

ANÁLISE VOLTADA À OTIMIZAÇÃO DO MAPEAMENTO PRODUTIVO: IMPACTO DA IMPLEMENTAÇÃO DE CONCEITOS LEAN MANUFACTURING EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO.

Lucas Rodrigues dos Santos¹
Raphael de Gouveia Espirito Santo²
Sandra Helena da Silva de Santis³
Cleverson Faber de Assis⁴

RESUMO: Este artigo apresenta a aplicação dos conceitos da filosofia *Lean Manufacturing* em uma linha de produção de vasos de pressão em uma multinacional situada em Arujá-SP. A pesquisa de caráter exploratória e qualitativa, utilizou mapeamento do fluxo produtivo e análise do *layout* para identificar desperdícios, gargalos e ineficiências que impactam a produtividade e a elaboração de fluxogramas, proporcionando uma visão detalhada das etapas do processo produtivo e suas inter-relações. Durante a análise, constatou-se a existência de movimentações desnecessárias e tempos de espera elevados entre as etapas, o que resultava em perdas produtivas e atrasos na fabricação. A disposição física das células de trabalho e dos materiais também contribuiu para deslocamentos improdutivos, aumentando a ociosidade. A partir dessas observações, foi desenvolvido um plano de melhorias que prevê a reorganização do *layout*, a redistribuição equilibrada das tarefas entre os colaboradores e a criação de estoques temporários para assegurar o fluxo contínuo da produção. Este estudo enfatiza a importância da melhoria contínua e da adoção de conceitos *lean manufacturing* para o aprimoramento da eficiência industrial, principalmente em ambientes complexos como na fabricação de vasos de pressão. Recomenda-se, para pesquisas futuras, a utilização de indicadores financeiros e de qualidade que possibilitem uma avaliação mais abrangente dos benefícios gerados pela implementação dessas práticas.

2449

Palavras Chave: Fluxograma. *Layout*. *Lean Manufacturing*. Eficiência produtiva. Balanceamento de linha.

ABSTRACT: This article presents the application of Lean Manufacturing philosophy concepts in a pressure vessel production line at a multinational company located in Arujá, São Paulo, Brazil. The research, exploratory and qualitative in nature, employed production flow mapping and layout analysis to identify waste, bottlenecks, and inefficiencies that negatively impact productivity. Additionally, process flowcharts were developed to provide a detailed view of the production stages and their interrelations. The analysis revealed unnecessary movements and long waiting times between stages, leading to production losses and delays in manufacturing. The physical arrangement of work cells and materials also contributed to unproductive displacements, increasing idle time. Based on these observations, an improvement plan was developed, which includes layout reorganization, balanced redistribution of tasks among workers, and the creation of temporary inventories to ensure continuous production flow. This study highlights the importance of continuous improvement and the adoption of Lean Manufacturing concepts to enhance industrial efficiency, especially in complex environments such as pressure vessel manufacturing. For future research, it is recommended to include financial and quality indicators to enable a broader evaluation of the benefits generated by the implementation of these practices.

Keywords: Flowchart. *Layout*. *Lean Manufacturing*. Production efficiency. Line balancing.

¹Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial, Faculdade de Tecnologia de Ferraz de Vasconcelos.

²Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial, Faculdade de Tecnologia de Ferraz de Vasconcelos.

³Mestra em Ciência - Universidade São Paulo, Faculdade de Tecnologia de Ferraz de Vasconcelos

⁴ Pós-Graduado em Logística e Operações – IFSP, Faculdade de Tecnologia de Ferraz de Vasconcelos.

INTRODUÇÃO

Esta pesquisa aborda o processo de mapeamento e a otimização do fluxo produtivo em uma linha de produção, utilizando a filosofia de manufatura enxuta (*Lean Manufacturing*) a qual é necessária para entender o fluxo e como afeta a capacidade de uma indústria.

Com a falta de balanceamento dentro de um processo produtivo as empresas sofrem com desperdícios nas suas linhas de produção, modificações no *layout* em uma operação ineficiente podem resultar em investimento de tempo e transtornos consideráveis, Segundo Shingo (1989), qualquer mudança no processo produtivo, inclusive modificações no layout da planta, podem causar ineficiências temporárias, no entanto essas alterações são determinantes para a melhoria contínua e para a eficácia dos processos.

O gerenciamento de processos com o propósito de melhora, necessita tanto de uma análise, como de uma avaliação crítica sobre as práticas da organização. Uma das ferramentas que permite visualizar e compreender as atividades realizadas é o mapeamento de processo, além de mostrar como elas se relacionam.

A produção enxuta é uma forma melhor de organizar e gerenciar as atividades humanas de modo a oferecer aos clientes o máximo valor através da minimização do desperdício e ao mesmo tempo possibilitar flexibilidade e rapidez" (WOMACK; JONES, 1998, p. 15).

2450

Uma estratégia eficaz para mitigar desperdícios e melhorar a eficiência é a implementação da filosofia produção enxuta, essa adequação permite aprimorar o fluxo de produtivo.

Assim, a reorganização em células de trabalho promove um ambiente mais produtivo e assegura a utilização eficaz dos recursos, contribuindo para um fluxo simples e eficiente de trabalho.

Diante deste cenário, abordou-se alguns conceitos da filosofia de gestão *Lean Manufacturing* e a metodologia de fluxograma a fim de avaliar o fluxo produtivo e, quando necessário, sugerir ajustes para melhorar a produção. Isso envolve examinar detalhadamente o processo de fabricação e identificar áreas onde ocorrem desperdícios. Essas ações objetivam aumentar a produtividade e também otimizar a eficiência geral do processo.

Esse trabalho está organizado no seguinte formato: partindo-se da introdução e objetivo aqui exposto, a seção 2 apresenta uma revisão da literatura. A seção 3 mostra os métodos utilizados. Na seção 4 o estudo de caso é apresentado, na seção 5 a análise e discussão dos resultados. Por último, na sessão 6, são exibidas as conclusões e considerações finais.

REFERENCIAL TEÓRICO

Durante a metade do século XX, as organizações enfrentavam o desafio de aprimorar ou substituir seus processos, mas precisavam de ferramentas adequadas para implementar transformações eficazes. Com o avanço do tempo, diversos modelos de negócios foram desenvolvidos para apoiar a gestão empresarial. Contudo, “A maioria das tentativas de introdução de princípios enxutos falha porque as empresas não compreendem que precisam mudar toda a forma como pensam e operam.” (WOMACK; JONES, 1998, p. 38). A falta da implementação desses princípios frequentemente limitava e impedia que as empresas alcançassem melhorias significativas em suas operações.

No Japão emergiu como referência na manufatura, empresas como Toyota, Nissan e Honda ganhando liderança global. Isso despertou o interesse de consultores e acadêmicos para entender o sucesso japonês, levando ao conceito de “produção enxuta”. Esse modelo, detalhado em 1990 no livro (*The Machine that Changed the World*, James P. Womack) mostrou como as empresas japonesas utilizavam menos recursos, como estoque, espaço e capital, para alcançar eficiência e competitividade em sua produção.

O conceito do *Lean Manufacturing* visa maximizar a utilização de recursos e minimizar desperdícios, especialmente em ambientes empresariais que estão em constante mudança, pois,

2451

O pensamento enxuto é uma forma de especificar valor, alinhar na melhor sequência as ações que criam valor, realizar essas atividades sem interrupção sempre que alguém as solicita e executá-las de forma cada vez mais eficaz.” (WOMACK; JONES, 1998, p. 16).

Para isso as organizações de todos os setores precisam responder de forma sistemática a essas alterações e agregar valor aos seus produtos. A implementação de um sistema de *Lean Manufacturing* tornou-se essencial, exigindo foco em diversos aspectos, como Mapeamento do Fluxo de Valor, Manufatura Celular e Balanceamento de Linha.

FLUXOGRAMA





O fluxograma é uma representação visual ou uma descrição sequencial das etapas necessárias para completar um processo. Esta ferramenta é importante em diversas áreas, como administração, manufatura, serviços e tecnologia da informação, pois fornece um quadro claro das atividades, dos responsáveis por cada etapa e das interações necessárias. Dentro do fluxo é possível analisar as atividades e ter um entendimento maior de cada uma das funções exercidas conseguindo notar quais etapas são mais complexas e quais são mais flexíveis a mudanças.

O fluxograma é uma representação gráfica da sequência de um processo, que permite visualizar as etapas, identificar gargalos e facilitar a comunicação entre os envolvidos, tornando-se uma ferramenta essencial na melhoria contínua.” (IMAI, 1997, p. 62).

A criação e análise de um fluxograma em um processo permite uma avaliação mais detalhada, visando identificar de forma simples, segura e eficiente a execução. Ao elaborar o fluxograma, podem surgir áreas problemáticas ou ineficiências que não haviam sido notadas durante a operação diária. Esses pontos críticos podem ser abordados e ajustados, possibilitando melhorias contínuas no processo em direção à otimização da linha de produção.

Um fluxograma é elaborado utilizando simbologias padronizadas, conforme mostra a Figura 01:

Figura 01 - Simbologia fluxograma.

| | |
|---|---|
|  | Indica o início ou fim do processo |
|  | Indica cada atividade que precisa ser executada |
|  | Indica um ponto de tomada de decisão, (Testa-se uma afirmação. Se for verdadeira, o processo segue por um caminho, se não por outra. |
|  | Indica a direção do fluxo. |






Autor: Baseado em Peinado e Graeml (2007).

Neste contexto, a Figura 01 descreve os símbolos básicos de um fluxograma, incluindo a elipse horizontal que indica o começo ou fim de um processo, o retângulo que representa atividades ou etapas que precisam ser executadas, o losango, que é utilizado para pontos de decisão, onde o processo segue por diferentes caminhos, dependendo da resposta (verdadeira ou falsa), e as setas indicam o fluxo de direção das atividades dentro do processo. Essas figuras facilitam a visualização e organização de processos que podem ser complexos.

FLUXOGRAMA DE OPERAÇÕES

Fluxograma de Operações tem como característica o detalhamento das atividades que visam mostrar claramente todas as operações de forma técnica que devem ser feitas em cada etapa do processo. Cada símbolo no fluxograma corresponde a uma operação específica ou uma ação, com um alto nível de detalhe, por isso é muito utilizado em processos industriais e manufatureiros, onde é importante detalhar cada ação realizada como evidencia a figura 02:

Figura 02 – Simbologia fluxograma vertical.

| | |
|---|--|
|  | Operação: Qualquer transformação realizada sobre o material. Por exemplo, furar, polir, aquecer, cortar, etc. |
|  | Inspeção: Verificação de uma variável ou de um atributo do artigo. Por exemplo, medir, pesar, verificar se há defeitos <u>etc</u> |
|  | Demora ou Espera: Quando o item “para” dentro do processo produtivo, porque está aguardando um transporte, a operação seguinte e etc. |
|  | Transporte: Indica o material movimentado de um setor para outro. |
|  | Armazenamento: Quando o material é colocado em local previamente definido para estocagem do produto e permanece parado até que seja retirado. |

Autor: Baseado em Costa e Canuto (2010).

2453

Como visto acima, pode-se identificar as principais simbologias utilizadas dentro de um fluxograma vertical, cada uma delas tendo um objetivo específico dentro da estrutura.

LAYOUT

Layout no cenário empresarial tem como definição arranjo físico, e a maneira de como são distribuídos, máquinas, equipamentos, processos, ferramentas e mão de obra.

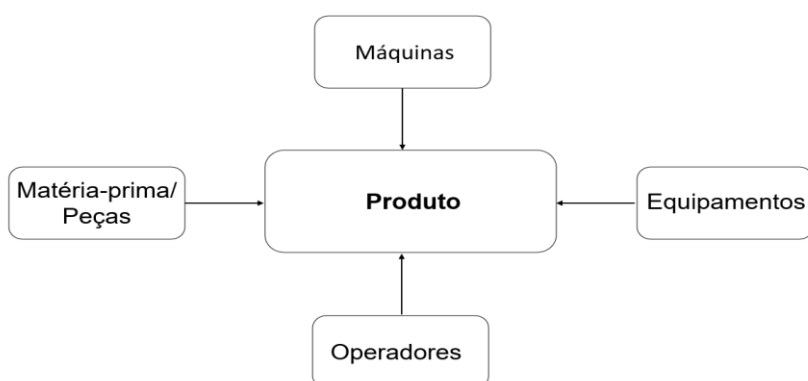
Um *layout* eficaz também deve criar um ambiente que melhore a eficiência dos trabalhadores, facilitando interação e a comunicação entre as equipes, "Um bom *layout* é aquele que promove a eficiência, mas também o bem-estar dos colaboradores. (BARBIERI, 2006). A flexibilidade permite que o *layout* se adapte a mudanças nas operações e demandas.

Além disso, é importante entender os objetivos pontuais da empresa e dos colaboradores ao projetar ou reestruturar um *layout*, promovendo assim um ambiente de trabalho e um fluxo produtivo sequenciado e operante.

Dentro do conceito de *layout* existem diversos tipos que podem ser usados para desenvolver um modelo particular, dentre esses modelos foi usado dois deles, que são:

Layout Fixo: Básico e pode ser utilizado para atividades únicas, onde materiais e colaboradores estão no local da tarefa como mostra a figura 03:

Figura 03 – Exemplo *layout* fixo



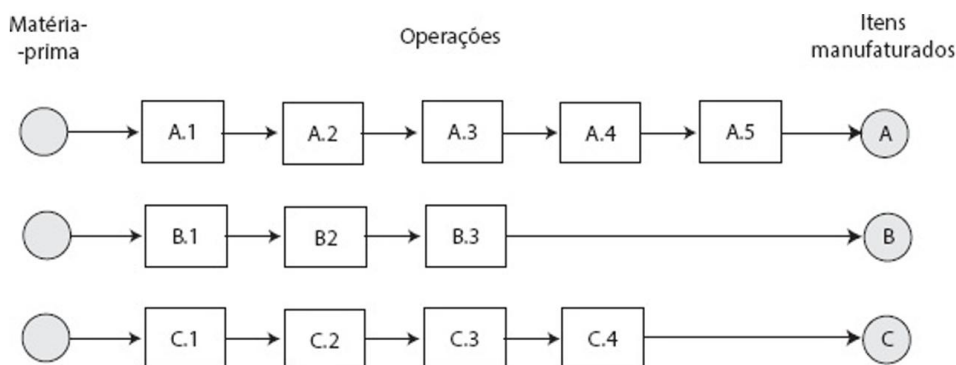
Fonte: Baseado em Neumann, Scalice e Kovacs. (2006)

2454

Feita a análise, podemos observar que para reduzir custos de manuseio, materiais mais utilizados devem ficar próximos, enquanto os menos utilizados podem ser alocados mais longe.

Layout em Linear: Projetado para organizar pessoas e equipamentos em uma sequência específica como representa a figura 04:

Figura 04 - Exemplo *Layout* linear



Fonte: Baseado em Neumann, Scalice e Kovacs. (2006)

Conforme a ilustração destaca, esse *layout*, ou linha de montagem, utiliza transportadores automáticos para elaborar o fluxo de trabalho e mitigar o transporte manual de materiais.

CONCEITO DE VASO DE PRESSÃO

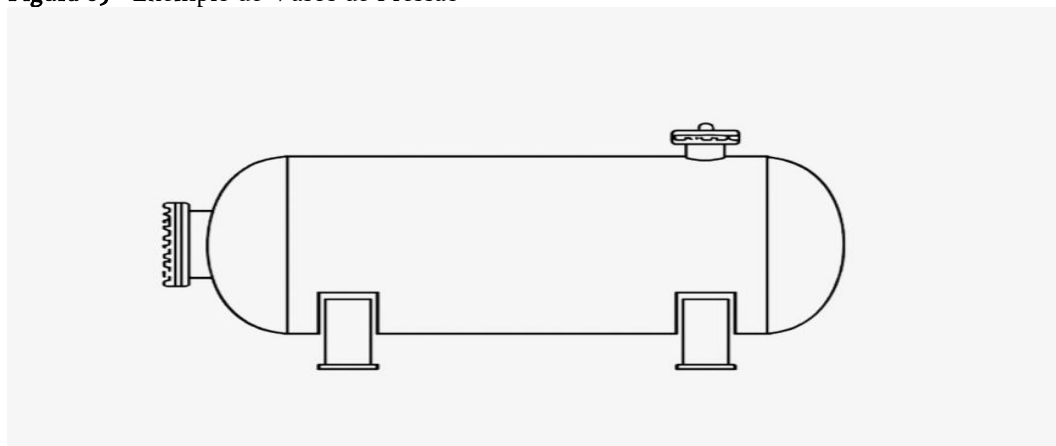
De uma forma geral recipientes pressurizados podem ser chamados de vaso de pressão, “o nome vaso de pressão designa genericamente de recipientes estanques de qualquer tipo, dimensões, formatos ou finalidade, capazes de conter um fluxo pressurizado” (TELLES, 1996). Esses recipientes são utilizados em diversas áreas da indústria, como a petroquímica, alimentícia farmacêutica, entre outras, pois tem como característica a capacidade de armazenar fluidos sob pressão controlada.

O conceito de vasos de pressão, conforme descrito, refere-se a recipientes que mantêm os resíduos sob uma pressão consideravelmente elevada. Esses equipamentos são de grande relevância em processos industriais, pois garantem a contenção segura de substâncias sob altas pressões. Além disso, os vasos de pressão devem ser projetados de acordo com normativas rigorosas, como as definidas pela ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) e pela norma regulamentadora 13(NR-13) que atua sobre cadeiras, vasos de pressão e tubulações industriais no Brasil, a fim de assegurar a operação e a integridade estrutural do equipamento.

2455

A escolha do material, a espessura das paredes e os dispositivos de segurança, são cuidadosamente considerados na fase de projeto, assegurando que o vaso de pressão possa resistir às condições extremas de operação, não comprometendo sua integridade como a ilustrado na imagem 05:

Figura 05 - Exemplo de Vasos de Pressão



Fonte: Autor (2025)

Como na imagem acima esses recipientes possuem diversas formas e tamanhos, podendo ser cilíndricos, esféricos ou em outros formatos, dependendo das necessidades específicas da aplicação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de uma pesquisa exploratória com abordagem qualitativa e elementos quantitativos para analisar o balanceamento da linha produtiva de vasos de pressão. O estudo foi efetuado em uma fábrica de grande porte, localizada em Arujá – SP, que atua no ramo de fabricação de vasos de pressão e conta com aproximadamente 370 funcionários. O foco da pesquisa esteve na coleta de dados por meio da análise do *layout* atual, que incluiu a visualização do cenário existente e o mapeamento do fluxo produtivo com o intuito de entender e possivelmente propor uma reformulação, utilizando pesquisas bibliográficas e estudos de artigos. Segundo Tubino (2000), “o balanceamento de linha de produção visa distribuir as tarefas entre os postos de trabalho de forma equilibrada, reduzindo gargalos e melhorando a eficiência operacional.”

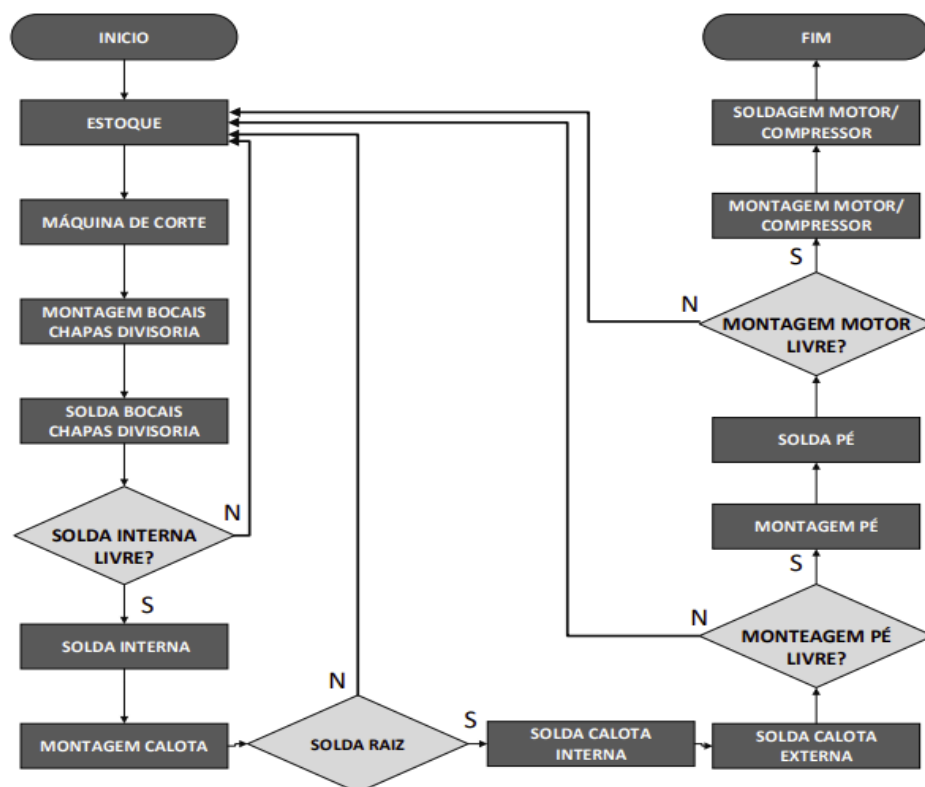
O procedimento de coleta de dados consistiu em realizar verificações detalhadas em cada etapa do processo de fabricação. Isso envolveu a cronometragem das atividades que foi disponibilizada pela empresa, para identificar o fluxo de produção, com o propósito de descobrir opções para melhoria em eficiência e desempenho.

Essas análises visam proporcionar uma compreensão aprofundada do processo produtivo, possibilitando otimizações que resultem em ganhos de tempo e eficácia na produção. Desta forma, apresenta-se os resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise qualitativa com aspectos quantitativos do balanceamento da linha produtiva de vasos de pressão permitiu identificar pontos críticos no processo e direcionar ações de melhoria para aprimorar o desempenho operacional. O estudo focou na observação detalhada do fluxo produtivo e no tempo dos processos, promovendo assim uma visão clara das etapas que demandavam maior tempo e apresentavam oportunidades de otimização. Com o objetivo de obter uma visão abrangente do processo, foi elaborado um fluxograma que possibilita uma análise mais minuciosa de cada etapa envolvida, conforme a figura 06:

Figura o6 – Fluxograma produtivo



Fonte: Autor (2025)

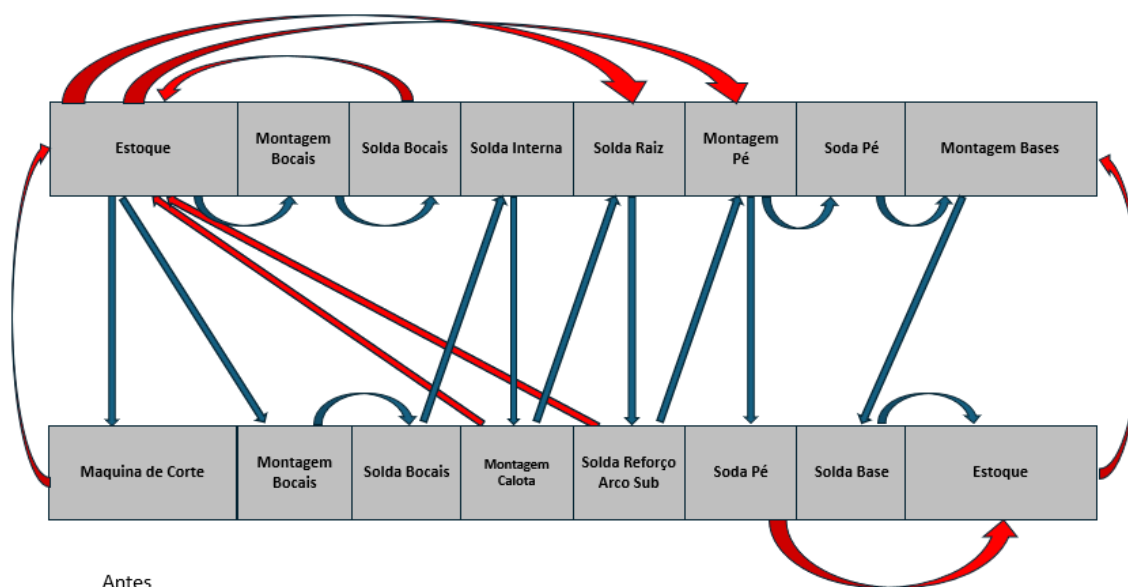
Este fluxograma evidencia o processo de produção, do início ao fim, utilizando um fluxograma. O processo começa com o estoque e passa por etapas como corte, montagem de bocais e solda de chapas divisórias. As decisões são representadas por losangos, como "Solda interna livre?" e "Montagem motor?", determinando o caminho que o processo seguirá. Quando há disponibilidade, o fluxo segue para operações como soldagem interna, montagem de calota, soldagem de pés e montagem do motor/compressor, finalizando o processo com a soldagem motor/compressor.

4.1 LEVANTAMENTO DOS TEMPOS DE PROCESSO

Com os tempos que foram fornecidos dos processos e o estudo do *layout* revelou discrepâncias significativas entre as diferentes etapas da produção. Foi constatado que algumas atividades apresentavam tempos excessivos, enquanto outras tinham tempos de espera acima do aceitável, provenientes da falta de fluidez na linha de trabalho. Essas variações geravam um

efeito cascata, impactando diretamente o tempo total de fabricação dos vasos de pressão produzindo movimentos desnecessários, conforme figura 07:

Figura 07 - Exemplo do Fluxo Produtivo Antes.



Fonte: Autor (2025)

2458

A figura 07 apresenta os movimentos desnecessários em vermelho. A necessidade de ajustes constantes e a variabilidade na execução da atividade contribuíam para um tempo de ciclo elevado, resultando em atrasos na sequência produtiva. Além disso, a movimentação de materiais entre os setores não estava otimizada, levando a deslocamentos desnecessários e aumentando o tempo ocioso entre etapas.

Além disso, os operadores relataram dificuldades na execução de certas tarefas devido à disposição do *Layout* da fábrica. Algumas estações de trabalho estavam distantes uma das outras, aumentando o tempo de movimentação dos trabalhadores e dos materiais, o que impactava diretamente a produtividade.

Os dados fornecidos durante essa fase foram fundamentais para compreender as dinâmicas da produção e embasar a decisão para a implementação de melhorias, assim como evidencia a tabela 08:

Quadro 08 – Tempos de processos

| Etapa | Descrição da operação | Tempo (min) |
|-------|---|-------------|
| 1 | ESTOQUE | 0 |
| 2 | ABERTURA DE BOCAIS | 80 |
| 4 | MONTAGEM DE BOCAIS E ACESSÓRIOS | 120 |
| 6 | SOLDAGEM DE BOCAIS E ACESSÓRIOS | 200 |
| 8 | SOLDAGEM INTERNA DE BOCAIS E ACESSÓRIOS | 180 |
| 9 | FECHAMENTO DA VIROLA / MONTAGEM DA CALOTA | 120 |
| 11 | SOLDAGEM DA CALOTA | 160 |
| 12 | SOLDAGEM DE REFORÇO | 60 |
| 14 | MONTAGEM DOS PÉS | 120 |
| 15 | ESTOQUE 2 | 60 |
| 16 | SOLDAGEM DOS PÉS | 160 |
| 17 | MONTAGEM DA BASE DE MOTOR E COMPRESSOR | 160 |
| 19 | SOLDAGEM DA BASE MOTOR E COMPRESSOR | 120 |

Fonte: Autor (2025)

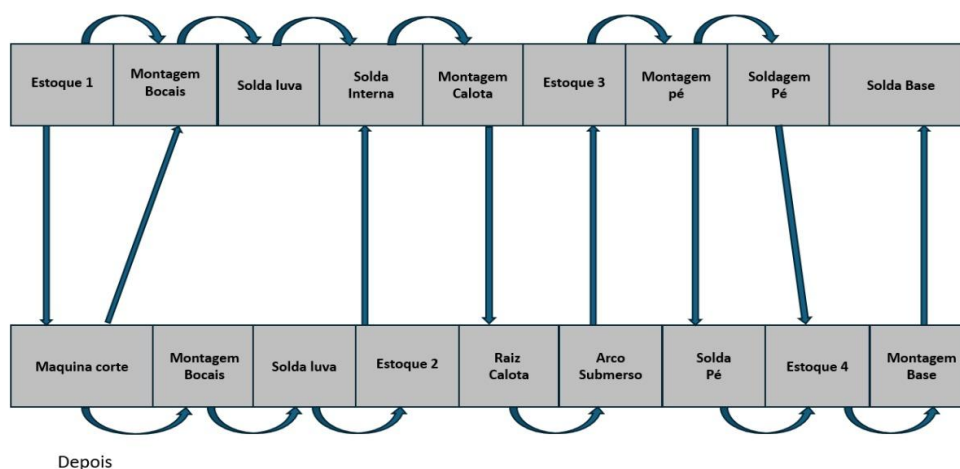
Como mostra a quadro acima, o tempo de processo em cada etapa e suas descrições.

4.2. IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS

Com base nos problemas identificados na análise inicial, foi estruturado um plano de ação para otimizar o balanceamento da linha produtiva. A estratégia adotada incluiu mudanças no *Layout* produtivo, otimização do fluxo de trabalho e ajustes no planejamento das atividades. As principais ações implementadas estão ilustradas na figura 09:

2459

Figura 09 - Exemplo do Fluxo Produtivo Depois



Fonte: Autor (2025)

Na figura 09, temos a reorganização do *layout* da linha de produção: A disposição do setor foi ajustada para diminuir o deslocamento desnecessário dos operadores e dos materiais. As etapas do processo foram redistribuídas e foram implantadas células de estoque intermediário, com o objetivo de estabelecer um fluxo mais contínuo e reduzir os intervalos de espera entre as atividades.

FLUXOGRAMA VERTICAL E CÁLCULOS DE EFICIÊNCIA ANTAS

O fluxograma apresentado descreve de forma clara e estruturada o processo de fabricação de vasos de pressão, abrangendo desde a separação dos materiais até o término do produto. Ele detalha as etapas operacionais, os fluxos de materiais, as movimentações dos operadores, os tempos de execução e os deslocamentos entre os postos de trabalho.

Utilizou-se o fluxograma de operações para mensurar o tempo e distância dos processos, conseguindo assim identificar gargalos e movimentações desnecessárias com ações que não geram valor ao produto final conforme a figura 10:

Figura 10 – Fluxograma vertical antes da implementação.

| Gráfico de processo: | | | Identificação do Produto: | |
|----------------------|---------------|-------------|---------------------------|--|
| | | | Operador | Produto |
| Etapa | Distância (m) | Tempo (min) | Processo | Descrição da operação |
| 1 | - | - | ○ → □ | ESTOQUE |
| 2 | 4 | 80 | ● → □ | ABERTURA DE BOCAIS |
| 3 | 4 | 40 | ○ → □ | ESPERA |
| 4 | 10 | 120 | ● → □ | MONTAGEM DE BOCAIS E ACESSÓRIOS |
| 5 | 10 | 80 | ○ → □ | ESPERA |
| 6 | 16 | 200 | ● → □ | SOLDAGEM DE BOCAIS E ACESSÓRIOS |
| 7 | 22 | 80 | ○ → □ | ESPERA |
| 8 | 28 | 180 | ● → □ | SOLDAGEM INTERNA DE BOCAIS E ACESSÓRIOS |
| 9 | 32 | 120 | ● → □ | FECHAMENTO DA VIROLA/ MONTAGEM DA CALOTA |
| 10 | 32 | 60 | ○ → □ | ESPERA |
| 11 | 36 | 160 | ● → □ | SOLDAGEM DA CALOTA |
| 12 | 42 | 80 | ● → □ | SOLDAGEM DE REFORÇO |
| 13 | 48 | 60 | ○ → □ | ESPERA |
| 14 | 54 | 120 | ● → □ | MONTAGEM DOS PÉS |
| 15 | 28 | 60 | ○ → □ | ESTOQUE 2 |
| 16 | 12 | 240 | ● → □ | SOLDAGEM DOS PÉS |
| 17 | 6 | 160 | ● → □ | MONTAGEM DA BASE DE MOTOR E COMPRESSOR |
| 18 | 12 | 80 | ○ → □ | ESPERA |
| 19 | 16 | 240 | ● → □ | SOLDAGEM DA BASE MOTOR E COMPRESSOR |
| Total | 420 | 2160 | | |

Fonte: Autor (2025)

Como vemos no fluxograma acima o processo “para” diversas vezes na espera, e isso gera movimentações desnecessárias com um total de 420 metros percorridos. Conforme os cálculos abaixo, pode-se entender a eficiência da linha de produção antes das mudanças.

Realizou-se a análise do fluxo produtivo como um todo, reunindo os tempos que não agregam e os que agregam valor para avaliar a eficiência do processo, foram somados os tempos de todas as etapas, e com isso obtivemos o Tempo Total do Processo (TTP) de 2160 minutos. Deste total, 1700 minutos correspondem ao Tempo de Valor Agregado (TVA), ou seja, atividades que efetivamente transformam o produto.

Já os 460 minutos restantes representam o Tempo de Valor Não Agregado (TVNA), incluindo períodos de ociosidade, transporte e inspeção, que não contribuem diretamente para a transformação do produto.

Tempo Total do Processo (TTP) = Soma de todos os tempos

$$\text{TTP} = 80 + 40 + 120 + 80 + 200 + 80 + 180 + 120 + 60 + 160 + 80 + 60 + 120 + 60 + 240 + 160 + 80 + 240 = 2160 \text{ min.}$$

Tempo de Valor Agregado (TVA) = Soma dos tempos das operações que transformam o produto $\text{TVA} = 80 + 120 + 200 + 180 + 150 + 160 + 90 + 120 + 120 + 160 + 240 = 1700 \text{ min.}$

Tempo de Não Valor Agregado (TNVA) = Soma dos tempos de espera, transporte e inspeção $\text{TNVA} = 40 + 80 + 80 + 60 + 60 + 60 + 80 = 460 \text{ min.}$

Para calcular foi utilizado a seguinte representação de equação:

$$\text{Taxa de Eficiência} = \left(\frac{\text{TVA}}{\text{TTP}} \right) \times 100$$

$$\text{Taxa de Eficiência} = \left(\frac{1700}{2160} \right) \times 100$$

$$\text{Eficiência} = 78,70\%$$

FLUXOGRAMA VERTICAL E CÁLCULO DE EFICIÊNCIA DEPOIS

Foram redistribuídas as tarefas entre os trabalhadores para garantir que nenhuma etapa do processo apresentasse sobrecarga ou tempo ocioso excessivo. Isso permitiu maior equilíbrio entre as operações e melhor proveito da mão de obra disponível

Essas ações, alinhadas aos princípios do Lean Manufacturing, contribuíram diretamente para mitigar desperdícios e para o aprimoramento da eficiência operacional. O fluxograma vertical, portanto, não apenas mapeia o processo, mas se consolida como uma ferramenta estratégica que auxilia nas decisões tomadas, baseando-se em dados, promovendo ganhos em produtividade, qualidade e valor agregado ao produto final como destaca a figura 11:

Figura 11 – Fluxograma vertical depois da implementação.

| Gráfico de processo: | | | Operador | Produto | Identificação do Produto: |
|----------------------|---------------|-------------|----------|---------|--|
| Etapas | Distância (m) | Tempo (min) | Processo | | Descrição da operação |
| 1 | - | - | ○ | ⇒ | ESTOQUE |
| 2 | 4 | 80 | ● | ⇒ | ABERTURA DE BOCAIS |
| 3 | - | 40 | ○ | ⇒ | ESPERA |
| 4 | 10 | 120 | ● | ⇒ | MONTAGEM DE BOCAIS E ACESSÓRIOS |
| 5 | 16 | 120 | ● | ⇒ | SOLDAGEM DE BOCAIS E ACESSÓRIOS |
| 6 | - | 60 | ○ | ⇒ | ESPERA |
| 7 | 22 | 160 | ● | ⇒ | SOLDAGEM INTERNA BOCAIS E ACESSÓRIOS |
| 8 | 28 | 120 | ● | ⇒ | FECHAMENTO DA VIROLA/ MONTAGEM DA CALOTA |
| 9 | 34 | 160 | ● | ⇒ | SOLDAGEM DA CALOTA |
| 10 | 40 | 80 | ● | ⇒ | SOLDAGEM DE REFORÇO/ ARCO SUBMERSO |
| 11 | - | 40 | ○ | ⇒ | ESPERA |
| 12 | 6 | 120 | ● | ⇒ | MONTAGEM DOS PÉS |
| 13 | 12 | 160 | ● | ⇒ | SOLDAGEM DOS PÉS |
| 14 | - | 60 | ○ | ⇒ | ESTOQUE |
| 15 | 6 | 160 | ● | ⇒ | MONTAGEM DA BASE DE MOTOR E COMPRESSOR |
| 16 | 12 | 160 | ● | ⇒ | SOLDAGEM DA BASE MOTOR E COMPRESSOR |
| Total | 190 | 1640 | | | |

Fonte: Autor (2025)

Com base na filosofia *Lean* foram realizadas movimentações estratégicas que resultaram em um ganho de 230 metros na distância percorrida e um ganho de 09% na eficiência. Essa otimização contribuiu diretamente para a eficiência do processo, melhorando o desempenho da equipe e ocasionando o fluxo produtivo mais ágil. Como resultado, os vasos de pressão passaram a ser produzidos em menos tempo, com maior previsibilidade e menor desperdício.

Tempo Total do Processo (TTP) = Soma de todos os tempos

TTP = 80 + 40 + 120 + 120 + 60 + 160 + 120 + 160 + 80 + 40 + 120 + 160 + 60 + 160 + 160 = **1640 min.**

Tempo de Valor Agregado (TVA) = Soma dos tempos das operações que transformam o produto TVA = 80 + 120 + 120 + 160 + 120 + 160 + 80 + 120 + 160 + 160 + 160 = **1440 min.**

Tempo de Não Valor Agregado (TNVA) = Soma dos tempos de espera, transporte e inspeção TNVA = 40 + 60 + 40 + 60 = **200 min.**

Para calcular foi utilizado a seguinte representação de equação:

$$\text{Taxa de Eficiência} = \left(\frac{TVA}{TTP} \right) \times 100$$

$$\text{Taxa de Eficiência} = \left(\frac{1440}{1640} \right) \times 100$$

$$\text{Eficiência} = 87,80\%$$

A partir dos cálculos pode-se observar que houve uma melhora no tempo das operações, graças à implantação de estoques temporários, que facilitaram o fluxo produtivo e reduziram a ociosidade que havia. Com a reorganização do *layout* e o balanceamento das tarefas criando estoques temporários, houve redução de 230 metros em deslocamentos e aumento de 9% na eficiência produtiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a implementação de melhorias baseadas na filosofia *Lean Manufacturing* trouxe ganhos significativos em eficiência, produtividade e organização do processo. Esses avanços decorreram por meio da redução de movimentações improdutivos e da implementação de estratégias para o balanceamento de linha, resultando no aumento da confiabilidade e estabilidade do sistema produtivo.

Além disso, a criação de estoques temporários mostrou-se uma solução eficaz para reduzir a ociosidade e manter a continuidade da produção. Esses resultados evidenciam o potencial da filosofia *Lean Manufacturing* em promover transformações sólidas no ambiente industrial, reforçando a importância da melhoria contínua.

Sugere-se, para estudos futuros, o uso de indicadores de qualidade e desempenho financeiro, permitindo uma avaliação mais abrangente dos benefícios gerados com a reformulação da estrutura do processo.

2463

REFERÊNCIAS

- BARBIERI, José Carlos. *Gestão do espaço de trabalho*. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
- COSTA NETO, P. L. de Oliveira; CANUTO, S. A. *Administração com Qualidade: conhecimentos necessários para gestão moderna*. 1ª ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- IMAI, Masaaki. *Gemba Kaizen: uma abordagem de senso comum à estratégia de melhoria de custos*. São Paulo: IMAM, 1997.
- NEUMANN, Clóvis; SCALICE, Régis Kovacs. *Projeto de fábrica e layout*. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2006.
- PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. *Administração da produção: operações industriais e de serviços*. Curitiba: UnicenP, 2007.
- SHINGO, Shigeo. *A revolução da manufatura: a filosofia Shingo do sistema de produção Toyota*. Porto Alegre: Bookman, 1989.

TELLES, Pedro C. da Silva. Vasos de Pressão. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC editora, 1996.

TUBINO, D. F. *Manual de planejamento e controle da produção*. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza. Rio de Janeiro: Campus, 1998.