

## ARTIGOS

ANÁLISE DE VARIÂNCIA COMO SUPORTE PARA  
A FILOSOFIA *LEAN* NA FABRICAÇÃO DE GESSOVARIANCE ANALYSIS AS SUPPORT FOR *LEAN*  
PHILOSOPHY IN GYPSUM MANUFACTURING

## RESUMO

**Pedro Vieira Souza Santos**  
**pedrovieirass@hotmail.com**  
*Mestre em Engenharia de Produção (UFPE). Graduado em Engenharia de Produção (UNIVASF). Atua como Professor, Pesquisador e Professor Conteudista na Universidade Federal do Vale do São Francisco. Juazeiro - BA - BR.*

**Eduína Carla da Silva**  
**eduinac@gmail.com**  
*Graduada em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande - PB - BR.*

**Isabela Tito Pereira Rocha**  
**isabelatito@hotmail.com**  
*Mestra em Administração Pública pela Universidade Federal do Vale do São Francisco. Professora Substituta no curso de Engenharia de Produção na Universidade Federal do Vale do São Francisco. Salgueiro - PE - BR.*

**Maurilio Arruda de Araújo**  
**maurilioarruda@hotmail.com**  
*Doutorando pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Contábeis da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Professor Assistente (Efetivo) na Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA). Marabá - PA - BR.*

Considerando as diversas abordagens que são propostas e dispostas para aplicação nas indústrias dos mais variados setores, pode-se citar a estatística como uma das mais consolidadas. Trata-se de uma área que pode contribuir com uma gama de testes e tratamento de dados. Por outro lado, a Filosofia Lean possui um leque de ferramentas que viabilizam a redução de desperdícios. Nesse sentido, o presente artigo objetivou utilizar informações estatísticas para projetar o nível de produção de sacos de gesso, em uma calcinadora pernambucana. Nesse contexto, a avaliação estatística somada à abordagem proposta pelo Lean Manufacturing justifica-se diante da necessidade de proposição de melhorias no processo produtivo do gesso. Trata-se de um enfoque metodológico híbrido, que une duas vertentes a favor do caso analisado. A maior parte das empresas da região carece de estudos e métodos que proporcionem ganhos efetivos em qualidade e produtividade dos processos internos. Quanto aos objetivos, esta pesquisa pode ser enquadrada como exploratória e, em relação aos procedimentos técnicos, a pesquisa classifica-se como sendo um estudo de campo, pois busca aprofundar o debate acerca da realidade específica do Arranjo Produtivo Local (APL) do Gesso, em Pernambuco. A pesquisa foi desenvolvida em duas fases: inicialmente, com base nos dados coletados, as análises estatísticas foram executadas e, posteriormente, os dados da produção obtidos foram submetidos ao processo de nivelamento, com o método Heijunka. Definiu-se o nível de produção local em 10.000 sacos para cada linha de produção. Com isso, haverá uma quantidade de 500 sacos produzidos acima da demanda, que serão tratados como estoque de segurança. Pode-se evidenciar a associação possível de informações estatísticas como entrada para ferramentas da manufatura enxuta.

**Palavras-chave:** ANOVA; Heijunka; Lean; gesso; Araripe.

## ABSTRACT

Considering the various approaches proposed and available for application in industries across a wide range of sectors, statistics can be cited as one of the most consolidated. It is an area that can contribute to a range of tests and data processing. On the other hand, Lean Philosophy has a range of tools that enable waste reduction. In this sense, this article aimed to use statistical information to project the production level of gypsum bags in a calciner in Pernambuco. In this sense, the statistical evaluation combined with the approach proposed by Lean Manufacturing is justified, given the need to input improvements in the gypsum production process. It is a hybrid methodological approach that combines two aspects in favor of the case analyzed. Most companies in the region lack studies and methods that provide effective gains in the quality and productivity of internal processes. Concerning the objectives, this research can be classified as exploratory, and in relation to the technical procedures, the research is classified as a field study, as it seeks to deepen the debate about the specific reality of the Local Production Arrangement (APL) of gypsum, in Pernambuco. The research was developed in two phases: initially, based on the data collected, statistical analyses were performed, and subsequently, the production data obtained were subjected to the leveling process with the Heijunka method. The local production level was defined as 10,000 bags for each production line. Therefore, there will be a quantity of 500 bags produced above the demand, which will be treated as safety stock. The possible association of statistical information as input for lean manufacturing tools can be evidenced.

**Keywords:** ANOVA; Heijunka; Lean; gypsum; Araripe.

## 1 INTRODUÇÃO

No competitivo ambiente mercadológico atual, as empresas buscam, continuamente, a sustentabilidade das operações, observando as novas demandas impostas pelos clientes. À medida que a concorrência aumenta em paralelo aos requisitos técnicos, as indústrias de manufatura, em especial, são direcionadas a moldar as operações e seus processos internos com foco na melhoria (Santos, 2020a, 2020b; Dias Neto *et al.*, 2023; Silva; Silva; Santos, 2024).

Assim, as organizações objetivam a manutenção do nível exigido de qualidade e serviço com vistas ainda ao aumento da eficiência. Todos esses fatores são atrelados à perspectiva financeira, isto é, à redução dos custos de fabricação. Para atingir esse objetivo, recorre-se a técnicas, filosofias e ferramentas de aprimoramento que permitem que as instituições modifiquem seus sistemas de produção (Bohnen; Maschek; Deuse, 2015; Souza Júnior *et al.*, 2022; Oliveira; Silva; Santos, 2022; Soares *et al.*, 2022).

Nesse contexto, um setor que se destaca é o de produção de gesso, sobretudo das empresas localizadas no Arranjo Produtivo Local (APL) da região do Araripe, situado no Estado de Pernambuco. De acordo com Santos e Clemente (2019), as empresas do APL apresentam um significativo volume de produção, sendo um dos principais fornecedores de gesso em pó para indústrias diversas, como a construção civil, arquitetura, ortopedia e outras. Para Santos, Ferraz e Silva (2019), as empresas do APL vêm buscando, continuamente, formas de agregar valor a seus produtos, seja por meio de melhores métodos de gestão, seja até por formas de inovação, em um constante processo de desenvolvimento local.

Diversas ferramentas de gestão podem ser empregadas nos mais variados tipos de realidade e/ou processos, como as de base estatística. Nesse sentido, a Estatística pode ser entendida como uma ciência que engloba a coleta, a organização, a análise, a interpretação

e ainda a apresentação de dados. Por meio desse conhecimento estatístico, o gestor propicia “à empresa a vantagem competitiva contra organizações que não compreendem seus dados internos e externos de mercado” (Doane; Lori, 2014, p. 5).

Outra abordagem contemporânea trata da Filosofia Lean Manufacturing, ou produção enxuta. Traduz-se como uma forma de gestão com foco na eliminação de atividades que não agregam valor ao produto ou serviço. Em outras palavras, direciona-se à redução de desperdícios atrelados à produção em excesso, ao tempo de espera, transporte, processamento, estoque, movimento e/ou aos defeitos (Lee *et al.*, 2007; Bortolotti; Romano; Nicoletti, 2010; Oliveira; Santos Filho; Santos, 2024).

Diversas ferramentas compõem a abordagem Lean, como o Heijunka. Essa ferramenta é aplicada com o intuito de executar o nivelamento da produção, sendo uma técnica capaz de reduzir a irregularidade, que, conseqüentemente, pode reduzir o desperdício. Por tal, é uma contribuição vital para o desenvolvimento da eficiência da produção na manufatura enxuta (Hüttmeir *et al.*, 2009; Korytkowski; Grimaud; Dolgiu, 2014).

Nesse contexto, a avaliação estatística, somada à abordagem proposta pelo Lean Manufacturing, justifica-se diante da necessidade de proposição de melhorias no processo produtivo do gesso (Santos; Clemente, 2019). Trata-se de um enfoque metodológico híbrido, que une duas vertentes a favor do caso analisado. A maior parte das empresas da região carece de estudos e métodos que proporcionem ganhos efetivos em qualidade e produtividade dos processos internos (Fernandes *et al.*, 2021).

Isso posto, a problemática levantada é: como ferramentas estatísticas podem auxiliar na implementação de ferramentas *Lean* em empresas do setor de gesso? Logo, o presente artigo tem como objetivo utilizar informações da Análise de Variância (ANOVA) para definir e projetar o nível de produção de sacos de gesso em pó, em uma calcinadora localizada na Região do Araripe, em Pernambuco.

## 2 CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS SOBRE O LEAN MANUFACTURING

No contexto organizacional contemporâneo, há uma busca cada vez mais constante por metodologias efetivas em gestão (Santos, 2017). Nesse contexto, a manufatura enxuta (*Lean Manufacturing*) é uma abordagem que exemplifica uma nova visão de aperfeiçoamento nos processos das empresas, considerando a melhoria contínua como um dos seus pilares (Cox; Chicksand, 2005; Santos; Araújo, 2018).

O termo manufatura ou produção enxuta teve início no Japão, após a Segunda Guerra Mundial, e foi utilizado pela *Toyota Motor Company*. Na ocasião, tinha-se como intuito a formulação de um sistema produtivo prático, capaz de gerir a produção de acordo com as demandas específicas por modelo e cor do veículo (Corrêa; Corrêa, 2012; Piercy; Rich, 2015; Santos, 2019).

Logo, a *Lean Manufacturing* tornou-se acessível após a divulgação da obra intitulada “A máquina que mudou o mundo” de autoria de Womack, Jones e Roos, publicado na década de 1990. O livro aborda um amplo estudo acerca da indústria automobilística mundial, desenvolvida pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Ademais, destaca as diferenças relevantes em termos de qualidade, produtividade e demais benefícios acarretados pela aplicação do Sistema Toyota de Produção (Lasa; Laburu; Vila, 2008; Pacheco, 2014; Santos; Ferraz; Silva, 2019).

A proposta indicada pelo *Lean Manufacturing* pretende favorecer a redução do desperdício em termos de recursos, enquanto fornece produtos de qualidade com eficiência (Womack; Jones; Roos, 1990). Tais perdas podem ser distribuídas em sete tipos ou fontes, conforme Ohno (2004):

- a) superprodução: quando há produção em excesso e/ou antecipada, podendo derivar em excesso de inventário;
- b) espera: traduzido em períodos extensos de ociosidade de recursos

- humanos, peças ou informação, originando lead times mais longos;
- c) transporte: compreendido pelo movimento sem necessidade de insumos ou materiais, ocorrendo, em geral, em plantas com layouts mal planejados;
  - d) processamento: engloba os procedimentos utilizados de modo inadequado, representado por processar além do necessário;
  - e) estoque: significa alto nível de armazenamento e ausência de informação e/ou produtos, acarretando em custos em excesso;
  - f) movimentação: deslocamento do operador sem necessidade, reduzindo a produtividade do mesmo;
  - g) defeitos: falhas na qualidade do produto, gerando itens defeituosos.

Apesar de ser originário da indústria automotiva, a manufatura enxuta e suas ferramentas já foram aplicadas em vários setores. Recentemente, essas técnicas têm se destacado além dos ambientes de manufatura, evidenciando ganhos significativos (Holden, 2011; Santos; Araújo, 2020). No contexto Lean, diversas ferramentas estão dispostas, como o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), o Kanban e o Heijunka.

O Heijunka trata de um conceito que busca a estabilidade ao processo de fabricação, convertendo a demanda desigual do cliente em um processo de manufatura uniforme e previsível. Na literatura, o Heijunka é citado como prática capaz de melhorar a eficiência operacional em vários ramos, cooperando para atingir objetivos estratégicos, como a flexibilidade, a qualidade, o custo e o nível de serviço ao cliente (Hopp; Spearman, 2000; Melton, 2005; Jones, 2006).

O conceito de nivelamento da produção (Heijunka) é conhecido há mais de 50 anos, desenvolvido pela Toyota no contexto da indústria automotiva (Araujo; Queiroz, 2010). As primeiras referências e os estudos sobre o

tema foram publicados na década de 1960 e, desde o início, o nivelamento da manufatura desempenhou um papel significativo no sistema Just-in-Time (JIT) e na produção enxuta, ou *Lean Manufacturing* (Beckman, 1961; Elmaleh; Eilon, 1974; Hüttmeir *et al.*, 2009).

Do ponto de vista prático, a abordagem proposta pela Filosofia Lean inclui ganhos relevantes, do ponto de vista operacional (Deshkar *et al.*, 2018; Baysan *et al.*, 2019; Pena *et al.*, 2020). Tais como:

- a) melhora os processos de produção para aumentar a capacidade de resposta à crescente demanda;
- b) eliminação de faltas de estoque;
- c) maior autonomia dos trabalhadores;
- d) redução no tempo de parada da produção;
- e) identificação de desperdícios na produção;
- f) melhor Takt Time;
- g) redução de custo de estoques; e, outros mais.

Logo, a operação nivelada sob a perspectiva Lean direciona a organização a desenvolver novas formas de negociar e planejar compras com os fornecedores, melhorar o uso de equipamentos e o uso mais eficiente dos recursos em geral, podendo ainda agregar a inclusão de novos processos e aprimorar o planejamento de equipe (Lee *et al.*, 2007; Powell; Alfnes; Semini, 2010; Portioli-Staudacher, 2010).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA: ABORDAGEM E TIPOLOGIA

Quanto aos objetivos, esta pesquisa pode ser enquadrada como exploratória, uma vez que busca proporcionar maior familiaridade com o problema de gestão de operações no processo produtivo do gesso no polo pernambucano. Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa classifica-se como sendo um estudo de campo, pois busca aprofundar

o debate acerca da realidade específica do Arranjo Produtivo Local (APL) do Gesso, em Pernambuco (Gil, 2008).

Basicamente, este tipo de abordagem é realizado por meio da observação de modo direto das atividades do cenário estudado. Foram feitas entrevistas com informantes para captar as explicações e as interpretações do que ocorre na realidade do APL.

## 3.2 ETAPAS DA PESQUISA

Em relação aos aspectos metodológicos, a presente pesquisa foi desenvolvida em duas fases: inicialmente, as análises estatísticas foram executadas (fase 1) e, posteriormente, os dados obtidos foram submetidos ao processo de nivelamento da produção, por meio do método Heijunka (fase 2). As etapas de cada fase são descritas a seguir.

### 3.2.1 Fase 1 – Abordagem estatística

- a) coleta de dados: a fim de analisar as variâncias no processo produtivo do gesso, na etapa inicial, foram registrados dados referentes aos seis últimos meses de 2023. Tais valores compreendem a quantidade média de sacos produzida por linha de produção em cada mês. O saco de gesso em pó aqui citado compreende o tipo *standart* com 40kg, cada;
- b) formular as hipóteses: em paralelo, foram definidas as hipóteses a serem testadas, sendo  $H_0$  a hipótese nula e  $H_1$  a hipótese alternativa:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$  (as médias de cada linha de produção são iguais)

$H_1: \text{Nem todas as médias são iguais}$

- c) construir a regra de decisão: os dados coletados estão agrupados em 4 grupos (c), cada um associado a uma linha de produção e 24

observações (n). Essas informações são úteis para definição dos graus de liberdade (g.l.) do teste F, em que são indicados como:  $g_{1,1} = c - 1 = 4 - 1 = 3$  (entre tratamentos/fator) e  $g_{1,2} = n - c = 24 - 4 = 20$  (dentro dos tratamentos/erro);

- d) resolução do teste F: com os dados obtidos na etapa “c” e usando o nível de significância alfa ( $\alpha = 0,05$ ) para o teste, busca-se o valor crítico de F. A estatística de teste é a razão entre o quadrado médio devido ao tratamento (QMEnt) e o quadrado médio dentro dos tratamentos ou residual (QMErro), isto é:  $F = \text{QMEnt}/\text{QMErro}$ . Para obtenção dos valores dos quadrados médio, o *software* Microsoft Excel é utilizado;
- e) execução do teste de Tukey *studentizado*: caso a hipótese nula (citada em “b”) não seja aceita, ou seja, se há indícios de diferença entre as médias, o teste complementar pode ser aplicado para identificar onde há distinção entre as observações. Isto é, qual ou quais das linhas de produção divergem em relação às médias obtidas das demais linhas. Esse teste é chamado Teste de Tukey, um teste de natureza bilateral de igualdade de pares de médias de “c” grupos, que podem ser comparados simultaneamente. Para os dados de produção de gesso, há 4 linhas de produção (grupos) e 24 observações (n), portanto  $c = 4$  e  $n - c = 24 - 4 = 20$ . A regra de decisão para cada par de médias é dada por:

Rejeitar  $H_0$  se

$$T_{\text{calc}} = \frac{|\bar{y}_j - \bar{y}_k|}{\sqrt{\text{QMErro} \left( \frac{1}{n_j} + \frac{1}{n_k} \right)}} > T_{n,n-c}$$

Ou ainda se,

$$T_{calc} = \frac{|\bar{y}_j - \bar{y}_k|}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_j} + \frac{s_p^2}{n_k}}}$$

em que

$$s_p^2 = \frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2 + \dots + (n_c-1)s_c^2}{(n_1-1) + (n_2-1) + \dots + (n_c-1)}$$

Sendo considerada, nesse caso, a variância combinada em substituição a quadrado médio dentro dos tratamentos (QMErro).

### 3.2.2 Fase 2 – Nivelamento da produção (Projeção - Heijunka)

- f) validação da hipótese alternativa: com dados do teste estatístico, pode-se verificar se há diferenças entre as linhas produtivas e, ainda, quais delas devem ser reguladas; caso positivo, novas medidas de produção padronizadas por linha são elencadas para sustentar o ritmo de produção sem gerar grande volume de estoque de sacos de gesso em pó;
- g) cálculo de estoque: com base no histórico de produção registrado no último semestre de 2023, obteve-se a média de estoque produzida em cada mês, além do valor total. Essa informação é

útil para verificar a oscilação no quantitativo de sacos de gesso em pó armazenados, oriundos da produção acima da demanda;

- h) projeção: sabendo do nível estimado de demanda esperado para os primeiros seis meses de 2024, definiu-se o valor de produção por linha e ainda a capacidade total da planta. Nessa fase, considerou-se um intervalo positivo para o nível de produção em comparação com a demanda;
- i) ações de controle: de modo a complementar o estudo, algumas ações foram apontadas a fim de garantir a viabilidade de manter os níveis produtivos adequados para a produção enxuta, ou seja, atividades que reforçarão a implementação do modelo operacional Lean, com foco na ferramenta Heijunka.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DADOS DO PROCESSO

A tabela 1 mostra o número médio mensal de sacos de gesso produzidos na calcinadora durante um semestre (observação). O registro foi feito para cada uma das quatro (4) linhas de produção (L1, L2, L3 e L4).

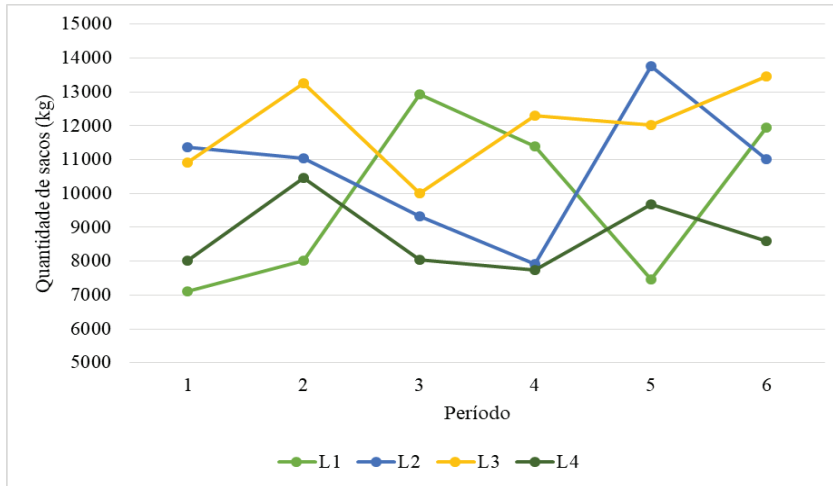
Tabela 1 – Quantidade de sacos de gesso produzido por linha de produção

| Observação | Linha de produção |       |       |       |
|------------|-------------------|-------|-------|-------|
|            | L1                | L2    | L3    | L4    |
| 1          | 7100              | 11369 | 10900 | 8014  |
| 2          | 8006              | 11047 | 13245 | 10466 |
| 3          | 12922             | 9326  | 10004 | 8036  |
| 4          | 11391             | 7921  | 12300 | 7751  |
| 5          | 7451              | 13759 | 12010 | 9679  |
| 6          | 11953             | 11010 | 13463 | 8605  |

Fonte: dados da pesquisa (2024).

Visualmente, nota-se a variação particular a cada linha de produção, conforme gráfico 1.

Gráfico 1 - Representação gráfica dos dados



Fonte: dados da pesquisa (2024).

No caso em avaliação, questiona-se se a variação entre as linhas de produção da calcinadora está dentro do intervalo associado ao acaso ou se as amostras coletadas indicam que há, de fato, diferenças nas médias. Para responder a esse quesito, a Análise de Variância (ANOVA) é calculada.

Contudo, antes da avaliação do ponto de vista estatístico, algumas pontuações importantes acerca da diferença entre produção de sacos de gesso são consideradas:

- as linhas um e dois (L1/L2) são usadas, na maior parte das vezes, em alternância. Isso ocorre para garantir, segundo o operador local, melhor ritmo de produção com base na quantidade de gesso disponível e na demanda diária;
- a linha três (L3) é usada com maior frequência em função das boas condições dos equipamentos mecânicos utilizados, tais como o motor do moinho e a esteira de transporte;
- a linha quatro (L4) tem um motor conectado à rosca sem fim da esteira de transporte que necessita de manutenção.

Essas observações são importantes para compreender melhor os resultados da ANOVA, demonstrados na seção 4.2.

## 4.2 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA (ANÁLISE DE VARIÂNCIA – ANOVA)

Utilizando a função de análise de dados do Microsoft Excel, obteve-se a Análise de Variância (ANOVA), conforme tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Resumo ANOVA

| Grupo | Soma | Média | Variância |
|-------|------|-------|-----------|
| L1    | 6    | 58823 | 9803,833  |
| L2    | 6    | 64432 | 10738,67  |
| L3    | 6    | 71922 | 11987     |
| L4    | 6    | 52551 | 8758,5    |

Fonte: dados da pesquisa (2024).

Tabela 3 - Resultados da ANOVA com um fator do Excel

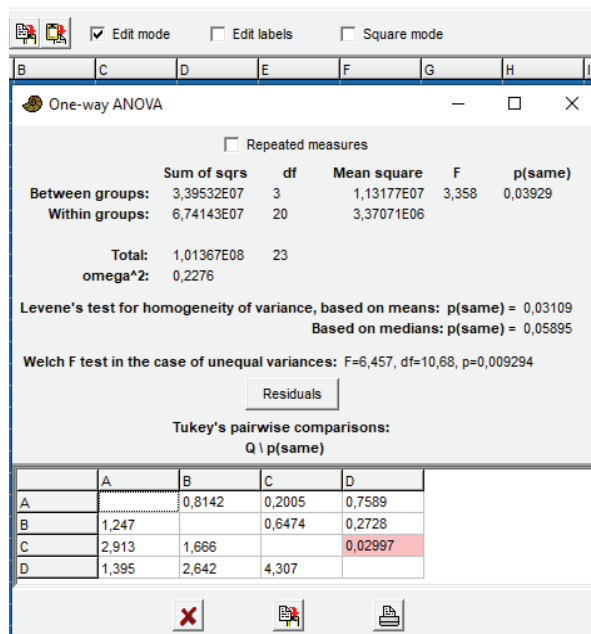
| Fonte da variação | SQ        | gl | MQ       | F        | valor-P  | F crítico |
|-------------------|-----------|----|----------|----------|----------|-----------|
| Entre grupos      | 33953190  | 3  | 11317730 | 3,357665 | 0,039292 | 3,098391  |
| Dentro dos grupos | 67414298  | 20 | 3370715  |          |          |           |
| Total             | 101367488 | 23 |          |          |          |           |

Fonte: dados da pesquisa (2024).

Tendo em vista os dados fornecidos pelo modelo ANOVA, apontados na tabela 3, o valor da estatística F (3,357665) é superior ao F crítico (3,098391), o que indica a não aceitação da Hipótese nula ( $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ ) que diz que as médias de cada linha de produção são iguais. Nesse caso, valida-se a hipótese alternativa,  $H_1$ : nem todas as médias são iguais. Além dessa observação, o valor-p (0,039292) é menor que o alfa definido ( $\alpha = 0,05$ ), o que reforça a aceitação da hipótese alternativa. Isto posto, é necessário identificar qual das linhas de produção difere em termos de média produzida de sacos de gesso em pó. Utilizando o teste de Tukey, é possível apontar a linha que diverge.

Utilizando o *software* PAST, versão 2.17c, para executar o teste de Tukey, pôde-se identificar os resultados significantes utilizando o código em cor vermelha, como destacado na figura 1.

Figura 1 – Resultado do teste de Tukey



Fonte: dados da pesquisa (2024).

O gráfico de probabilidade, ilustrado no gráfico 2, revela pequenos desvios da linearidade nas extremidades inferiores e superiores, mas, de modo geral, o gráfico é consistente com a hipótese de normalidade, sendo um teste visual para a normalidade. As hipóteses testadas, nesse caso, são:

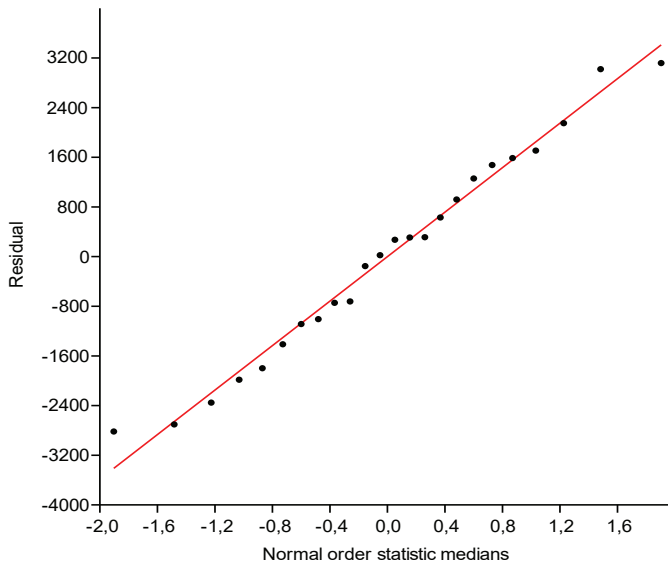
$$H_0: \text{Erros são normalmente distribuídos}$$

$$H_1: \text{Erros não são normalmente distribuídos}$$

Como o gráfico de probabilidade (gráfico 2) dos resíduos é linear, a hipótese nula é considerada verdadeira.



Gráfico 2 – Gráfico de probabilidade

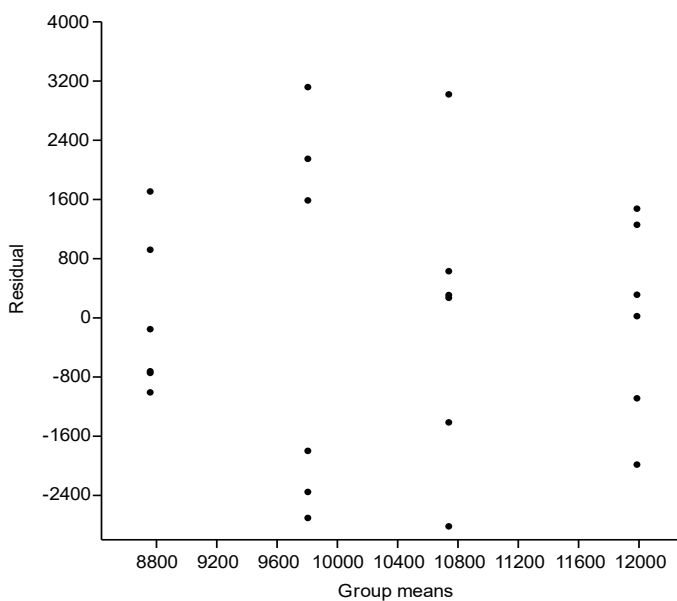


Fonte: dados da pesquisa / PAST (2024).

Além de verificar a normalidade, isto é, quando os resíduos têm a distribuição normal, complementa-se a verificação em relação à magnitude do erro, que deve ser constante para todos os valores de  $X$ . Caso isso ocorra, os erros são classificados como homocedásticos, o que se comporta como a situação ideal.

Para visualização da condição de homocedasticidade, elabora-se o diagrama de dispersão (gráfico 3), como um teste de cunho visual mais geral. De modo ideal, não deve ser notado nenhum padrão nos resíduos à medida que a observação no eixo  $X$  (*group means*) se move da esquerda para a direita.

Gráfico 3 - Resíduos (homocedasticidade)



Fonte: dados da pesquisa / PAST (2024).

A partir do gráfico acima, pode-se visualizar que os resíduos sempre têm média próxima ou igual a zero. Verificadas as condições de normalidade e homocedasticidade, as informações estatísticas foram utilizadas para guiar a gestão local na adoção de medidas de revisão e atualização dos níveis de produção, como indicado na subseção 4.3.

### 4.3 REVISÃO DO NÍVEL DE PRODUÇÃO

A média de produção atual, calculada para as quatro linhas de produção, é de 10.322 sacos. Com isso, gera-se estoque, o que deve ser evitado com a ótica de manufatura enxuta. O quantitativo de sacos de gesso produzidos acima da demanda pode ser observado na tabela 4.

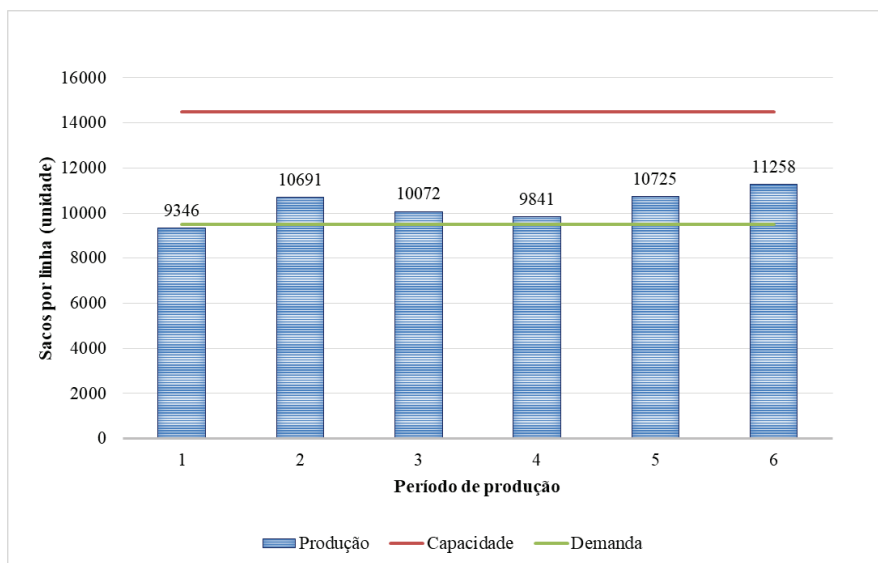
Tabela 4 – Estoque gerado por linha de produção

|                            | Linha de produção |         |         |        |
|----------------------------|-------------------|---------|---------|--------|
|                            | L1                | L2      | L3      | L4     |
| Média de produção (un.)    | 9803,8            | 10738,7 | 11987,0 | 8758,5 |
| Demanda média (un.)        | 9500              | 9500    | 9500    | 9500   |
| Estoque médio gerado (un.) | 304               | 1239    | 2487    | -742   |
| Total geral                | 3288              |         |         |        |

Fonte: dados da pesquisa (2024).

Percebe-se que a Linha 4 (L4) apresenta comportamento diferente das demais, produzindo níveis inferiores de sacos de gesso, causando um *déficit* em relação à demanda de 9.500 sacos, em média. Essa informação concorda com os dados do Teste de Tukey, que apontou a L4 como a operação com média diferente das demais. De modo a ilustrar as informações da tabela 4, tem-se o gráfico 4.

Gráfico 4 – Níveis atuais de produção em relação à capacidade e à demanda



Fonte: dados da pesquisa (2024).

Diante do exposto, percebe-se que o método Heijunka elimina a necessidade de operar com horas extras, além disso, atende à demanda na produção sem aumentar o nível de estoque de produtos. O modelo de nivelamento aqui proposto engloba três elementos básicos:

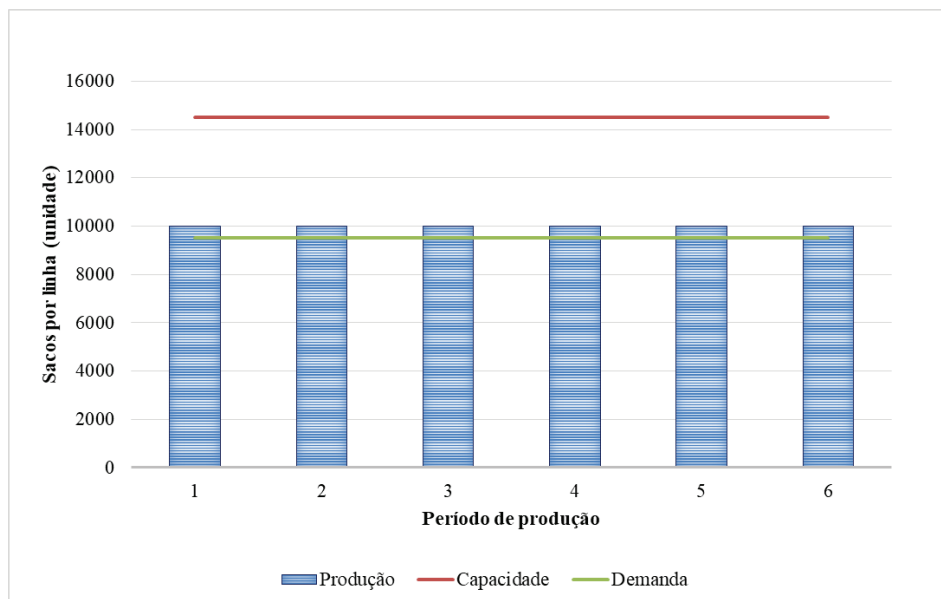
- o volume de produção: isto é, a quantidade de um produto específico que deve ser fabricado considerando um determinado período de tempo;
- o nível de agregação: que especifica o nivelamento de famílias ou tipos de produtos;
- o planejamento de escala: que define o intervalo do plano de produção, ou seja, execução em um dia ou em um turno.

Como há um desnível entre linhas de produção, optou-se por definir um nível padrão de produção de sacos de gesso para todas as linhas igualmente. Com isso, definiu-se o nível de produção local em dez mil (10.000) sacos para cada linha de produção. Assim, haverá uma quantidade de quinhentos (500) sacos produzidos acima da demanda, que serão tratados como estoque de segurança.

Logo, o estoque total para as quatro linhas de produção permanecerá em média de dois mil (2.000) sacos por mês, mil duzentos e oitenta e oito (1.288), menos que o indicado na tabela 4, com valores atuais. Por outro lado, a capacidade de produção de cada uma das quatro linhas de produção da calcinadora é de quatorze mil e quinhentos (14.500) sacos, sendo este o nível máximo estipulado no modelo Heijunka, indicado no gráfico 5.

O nível máximo de trabalho estipulado em 14.500 sacos de gesso é baseado nas condições de produção da planta, ou seja, na capacidade nominal dos equipamentos da fábrica. Além disso, esse nivelamento será aplicado em um período em que o ajuste do *lead time* e a implementação do estoque controlado estratégico sejam capazes de suavizar essa taxa.

Gráfico 5 – Projeção do nível de produção para o semestre



Fonte: dados da pesquisa (2024).

O Heijunka, como ferramentas de manufatura enxuta, requer a distribuição da operação de manufatura aliado com todo o cronograma de produção. Isso ocorre para que seja permitida uma utilização da capacidade média mais alta, assumindo ainda que o tempo de ciclo seja mantido constante ao longo do tempo.

Portanto, com a implementação correta do sistema de nivelamento, espera-se alcançar benefícios em longo prazo, como:

- a) fluxo contínuo em toda a cadeia de suprimentos;
- b) redução do *lead time*;
- c) eliminação dos picos de produção;
- d) redução do estoque de Gipsita e de gesso em pó;
- e) mitigação da sobrecarga de trabalho;
- f) adequação da capacidade de produção da calcinadora;
- g) satisfação do cliente;
- h) redução de custos ligados a estoque e horas extras;
- i) maximização a eficiência dos equipamentos.

Para que os resultados pontuados sejam consolidados, algumas recomendações para verificação e controle são feitas, como indicadas a seguir.

#### 4.4 AÇÕES DE CONTROLE

Com as ações indicadas para verificação do controle do processo de produção, tem-se:

- a) criação do Plano Mestre de Produção (PMP): em formato de documento que apresenta quais itens serão manufaturados e as respectivas quantidades, durante um determinado período de tempo;
- b) implementação da Manutenção Produtiva Total (TPM): paulatinamente, a empresa pode adotar estratégia de incrementar ações da TPM com o intuito de reduzir desperdícios no processo,

além de evitar falhas e quebras nos equipamentos envolvidos no processo da calcinadora;

- c) utilização de cartas de controle: trata-se de um tipo de gráfico direcionado para o acompanhamento de um determinado processo. Este recurso estabelece, estatisticamente, uma faixa de valor intitulada limite de controle (superior e inferior), além de uma linha média. Com isso, os supervisores do processo poderão acompanhar, em tempo real, a quantidade que está sendo produzida em cada linha de produção e se este valor está entre os limites estipulados;
- d) aplicação do 5S: filosofia japonesa que busca promover mudanças de comportamento no âmbito interno da organização. Trata-se de uma técnica japonesa com cinco sentidos, a saber: *Seiri* (utilização), *Seiton* (organização), *Seiso* (limpeza), *Seiketsu* (padronização) e *Shitsuke* (disciplina);
- e) treinamento e capacitação: recomenda-se o investimento em capacitação dos funcionários com foco em métodos de gestão e revisão dos padrões de execução de atividades operacionais;
- f) realizar a revisão do mapeamento do processo: uma das técnicas indicadas para tal é o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) que indica quais atividades limitam a agregação de valor ao longo do fluxo do processo. É uma ferramenta Lean que pode ser utilizada com ajuda de softwares dispostos no mercado.

## 5 CONCLUSÕES

A abordagem proposta pelo *Lean Manufacturing* sugere que o processo seja revisado de modo que se torne mais responsivo

às demandas dos clientes, reduzindo, assim, diferentes tipos de desperdício, observando o impacto financeiro e operacional. A Filosofia Lean, embora seja constituída por uma gama de técnicas e/ou ferramentas, nem sempre é necessário aplicar todas elas.

Neste estudo, pôde-se demonstrar como o conhecimento estatístico e seus testes podem contribuir para guiar práticas de manufatura enxuta. Em suma, a estatística como ciência favorece a evidência de relações fundamentais entre dados de um determinado contexto. A partir dessa consideração, a tomada de decisão torna-se facilitada, fazendo que o gestor tenha uma base analítica completa.

No caso específico do nivelamento da produção, tal prática é relevante no contexto de organizações que desejam melhorar o plano de produção local, evitando picos no valor dos bens manufaturados no cronograma da operação. Sem esse ajuste, a empresa pode ter maior dificuldade em controlar e prever, precisamente, a execução do planejamento de produção e o estoque de produtos acabados, por exemplo.

Logo, pode-se concluir que o objetivo do presente artigo foi atingido, evidenciando a associação possível entre informações estatísticas como entrada para ferramentas da manufatura enxuta ou Lean. Para estudos futuros, indica-se a aplicação de outras ferramentas Lean no processo de empresas calcinadoras e pesquisas que verifiquem os resultados pós-implementação de tais técnicas, comparando com o estado inicial.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, L. F. D.; QUEIROZ, A. A. D. Production Leveling (Heijunka) Implementation in a Batch Production System: A Case Study. *Advances in Production Management Systems. New Challenges, New Approaches. International Federation For Information Processing*, v. 338, p. 105-112, 2010. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-16358-6\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-642-16358-6_14)
- BAYSAN, S.; KABADURMUS, O.; CEVIKCAN, E.; SATOGLU, S.I.; DURMUSOGLU, M.B. A simulation-based methodology for the analysis of the effect of lean tools on energy efficiency: An application in power distribution industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 211, p. 895-908, 2019.
- BECKMAN, M. J. Production smoothing and inventory control. *Operations Research*, v. 9, n. 4, p. 456-467, 1961. DOI: <https://doi.org/10.1287/opre.9.4.456>
- BOHNEN, F.; MASCHEK, T.; DEUSE, J. Leveling of low volume and high mix production based on a Group Technology approach. *Journal of Manufacturing Science and Technology*, v. 4, p. 247-251, 2015.
- BORTOLOTTI, T.; ROMANO, P.; NICOLETTI, B. Lean First, Then Automate: An Integrated Model for Process Improvement in Pure service-Providing Companies. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, v. 338, p. 579-586, 2010. DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-16358-6\\_72](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-16358-6_72)
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 3. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2012.
- COX, A.; CHICKSAND, D. The limits of lean management thinking: Multiple retailers and food and farming supply chains. *European Management Journal*, v. 23, p. 648-662, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.emj.2005.10.010>
- DESHKAR, A.; KAMLE, S.; GIRI, J.; KORDE, V. Design and evaluation of a Lean Manufacturing framework using Value Stream Mapping (VSM) for a plastic bag manufacturing unit. *Materials Today: Proceedings*, v. 5, n. 2, p. 7668-7677, 2018.
- DIAS NETO, L. S.; SILVA, A. C. G. C.; SILVA, J. C.; SANTOS, P. V. S. Manutenção

- planejada: proposta de ações em uma empresa de beneficiamento de couro. **Revista Gestão e Organizações**, v. 8, p. 159-185, 2023.
- DOANE, D. P.; LORI, E. S. **Estatística aplicada à administração e economia**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.
- ELMALEH, J.; EILON, S. A new approach to production smoothing. **International Journal of Production Research**, v. 12, n. 6, p. 673-681, 1974.
- FERNANDES, C. H. A.; SILVA, A. C. G. C.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, P. V. S. Aplicação da metodologia DMAIC para redução dos desperdícios em uma indústria de gesso do interior de Pernambuco, Brasil. **NAVUS Revista de Gestão e Tecnologia**, v. 11, p. 1-19, 2021.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- HOLDEN, R. J. Lean thinking in emergency departments: A critical review. **Annals of Emergency Medicine**, v. 57, p. 265-278, 2011. DOI: 10.1016/j.annemergmed.2010.08.001
- HOPP, W.; SPEARMAN, M. **Factory Physics**. New York: McGrawHill/Irwin, 2000.
- HÜTTMEIR, A.; TREVILLE, S.; VAN ACKERE, A.; MONNIER, L.; PRENNINGER, J. Trading off between Heijunka and Just-In-Sequence. **International Journal of Production Economics**, v. 118, p. 501-507, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.12.014>
- JONES, D. T. Heijunka: leveling production (lean production system). **Manufacturing Engineering**, v. 137, n. 2, p. 29-36, 2006.
- KORYTKOWSKI, P.; GRIMAUD, F.; DOLGIU, A. Exponential smoothing for multi-product lot-sizing with heijunka and varying demand. **Management and Production Engineering Review**, v. 5, n. 2, p. 20-26, 2014. DOI: 10.2478/mper-2014-0013
- LASA, I. S.; LABURU, C. O.; VILA, R. C. An evaluation of the value stream mapping tool. **Business Process Management Journal**, v. 14, n.1, p. 39-52, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1108/14637150810849391>
- LEE, S. M.; OLSON, D. L., LEE, S.; HWANG, T.; SHIN, M. S. Entrepreneurial applications of the lean approach to service industries. **Service Industries Journal**, v. 7-8, p. 973-987, 2007.
- MELTON, T. The benefits of lean manufacturing: what lean thinking has to offer the process industries. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 86, n. 6, p. 662-673, jun. 2005. DOI: 10.1205/cherd.04351
- OLIVEIRA, G. K. de; SANTOS FILHO, V. H. dos; SANTOS, P. V. S. Implantação da metodologia Lean Six Sigma em uma empresa de celulose e papel: um estudo de caso no Paraná. **Revista Produção Online**, v. 24, n. 1, p. 5199, 2024. DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v24i1.5199>
- OLIVEIRA, T. C. T.; SILVA, A. C. G. C.; SANTOS, P. V. S. Aplicação do Controle Estatístico de Processo: Estudo Aplicado Em Fabricante de Chapas de Gesso Drywall. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 8, p. 59-66, 2022.
- OHNO, T. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- PACHECO, D. A. J. Teoria das restrições, lean manufacturing e seis sigma: limites e possibilidades de integração. **Production**, v. 24, n. 4, p. 940-956, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132014005000002>
- PENA, R.; FERREIRA, L.P.; SILVA, F. J. G.; SÁ, J. C.; FERNANDES, N. O.; PEREIRA, T. Lean manufacturing applied to a wiring production process. **Procedia Manufacturing**, v. 51, p. 1387-1394, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.193>

- PIERCY, N.; RICH, N. The relationship between lean operations and sustainable operations. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 35, n. 2, p. 282-315, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJOPM-03-2014-0143>
- PORTIOLI-STAUDACHER, A. Lean Implementation in services Companies. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v. 338, p. 652-659, 2010. DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-16358-6\\_81](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-16358-6_81)
- POWELL, D.; ALFNES, E.; SEMINI, M. The Application of Lean Production Control Methods within a Process-Type Industry: the case of hydro automotive structures, **International Federation for Information Processing**, p. 243-250, 2010.
- SANTOS, P. V. S.; CLEMENTE, T. R. N. Proposta de indicadores para avaliação de desempenho de indústrias do Apl de Gesso de Pernambuco. *In*: ENEGEP - ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2019, Santos, SP. **Anais [...]**. Rio de Janeiro - RJ: ABEPRO, 2019.
- SANTOS, P. V. S. A Indústria Vinícola No Vale Do São Francisco e As Estratégias de Inserção No Mercado Nacional: Uma Revisão Bibliográfica. **Future Studies Research Journal: Trends and Strategies**, v. 9, n. 3, p. 39-68, 2017. DOI: <https://doi.org/10.24023/FutureJournal/2175-5825/2017.v9i3.317>
- SANTOS, P. V. S. A introdução de tecnologias a favor da eficiência em operações logísticas: um estudo de caso no setor de serviços. **Navus - Revista de Gestão e Tecnologia**, v. 9, n. 3, p. 55-68, 2019. DOI: <https://doi.org/10.22279/navus.2019.v9n3.p55-68.819>
- SANTOS, P. V. S. Aplicação do overall equipment effectiveness no sistema produtivo de uma vinícola. **NAVUS - Revista de Gestão e Tecnologia**, v. 10, p. 1-14, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.22279/navus.2020.v10.p01-14.933>
- SANTOS, P. V. S. Leveling of production through the application of the Heijunka method. **Journal of Lean Systems - JoLS**, v. 5, p. 126-126, 2020b.
- SANTOS, P. V. S. Previsão da demanda como suporte à filosofia lean. **Exacta**, v. 18, n. 1, p. 226-243, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5585/exactaep.v18n1.8935>
- SANTOS, P. V. S.; ARAÚJO, M. A. Lean logistics as support for strategic management practice. **Journal of Lean Systems - JoLS**, v. 5, p. 110-110, 2020.
- SANTOS, P. V. S.; ARAÚJO, M. A. Aplicação de Ferramentas Lean no setor de Logística: um estudo de caso. **Revista Gestão em Análise**, v. 7, n. 2, p. 168-183, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.12662/2359-618xregea.v7i2.p168-183.2018>
- SANTOS, P. V. S.; FERRAZ, A. V.; SILVA, A. C. G. C. Utilização da ferramenta mapeamento de fluxo de valor (MFV) para identificação de desperdícios no processo produtivo de uma empresa fabricante de gesso. **Revista Produção Online**, v. 19, n. 4, p. 1197-1230, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v19i4.3310>
- SANTOS, P. V. S.; SILVA, E. C. da. Gestão estratégica da qualidade aplicada à redução de devoluções. **Navus - Revista de Gestão e Tecnologia**, v. 9, n. 4, p. 30-48, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.22279/navus.2019.v9n3.p55-68.819>
- SILVA, S. S.; SILVA, A. C. G. C. SANTOS, P. V. S. A metodologia DMAIC para redução do índice de perdas de produtos: o caso do processo logístico de bebidas. **Gestão e Desenvolvimento**, v. 21, p. 119-145, 2024.
- SOARES, L. M. C.; SILVA, A. C. G. C.; SILVA, J. C.; SANTOS, P. V. S. Previsão de demanda de peças sobressalentes utilizando rede neural artificial. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v. 17, p. 1, 2022.

SOUZA JUNIOR, W. W. R.; SANTOS, P. V. S.; SILVA, A. C. G. C.; AMARAL, T. M. Abordagem matemática aplicada à problemática de escolha de fornecedor de Allium cepa. **NAVUS Revista de Gestão e Tecnologia**, v. 12, p. 1-19, 2022.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **The Machine that Changed the World**. New York, NY: Rawson Associates, 1990.

**Submetido:** 29 jul. 2024

**Aprovado:** 23 out. 2024