,16	8,22
6	8,28	8,20	8,27	8,26	8,22	8,25
7	8,28	8,29	8,19	8,19	8,19	8,23
8	8,23	8,23	8,23	8,23	8,17	8,22
9	8,20	8,28	8,25	8,23	8,12	8,22
10	8,28	8,28	8,25	8,21	8,24	8,25
11	8,24	8,23	8,29	8,24	8,29	8,26
12	8,27	8,28	8,20	8,25	8,25	8,25
13	8,24	8,24	8,24	8,19	8,25	8,23
14	8,18	8,27	8,23	8,22	8,23	8,23
15	8,17	8,24	8,26	8,25	8,20	8,22
16	8,16	8,18	8,28	8,23	8,22	8,21
17	8,19	8,25	8,21	8,23	8,20	8,22
18	8,20	8,20	8,29	8,24	8,24	8,23
19	8,25	8,25	8,23	8,23	8,23	8,24
20	8,26	8,26	8,23	8,25	8,27	8,25
21	8,23	8,12	8,23	8,17	8,20	8,19
22	8,16	8,11	8,30	8,15	8,21	8,19
23	8,19	8,23	8,21	8,10	8,23	8,20
24	8,21	8,27	8,12	8,11	8,24	8,20

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Como os dados enquadram-se no tipo contínuos, o gráfico de controle mais adequado é o $\bar{X} - R$, ou ainda $\bar{X} - S$, no qual indicará a média e a amplitude dos valores amostrais e média e desvio padrão, respectivamente. Nesse caso, plotou-se o Gráfico da Figura 5 para verificar se há valores acima ou abaixo do limite de controle, considerando as vinte quatro amostras de tamanho cinco.

Figura 5 – Carta de controle \bar{X} -R para peso seco



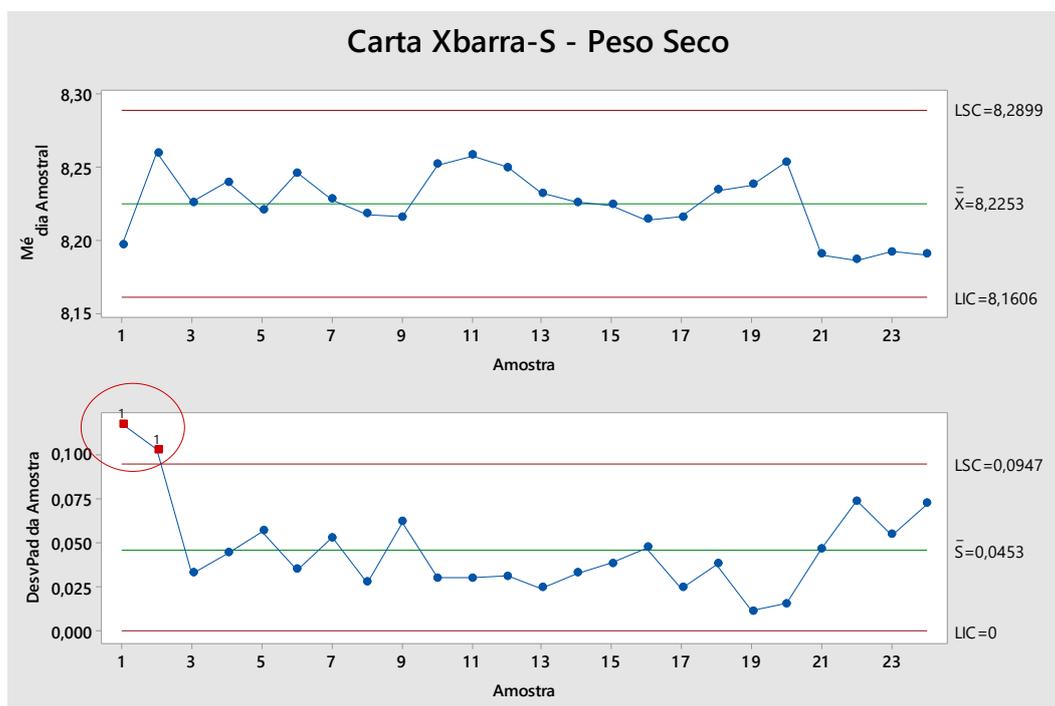
Fonte: Dados da pesquisa (2019)

A empresa adota como padrão interno o valor 8,20 kg/m² para cada unidade do produto. Pelo gráfico da Figura 5, percebe-se que, mesmo com todos os pontos dentro dos limites de controle fixados, a média das amostras está acima do padrão determinado, sendo igual a 8,2253 kg/m², o que indica um processo com variação moderadamente controlada, acima da média. A norma da ABNT 14.715:2001 afirma que o valor mínimo para essa análise é que o peso seja 8,0 kg/m².

Analisando o gráfico da Média Amostral, percebe-se que nos pontos 11 ao menos 16 tem uma sequência decrescente de seis pontos. E, de acordo a terceira regra na ISO 7870-2:2013, o surgimento desse comportamento no gráfico é indício de uma causa especial. Da mesma maneira, nota-se que há dois pontos mais que 3 desvios padrão da linha central no teste da amplitude, ou seja,

o teste falhou nos pontos 1 e 2. Ao observar a Tabela 1, percebe-se que, na semana 1 e na semana 2 a amplitude dos dados foi alta, de fato, comprometendo o fator observado, ou seja, o peso. Assim, a(s) causa(s) especial (ais) afetou(aram) a amplitude, ou seja, a variação dos dados, mas não afeta a média de modo a tirá-la da região aceitável. Em complemento ao resultado, pode-se observar o desvio padrão das amostras, pelo gráfico X – S, conforme Gráfico da Figura 6.

Figura 6 – Carta de controle \bar{X} -S de Peso



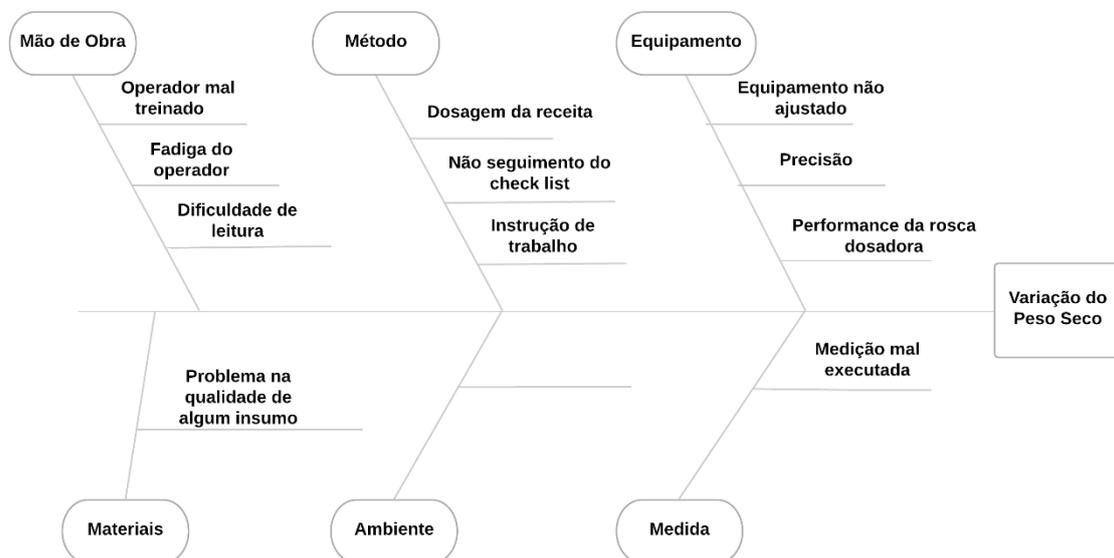
Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Como percebe-se, o resultado do teste para a Carta S barra de Peso indica que há pontos com mais que 3 desvios padrão da linha central, referentes às semanas 1 e 2, os dados estão fora dos limites de controle definidos, o que pode demonstrar que o processo está fora de controle estatístico. Qualquer ponto fora dos limites de controle é uma detecção de causa assinalável (ISO 7870-2:2013). Porém, mesmo apresentando a presença de causas assinalável na carta da média amostral e na carta S, a voz do cliente nesse estudo é a ABNT14.715:2001, e para esse critério de qualidade a norma de especificação desse produto afirma que o valor mínimo para o peso é de 8,0 kg/m² e o seu máximo é de 12,0 kg/m², e de acordo com o gráfico da média todas as coletas

se encontram nessa faixa, ou seja, o produto satisfaz às exigências do órgão de especificação.

Como trata-se do peso da chapa de gesso tipo *drywall*, as causas que podem ter influenciado no resultado podem ser, desde a medição feita de forma mal executada, como erros de performance de máquinas, equipamentos, operacionais ou qualidade de alguma matéria-prima. Para entender a variação em torno da amplitude, elaborou-se um diagrama de causa e efeito para listar potenciais causas, como visto na Figura 7.

Figura 7 – Diagrama de causa e efeito (peso)



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Da mesma forma, foi coletado um conjunto de dados inerentes ao fator espessura seca do produto selecionado. Os dados seguem a mesma metodologia do item peso. A Tabela 2 apresenta os valores (em mm) do fator analisado.

Tabela 2 – Dados amostrais para espessura seca

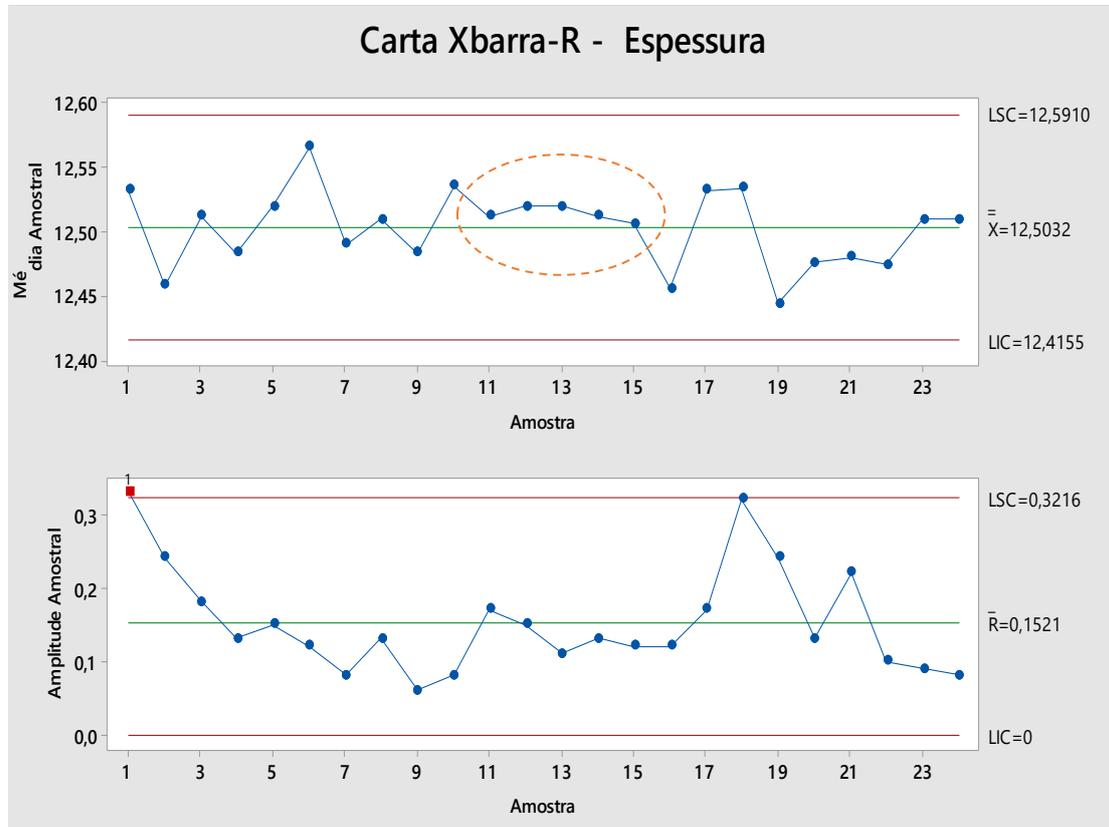
Amostra	X ₁ – (mm)	X ₂ – (mm)	X ₃ – (mm)	X ₄ – (mm)	X ₅ – (mm)	Média (\bar{X})
1	12,48	12,37	12,70	12,54	12,57	12,53
2	12,52	12,55	12,42	12,31	12,49	12,46
3	12,39	12,53	12,56	12,51	12,57	12,51
4	12,54	12,52	12,44	12,51	12,41	12,48
5	12,54	12,57	12,52	12,55	12,42	12,52
6	12,52	12,61	12,62	12,58	12,50	12,57
7	12,49	12,46	12,49	12,54	12,47	12,49
8	12,56	12,55	12,55	12,46	12,43	12,51
9	12,50	12,45	12,46	12,51	12,50	12,48
10	12,50	12,55	12,58	12,51	12,54	12,54
11	12,59	12,58	12,48	12,42	12,49	12,51
12	12,51	12,59	12,54	12,52	12,44	12,52
13	12,53	12,47	12,51	12,58	12,51	12,52
14	12,55	12,56	12,43	12,48	12,54	12,51
15	12,54	12,55	12,55	12,46	12,43	12,51
16	12,45	12,39	12,43	12,50	12,51	12,46
17	12,51	12,56	12,58	12,42	12,59	12,53
18	12,62	12,61	12,53	12,61	12,30	12,53
19	12,52	12,33	12,32	12,56	12,49	12,44
20	12,41	12,54	12,42	12,50	12,51	12,48
21	12,53	12,45	12,34	12,52	12,56	12,48
22	12,42	12,52	12,51	12,49	12,43	12,47
23	12,50	12,49	12,47	12,53	12,56	12,51
24	12,53	12,51	12,55	12,49	12,47	12,51

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Sendo os dados enquadrados no tipo contínuos, o gráfico de controle \bar{X} – R, e o \bar{X} - S, foram construídos para análise visual dos dados. O Gráfico da

Figura 8 remete à apresentação dos valores amostrais em razão da média e da amplitude.

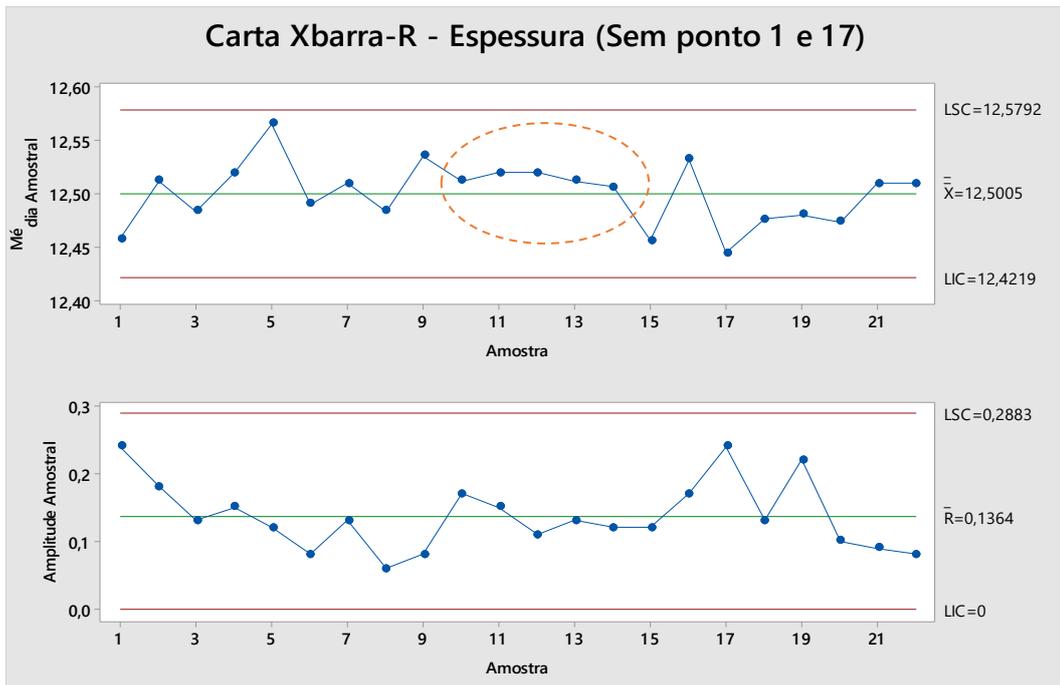
Figura 8 - Carta de controle \bar{X} -R para espessura seca



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Observa-se que os valores estão dentro dos limites de controle definidos como aceitáveis. Contudo, a variação no comportamento dos dados, demonstrando a existência de causas especiais nos pontos 9 a 17 (pontos do mesmo lado da linha central), onde essa situação se caracteriza por desvio de processo, que quando detectado deve ser corrigido antes de seguir. No gráfico da amplitude o ponto 1 está fora do limite de especificação e o 17 está na zona A, onde os mesmos também precisam ser analisados. Após a retirada de tais pontos, os gráficos apontaram que o processo está sob controle estatístico, mesmo apontando a existência de possíveis causas de variação, como pode ser visto na Figura 9:

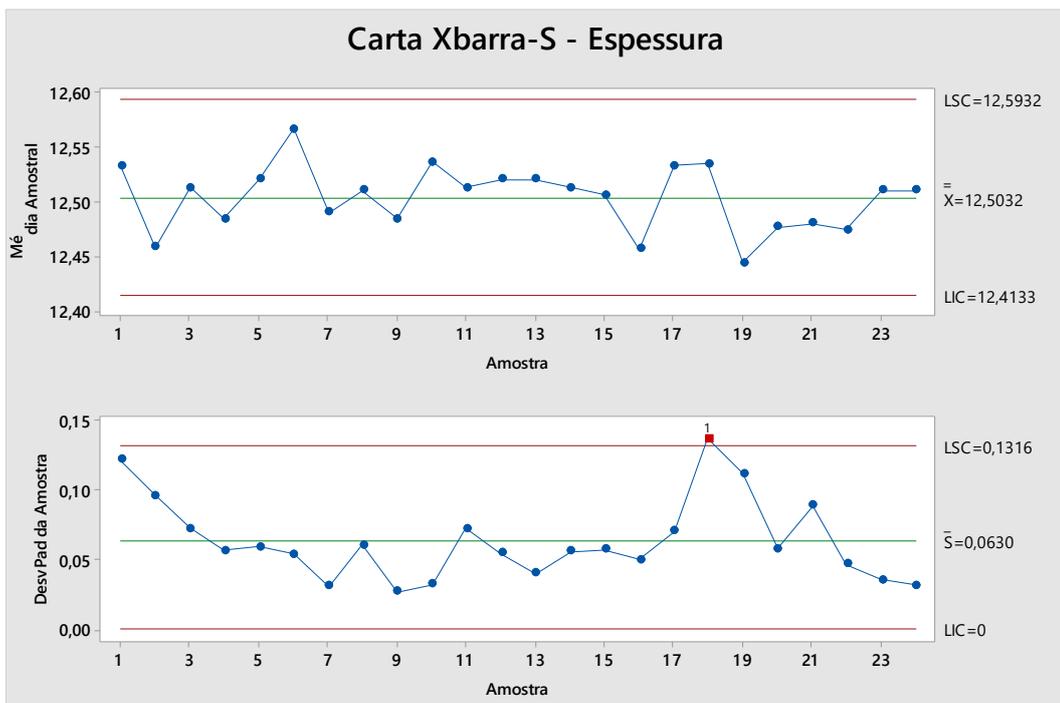
Figura 9: Gráfico após a retirada dos pontos 1 e 17



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Para melhor análise sobre a espessura também plotou-se o gráfico de variação no desvio padrão das amostras, como pode ser visto na Figura 10:

Figura 10 - Carta de controle \bar{X} -S para espessura seca



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Apona-se ainda que, para a realidade da empresa, adota-se o padrão de 12,5 mm para espessura seca das chapas de gesso tipo *drywall*. Verifica-se que, neste caso, os dados refletem que a meta está, em média, adequada ao padrão definido. Como todos os pontos estão dentro dos limites e dispostos de forma aleatória, considera-se que não existem evidências de que o processo esteja fora de controle. Apesar de apontar que há causas especiais, os valores encontram-se dentro dos limites de aceitação das normas da ABNT 14.715:2001, onde especifica que a espessura precisa ser 12,50 mm com variação de $\pm 0,5$ mm. O gráfico da média amostral demonstra que para esse critério, o produto em análise está dentro dos padrões de especificação.

Outra análise feita, foi em relação ao item resistência mecânica. Foi coletada a mesma quantidade de amostras dos itens anteriores. Os valores seguem a unidade Newton (N), conforme Tabela 3.

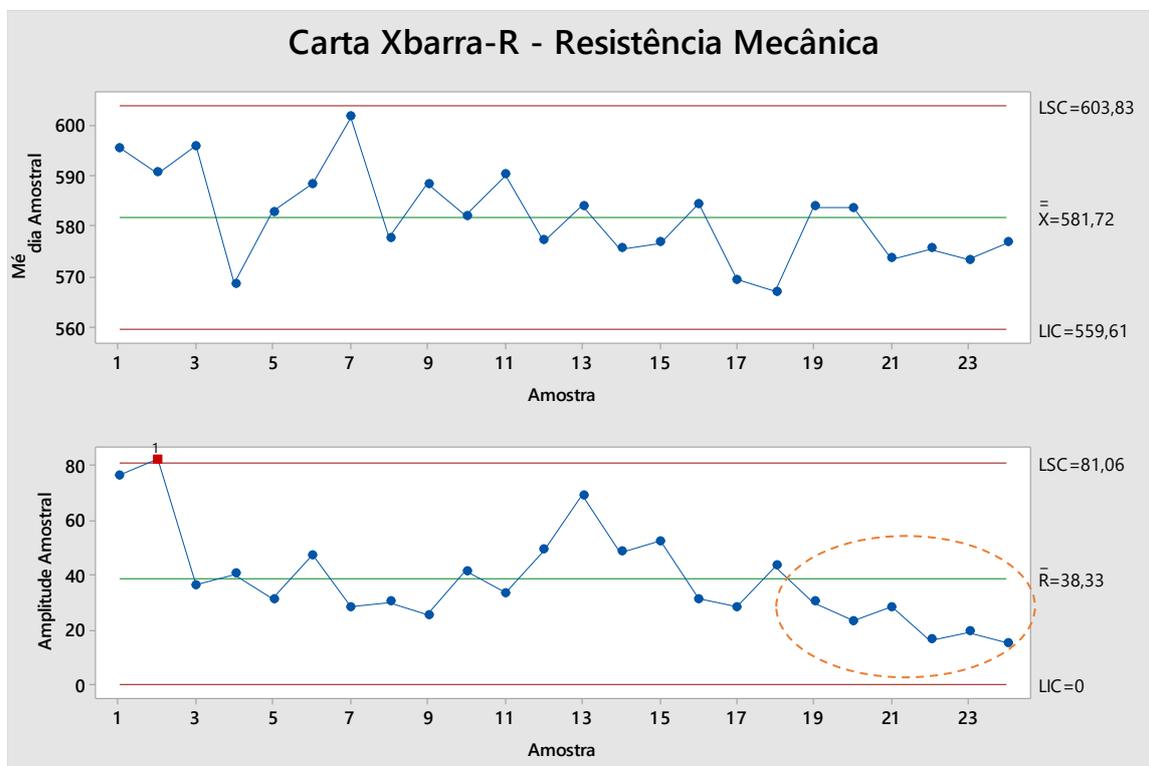
Tabela 3 - Dados amostrais para resistência mecânica

Amostra	X ₁ (N)	X ₂ (N)	X ₃ (N)	X ₄ (N)	X ₅ (N)	Média (\bar{X})
1	634	604	586	558	595	595,4
2	639	557	578	590	589	590,6
3	618	582	588	599	592	595,8
4	565	585	564	584	545	568,6
5	580	600	575	569	590	582,8
6	569	609	581	615	568	588,4
7	596	604	615	587	606	601,6
8	576	594	564	564	590	577,6
9	599	574	590	583	596	588,4
10	582	596	555	591	586	582,0
11	569	580	600	602	600	590,2
12	548	597	587	569	584	577,0
13	614	545	595	573	593	584,0
14	552	566	590	569	600	575,4
15	559	581	602	591	550	576,6
16	601	582	570	598	571	584,4
17	563	559	558	581	586	569,4
18	579	536	579	573	568	567,0
19	589	569	573	589	599	583,8
20	582	570	593	592	581	583,6
21	583	564	557	578	585	573,4
22	585	573	569	572	578	575,4
23	576	566	579	582	563	573,2
24	579	581	568	572	583	576,6

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Para o conjunto de dados, plotou-se as cartas de controle do tipo \bar{X} - R e ainda do tipo \bar{X} - S. O Gráfico da Figura 11 apresenta os valores amostrais, da resistência mecânica, em função da média e da amplitude.

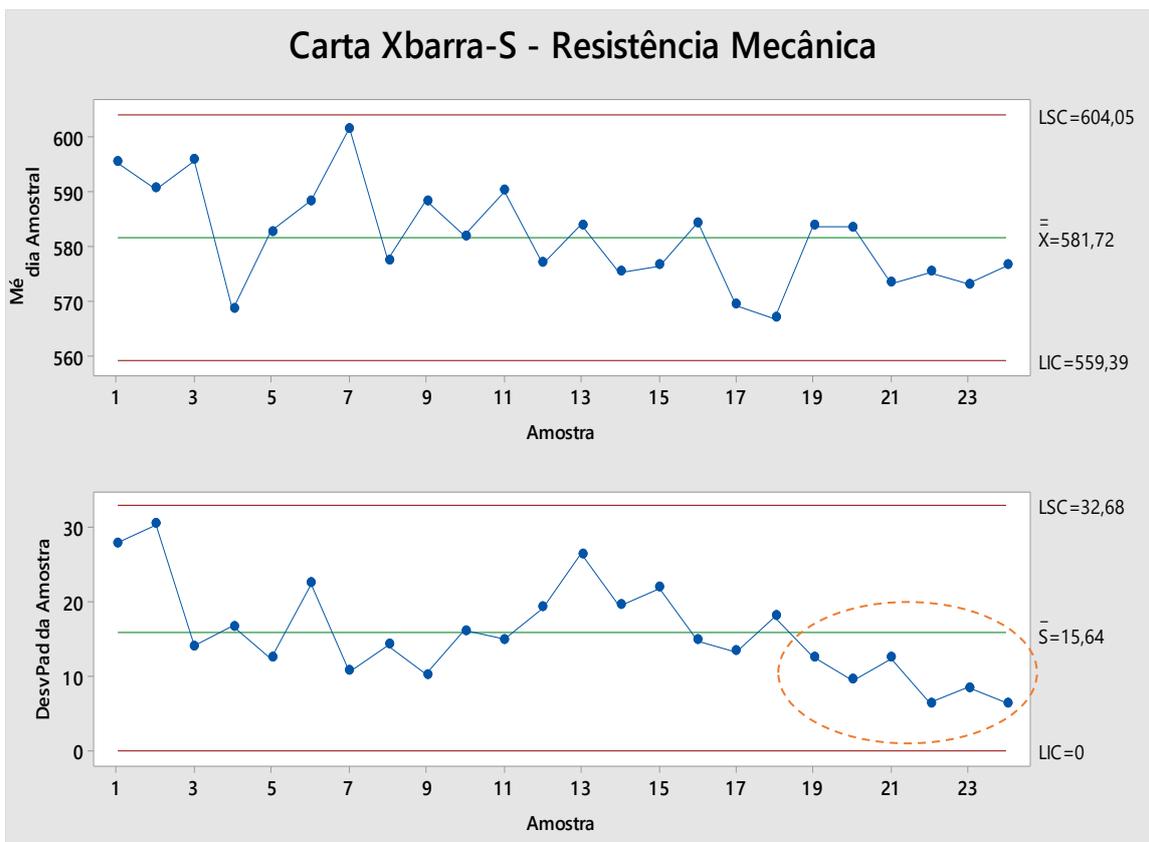
Figura 11 – Carta de controle \bar{X} -R para resistência mecânica



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Percebe-se, a partir do Gráfico da Figura 11, que o processo está sob controle estatístico, da perspectiva de resistência mecânica, com todos os pontos localizados dentro da faixa de controle estabelecida. Há indícios, porém, de causas especiais, porém para esse critério de qualidade, isso não se aplica. Pois, a ABNT 14.715:2001 exige um valor mínimo de 555,0 N, valores iguais a esse são aprovados pela norma, e valores superiores significa que o produto é mais resistente à flexão, ou seja, agrega à qualidade. Mesmo assim, plotou-se o gráfico da variação do desvio padrão (Figura 12) para observar o comportamento dessa análise. De acordo com informações internas sobre o processo produtivo, essas oscilações são os resultados da qualidade/natureza inerentes de alguns insumos utilizados, logo não acarreta custos extras para o fabricante, assim sendo possível fornecer um produto com melhor qualidade ao mercado. Logo, se o gráfico da média amostral apresentar um valor acima do seu limite superior, estatisticamente o processo não estaria sob controle estatístico, porém atenderia as exigências do cliente, nesse caso a especificação da ABNT 14.715:2001.

Figura 12 - Carta de controle \bar{X} -S para resistência mecânica



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Além dos dados relativos ao fator resistência mecânica, ainda coletou-se amostras, nos mesmos aspectos metodológicos dos demais, referentes a largura da chapa. A Tabela 4 exibe os valores amostrais do conjunto de valores, em milímetros (mm).

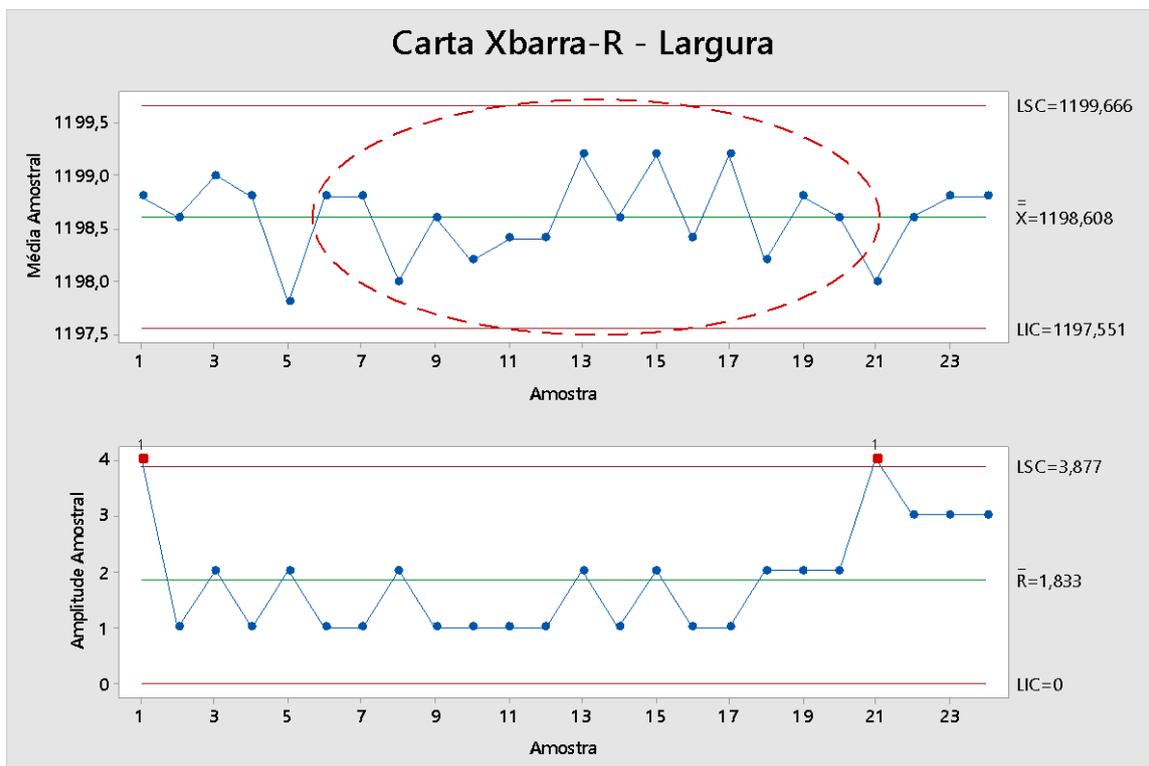
Tabela 4 - Dados amostrais para largura da chapa

Amostra	X ₁ (mm)	X ₂ (mm)	X ₃ (mm)	X ₄ (mm)	X ₅ (mm)	Média (\bar{X})
1	1196	1198	1200	1200	1200	1198,8
2	1198	1198	1199	1199	1199	1198,6
3	1199	1199	1199	1200	1198	1199,0
4	1199	1199	1199	1198	1199	1198,8
5	1199	1198	1198	1197	1197	1197,8
6	1198	1199	1199	1199	1199	1198,8
7	1199	1198	1199	1199	1199	1198,8
8	1198	1199	1197	1198	1198	1198,0
9	1198	1199	1199	1199	1198	1198,6
10	1198	1198	1198	1198	1199	1198,2
11	1199	1199	1198	1198	1198	1198,4
12	1198	1198	1199	1198	1199	1198,4
13	1199	1200	1200	1198	1199	1199,2
14	1199	1199	1198	1199	1198	1198,6
15	1199	1199	1200	1200	1198	1199,2
16	1198	1199	1199	1198	1198	1198,4
17	1199	1200	1199	1199	1199	1199,2
18	1199	1199	1197	1197	1199	1198,2
19	1200	1199	1198	1199	1198	1198,8
20	1197	1199	1199	1199	1199	1198,6
21	1196	1197	1199	1200	1198	1198,0
22	1198	1199	1197	1199	1200	1198,6
23	1198	1200	1200	1199	1197	1198,8
24	1197	1198	1199	1200	1200	1198,8

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Elaborando as cartas de controle, pode-se visualizar melhor o comportamento dos dados amostrais expostos na Tabela 4. Construiu-se a carta tipo $\bar{X} - R$ e ainda a $\bar{X} - S$. O Gráfico da Figura 13 exibe a carta de controle em função da média e amplitude dos dados.

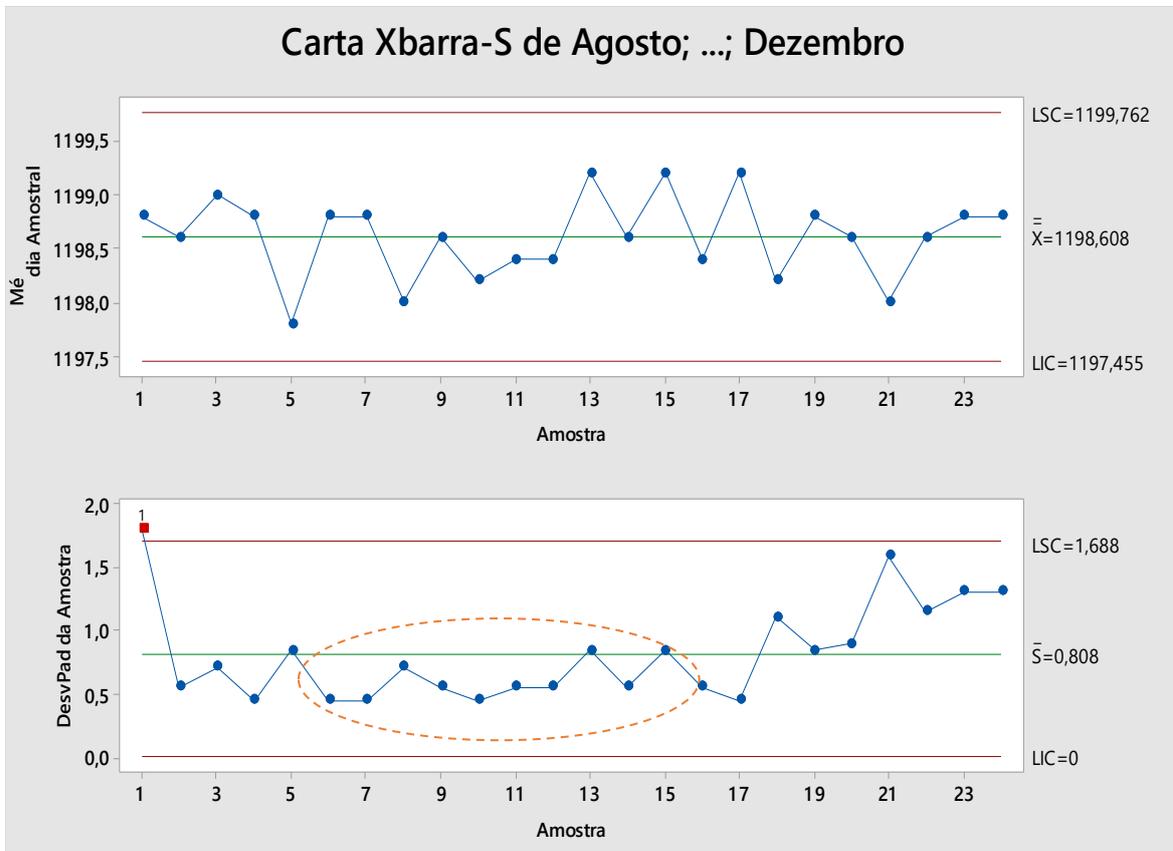
Figura 13 - Carta de controle \bar{X} -R para largura da chapa



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

De acordo com a regra 7 da ISO 7870-2:2013 há a identificação de causas especiais, pois há quinze pontos consecutivos na zona C acima e abaixo da linha central. Quando tal fato acontece mostra que houve redução nas variações do processo, ou que os limites de controle não foram devidamente calculados. A média calculada no Gráfico foi de 1198,60 mm. Pelo teste feito, o ponto 1 (gráfico da amplitude) está mais que 3,00 desvios padrão da linha central, ultrapassando o limite superior de controle definido. Por outro lado, quanto a média das amostras, a mesma mostra-se controlada, apesar dos pontos oscilarem moderadamente em torno da linha central. Ainda sobre o conjunto de dados deste fator de qualidade, plotou-se a carta de controle tipo \bar{X} -S, conforme Gráfico da Figura 14.

Figura 14 - Carta de controle \bar{X} -S para largura da chapa

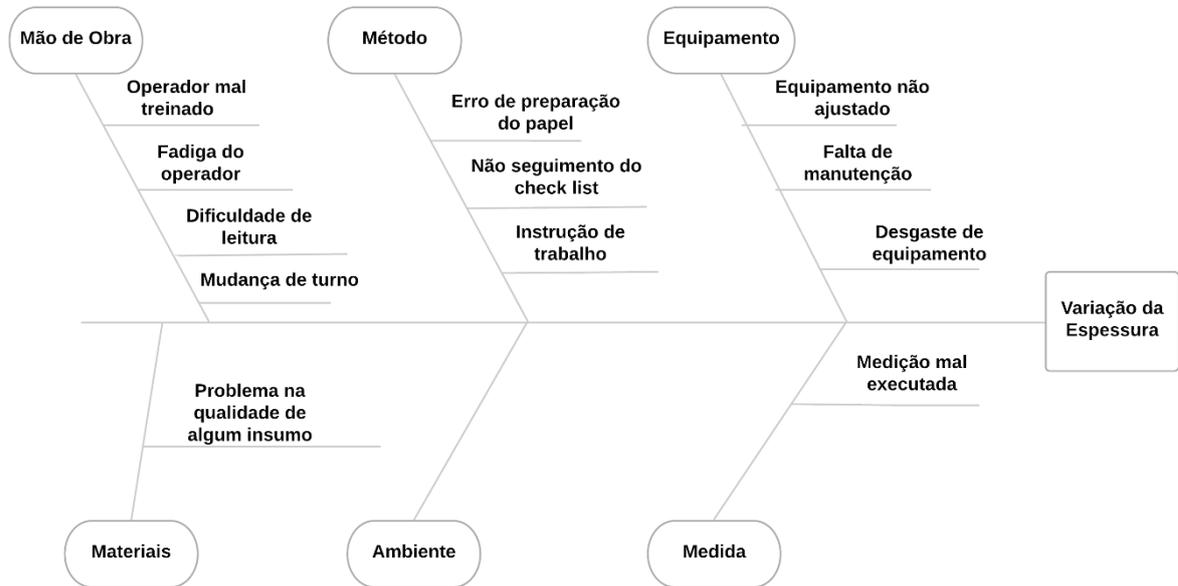


Fonte: Dados da pesquisa (2019)

A construção desse tipo de gráfico justifica-se devido a importância de analisar o desvio padrão, que, em suma, mede a variabilidade geral dos dados. De acordo com o Gráfico da Figura 14, nota-se que o ponto 1 apresenta desvio fora dos limites calculados.

Nesse estudo de caso, apesar desse comportamento do gráfico, a análise atende ao cliente, pois a ABNT determina que o valor alvo da largura seja no 1200 mm, podendo variar $\pm 4,0$ mm, ou seja o mínimo exigido é 1196 mm e o máximo 1204 mm, e de acordo com a demonstração da carta de controle, todas as amostras coletadas respondem positivamente à voz do cliente (ABNT), ou seja, o produto está certificado nesse quesito da qualidade. Mesmo atendendo à especificação há uma variação de amplitude entre as amostras. Para entender e listar possíveis causas, elaborou-se o diagrama de causa e efeito para este caso, conforme Figura 15.

Figura 15 - Diagrama de causa e efeito (largura da chapa)



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Por fim, observou-se o quinto fator de qualidade em relação ao produto estudado. Trata-se do item profundidade rebaixo, medido em milímetros (mm). A Tabela 5 apresenta os valores obtidos por amostra.

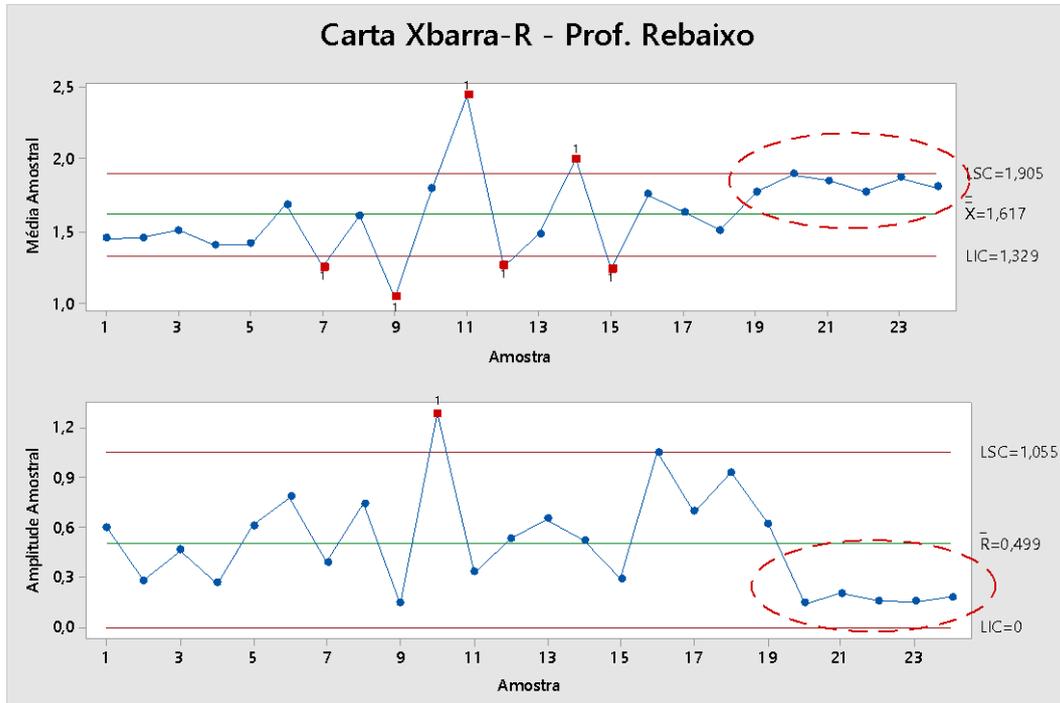
Tabela 5 - Dados amostrais para profundidade rebaixo

Amostr a	X ₁ (mm)	X ₂ (mm)	X ₃ (mm)	X ₄ (mm)	X ₅ (mm)	Médi a (\bar{X})
1	1,33	1,71	1,62	1,11	1,47	1,45
2	1,63	1,35	1,39	1,53	1,36	1,45
3	1,27	1,61	1,63	1,73	1,27	1,50
4	1,38	1,24	1,47	1,41	1,50	1,40
5	1,70	1,24	1,09	1,42	1,59	1,41
6	1,34	1,98	2,11	1,65	1,33	1,68
7	1,10	1,49	1,10	1,11	1,45	1,25
8	1,45	1,76	1,36	1,37	2,10	1,61
9	1,00	1,14	1,04	1,01	1,01	1,04
10	1,22	1,15	2,43	1,92	2,22	1,79
11	2,48	2,58	2,43	2,44	2,25	2,44
12	1,21	1,00	1,53	1,19	1,36	1,26
13	1,20	1,48	1,40	1,85	1,45	1,48
14	2,25	2,15	1,88	1,97	1,73	2,00
15	1,40	1,22	1,26	1,11	1,20	1,24
16	1,20	1,83	2,25	1,68	1,81	1,75
17	1,52	1,90	1,89	1,63	1,21	1,63
18	1,33	1,32	1,66	2,07	1,14	1,50
19	1,68	1,60	1,48	2,10	1,99	1,77
20	1,82	1,96	1,88	1,91	1,88	1,89
21	1,72	1,83	1,90	1,92	1,87	1,46
22	1,69	1,74	1,82	1,85	1,75	1,77
23	1,89	1,93	1,82	1,78	1,91	1,86
24	1,75	1,81	1,93	1,78	1,75	1,80

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

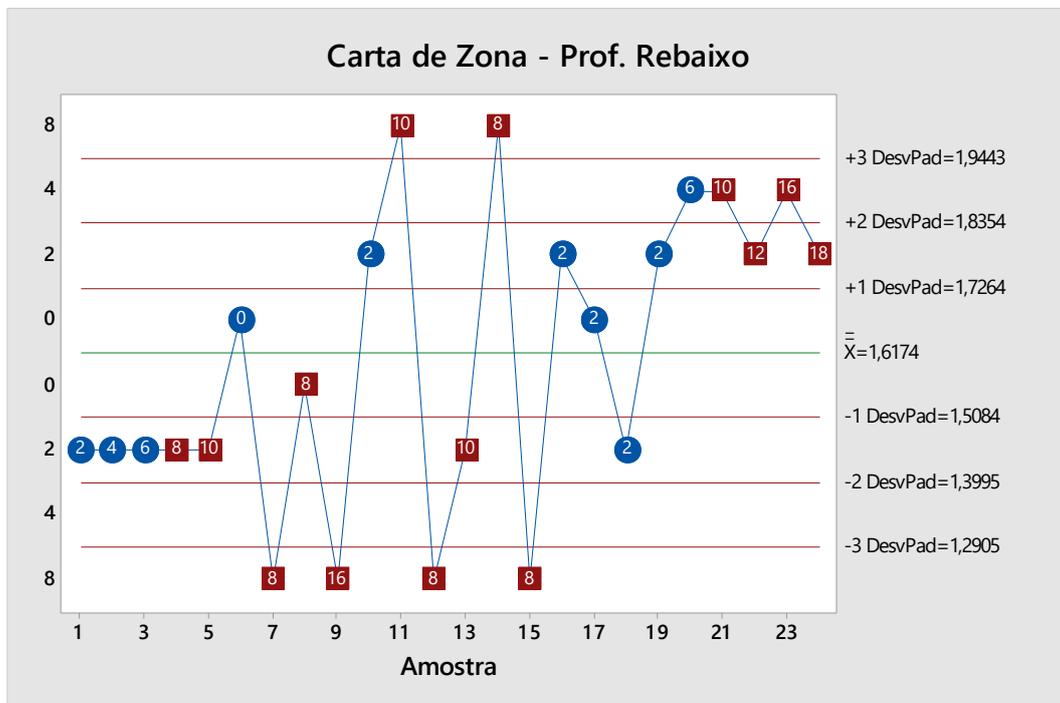
Os Gráficos das Figuras 16 e 17 demonstram visualmente, o comportamento dos dados amostrais ao longo das observações, do ponto de vista da média, da amplitude e por zona dos valores coletados.

Figura 16 - Carta de controle \bar{X} -R para profundidade rebaixo



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Figura 17: Carta de Zona - Profundidade Rebaixo



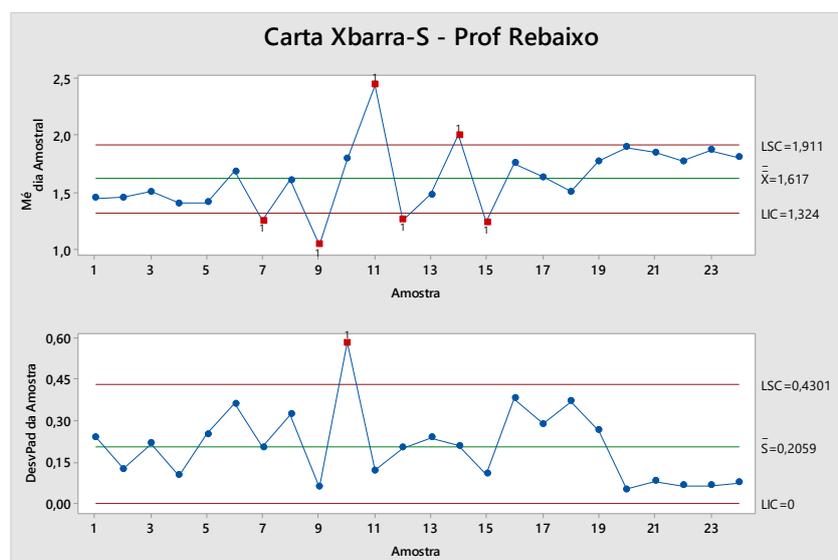
Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Nota-se, a partir da carta de controle da Figura 16, que há alguns pontos mais que 3,00 desvios padrão da linha central. Trata-se dos pontos amostrais das semanas número 7, 9, 11, 12, 14 e 15. Quando há pontos fora dos limites de controle, significa que o processo não está sob controle estatístico. Além disso, há sequência de pontos do mesmo lado da linha central, o que indica também que há causas especiais nessas amostras.

Para esse requisito de especificação da qualidade (Profundidade do Rebaixo) a norma da ABNT 14.715:2001 especifica que os valores necessariamente tem que estar entre: $0,6 \leq x \leq 2,5$ mm. Os valores médios das amostras desse estudo comportaram-se entre $1,3 \leq x \leq 1,9$ mm, como demonstrado no gráfico da Média Amostral, porém apresentou pico máximo de 2,5 mm e mínimo de 1,04 mm. Apesar dos gráficos apresentarem que o processo não está sob controle estatístico, eles atendem às normas de especificação. Os valores da análise se encontram dentro da faixa exigida pela voz do cliente, porém está evidente que não há conformidade nesse parâmetro. Para isso as causas especiais devem ser investigadas, a fim de garantir estabilidade e segurança na conformidade do mesmo.

Como forma de complementar essa análise também foi elaborado o gráfico associado ao desvio padrão, como mostra a Figura 18:

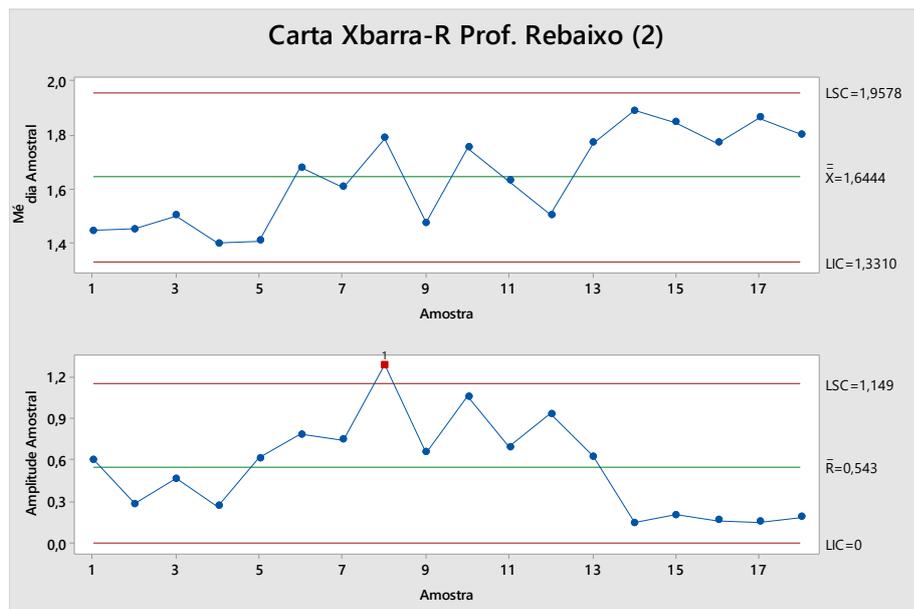
Figura 18 - Carta de controle \bar{X} -S para profundidade rebaixo



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Quando um gráfico não se encontra sob controle estatístico recomenda-se excluir os pontos que causam essa variação e refazer o gráfico, para melhor análise. Sendo assim foram retirados os pontos, 7, 9, 11, 12, 14 e 15. Após isso, observou-se que a gráfico da Média Amostral está sob controle estatístico, porém a presença de causas assinaláveis permanece, pois há cinco pontos seguidos acima da linha central, como pode ser visto na Figura 19.

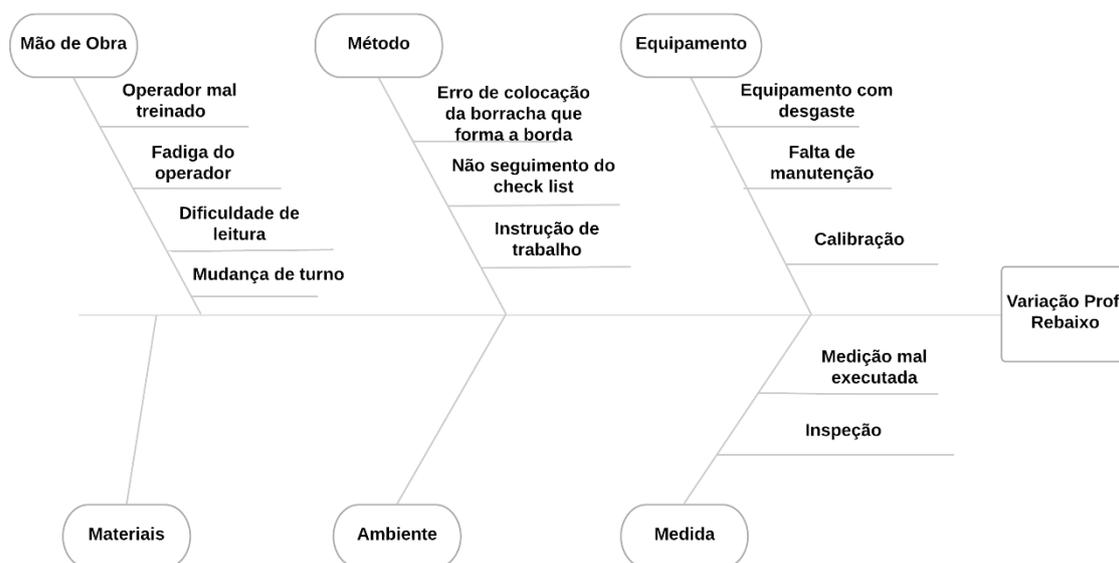
Figura 19: Carta de Controle X-R para prof. De rebaixo



Fonte: Dados da Pesquisa (2019)

Mesmo que tal critério passe pela especificação, o mesmo precisa ser analisado melhor estatisticamente, sendo assim, elaborou-se um diagrama de causa e efeito para poder entender melhor as causas assinaláveis presentes no processo produtivos, como mostra Figura 20:

Figura 20 - Diagrama de causa e efeito (prof. rebaixo)

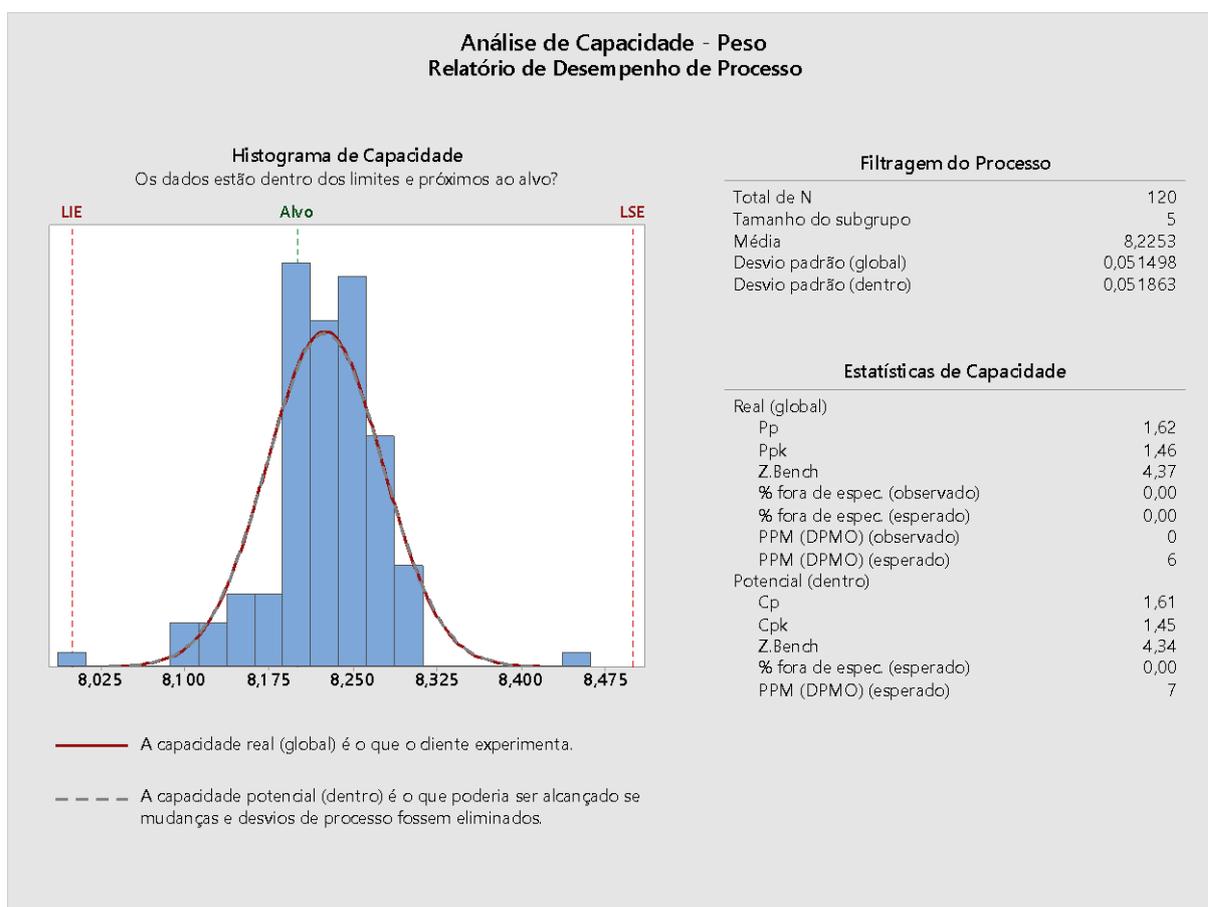


Fonte: Dados da pesquisa (2019)

4.3 Determinação da capacidade

Utilizando o *software Minitab*® foi possível analisar a capacidade do processo. Esta verificação é indicada para poder determinar se um processo é capaz de produzir saída que atende os requisitos do cliente, isto é, da norma ABNT NBR 14715-1:2010. O primeiro item submetido a análise foi o peso. Determinou-se como limite inferior de especificação o valor 8,0 kg/m² e o limite superior como 8,40 kg/m². O resultado é mostrado no Gráfico da Figura 21.

Figura 21 – Análise de Capacidade (peso)



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Os limites superiores e inferiores da especificação são identificados pelas linhas tracejadas verticais contidas no histograma. É possível notar que, como foram 24 subgrupos de tamanho 5, a amostra N é igual a 120. O desvio padrão global DesvPad(Global) é traduzido como um desvio padrão de todas as medições e é uma estimativa da variação global do processo.

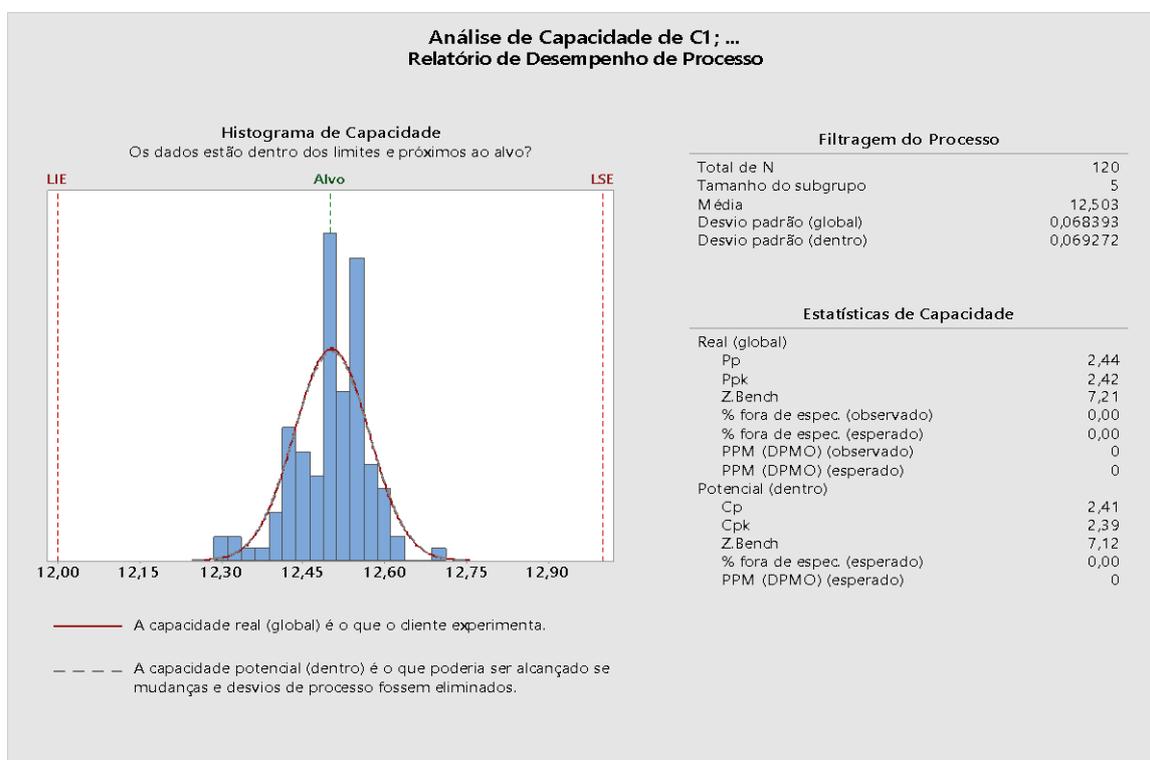
Nesse caso, ele representa a variação real do processo ao longo do tempo, ou seja, para o peso do produto, apresentando um valor do desvio em torno de 5,0 %, ou seja, os valores colhidos no estudo atendem a essa dispersão, para tal os valores ainda se encontram dentro dos índices de especificação, demonstrando assim que há qualidade no processo. Além disso, o DesvPad (Dentro), ou seja, o desvio padrão (dentro) é uma estimativa da variação dentro dos subgrupos, que no caso analisado foi praticamente igual ao desvio global.

Em outras palavras, ele indica a variação potencial do processo, caso desvios e deslocamentos entre os subgrupos fossem eliminados.

Observa-se que, devido ao comportamento dos dados, entende-se que o processo é centrado e está bem, dentro dos limites de especificação. Isto é, ele é mais capaz de produzir consistentemente produtos que atendem às expectativas da norma. Pode-se citar ainda, conforme Gráfico da Figura 21, que a capacidade potencial é igual a $C_p = 1,61$ e $C_{pk} = 1,45$ e em comparação com os índices P_p e P_{pk} , nota-se valores próximos, indicando um processo centralizado e previsível.

Por outro lado, pode-se analisar o relatório acerca da capacidade do processo quanto ao item espessura seca da chapa de gesso, plotando-se o Gráfico da Figura 22.

Figura 22 - Análise de Capacidade (espessura seca)



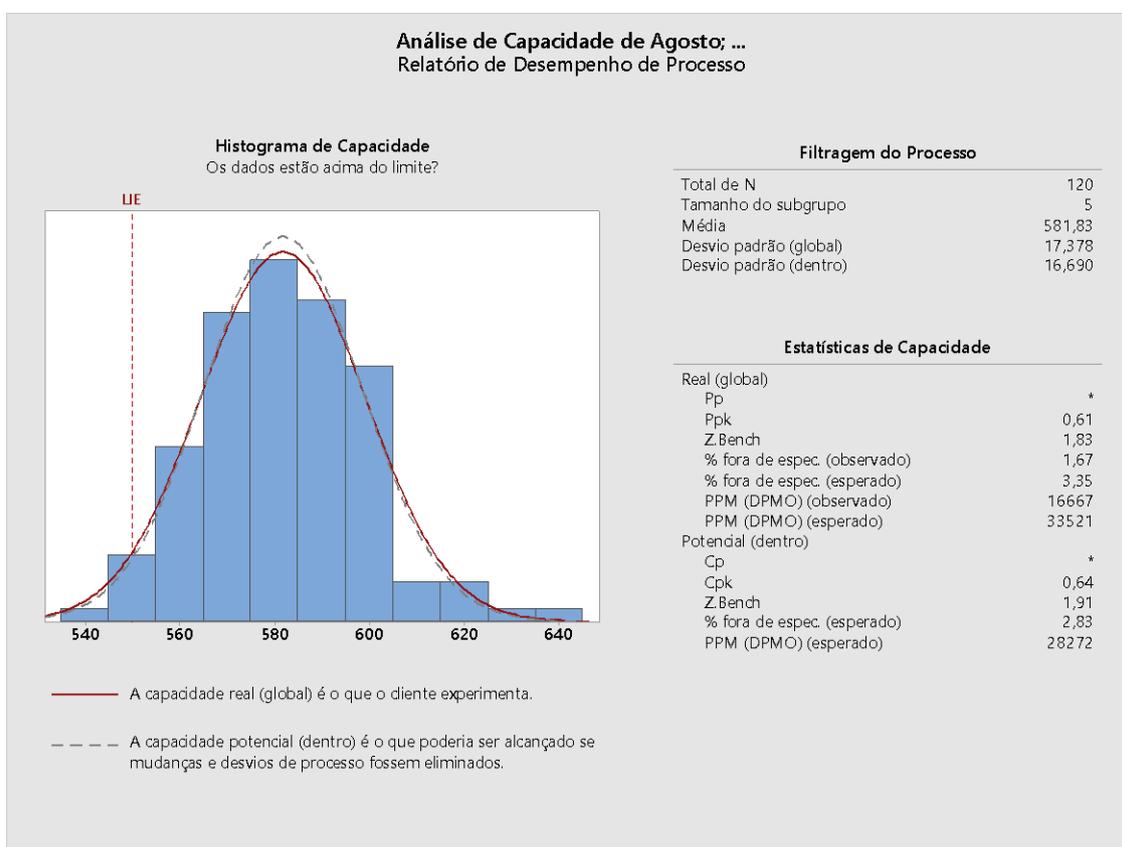
Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Com base nos requisitos da norma da ABNT 14.715:2001 o alvo para essa análise é de 12,5 mm, podendo variar $\pm 0,5$ mm, assim foi definido como limite

inferior e limite superior de especificação 12,0 mm e 13,00 mm, respectivamente. Nesse caso, nota-se que, para N = 120, tem-se uma média de aproximadamente 12,50 mm, o que condiz com o padrão determinado pela empresa. Além disso, os índices Cp e Cpk foram calculados como 2,41 e 2,39, na ordem. Comparando-os com os índices Pp (2,44) e Ppk (2,42), nota-se que estão com valores bem semelhantes, podendo assim dizer que o processo é previsível, centralizado e ainda que o processo entrega produtos dentro de especificação.

Em relação ao fator resistência mecânica, foi-se gerado o Gráfico da Figura 23 para observar a capacidade do processo sob esta perspectiva.

Figura 23 - Análise de Capacidade (resistência mecânica)



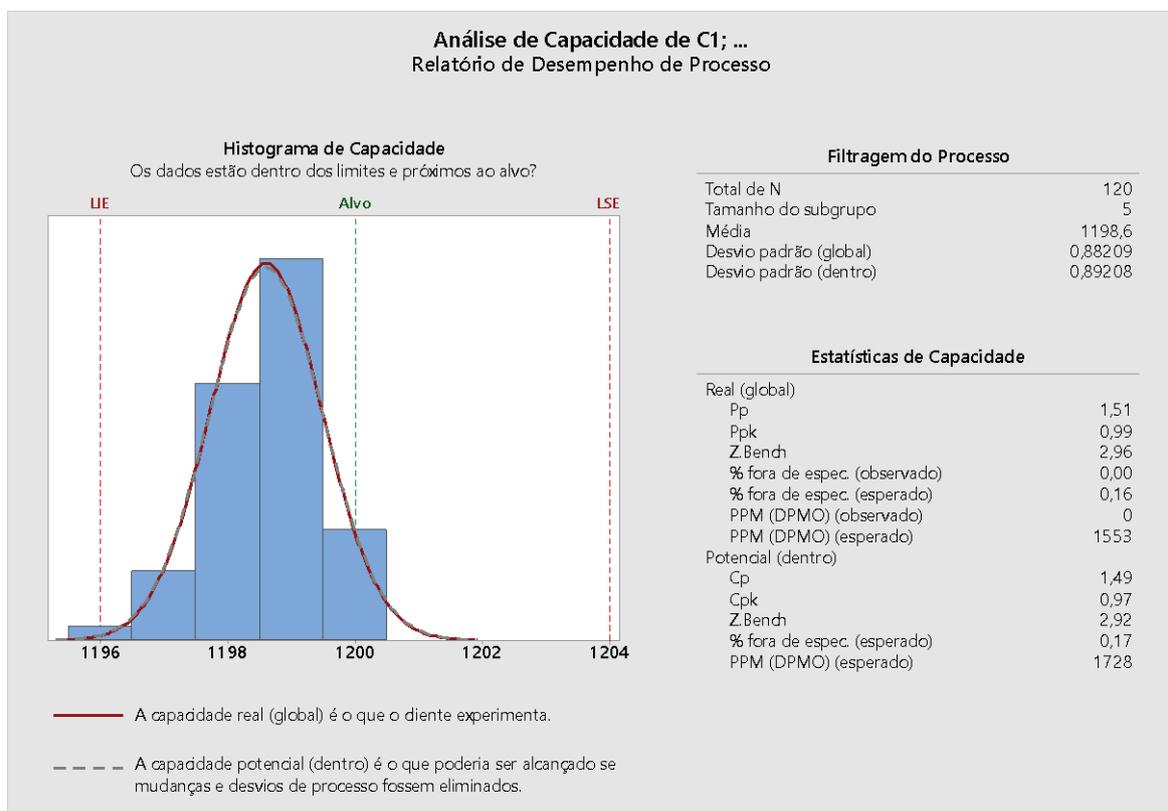
Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Nesse caso, em especial, não existe definição para o limite superior devido ao fato de que, para o cliente, norma ABNT, a placa drywall deve ter resistência mínima de 550,0 N, sendo assim, estabeleceu-se apenas o limite mínimo exigido. Para efeito de verificação da capacidade, nota-se que o valor de Cp não pode ser calculado, exatamente pelo fato de não ter especificado o limite

superior desejado. Já os valores de Ppk e Cpk estão próximos, indicando a centralização no processo. Porém, eles são menores do que 1, sugerindo que o processo não entrega produtos dentro de especificação. Apesar dessa análise da capacidade, o produto responde à especificação das normas técnicas quanto à resistência à flexão, pois as amostras analisadas apresentam valores superiores ao mínimo exigido.

Analisando o fator largura da chapa, na ótica da capacidade, tem-se as informações, mostradas no Gráfico da Figura 24, baseando-se na norma ABNT NBR 14716-1:2010.

Figura 24 - Análise de Capacidade (largura da chapa)



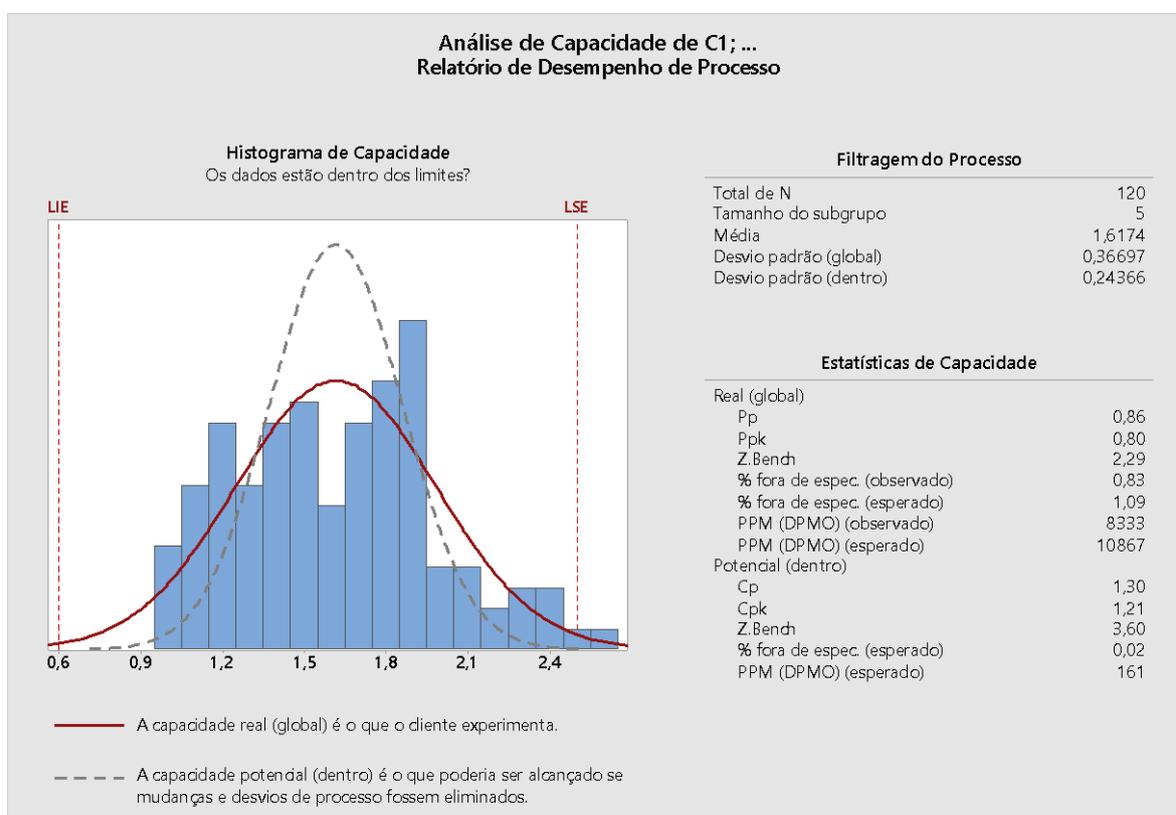
Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Atribuindo os limites inferior e superior de especificação (ABNT) em 1196,00 e 1204,0, nota-se que a média produzida está em 1198,60 mm, se encontra dentro dos limites das especificações. Nota-se que Cp corresponde a 1,49 demonstrando boa confiança na capacidade do processo. O Cpk e ppk estão abaixo de um, esses valores indicam que o processo precise de melhorias, considerando que o processo seja incapaz e as causas assinaláveis devem ser

investigadas, pois percebe-se uma não-conformidade no produto, isso pode ser explicado devido à distância ao limite superior, sendo que os valores máximos das análises ficaram muito próximas do valor alvo (1200 mm). Apesar dos índices terem demonstrado variabilidade no processo, o produto encontra-se especificado, pois atende às normas técnicas.

Por fim, observando o relatório de capacidade (Gráfico da Figura 25) do item profundidade do rebaixo, pode-se verificar o comportamento do processo em relação a este aspecto.

Figura 25 - Análise de Capacidade (profundidade do rebaixo)



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Do ponto de vista dos requisitos da norma ABNT NBR 14715-1:2010, os limites no valor 0,60 mm e 2,50 mm são fixados, como sendo inferior e superior de especificação, respectivamente. Nessa análise, nota-se que os indicadores de capacidade, ora denominados Cpk (1,21) e Ppk (0,80) estão moderadamente inferiores aos índices Cp (1,30) e Pp (0,86), o que traduz-se como o fato de que o processo não está centralizado com a nominal da especificação. Como Cpk tem valor superior a 1, o processo é considerado capaz.

Essa variação nos dados já tinha sido demonstrada nas cartas de controle, e para tais foi montada um diagrama de causa e efeito apontando as possíveis causas assinaláveis que interferem para que esse processo esteja fora do controle estatístico. Os índices de capacidade demonstraram diferenças entre si, indicando que esse critério de qualidade não é estável, o que sugere uma não conformidade na produção. Apesar de atender os limites de especificação da norma da ABNT para produção de chapas de gesso acartonado, esse critério precisa ser melhor monitorado e se encontra passível de melhorias, para que haja uma menor dispersão nos dados, sendo possível fornecer um produto com menor variação, buscando uma melhor padronização nessa característica.

4.4 Proposta de Melhoria utilizando a ferramenta 5W2H

Nesta etapa do estudo tem como objetivo analisar e sugerir melhorias às inconformidades diagnosticadas frente à aplicação das cartas de controle, pois em algumas avaliações os processos encontraram-se fora de controle estatístico, e/ou indicam a presença de causas especiais e/ou assinaláveis. Para tais questões levantadas busca-se a tratativa e/ou oportunidades de melhoria, em conjunto com as equipes envolvidas no processo produtivo de chapas do tipo *drywall*.

Após a aplicação das cartas obteve-se um melhor diagnóstico sobre o processo, sendo assim, foi realizado um *Brainstorming* com uma equipe multidisciplinar montada a fim de discutir as causas que acarretam nas variações encontradas. Com isso foi possível montar para a empresa um plano de melhoria/ação, utilizando a ferramenta 5W1H, nesse caso exclui-se a questão do custo de cada ação, pois essa análise fica a sob análise da empresa. As ações foram elaboradas especificamente para cada requisito de qualidade que o produto tem que atender, fazendo com que o mesmo obtenha aprovação do órgão regulamentador, nesse caso a norma da ABNT 14.715:2001. Tal ferramenta fornece ao nível gerencial um método de planejamento para implementação das ações necessárias, visando a busca da melhor qualidade do seu produto.

Quadro 5 – Plano de ação sugerido

Plano de Ação – 5W1H					
O quê fazer?	Quem?	Quando?	Por quê?	Como?	Onde?
Treinamento para técnicos do laboratório	Chefe de Qualidade	Semestralmente, como reciclagem	Assegurar qualidade e segurança ao processo produtivo	Criação de um Programa de Treinamentos	Na unidade da fábrica e/ou cursos externos
Verificar/atualizar instruções de trabalho	Chefe de Produção, Qualidade e Melhoria Contínua	Sempre que houver mudanças nos procedimentos	Evitar erros nas atividades do processo produtivo	Atualizando todas as informações referente ao processo, e repassar aos funcionários	Fábrica
Planejamento de Manutenção	Gerência e Chefe de Manutenção	Final de cada ano, planejar as manutenções do ano seguinte	Evitar erros, falhas, desgaste nos equipamentos, e executar reparos necessários	Planejar de acordo com as paradas de produção	Fábrica
Monitoramento da qualidade dos insumos	Gerência, Chefe de Produção, Qualidade	A cada recebimento	Para garantir qualidade no processo	Executando testes de qualidade dos insumos	Laboratório
Calibração de equipamentos de medição	Empresa especializada em tal	A cada vencimento da calibração	Garantir segurança nas medições executadas	Enviar equipamentos para a empresa especializada	Empresa especializada
Fiscalização nos seguimentos dos procedimentos do check-list	Líder de Turno	Início de cada atividade de produção	Garantir qualidade e segurança no processo produtivo	Acompanhar/observar o operador no início de suas atividades	Fábrica
Melhorar os pontos de divulgação das instruções de trabalho	Chefe de produção, Qualidade, e Melhoria Contínua	Anualmente	Dar suporte técnicas às atividades da produção	Estudar melhor local diante de cada atividade executada	Fábrica
Controle Estatístico do Processo	Equipe de Qualidade	Semanal	Monitoramento estatístico do processo	Aplicação e análise de cartas de controle, utilizando o <i>Minitab</i>	Fábrica

Fonte: Autoria Própria (2019)

Com a demonstração do plano de ação foi possível apresentar à empresa as sugestões observadas ao longo desse estudo aplicado. A prioridade e viabilidade de cada medida fica a cargo da empresa decidir. Porém, algumas delas já são implementadas, por isso a sugestão para tais foi a atualização e/ou alguma modificação. Também como sugestão de trabalhos futuros a serem feitos é a aplicação do 5W1H, onde o mesmo tem a capacidade de nortear ganhos significativos com as melhorias, podendo notar que algumas delas são de fáceis aplicações. Em acréscimo, orienta-se a desenvolver um trabalho de investigação/identificação para se alcançar a(s) causa(S) raiz(es) que acarretam nas variações nesse processo produtivo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o estudo desenvolvido foi possível compreender a importância da aplicação de cartas de controle em um processo produtivo, nesse caso na produção de chapas do tipo *drywall*. Utilizando essa metodologia houve a percepção do comportamento estatístico dos requisitos de qualidade monitorados pela empresa, a fim de atender a especificação exigida para esse tipo de unidade fabril, que é a norma da ABNT 14.715:2001: chapas de gesso acartonado – Requisitos.

Com a aplicação da metodologia para a aplicação de cartas de controle verificou-se a importância de tal ferramenta para o Controle Estatístico do Processo, servindo como suporte, apoio e orientação às atividades desenvolvidas durante o processo produtivo, pois com o devido uso se torna uma ferramenta fundamental para que a empresa melhore e mantenha a qualidade nos seus processos. Para as análises foram utilizados os dados diários da produção, tendo como apoio a equipe de Qualidade e Processo, parte dessas informações também são compartilhadas na unidade fabril em diferentes pontos de acesso, fazendo com que os funcionários envolvidos nas atividades tenham conhecimento de como está se comportando o processo, e em caso de alguma anormalidade, os próprios possam atuar na melhoria adequada.

Para acompanhamento desse estudo foi necessário ter um conhecimento sobre o processo produtivo, tomando como base a parte teórica e prática da fabricação do produto em análise, para tal foram elaborados um fluxograma das etapas e um mapeamento do processo, a fim de relacionar as variações diagnosticadas com as atividades diárias executadas na produção. O pilar para a análise dos resultados é a Voz do Cliente, é a norma da ABNT 14.715:2001, pois, atendendo à norma o produto está apto a ser comercializado. Tomados os requisitos de qualidade e feito o estudo dos mesmos, notou-se que todos os parâmetros atendem à especificação exigida, ou seja, o produto se enquadra na certificação em sua totalidade. Porém algumas análises apontaram presença de causas especiais e/ou assinaláveis no processo.

Após a aplicação das cartas de controle os resultados obtidos foram discutidos com uma equipe multidisciplinar atuante no processo, realizando um *Brainstorming*. As variações apontadas nas cartas são de conhecimento da empresa, mesmo que a mesma forneça um produto ao mercado com todas as especificações atendidas. Dos requisitos de qualidade estudados o único gráfico que não está sob controle estatístico é o item: Profundidade de Rebaixo, pois o mesmo apresentou alguns pontos foras dos limites gerados no *software Minitab*. Porém vale ressaltar que os limites inferiores e superiores gerados são diferentes dos limites que a especificação exige, ou seja, apesar de não estarem sob controle estatístico, eles estão dentro da especificação exigida. Entretanto, mesmo atendendo à norma da ABNT, esse critério apresenta uma não-conformidade, e para isso há uma necessidade de fazer uma melhor análise e estudo sobre as melhorias cabíveis.

Apesar de apenas um item se comportar fora do controle estatístico, alguns gráficos indicaram a presença de causas assinaláveis e/ou especiais, e para isso montou-se um Diagrama de Causa e Efeito, a partir destes foi elaborado um plano de ação com o objetivo de dar um direcionamento sobre as ações a serem implementadas na empresa, sendo que as ações geradas proporcione melhorias a todos os critérios analisados nesse estudo, a fim de atingir melhorias no processo produtivo.

Tendo em vista a aplicação desse estudo, obtém-se êxito na aplicação de cartas de controle em processo produtivo. Com as análises feitas foi possível apresentar de forma segura para a empresa o comportamento do processo, mostrando a importância do Controle Estatístico de Processo como diagnóstico, monitoramento e prevenção para possíveis futuros erros.

As sugestões de ações futuras dada à empresa é que a mesma realize uma análise semelhante a que como foi feita nesse estudo. Com uma equipe multidisciplinar, fazer um levantamento sobre as possíveis causas que ocasionem nas variações do processo. A partir disto, montar a prioridade das ações frente às suas viabilidades e estudar a melhor maneira de aplicação, como o estudo se refere à Qualidade do Produto, portanto, cabe a equipe de Qualidade liderar tais projetos/ações, tendo como objetivo atingir a melhor performance,

fazendo com que o produto seja líder no mercado, tendo como diferencial os melhores indicadores de Qualidade.

REFERÊNCIAS

ADEOTI, O. A.; OLAOMI, J. O. PROCESS CAPABILITY INDEX-BASED CONTROL CHART FOR VARIABLES. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 28, n. 2, p. 28-36, 2017.

ALVARENGA, T. H. P.; ABREU, A. J.; PIEKARSKI, C. M.; BITTENCOURT, J. V. M.; MATOS, E. A. S. A. Statistical process control (spc): a control tool against waste of inputs in brazilian dairy. **Independent Journal of Management & Production (IJM&P)**, v. 5, n. 1, 2014.

ANDRADE, J. J. O.; DIEHL, C. Avaliação do processo de fabricação de blocos de concreto através do emprego do controle estatístico de processo. In: **Anais do XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, Belo Horizonte – MG, 2011.

BALLESTERO-ALVAREZ, M. E. **Administração da qualidade e da produtividade**: abordagens do processo administrativo. São Paulo: Atlas, 2001.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. **Gipsita**. Rochas e Minerais Industriais – CETEM: 2008.

BAPTISTA, J. A. A. **Nível de conhecimento sobre o protocolo de Kyoto pelas empresas componentes do índice de sustentabilidade empresarial da Bovespa**. São Caetano do Sul, 2009.

BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso β obtido do pólo do Araripe. **Cerâmica**, v. 60, p. 501-508, 2014.

BARBOSA, G. et al. Implementing Lean Construction effectively in a year in a construction Project. In: **Proceedings...Annual Conference of the International Group for Lean Construction**, 21th, 2013.

BATALHA, M. O.; AMARAL, D. C. Qualidade na indústria agroalimentar: situação atual e perspectivas. **Revista de Administração de Empresas - RAE**, v. 40, n. 2, p. 90-101, 2000.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção**. LTC. 5.ed. revisada. Rio de Janeiro. 2012.

BEHR, A.; MORO, E. L. S.; ESTABEL, L. B. Gestão da biblioteca escolar: metodologias, enfoques e aplicação de ferramentas de gestão e serviços de biblioteca. **Ciência da Informação**, v. 37, n. 2, p. 32-42, 2008.

BITTENCOURT, H. R. **Estatística Aplicada à Engenharia**. Especialização em Engenharia de Processos e de Sistemas de Produção – ESTATÍSTICA. Notas de Aula. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul: 2014.

BOGDAN, R. S.; BIKEN, S. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. 12.ed. Porto: Porto, 2003.

BORROR, C. M. **The certified quality engineer handbook**. 3 ed. Milwaukee, EUA: ASQ, 2008.

BRODAY, E. E.; ANDRADE JUNIOR, P. P. Application of a quality management tool (8d) for solving industrial problems. **Independent Journal of Management & Production (IJM&P)**, v. 4, n. 2, 2013.

BUENO, M. P. **Gestão da qualidade nos frigoríficos de abate e processamento de frangos no Estado do Mato do Grosso do Sul**. 2006. 85 f. Dissertação (Mestrado em agronegócios) Universidade Federal do Mato Grosso Sul. Campo Grande, 2006.

CAROLAN, C. A.; KROS, J. F.; SAID, S. E. Economic design of Xbar control charts with continuously variable sampling intervals, **Quality and Reliability Engineering International**, v. 26, n. 3, p. 235-245, 2009.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade**: conceitos e técnicas. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

CARVALHO, M. M. et al. **Gestão da qualidade**: teoria e casos. 2 ed. Elsevier: ABEPRO, 2012.

- CHAKRABORTY, S.; TAH, D. Real time statistical process advisor for effective quality control. **Decision Support Systems**, v. 42, p. 700-711, 2006.
- CHAN, L. K.; CHENG, S. W.; SPIRING, F. A. A new measure of process capability: Cpm. **Journal of Quality Technology**, v. 20, n. 3, p. 162-75, 1988.
- COOK, D. F.; ZOBEL, C. W.; WOLFE, M. L. Environmental statistical process control using an augmented neural network classification approach. **European Journal of Operational Research**, v. 174, n. 3, p. 1631-1642, 2006.
- COSTA, A. F. B.; EPPRECHIT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Qualidade: Métodos Estatísticos**. São Paulo: Atlas, 2005.
- COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Qualidade**. São Paulo: Editora Atlas, 2012.
- CROSBY, P. B. **Quality is free**. New York: Mc-Graw-Hill, 1990.
- CUSTÓDIO, M. F. **Gestão da qualidade e produtividade**. São Paulo: Pearson, 2015.
- DANGAYACH, G. S.; DESHMUKH, S. G. Advanced manufacturing technology implementation: Evidence from Indian small and medium enterprises (SMEs). **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.16, p. 483-496, 2005.
- DAVIS, M. M.; AQUILANO N. J.; CHASE R. B. **Fundamentos da Administração da Produção**. 3a Edição. Porto Alegre: Bookman Editora, 2001.
- DEVER, J.; MAZZUCHI, T. A.; SARKANI, S.; MIHALCIN, M. J.; LOEWENTHAL, A. The Applicability of Statistical Process Control to Systems Involving People Processes and Business Rhythms. **Systems Engineering**, v. 17, n. 2, p. 193-203, 2014.
- DOANE, D. P.; LORI, E. S. **Estatística aplicada à administração e economia**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.
- DODGE, Y. **The Oxford Dictionary of Statistical Terms**, International Statistical Institute, Oxford University Press, 6th ed., USA, 2006.

DUARTE, I. A. M. et al. Controle Estatístico de Qualidade: um estudo de caso em uma empresa do setor alimentício na cidade de Campina Grande – PB. In: **Anais** do XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), João Pessoa – PB, 2016.

EHIGIE, B. O.; MCANDREW, E. B. Innovation, diffusion and adoption of total quality management (TQM). **Management Decision**, v. 43, n. 6, p. 925 – 940, 2005.

ELUAN, R. B. **Estatística Aplicada Amostral: Plano Amostral**. Universidade Federal do Pará, 2014.

FOURNIER, B.; RUPIN, N.; BIGERELLE, M.; NAJJAR, D.; IOST, A. Application of the generalized lambda distributions in a statistical process control methodology. **Journal of Process Control**, v. 16, n. 10, p.1087-1098, 2006.

GANGA, G. M. D. **Trabalho de conclusão de curso (TCC) na engenharia de produção**: um guia prático de conteúdo e forma. São Paulo: Atlas, 2012.

GARVIN, D. A. **Gerenciando a Qualidade**: a visão estratégica e competitiva. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

GAYATHRI, S.; MANGAIYARKARASI, T. A Critical Analysis of the Punjab National Bank Scam and Its Implications. **International Journal of Pure and Applied Mathematics**, v. 119, n. 12, p. 14853-14866, 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GODINA, R.; MATIAS, J. C. O.; AZEVEDO, S. G. Quality Improvement With Statistical Process Control in the Automotive Industry. **International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM)**, v. 7, n. 1, p. 1-8, 2016.

GRAÇA, J. C. O CEP acaba com as variações? **Revista Controle da Qualidade**. Editora Banas. São Paulo, p. 84-85,1996.

ISO 7870-2 (2013). **Control charts – part 2: Shewhart control charts**. International Organization for Standardization, Genève, Switzerland.

IQA: Instituto da Qualidade Automotiva. **Controle Estatístico do Processo (CEP)**. 2 ed. Indianópolis: IQA, 2005.

JURAN, J. M. **Controle da Qualidade: Conceitos, Políticas e Filosofia da Qualidade**. 4 ed. São Paulo: Makron, 1991.

KACZAM, F.; SANTOS, R. V.; SANTOS, J. A. A.; POSSAN, E.; SCHMIDT, C. A. P. Avaliação do processo produtivo de blocos cerâmicos por meio do controle estatístico do processo. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, Ed. especial, p. 1-16, 2016.

KANE, V. E. Process capability indices. **Journal of Quality Technology**, v. 18, n. 1, p. 41-52, 1986.

KHEDIRI, I. B.; WEIHS, C.; LIMAM, M. Support Vector Regression control charts for multivariate nonlinear autocorrelated processes. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 103, p. 76–81, 2010.

KONRATH, A. C. **Decomposição da estatística do gráfico de controle multivariado T2 de Hotelling por meio de um algoritmo computacional**. 2002. 90f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

KUME, H. **Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade**. 4ª edição. São Paulo, Gente: 1993.

LAM, Y; C.; SHAMSUZZAMAN, M.; ZHANG, S.; WU, Z. Integrated control chart system—optimization of sample sizes, sampling intervals and control limits, **International Journal of Production Research**, v. 43, n. 3, p. 563-582, 2005.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística Aplicada**. 4ª edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

LAS CASAS, A. L. **Administração de Marketing: conceitos, planejamento e aplicações à realidade brasileira**. 1. Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LOSSO, M. **Gesso acartonado e isolamento acustico: teoria versus prática no Brasil**. São Paulo: claCS, p.3-12, 2004.

LUDWIG, A. C. W. **Fundamentos e prática de metodologia científica**. Petrópolis, Rio de Janeiro: Vozes, 2009.

MADANHIRE, I.; MBOHWA, C. Statistical Process Control (SPC) Application in a Manufacturing Firm to Improve Cost Effectiveness: Case study. **Proceedings...** International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Kuala Lumpur, Malaysia, 2016.

MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MALIK, A. M.; SCHIESARI, L. M. C. **Qualidade na gestão local de serviços e ações de saúde**. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP; 1998.

MARQUES, P. A.; CARDEIRA, C. B.; RIBEIRO, P. P. S.; GOUVEIA, H. Selection of the Most Suitable Statistical Process Control Approach for Short Production Runs: A Decision-Model. **International Journal of Information and Education Technology**, v. 5, n. 4, 2015.

MASON, B.; JIJU, A. J. Statistical process control: an essential ingredient for improving service and manufacturing quality, **Managing Service Quality**, v. 10, n. 4, p. 233 – 238, 2007.

MATOS, A. S. B. **Aplicação de Cartas de Controle na análise de arsénio: Controlo da Qualidade Interno de Brancos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2016.

MAUGERI, A. G.; ARCIDIACONO, G. Efficient Determination of Sampling Rate and Sample Size in Statistical Process Control. **Universal Journal of Industrial and Business Management**, v. 2, n. 4, p. 103-110, 2014.

MAXIMIANO, A. C. **Teoria geral da administração**. Ed. comp. São Paulo: Atlas, 2006.

MELO FILHO, L. D. R.; CHENG, L. C. QFD na garantia da qualidade do produto durante seu desenvolvimento – caso em uma empresa de materiais. **Revista Produção**, v. 17, n. 3, p. 604-624, 2007.

MENEZES, M. K. F. et al. Aplicação das Ferramentas da Qualidade em uma empresa prestadora de serviço de fotocópias: um estudo de caso. In: **Anais do XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, João Pessoa - PB, 2016.

MOHAMMED, M. A.; WORTHINGTON, P.; WOODALL, W. H. Plotting basic control charts: tutorial notes for healthcare practitioners. **Quality and Safety in Health Care**, v. 17, p. 137–45, 2008.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade - 7ª Ed.** LTC: 2016.

MORAIS, I. C. L.; COSTA, S. R. R. Proposta de ferramentas de qualidade para um sistema de gestão de segurança de alimentos em unidades de alimentação e nutrição. **Brazilian Journal of Food and Nutrition**. v. 24, n. 1, p. 45-49, 2013.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística básica**. 5a. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

NAKAMURA, J. Elementos que compõem uma parede de drywall. **Revista Equipe de Obra**, v. 64, 2013.

NAGYOVA, A.; PALKO, M.; PACAIOVA, H. **Analysis and identification of nonconforming products by 5W2H method**. In: 9th International Quality Conference, 2015, Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, 2015.

NDUKWE, I.; YUAN, Q. Drywall (Gyproc Plasterboard) Recycling and Reuse as a Compost-Bulking Agent in Canada and North America: A Review. **Recycling**, v. 1, p. 311–320, 2016.

NOMELINI, Q. S. S.; FERREIRA, E. B.; OLIVEIRA, M. A. Studies on nonrandom patterns in Shewhart control charts. **Gestão & Produção**, v. 16, n. 3, p. 414-421, 2009.

OGUNTUNDE, P. E.; ODETUNMIBI, O. A.; OLUWADARE, O. O. A Comparative Study of the Use of Statistical Process Control in Monitoring Health Care Delivery. **International Journal of Innovation and Scientific Research**, v. 14, n. 2, p. 154-158, 2015.

OKWIRI, O. A. Quality Management as an Outcome of Management Field Evolution: A Review. **Online Journal of Social Sciences Research**, v. 3, n. 1, p 1-9, 2014.

OLIVEIRA, F.; BORGES, L.; MELO, E.; BARROS, M. Características mineralógicas e cristalográficas da gipsita do Araripe. **Holos**, v. 5, n. 28, p. 71 – 82, 2012.

PAESE, C.; CATEN, C. T.; RIBEIRO, J. L. D. Aplicação da análise de variância na implantação do CEP. **Produção**, v. 11, n. 1, p. 17-26, 2001.

PALADINI, E. P. An expert system approach to quality control. **Expert Systems with Applications**, v.18, p.133–151, 2000.

PALADINI, E. P. et al. **Gestão da Qualidade: Teoria e Casos**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

PIMENTEL, L.; BARRUETO JÚNIOR, F. Statistical process control: separating signal from noise in emergency department operations. **The Journal of Emergency Medicine**, v. -, n. -, p. 1–11, 2015.

PIMENTEL, R. A. S. **Modelos de Gestão: Qualidade e Produtividade**. Centro Universitário UniNilton Lins. Manaus, 2007.

PITT, H. **SPC for rest of us: a personal path to Statistical Process Control**. Massachusetts: AddisonWesley Publishing Company, 1994.

RAHEEM, M. A.; GBOLAHAN, A. T.; UDOADA, I. E. Application of Statistical Process Control in a Production Process. **Science Journal of Applied Mathematics and Statistics**, v. 4, n. 1, p. 1-11, 2016.

RAHMAN, M. N. A.; ZAIN, R. M.; ALIAS, A. M.; NOPIAH, Z. M. Statistical process control: Best practices in small and medium enterprises. **Maejo International Journal of Science and Technology**, v. 9, n. 2, p. 193-208, 2015.

RAMOS, A. W. **CEP para processos contínuos e em bateladas**. São Paulo: Fundação Vanzolini, 2000.

Ramos, R. G. **Aplicação do Controlo Estatístico do Processo numa Indústria de Masterbatches de Aditivos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2017.

Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2017.

RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. S. T. **Controle Estatístico do Processo**. Série monográfica Qualidade. FEENG/UFRGS: Porto Alegre, 2012.

ROTONDARO. R. et al. **Seis Sigma: Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.

SALAHELDIN, I. Critical success factors for TQM implementation and their impact on performance of SMEs. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 58, n. 3, p. 215 – 237, 2009.

SAMOHYL. R. W. **Controle Estatístico da Qualidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SANTOS, A. J.; ARAÚJO, C. R. A.; SILVA, F. L.; ALEXANDRE, L. A.C. Impactos Causados pelos Resíduos Sólidos do Gesso no Polo Gesseiro de Trindade- PE. **Id on Line Revista Multidisciplinar e de Psicologia**, v. 11, n. 37, p.143-159, 2017.

SCHUH, A.; CANHAM-CHERVAK, M.; JONES, B. H. Statistical process control charts for monitoring military injuries. **Injury Prevention**, v. 23, p. 416-422, 2017.

SELEME, R.; STADLER, H. **Controle da Qualidade**. 1 ed. São Paulo: IBPEX, 2008. 181p.

SIDIN, J. P.; WAFA, S. A. W. S. K. Quality Management Implementation and Quality of Production in Malaysia's Manufacturing Companies. **International Journal of Research in Business Management**, v. 2, n. 3, p. 53-60, 2014.

SILVA, J. P.; SOUZA, A. A.; CAMPOS, B. N. S. Análise da aplicação de ferramentas básicas da qualidade para o monitoramento do processo em uma indústria do setor cerâmico. In: **Anais** do XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, João Pessoa - PB, 2016.

ŠKULJ, G.; VRABIČ, R.; BUTALA, P.; SLUGA, A. Statistical Process Control as a Service: An Industrial Case Study. **Procedia CIRP**, v. 7, p. 401-406, 2013

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOARES, G. M. V. P. P. **Aplicação do Controle Estatístico de Processos em Indústria de Bebidas: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

SOKOVIC, M.; PAVLETIC D.; PIPAN, K.K. Quality Improvement Methodologies – PDCA Cycle, RADAR Matrix, DMAIC and DFSS, **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, v. 43, n. 1, p. 476– 483, 2010.

SOUZA, A. M.; RIGÃO, M. H. Identificação de variáveis fora de controle em processos produtivos multivariados. **Produção**, v. 15, n. 1, p. 74-86, 2005.

SPIRING, F. A.; LEUNG, B.; CHENG, S.W.; YEUNG, A. A bibliography of process capability papers. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 19, p. 445–460, 2003.

SRIKAEAO, K.; FURST, J. E.; ASHTON, J. Characterization of wheatbased biscuit cooking process by statistical process control techniques. **Food Control**, v. 16, n. 4, p. 309-317, 2005.

THOR, J.; LUNDBERG, J.; ASK, J.; OLSSON, J.; CARLI, C.; HARENSTAM, K. P.; BROMMELS, M. Application of statistical process control in healthcare

improvement: systematic review. **Quality & safety in health care**, v. 16, n. 5, p. 387-399, 2007.

TOLEDO, J. C. et al. **Qualidade: gestão e métodos**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

TOLEDO, J. C.; LIZARELLI, F. L.; SANTANA JUNIOR, M. B. Success factors in the implementation of statistical process control: action research in a chemical plant. **Production**, v. 27, 2017.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

WERKEMA, M. C. **Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos**. v. 2. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

WOJEWODA, K.; ROGALSKI, P. **Identification of materials used in Technology of Interior Drywall Systems**. Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy. Polônia, 2010.

WU, Z.; YANGA, M.; KHOOB, P. M. B. C. Castagliola. What are the best sample sizes for the Xbar and CUSUM charts? **International Journal of Production Economics**, v. 131, n. 2, p. 650-662, 2011.

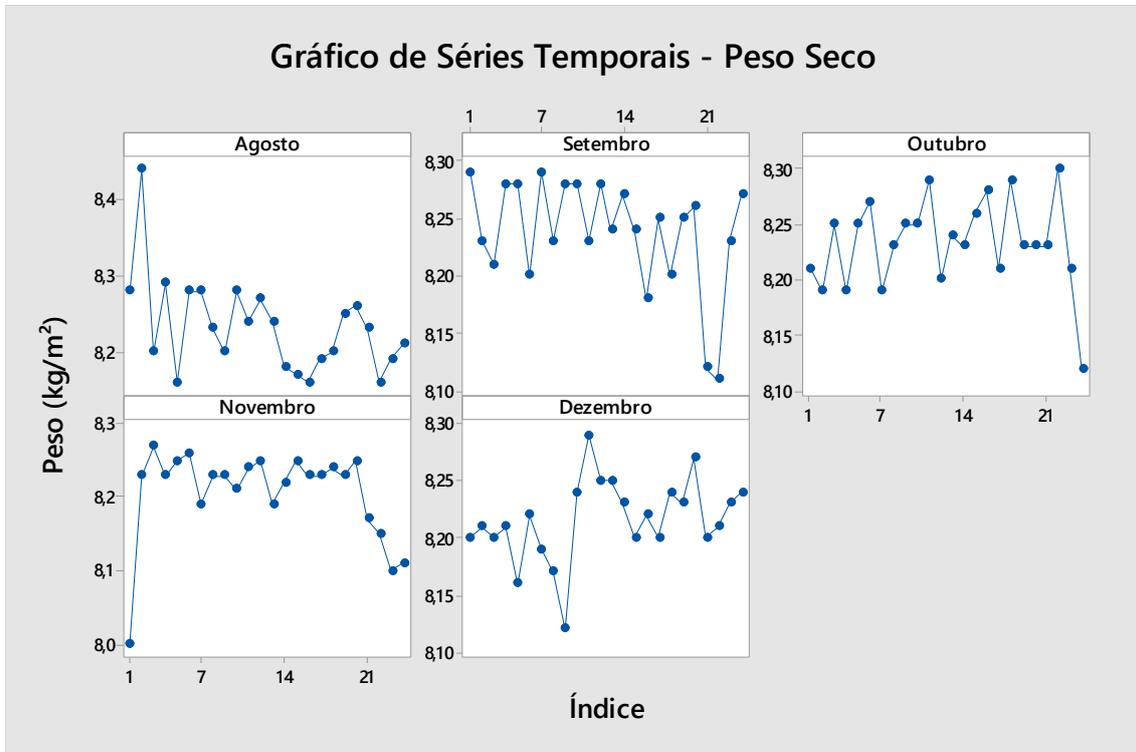
YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YUM, B.J.; KIM, K.W. A bibliography of the literature on process capability indices: 2000-2009. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 27, p. 251–268, 2011.

APÊNDICES

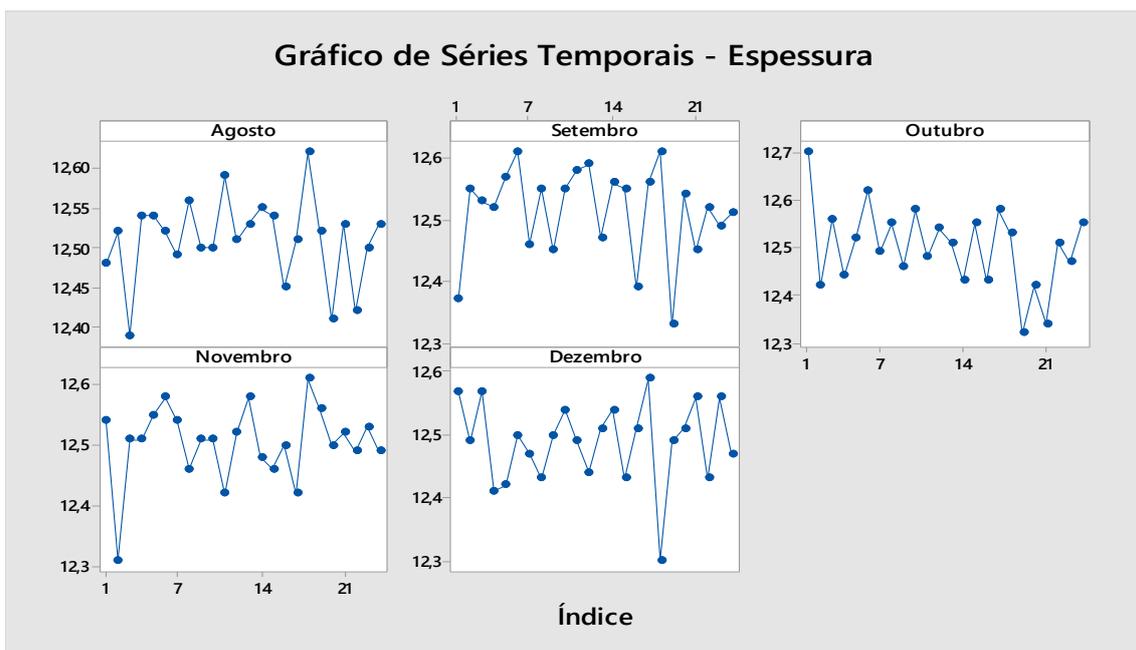
APÊNDICE A – SÉRIES TEMPORAIS

Figura 26 – Série temporal para peso (kg/m^2)



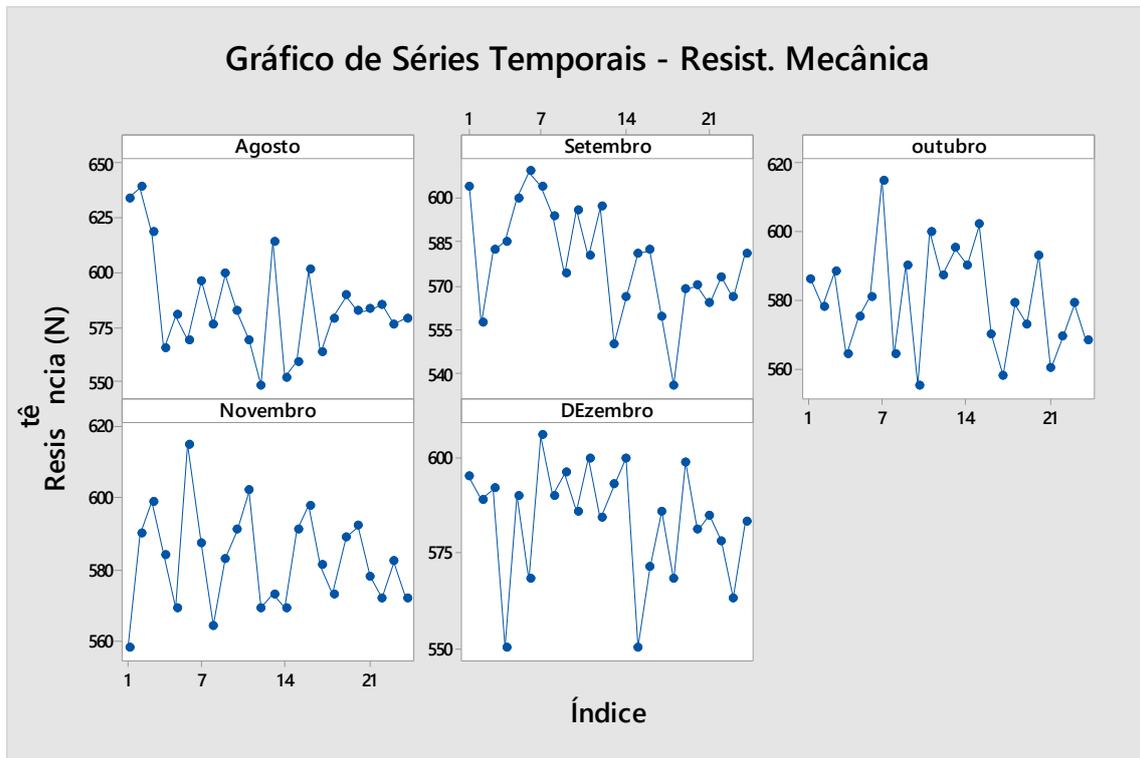
Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Figura 27 – Série temporal para espessura seca (mm)



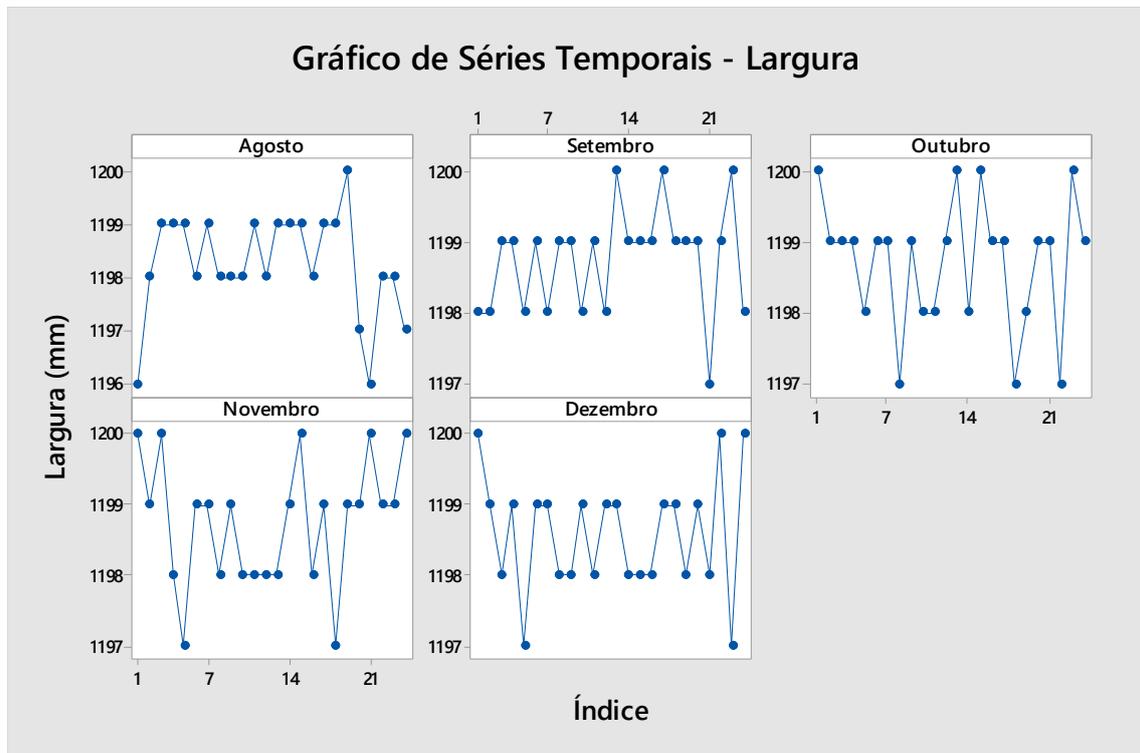
Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Figura 28 – Série temporal para resistência mecânica (N)



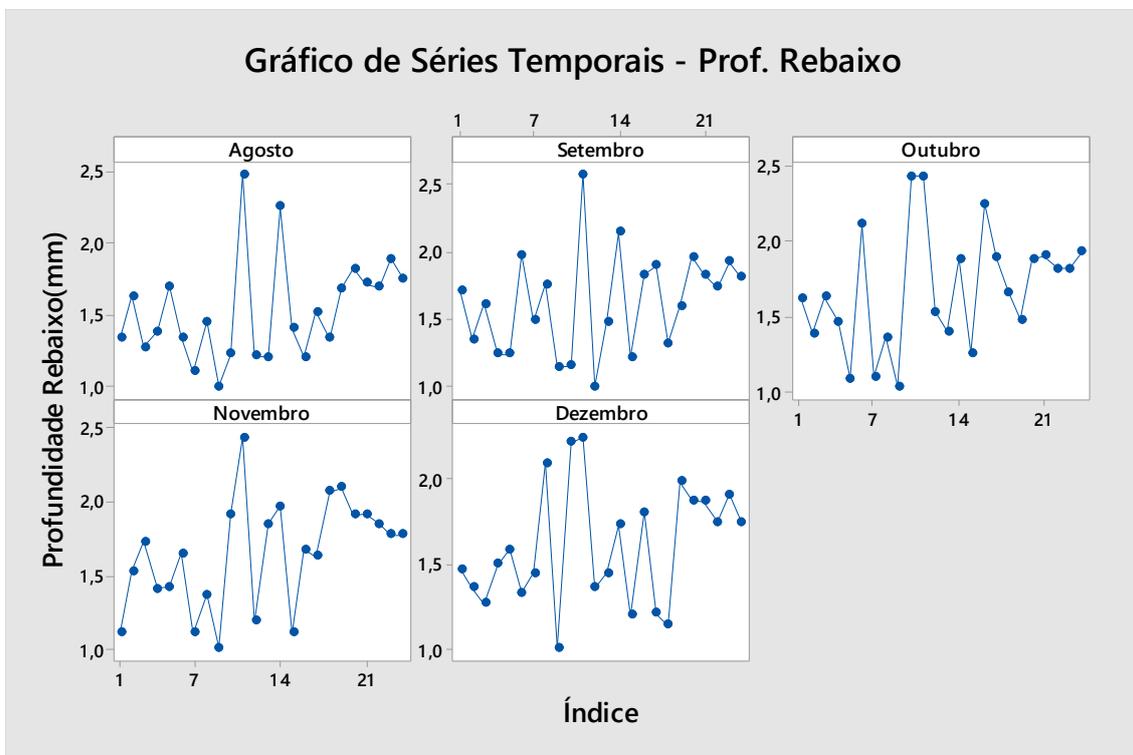
Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Figura 29 – Série temporal para largura da chapa (mm)



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

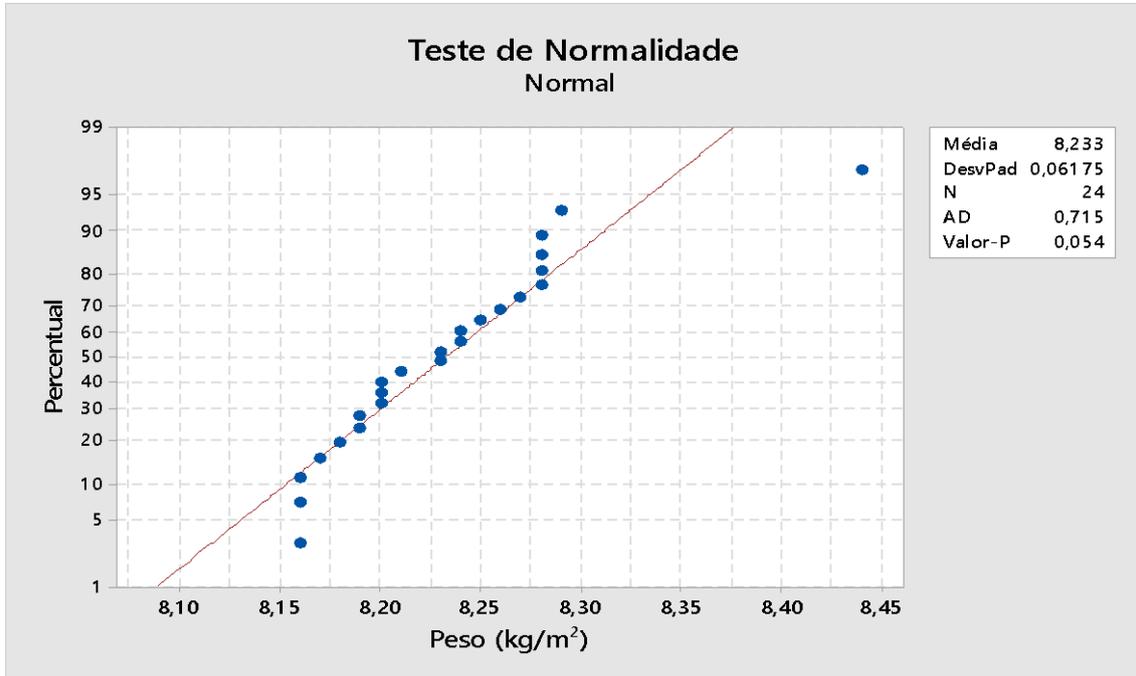
Figura 30 – Série temporal para profundidade rebaixo (mm)



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

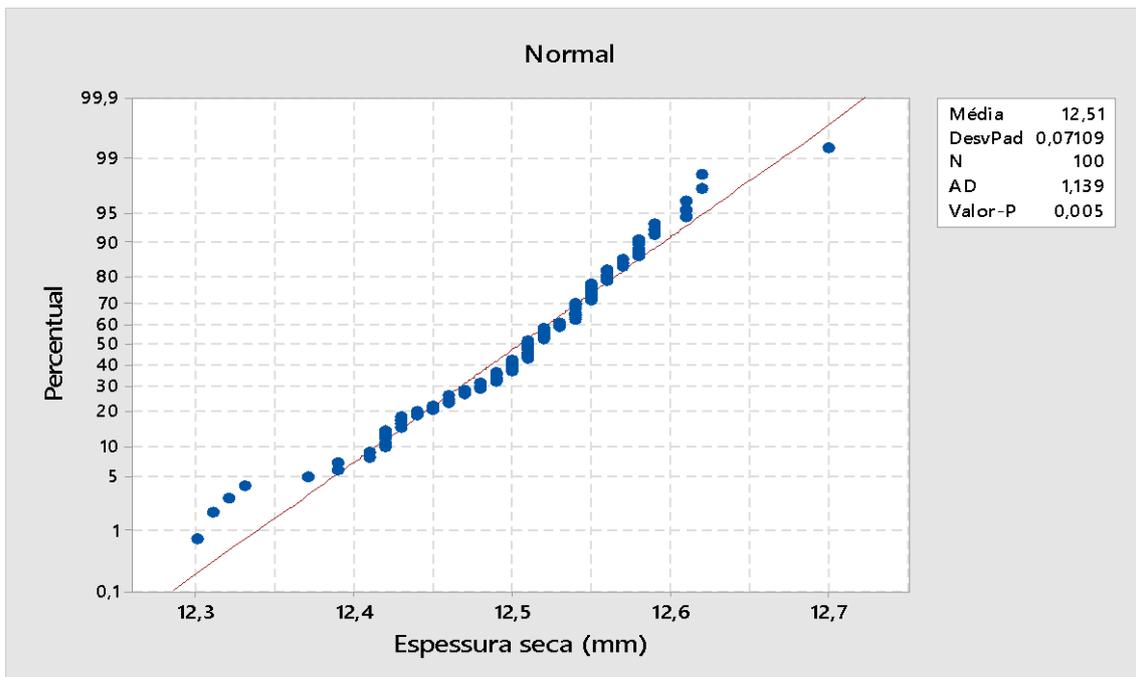
APÊNDICE B – TESTES DE NORMALIDADE

Figura 31 – Teste de normalidade para peso



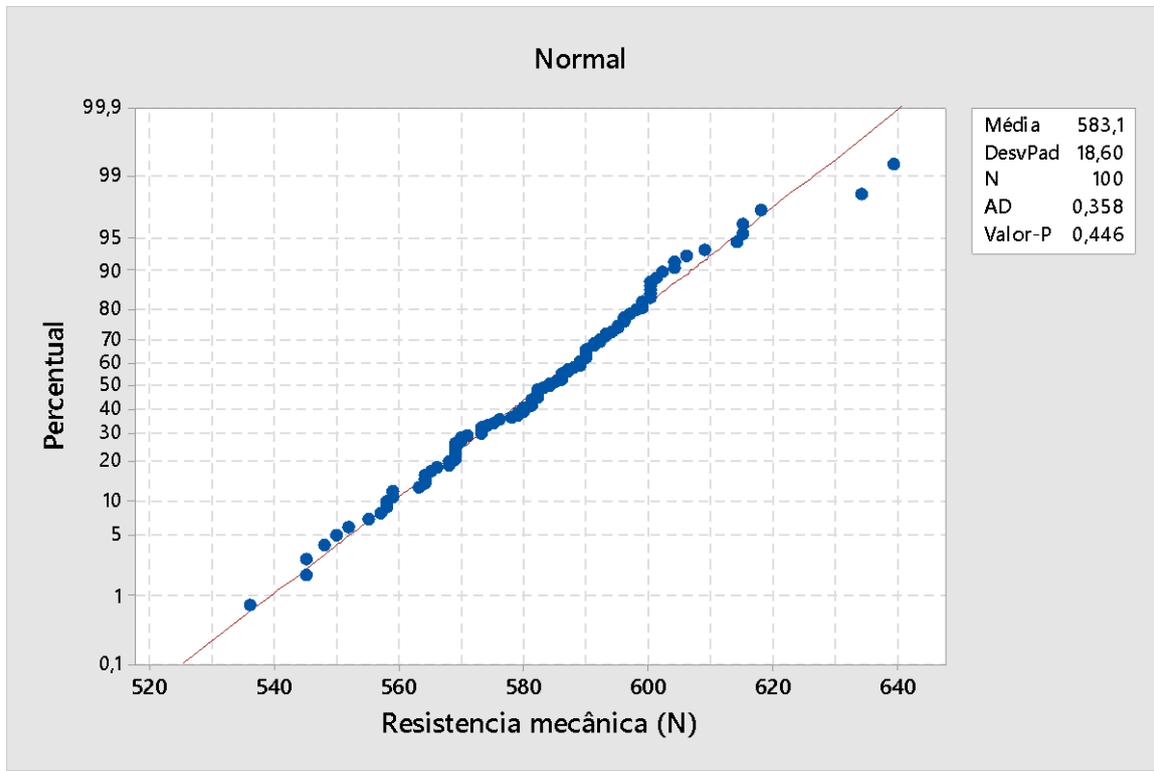
Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Figura 32 – Teste de normalidade para espessura seca



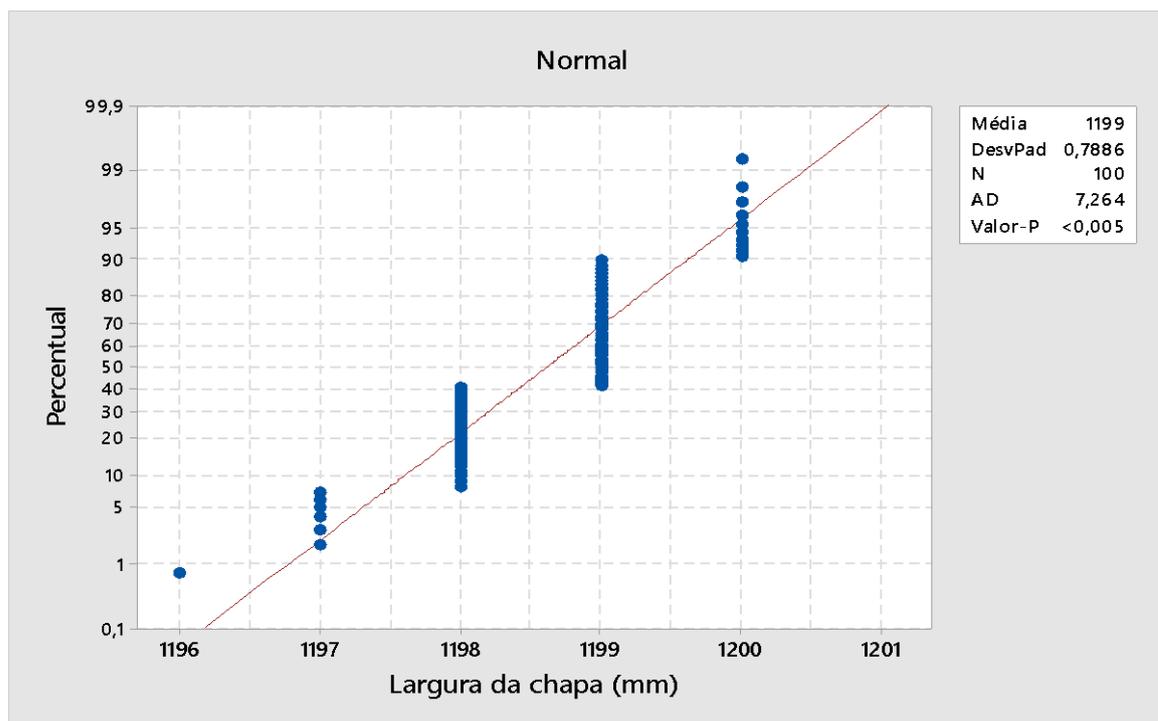
Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Figura 33 – Teste de normalidade para resistência mecânica



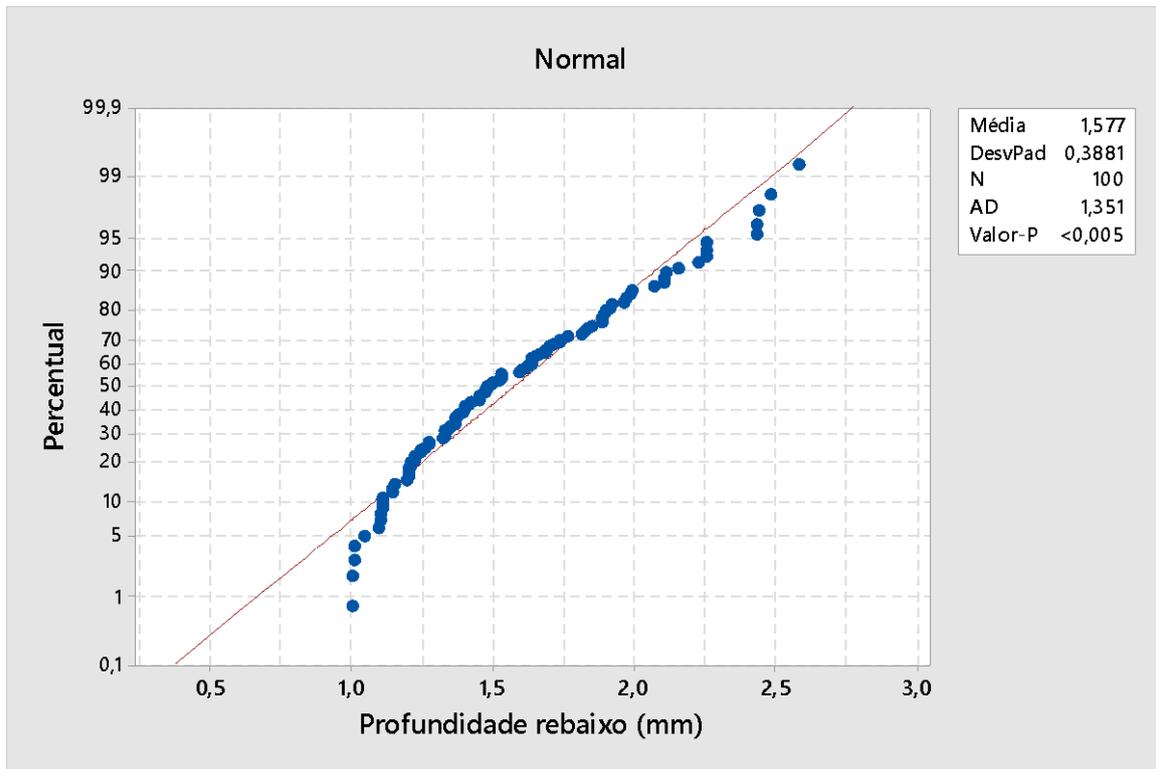
Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Figura 34 – Teste de normalidade para largura da chapa



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Figura 35 – Teste de normalidade para profundidade rebaixo



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

ANEXOS

ANEXO A - FÓRMULAS PARA DETERMINAÇÃO DE LIMITES

Tabela 6 – Fórmulas para cálculo dos limites de controle

Tipo de Gráfico	Limites de Controle	
	Gráfico	Fórmulas
\bar{X} e R	Média	$LSC = \bar{X} + (A_2 * \bar{R})$
		$LIC = \bar{X} - (A_2 * \bar{R})$
	Amplitude	$LSC = D_4 * \bar{R}$
		$LIC = D_3 * \bar{R}$
\bar{X} e s	Média	$LSC = \bar{X} + (A_3 * \bar{s})$
		$LIC = \bar{X} - (A_3 * \bar{s})$
	Desvio-padrão	$LSC = B_4 * \bar{s}$
		$LIC = B_3 * \bar{s}$
\bar{X}_{med} e R	Mediana	$LSC = \bar{X}_{med} + (A_2 * \bar{R})$
		$LIC = \bar{X}_{med} - (A_2 * \bar{R})$
	Amplitude	$LSC = D_4 * \bar{R}$
		$LIC = D_3 * \bar{R}$
X_i e R	Valor individual	$LSC = X + (2,66 * \bar{R})$
		$LIC = X - (2,66 * \bar{R})$
	Amplitude	$LSC = 3,267 * \bar{R}$
		$LIC = 0$

Fonte: Soares (2000)

ANEXO B – CONSTANTES PARA CARTAS DE CONTROLE

Tabela 7: Fatores para cartas de controle

n	Control chart factors														
	A	A2	A3	c4	B3	B4	B5	B6	d2	1/d2	d3	D1	D2	D3	D4
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	0.000	3.267	0.000	2.606	1.128	0.8862	0.853	0.000	3.686	0.000	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	0.000	2.568	0.000	2.276	1.693	0.5908	0.888	0.000	4.358	0.000	2.575
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	0.000	2.266	0.000	2.088	2.059	0.4857	0.880	0.000	4.698	0.000	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	0.000	2.089	0.000	1.964	2.326	0.4299	0.864	0.000	4.918	0.000	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0.000	5.079	0.000	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.205	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.307	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.394	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.686	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.923	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.740	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.609
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.733	1.489	5.889	0.404	1.596
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.606	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.660	5.979	0.435	1.565
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.711	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.032	0.452	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.805	6.056	0.459	1.541

