

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ENZO DE ROSIS GONÇALVES

Aplicação dos princípios do *Lean Manufacturing* no planejamento de fábricas:
uma abordagem baseada em *Lean Plant Design*

São Carlos

2025

ENZO DE ROSIS GONÇALVES

Aplicação dos princípios do *Lean Manufacturing* no planejamento de fábricas:
uma abordagem baseada em *Lean Plant Design*

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Francisco Espôsto.

São Carlos
2025

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

G635a Gonçalves, Enzo
Aplicação dos princípios do Lean Manufacturing
no planejamento de fábricas: uma abordagem baseada em
Lean Plant Design / Enzo Gonçalves; orientador Kleber
Esposto. São Carlos, 2025.

Monografia (Graduação em Engenharia de
Produção) -- Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, 2025.

1. Lean Manufacturing. 2. Lean Plant Design. 3.
Layout Industrial. 4. DMAIC. 5. Mapa de Fluxo de Valor.
6. Lean Thinking. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Enzo De Rosis Gonçalves
Título do TCC: Aplicação dos princípios do <i>Lean Manufacturing</i> no planejamento de fábricas: uma abordagem baseada em <i>Lean Plant Design</i>
Data de defesa: 11/12/2025

Comissão Julgadora	Resultado
Professor Associado Kleber Francisco Espôsto (orientador)	APROVADO
Instituição: EESC - SEP	
Professor Titular Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti	APROVADO
Instituição: EESC - SEP	
Professor Titular Fabio Müller Guerrini	Aprovado
Instituição: EESC - SEP	

Presidente da Banca: **Professor Associado Kleber Francisco Espôsto**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Fernando Carlos Gonçalves e Wilma De Rosis Gonçalves, pela educação, valores, força e base que sempre me ofereceram. Tudo o que conquisto nasce do esforço de vocês, do exemplo diário e do amor incondicional que me acompanha desde o início. Esta conquista também é de vocês.

À minha família, especialmente aos meus irmãos, que sempre estiveram ao meu lado, dividindo aprendizados, desafios, apoio e risadas ao longo da vida. Cada um de vocês contribuiu, de forma única, para que eu chegassem até aqui.

À minha namorada, pelo carinho, incentivo e presença constante, mesmo nos dias mais cansativos, foram a fonte de motivação e força. Obrigado por caminhar comigo.

Expresso minha gratidão ao meu orientador, Kleber Francisco Espôsto, pela orientação, dedicação, paciência e contribuições fundamentais para a construção deste trabalho. Agradeço também aos professores do curso de Engenharia de Produção da Universidade de São Paulo, que contribuíram com conhecimentos essenciais para minha formação.

Agradeço aos colegas, amigos e companheiros de jornada que contribuíram de forma direta ou indireta com conversas, apoio emocional, troca de ideias e incentivo durante esta etapa.

Por fim, deixo meu agradecimento a todos que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho fosse possível.

RESUMO

GONÇALVES, E. D. R. A Aplicação dos Princípios do *Lean Manufacturing* no Planejamento de Fábricas: uma abordagem baseada em *Lean Plant Design*. 2025. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

A competitividade industrial e a crescente complexidade dos sistemas produtivos reforçam a necessidade de *layouts* capazes de sustentar fluxos contínuos, reduzir desperdícios e aumentar a eficiência operacional. Nesse contexto, *Lean Manufacturing* e *Lean Plant Design* apresentam-se como abordagens complementares para orientar decisões estruturais de arranjo físico. Com base nesse cenário, este trabalho teve como objetivo desenvolver um *framework* replicável para o redesenho de plantas industriais, articulando princípios do pensamento enxuto e a lógica analítica do método DMAIC. Para validar sua aplicação prática, o *framework* foi testado em duas unidades industriais reais. Na Unidade Beneficiadora de Sementes (UBS) *Conditioning*, o redesenho do *layout* resultou em reduções de 41% no *lead time*, 47% nos estoques intermediários e 46% nos deslocamentos internos, alcançadas por meio da reorganização física e da implementação do sistema *Milk Run*. Na fábrica de cilindros, a redistribuição das áreas, a formação de células de trabalho e a elaboração de *layouts* para diferentes horizontes de capacidade reduziram movimentações e esperas, além de melhorar a fluidez operacional. Os resultados obtidos confirmam a eficácia da integração entre *Lean Manufacturing*, DMAIC e *Lean Plant Design* como suporte para decisões estruturais de *layout* e validam a utilidade do *framework* proposto como guia sistemático para projetos de melhoria física em ambientes industriais. Por fim, apresentam-se as limitações do estudo e recomendações para trabalhos futuros, incluindo análises pós-implementação, simulações digitais e avaliações econômicas aprofundadas.

Palavras-chave: *Lean Manufacturing*; *Lean Plant Design*; *Layout Industrial*; DMAIC; Mapa de Fluxo de Valor; *Lean Thinking*.

ABSTRACT

GONÇALVES, E. D. R. **The Application of Lean Manufacturing Principles in Factory Planning:** an approach based on Lean Plant Design. 2025. Monograph (Undergraduate Final Project) – School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2025.

Industrial competitiveness and the increasing complexity of production systems reinforce the need for layouts capable of sustaining continuous flow, reducing waste, and improving operational efficiency. In this context, Lean Manufacturing and Lean Plant Design emerge as complementary approaches to guide structural decisions related to physical layout. Based on this scenario, this study aimed to develop a replicable framework for industrial plant redesign, integrating the principles of lean thinking with the analytical logic of the DMAIC method. To validate its practical applicability, the framework was tested in two real industrial units. In the Seed Conditioning Unit (UBS Conditioning), the redesigned layout resulted in reductions of 41% in lead time, 47% in intermediate inventories, and 46% in internal movements, achieved through physical reorganization and the implementation of the Milk Run system. In the cylinder manufacturing facility, the redistribution of areas, formation of work cells, and development of layouts for different capacity horizons reduced movements and waiting times, in addition to improving operational flow. The results confirm the effectiveness of integrating Lean Manufacturing, DMAIC, and Lean Plant Design as support for structural layout decisions and validate the usefulness of the proposed framework as a systematic guide for physical improvement projects in industrial environments. Finally, the study presents its limitations and offers recommendations for future work, including post-implementation analyses, digital simulations, and detailed economic evaluations.

Keywords: Lean Manufacturing; Lean Plant Design; Industrial Layout; DMAIC; Value Stream Mapping; Lean Thinking.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Layout UBS Conditioning	24
Figura 2 - Diagrama de spaghetti dos processos internos	25
Figura 3 - Diagrama de spaghetti dos insumos	27
Figura 4 - Mapa de Fluxo de Valor situação atual UBS Conditioning	29
Figura 5 - Layout fábrica de cilindros	30
Figura 6 - Diagrama de spaghetti das famílias de cilindros	32
Figura 7 - Mapa de Fluxo de Valor situação atual fábrica de cilindros	33
Figura 8 - Conceito 1 UBS Conditioning	34
Figura 9 - Conceito 2 UBS Conditioning	35
Figura 10 - Conceito 3 UBS Conditioning	36
Figura 11 - Conceito 4 UBS Conditioning	37
Figura 12 - Layout futuro detalhado UBS Conditioning	38
Figura 13 - Mapa de Fluxo de Valor situação futura UBS Conditioning	40
Figura 14 - Conceito 1 fábrica de cilindros (curto prazo)	42
Figura 15 - Conceito 2 fábrica de cilindros (curto prazo)	43
Figura 16 - Conceito 3 fábrica de cilindros (curto prazo)	44
Figura 17 - Conceito 4 fábrica de cilindros (longo prazo)	45
Figura 18 - Conceito 5 fábrica de cilindros (longo prazo)	46
Figura 19 - Conceito 6 fábrica de cilindros (longo prazo)	47
Figura 20 - Conceito 2 selecionado para fábrica de cilindros (curto prazo)	48
Figura 21 - Conceito 4 selecionado para fábrica de cilindros (longo prazo)	49
Figura 22 - Mapa de Fluxo de Valor situação futura fábrica de cilindros	50
Figura 23 - Fluxograma Lean-DMAIC para melhoria de layout	57
Figura 24 - Etapa 1 compreensão do sistema atual	59
Figura 25 - Etapa 2 construção do sistema futuro	60
Figura 26 - Etapa 3 sustentação e controle	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Movimentações internas e distâncias totais percorridas por dia	26
Tabela 2 - Movimentações internas de insumos e distâncias totais percorridas por dia	28
Tabela 3 - Total de tempos em estoques e processos na situação atual	29
Tabela 4 - Famílias de produtos e demandas diárias	31
Tabela 5 - Total de tempos em estoques e processos na situação atual	32
Tabela 6 - Total de tempos em estoques e processos na situação atual	33
Tabela 7 - Análise dos deslocamentos diários de empilhadeiras	39
Tabela 8 - Total de tempos em estoques e processos na situação futura	40
Tabela 9 - Total de tempos em estoques e processos na situação futura	41
Tabela 10 - Total de tempos em estoques e processos na situação futura	49
Tabela 11 - Total de tempos em estoques e processos na situação futura	50
Tabela 12 - Comparativo das demandas, estoques e processos	51
Tabela 13 - Comparativo da produtividade diária por empilhadeira	52
Tabela 14 - Comparativo da produtividade diária por área e por linha	53
Tabela 15 - Comparativo dos deslocamentos diários das empilhadeiras	53
Tabela 16 - Comparativo de estoques e processos internos	54
Tabela 17 - Comparativo do deslocamento médio atual e futuro	55
Tabela 18 - Comparativo da situação atual e futura	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Problema e Justificativa	11
1.2 Objetivo	12
1.3 Método de Pesquisa	12
1.4 Vivência do Autor nos Projetos Industriais	13
1.5 Estrutura do Trabalho	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Lean Manufacturing	15
2.2 Lean Thinking	16
2.2.1 Definir valor do ponto de vista do cliente	16
2.2.2 Identificar o fluxo de valor (value stream)	16
2.2.3 Fluxo contínuo (flow)	16
2.2.4 Sistema puxado (pull)	17
2.2.5 Buscar a perfeição (perfection)	17
2.3 Lean Plant Design	17
2.4 Ferramentas Lean	18
2.4.1 Diagrama de Spaghetti	18
2.4.2 DMAIC	19
2.4.3 Mapa de Fluxo de Valor	20
2.4.4 Conceito de Milk Run	21
3 ANÁLISE E INTERVENÇÃO EM CONTEXTOS INDUSTRIAIS REAIS	23
3.1 Caracterização do estado atual	23
3.1.1 UBS Conditioning	23
3.1.2 Fábrica de Cilindros	29
3.2 Configuração do estado futuro	34
3.2.1 UBS Conditioning	34
3.2.2 Fábrica de Cilindros	40
3.3 Avaliação dos cenários e ganhos potenciais sob a ótica Lean	51
3.3.1 UBS Conditioning	51
3.3.1.1 Ganhos quantitativos	51
3.3.1.2 Ganhos qualitativos	53
3.3.2 Fábrica de Cilindros	54
3.3.2.1 Ganhos quantitativos	54
3.3.2.2 Ganhos qualitativos	56
4 MÉTODO ESTRUTURADO LEAN-DMAIC PARA MELHORIA DE LAYOUT	57
4.1 Etapa 1 – Compreensão do Sistema Atual	57
4.2 Etapa 2 – Construção do Sistema Futuro	59
4.3 Etapa 3 – Sustentação e Controle	61
5 CONCLUSÃO	63
REFERENCIAL TEÓRICO	64

1 INTRODUÇÃO

A competitividade no setor industrial tem pressionado as empresas a adotarem estratégias que ampliem a eficiência operacional, reduzam custos e aumentem a flexibilidade dos sistemas produtivos. Nesse contexto, o *Lean Manufacturing* (LM), originado do Sistema Toyota de Produção, consolidou-se como uma filosofia gerencial voltada à eliminação sistemática de desperdícios e à geração de valor para o cliente (OHNO, 1988; WOMACK; JONES, 1996).

Com o tempo, o *Lean* evoluiu de um conjunto de ferramentas operacionais para uma abordagem de gestão integrada, dando origem ao *Lean Plant Design* (LPD), que reconhece o layout fabril como um elemento estratégico para a promoção de fluxos de valor contínuos e eficientes (HINES; TAYLOR, 2000).

Apesar desse amadurecimento conceitual, a aplicação prática dos princípios de *Lean Manufacturing* e *Lean Plant Design* em decisões estruturais de *layout* ainda se apresenta como um desafio nas organizações industriais. Na Unidade Beneficiadora de Sementes (UBS) *Conditioning*, a análise inicial do processo produtivo evidenciou oportunidades de melhoria relacionadas ao fluxo de materiais e à disposição das áreas produtivas.

De forma semelhante, na fábrica de cilindros, o diagnóstico preliminar revelou gargalos associados à movimentação, à organização dos postos de trabalho e à configuração das etapas produtivas. Em ambos os contextos, observou-se que, embora os princípios *Lean* sejam amplamente conhecidos, sua tradução em decisões concretas de arranjo físico carece de uma abordagem mais sistemática.

Diante desse cenário, formula-se a seguinte questão de pesquisa: como os princípios do *Lean Manufacturing* e do *Lean Plant Design* podem ser sistematizados de modo a orientar o redesenho do arranjo físico industrial, visando ao aumento da produtividade e da eficiência operacional?

1.1 Problema e Justificativa

A análise de diferentes ambientes industriais evidencia que, embora muitas organizações dominem os princípios fundamentais do *Lean Manufacturing*, ainda enfrentam dificuldades significativas para traduzi-los em decisões de layout capazes de sustentar fluxos produtivos contínuos, seguros e eficientes. Problemas recorrentes, como a ausência de padronização, elevados níveis de estoques intermediários e movimentações excessivas de materiais, indicam a existência de uma lacuna entre o entendimento conceitual do *Lean* e sua aplicação prática no arranjo físico das fábricas.

Esse descompasso torna-se particularmente evidente em contextos *greenfield* e *brownfield*, nos quais restrições estruturais, processos previamente estabelecidos e *layouts* historicamente adaptados impõem desafios adicionais à implementação de fluxos enxutos. Nesse cenário, observa-se a necessidade de uma abordagem mais sistemática que oriente o redesenho de *layouts* industriais, apoiando a identificação de desperdícios, a tomada de decisão e a priorização de melhorias.

Assim, este trabalho propõe a sistematização de um método estruturado para apoio ao redesenho de *layouts* sob a ótica do *Lean Manufacturing*, fundamentado nos princípios do *Lean Manufacturing* e do *Lean Plant Design*, o que justifica sua relevância tanto no âmbito acadêmico quanto profissional.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é sistematizar um método estruturado para apoiar o redesenho de *layouts* industriais sob a ótica do *Lean Manufacturing*, fundamentado nos princípios do pensamento *Lean* e nos conceitos de *Lean Plant Design*. O método proposto visa orientar, de forma sistemática, as decisões relacionadas ao arranjo físico, com foco na melhoria dos fluxos produtivos em diferentes contextos industriais. Sua aplicabilidade é analisada a partir da utilização de dois casos de aplicação reais, denominados UBS *Conditioning* e Fábrica de Serviços de Cilindros (nomes fictícios).

1.3 Método de Pesquisa

O método de pesquisa adotado caracteriza-se como uma investigação aplicada, de abordagem qualitativa, desenvolvida em ambientes industriais reais, com base na observação direta e na intervenção nos processos produtivos. A coleta de dados envolveu observação *in loco*, entrevistas com gestores e operadores, bem como a análise de documentos técnicos disponibilizados pelas organizações estudadas. Adicionalmente, foram realizados levantamentos quantitativos relacionados aos fluxos operacionais, tempos de ciclo, áreas ocupadas e distâncias percorridas no interior das plantas industriais.

A análise dos dados e o desenvolvimento das propostas de melhoria foram apoiados por ferramentas consagradas da Engenharia de Produção, incluindo o uso de softwares de desenho técnico, com destaque para o AutoCAD, empregado na modelagem das alternativas de *layout*. A condução da pesquisa foi organizada de forma sistemática com base em uma

lógica inspirada nas etapas do DMAIC, utilizada neste trabalho como referência para estruturar o processo investigativo.

Dessa forma, o desenvolvimento do método ocorreu a partir de quatro etapas principais: (i) diagnóstico do estado atual dos processos produtivos e do arranjo físico; (ii) análise dos desperdícios, restrições e gargalos associados aos *layouts* existentes; (iii) proposição de alternativas de layout futuro alinhadas aos princípios do *Lean Manufacturing*; e (iv) avaliação preliminar dos ganhos esperados, considerando aspectos quantitativos e qualitativos.

A aplicação dessa lógica metodológica em dois contextos industriais distintos permitiu organizar de forma sistemática o processo de diagnóstico, análise e proposição de alternativas de *layout*, assegurando consistência na condução da pesquisa e coerência entre as etapas adotadas. Essa estrutura metodológica serviu como base para a análise comparativa dos contextos estudados e para a consolidação de análises das diretrizes que orientam o redesenho de *layouts* sob a ótica do *Lean Manufacturing* e do *Lean Plant Design*.

1.4 Vivência do Autor nos Projetos Industriais

A condução deste trabalho está associada à inserção do autor em contextos industriais reais, nos quais atuou diretamente em projetos de análise e melhoria de sistemas produtivos. Essa atuação possibilitou o acompanhamento próximo dos processos, a interação com gestores e operadores e a participação ativa na identificação e análise de problemas relacionados ao fluxo produtivo e ao arranjo físico das instalações industriais.

No âmbito desses projetos, o autor desempenhou o papel de agente interveniente, característica central da abordagem de pesquisa-ação adotada neste estudo. Essa posição permitiu não apenas a observação dos fenômenos produtivos, mas também a proposição e a avaliação de alternativas de melhoria em conjunto com as equipes envolvidas, garantindo que as análises realizadas estivessem alinhadas às condições reais de operação das organizações estudadas.

A vivência prática do autor nos ambientes industriais analisados constitui, assim, uma fonte empírica para a investigação, contribuindo para a coleta de dados, para a compreensão das restrições operacionais e para a análise dos efeitos das decisões de layout sobre o desempenho dos sistemas produtivos. Essa experiência foi tratada de forma sistemática ao longo da pesquisa e integrada aos casos de aplicação, assegurando coerência entre a abordagem metodológica adotada e o contexto prático no qual o estudo foi desenvolvido.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho foi estruturado em quatro capítulos, organizados de forma a apresentar uma progressão lógica entre o referencial teórico, a aplicação prática e as conclusões obtidas. A disposição dos capítulos busca conduzir o leitor desde a contextualização do problema até a consolidação dos resultados e recomendações para estudos futuros.

- ❖ Capítulo 1 – apresenta a contextualização do tema, descrevendo o cenário atual da competitividade industrial e a importância da aplicação dos princípios do *Lean Manufacturing* e do *Lean Plant Design* para a melhoria da eficiência produtiva. Além disso, são definidos o problema de pesquisa, os objetivos gerais e específicos, as delimitações e a justificativa do estudo. Este capítulo também introduz a estrutura geral do trabalho, delineando as etapas que orientam o desenvolvimento do projeto.
- ❖ Capítulo 2 – reúne os fundamentos teóricos e conceituais que sustentam o estudo. São abordados os princípios, ferramentas e metodologias do *Lean Manufacturing*, destacando autores clássicos como Ohno (1988), Womack e Jones (1996) e Shingo (1996), além da aplicação dos conceitos de *Lean Plant Design*, que relaciona o arranjo físico da fábrica à eficiência dos fluxos produtivos. Esta seção estabelece a base teórica que orienta a aplicação prática descrita nos capítulos seguintes.
- ❖ Capítulo 3 – apresenta a aplicação do método estruturado proposto em dois contextos industriais reais, descrevendo as etapas de diagnóstico, análise e proposição de alternativas de layout. São descritas as etapas de mapeamento e análise da situação atual, elaboração do *layout* proposto com base nos princípios do *Lean Plant Design*, e a implementação de melhorias voltadas à otimização de fluxos internos e redução de desperdícios. Também são comparados os resultados quantitativos e qualitativos entre a situação atual e a situação futura, evidenciando os ganhos obtidos com a aplicação das ferramentas *Lean*, como 5S, *Kanban* e *Milk Run*.
- ❖ Capítulo 4 – sintetiza os principais resultados e contribuições do trabalho, discutindo os impactos observados na produtividade e na organização fabril, bem como as limitações encontradas durante a execução do projeto. Além disso, são apresentadas sugestões para estudos futuros, visando aprofundar a aplicação do *Lean Plant Design* em diferentes contextos industriais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Lean Manufacturing*

O *Toyota Production System* (TPS) foi desenvolvido por Taiichi Ohno na Toyota a partir dos anos 1950, com o objetivo central de eliminar sistematicamente os desperdícios. Ohno (1988) definiu "*muda*" como qualquer atividade que consome recursos sem agregar valor ao cliente e identificou originalmente sete tipos principais de desperdício: superprodução, espera, movimentação desnecessária, superprocessamento, excesso de estoque, transporte e defeito. Ele considerava a superprodução como o pior desses desperdícios, pois ela gera estoque desnecessário, esconde defeitos e amplifica outros tipos de *muda* (OHNO, 1988; LIKER, 2004).

Para combater esses desperdícios, Ohno implementou práticas inovadoras, como o sistema *Just-in-Time* (JIT), inspirado nos supermercados americanos e popularizado pelo uso de *Kanban* (OHNO, 1988; WOMACK; JONES, 2003). *Kanban* funciona como um mecanismo de controle visual que regula a produção com base no consumo real, garantindo que cada etapa seja executada apenas no momento necessário. Esses mecanismos permitem que a produção seja acionada apenas pela demanda real do cliente, eliminando excessos, estoques e a necessidade de grandes investimentos em recursos (LIKER, 2004).

Mais do que um conjunto de técnicas, o TPS foi projetado como uma filosofia organizacional integrada, baseada no pensamento científico, resolução de problemas no *genba* (piso de fábrica) e ciclos contínuos de melhoria, o *Kaizen* (LIKER, 2004; WOMACK; JONES, 2003). Essa filosofia também incorpora elementos como *jidoka* (automação com autonomia) e o uso de *andons* para detecção imediata de anomalias. Ohno enfatizava que toda mudança deveria ser testada, verificada e padronizada através da observação direta do processo, promovendo uma cultura que busca a eliminação completa da *muda* (OHNO, 1988).

Em suma, o legado de Ohno, ao instituir o conceito de *muda*, definir os sete desperdícios e estruturar práticas como *Kanban*, JIT e pensamento científico, tornou-se a base do *Lean Manufacturing* (LM), cuja essência é a criação de processos enxutos, capazes de entregar valor real ao cliente com menor custo, maior qualidade e maior flexibilidade (WOMACK; JONES, 2003; LIKER, 2004). A partir dessa base, Womack e Jones sistematizaram os princípios do *Lean Thinking*, apresentados na seção seguinte.

2.2 Lean Thinking

Womack e Jones (1996) propuseram o conjunto de cinco princípios conhecido como *Lean Thinking*, que sintetiza a lógica do pensamento enxuto e orienta a criação de sistemas de produção voltados ao valor. Esses princípios são descritos a seguir.

2.2.1 Definir valor do ponto de vista do cliente

O primeiro princípio, definir o valor do ponto de vista do cliente, propõe que todo esforço produtivo se oriente para aquilo que realmente agrupa valor para quem consome o produto ou serviço. Valor, nesse sentido, não é determinado pela empresa, mas sim pelo cliente e por sua disposição de pagar por determinada funcionalidade ou solução (WOMACK; JONES, 1996). A identificação correta desse valor é o ponto de partida para eliminar atividades desnecessárias e priorizar melhorias.

2.2.2 Identificar o fluxo de valor (*value stream*)

O segundo princípio, identificar o fluxo de valor (*value stream*), consiste em mapear todas as etapas, tanto as que agregam quanto as que não agregam valor, envolvidas na produção de um bem ou serviço. A ferramenta mais comum para essa finalidade é o *Value Stream Mapping* (VSM), que permite visualizar o fluxo de materiais e informações, identificar gargalos e orientar a eliminação de desperdícios (ROTHER; SHOOK, 2003). O fluxo de valor inclui tanto o fluxo físico de materiais quanto o fluxo de informação que coordena as operações, análise aprofundada realizada na seção 3.1 por meio dos Mapas de Fluxo de Valor.

2.2.3 Fluxo contínuo (*flow*)

O terceiro princípio, criar fluxo contínuo (*flow*), refere-se à reorganização dos processos de modo que o produto ou serviço se move de forma suave e ininterrupta ao longo da cadeia de valor. A criação desse fluxo requer a eliminação de esperas, estoques intermediários e retrabalhos, além da padronização de processos e reorganização do *layout* fabril. Ferramentas como 5S, *heijunka* (nívelamento da produção) e SMED (troca rápida de ferramentas) são frequentemente utilizadas para promover fluidez e estabilidade operacional (SHINGO, 1985; LIKER, 2004).

2.2.4 Sistema puxado (*pull*)

O quarto princípio, estabelecer o sistema puxado (*pull*), preconiza que os produtos devem ser fabricados apenas conforme a demanda real, e não antecipadamente, como ocorre no modelo tradicional de produção empurrada (*push*). No sistema *push*, a produção é planejada com base em previsões e empurra materiais ao longo do processo, mesmo que a etapa seguinte ainda não esteja pronta para recebê-los, o que geralmente resulta em estoques excessivos, superprodução e maior *lead time*. Já no sistema *pull*, cada etapa só produz quando a seguinte sinaliza necessidade, garantindo sincronização com a demanda do cliente final. O *Kanban*, estruturado por Ohno, é a principal ferramenta para operacionalizar esse princípio, pois regula o fluxo de materiais e ativa a produção apenas quando houver consumo real, reduzindo estoques e alinhando o ritmo produtivo ao mercado (OHNO, 1988; LIKER, 2004).

2.2.5 Buscar a perfeição (*perfection*)

Por fim, o quinto princípio, buscar a perfeição (*perfection*), estabelece que a melhoria deve ser contínua e incorporada à cultura organizacional. Isso exige o envolvimento dos colaboradores na identificação e resolução de problemas, através do método *Kaizen* e de práticas como o *A3 Thinking*, o *Plan, Do, Check, Act* (PDCA) e o *Genchi Genbutsu*, o hábito de ir ao local onde o valor é gerado para compreender a realidade do processo (LIKER, 2004; WOMACK; JONES, 2003).

Esses cinco princípios são interdependentes e constituem a espinha dorsal do pensamento enxuto. Enquanto os conceitos desenvolvidos por Ohno forneceram a base operacional do *Lean Manufacturing*, a formulação de Womack e Jones (1996) oferece um guia estruturado e replicável para a transformação *lean* em contextos diversos, industriais ou não industriais.

2.3 Lean Plant Design

O conceito de *Lean Plant Design*, ou *Factory Design* sob a ótica *Lean*, refere-se ao planejamento físico e organizacional de uma planta industrial com base nos princípios do *Lean Manufacturing*, com o objetivo de maximizar o fluxo de valor e eliminar desperdícios desde a fase de concepção do *layout* fabril (LUU et al., 2018). Trata-se de integrar o pensamento enxuto ao projeto da fábrica, promovendo fluxos contínuos, operações flexíveis e ambientes de produção adaptáveis à demanda real (BORTOLUZZI et al., 2021).

Ao contrário de abordagens tradicionais de *layout*, centradas em setores ou funções, o *Lean Plant Design* organiza os recursos produtivos de forma a favorecer a fluidez do

processo, a redução de desperdícios e a criação de fluxo contínuo, conforme os princípios do *Lean Manufacturing* (WOMACK; JONES, 1996; LIKER, 2004). Uma das principais configurações associadas a essa abordagem é a célula em U, proposta originalmente no contexto do Sistema Toyota de Produção como forma de aproximar operações sequenciais, minimizar deslocamentos e aumentar a eficiência do trabalho (OHNO, 1988; SHINGO, 1996). Essa disposição permite maior integração entre operadores e máquinas, facilita o balanceamento de tarefas conforme o *takt time* e fortalece o trabalho padronizado, contribuindo para sistemas produtivos mais enxutos, flexíveis e responsivos à demanda do cliente.

Segundo Womack e Jones (1996), o pensamento enxuto deve ser aplicado "desde o início", o que inclui o projeto físico e logístico do ambiente produtivo. Assim, o *Lean Plant Design* torna-se uma ferramenta estratégica para evitar a geração de desperdícios estruturais, comuns quando o *layout* é desenhado sem considerar os fluxos reais de valor. Nesse contexto, ferramentas como Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), simulações digitais de *layout* e gêmeos digitais (*digital twins*) têm sido utilizadas para antecipar gargalos, deslocamentos excessivos ou superprodução (THÜRMER et al., 2020; BORTOLUZZI et al., 2021).

Em projetos *greenfield* (novas plantas), essa abordagem permite projetar espaços focados em fluxo contínuo, simplicidade e proximidade entre processos. Já em ambientes *brownfield* (plantas existentes), o desafio é adaptar estruturas legadas para torná-las mais enxutas e orientadas ao cliente (LUU et al., 2018; MOURA; PINTO, 2013). Nestes casos, o uso do pensamento A3 (SOBEK II; SMALLEY, 2008) e de metodologias participativas auxilia na identificação colaborativa de problemas estruturais e na implementação de melhorias sustentáveis no layout.

Portanto, o *Lean Plant Design* representa uma extensão lógica do *Lean Manufacturing*, traduzindo seus princípios para o nível da infraestrutura produtiva. Ele prepara o terreno para que ferramentas e métodos *lean* sejam aplicados com êxito, conectando *layout*, fluxo, pessoas e tecnologia sob uma filosofia orientada à criação de valor.

2.4 Ferramentas *Lean*

2.4.1 Diagrama de *Spaghetti*

O Diagrama de *Spaghetti* é uma ferramenta de análise de deslocamentos desenvolvida no contexto do Sistema Toyota de Produção (STP) para mapear, de forma visual, os trajetos percorridos por operadores, materiais ou documentos em um processo produtivo.

Sobrepondo-se ao *layout* real da área estudada, as linhas representam cada movimento, formando um “emaranhado” que se assemelha ao espaguete. Esse “emaranhado” evidencia desperdícios de transporte e de movimento (*muda*), fundamentais para ações de melhoria contínua (OHNO, 1988).

Na fundamentação teórica, o diagrama de Spaghetti apoia-se em três pilares principais do *Lean Manufacturing*:

- ❖ *Just-in-Time* (JIT) – visa produzir apenas o necessário, no momento certo, reduzindo estoques e atrasos. O diagrama revela deslocamentos que atrasam o fluxo, fornecendo subsídios para reorganizar o layout e os pontos de fluxo (OHNO, 1988).
- ❖ *Kaizen* (Melhoria Contínua) – sugere alterações incrementais e permanentes nos processos. Por meio da criação do diagrama, pequenas modificações no trajeto ou posicionamento de máquinas podem gerar ganhos de produtividade e ergonomia (IMAI, 1986).
- ❖ Mapeamento de Fluxo de Valor (*Value Stream Mapping*, VSM) – complementa o VSM ao detalhar fisicamente o fluxo de materiais no chão de fábrica, indo além da visão macro e conceitual, e permitindo aferir as distâncias e tempos de cada percurso (ROTHER; SHOOK, 2003).

Para sua elaboração, procede-se da seguinte forma: (a) delimitação da área de estudo; (b) registro empírico dos deslocamentos durante um ciclo-tipo; (c) desenho em escala do *layout*; (d) traçado de todas as rotas sobre o *layout*, preferencialmente diferenciadas por cores ou espessuras; (e) quantificação de distâncias e tempos; e (f) identificação dos pontos de desperdício de transporte e movimento, em consonância com os conceitos de ergonomia industrial (CHAFFIN et al., 2006).

Em suma, o diagrama de *Spaghetti* é uma ferramenta de baixo custo e alto impacto, que facilita o entendimento rápido de problemas de fluxo físico, envolvendo diretamente os operadores na geração de soluções. Sua aplicação sistemática contribui para a redução de deslocamentos desnecessários, otimização de *layouts* e melhoria da ergonomia no ambiente produtivo.

2.4.2 DMAIC

O DMAIC é uma metodologia estruturada de melhoria contínua de processos, originada no Six Sigma, cujo objetivo é reduzir variações e defeitos por meio da análise

estatística e da gestão da qualidade (GEORGE, 2002; PYZDEK; KELLER, 2014). O acrônimo DMAIC corresponde às cinco fases seguintes:

- ❖ D – Definir (*Define*): delimita o escopo do projeto, identifica clientes internos e externos e suas necessidades críticas à qualidade (CTQs).
- ❖ M – Medir (*Measure*): coleta dados do processo atual, estabelece indicadores de desempenho e define a linha de base (*baseline*).
- ❖ A – Analisar (*Analyze*): utiliza ferramentas estatísticas (como análise de regressão, diagrama de Pareto e 5 Porquês) para identificar as causas-raiz dos problemas e as principais fontes de variação.
- ❖ I – Melhorar (*Improve*): desenvolve, testa e implementa soluções que eliminem ou reduzam as causas identificadas, validando seus efeitos por meio de experimentos controlados (*DOE – Design of Experiments*).
- ❖ C – Controlar (*Control*): institui planos de controle, cartas de controle e auditorias para garantir que as melhorias sejam mantidas ao longo do tempo, prevenindo o retorno de defeitos.

A fundamentação teórica do DMAIC está baseada nos princípios do *Six Sigma*, criado pela Motorola na década de 1980 e difundido pela *General Electric* na década de 1990, que visa alcançar níveis de qualidade próximos a 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (HARRY; SCHROEDER, 2000). Além disso, integra conceitos de Gestão da Qualidade Total (TQM), conforme proposto por Deming (1986) e Crosby (1984), enfatizando a melhoria contínua e o foco no cliente.

A aplicação prática do DMAIC segue um fluxo disciplinado: inicialmente elaboram-se o *Project Charter* e o *SIPOC* (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*); em seguida, realiza-se o *Detailed Process Map* para coleta de dados. Na fase de análise, as causas são priorizadas por meio do Diagrama de Pareto e dos 5 Porquês, sendo validadas estatisticamente. Na sequência, testam-se contramedidas em projetos-piloto e, finalmente, estabelece-se um plano de controle, com checklists, cartas de controle e treinamentos, garantindo a sustentação dos ganhos alcançados (PYZDEK; KELLER, 2014).

2.4.3 Mapa de Fluxo de Valor

O Mapa de Fluxo de Valor (*Value Stream Mapping – VSM*) é uma ferramenta avançada do pensamento enxuto que, por meio de simbologias padronizadas, permite a representação simultânea dos fluxos de materiais (linha inferior) e de informação (linha superior) necessários para a transformação de insumos em produtos acabados, desde

fornecedores até o cliente final (WOMACK; JONES, 1996). Ao detalhar métricas cruciais, como tempo de ciclo, tempo de processamento, tempo de espera, *lead time*, razão de tempo de valor agregado e tempo de valor não agregado, o VSM evidencia gargalos, estoques ocultos e desperdícios de transporte, espera e superprodução (ROTHER; SHOOK, 2003).

A inclusão de conceitos de *takt time*, sistemas *pull* (supermercados, cartões *Kanban*) e FIFO (*First In First Out*) *lanes* confere ao mapeamento um caráter prescritivo, apontando os requisitos de capacidade para cada processo e o número de *Kanbans* necessários para equilibrar oferta e demanda. Além de diagnosticar o estado atual (“*current state*”), a metodologia orienta a construção do estado futuro (“*future state*”) por meio de “*Kaizen bursts*” que destacam iniciativas de melhoria, como redisposição de células, balanceamento de linha e introdução de fluxos contínuos, e estabelece um plano de ação com responsáveis e prazos (ROTHER, 2010).

Em sua dimensão teórica, o VSM integra princípios de *Just-in-Time*, *Jidoka*, *Kaizen* e Gestão da Qualidade Total, servindo não apenas como um retrato estático do processo, mas como roteiro dinâmico de transformação e engajamento de equipes na busca contínua pela redução do *lead time* e pela maximização do valor entregue ao cliente.

2.4.4 Conceito de *Milk Run*

Inspirado na tradicional logística rural, o termo *Milk Run* remete às rotas de coleta de leite, onde um mesmo veículo passava por diferentes fazendas para recolher a produção e, em seguida, devolvia os recipientes vazios. Essa ideia foi transportada para o ambiente industrial, transformando-se em um sistema logístico inteligente, no qual um único veículo ou equipamento de movimentação interna, como uma empilhadeira, percorre um circuito pré-definido para abastecer ou retirar materiais de forma cíclica e perfeitamente sincronizada (ARAÚJO, 2015; SILVA; MENEZES, 2021).

No chão de fábrica, o *Milk Run* funciona como um poderoso aliado dos princípios da manufatura enxuta (*Lean Manufacturing*), especialmente do sistema *Just-In-Time*, ao promover um fluxo contínuo e combater os desperdícios (*muda*). Ao ser implementado com empilhadeiras ou outros veículos internos, o sistema permite a redução de estoques intermediários, elimina movimentações desnecessárias e garante que o fornecimento de materiais ocorra no ritmo exato da produção (*takt time*). O resultado é um fluxo produtivo mais estável, previsível e eficiente (RODRIGUES, 2018).

A eficácia dessa abordagem foi investigada por Míqueo et al. (2023) em um estudo sobre sistemas de montagem flexíveis, que frequentemente enfrentam interrupções no

processo. Os pesquisadores observaram que a criação de rotas internas padronizadas, executadas tanto por empilhadeiras quanto por veículos autônomos, não apenas diminuiu o acúmulo de materiais nas estações de trabalho, mas também aprimorou a sincronia entre as áreas de suprimento e a linha de produção. A pesquisa também destacou que o *Milk Run* eleva a estabilidade do fluxo logístico e auxilia no balanceamento das operações, mesmo em cenários de produção variável.

Portanto, o *Milk Run* pode ser visto como mais do que uma simples ferramenta operacional; ele é um elemento que materializa os princípios do *Lean Manufacturing*. Ao integrar a lógica *Just-In-Time* à logística interna e ao planejamento do *layout* da fábrica (*Lean Plant Design*), o sistema fortalece a cultura de melhoria contínua e impulsiona a eficiência de todos os processos internos.

3 ANÁLISE E INTERVENÇÃO EM CONTEXTOS INDUSTRIAIS REAIS

Esta seção apresenta a análise e a intervenção em dois contextos industriais reais, conduzidas a partir da aplicação dos princípios do *Lean Manufacturing* e dos conceitos de *Lean Plant Design*. As atividades desenvolvidas nesses ambientes tiveram como foco a compreensão dos sistemas produtivos, a análise do arranjo físico existente e a identificação de oportunidades de melhoria relacionadas ao fluxo de materiais e à organização das operações.

As análises realizadas nesses contextos constituem a base empírica do trabalho, a partir da qual foi possível observar recorrências, restrições e padrões de intervenção relacionados ao redesenho de *layouts* industriais sob a ótica do *Lean*. A condução das atividades seguiu uma lógica estruturada, organizada em três etapas principais, utilizadas como referência para sistematizar o processo de análise e intervenção:

- 3.1 Caracterização do estado atual.
- 3.2 Configuração do estado futuro.
- 3.3 Avaliação dos cenários e ganhos potenciais sob a ótica *Lean*.

3.1 Caracterização do estado atual

Esta seção apresenta a análise do estado atual dos sistemas produtivos, com foco na compreensão dos fluxos de materiais e na configuração do arranjo físico das instalações industriais analisadas. O objetivo dessa etapa é caracterizar o funcionamento dos processos e identificar aspectos relevantes do ambiente produtivo que impactam o desempenho operacional.

Para tanto, foram realizados levantamentos de dados relativos às demandas produtivas, aos tempos de processamento, à disposição física dos recursos e às interações entre as etapas do processo. Esses dados permitiram identificar desperdícios, restrições e gargalos associados à situação atual, fornecendo subsídios para as análises e intervenções desenvolvidas nas etapas seguintes do estudo.

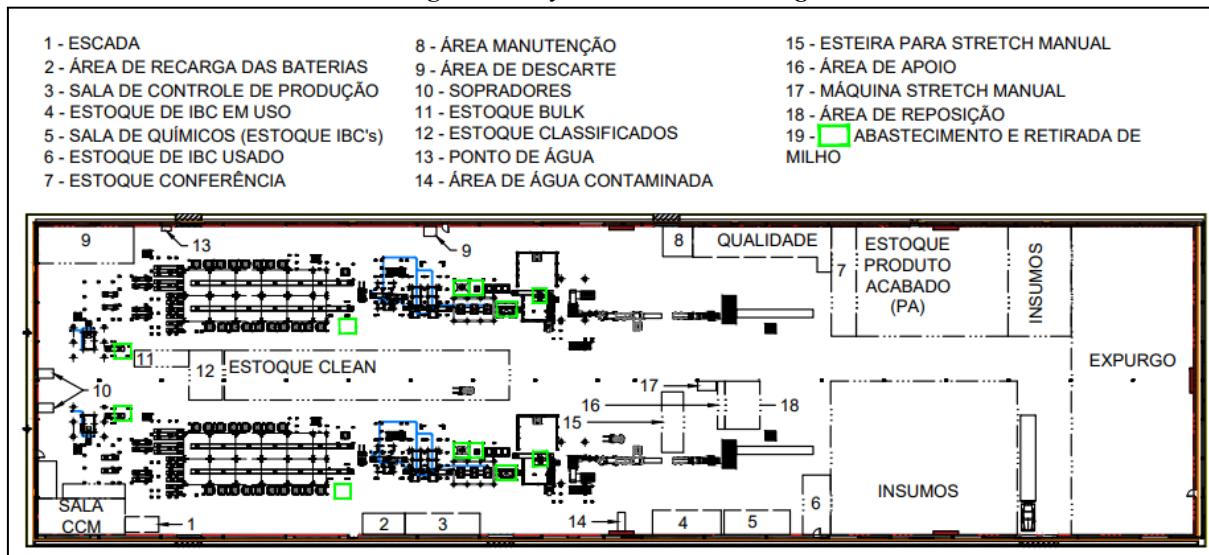
3.1.1 UBS *Conditioning*

O contexto industrial analisado corresponde a uma Unidade Beneficiadora de Sementes (UBS) *Conditioning*, inserida no setor agrícola e responsável pelo processamento de sementes de milho, soja e sorgo, localizada no estado de Minas Gerais. A planta industrial possui aproximadamente 8.000m² de área construída, distribuídos entre os setores de recepção, beneficiamento, armazenamento e expedição, cuja configuração espacial exerce influência direta sobre os fluxos internos de materiais e a organização das operações.

A análise desenvolvida nesse contexto foi conduzida no âmbito da etapa de diagnóstico do estado atual, conforme a lógica adotada neste estudo. Para isso, foram realizados levantamentos de dados, medições e o mapeamento dos processos produtivos, incluindo o registro do *layout* existente e a análise dos deslocamentos realizados por empilhadeiras durante as atividades de abastecimento e retirada de produtos.

O foco da análise foi direcionado ao fluxo de sementes de milho, selecionado por representar o principal volume processado na unidade e por concentrar os maiores impactos sobre a movimentação interna de materiais. Na Figura 1, apresenta-se o *layout* da UBS *Conditioning* correspondente à situação inicial considerada para a análise.

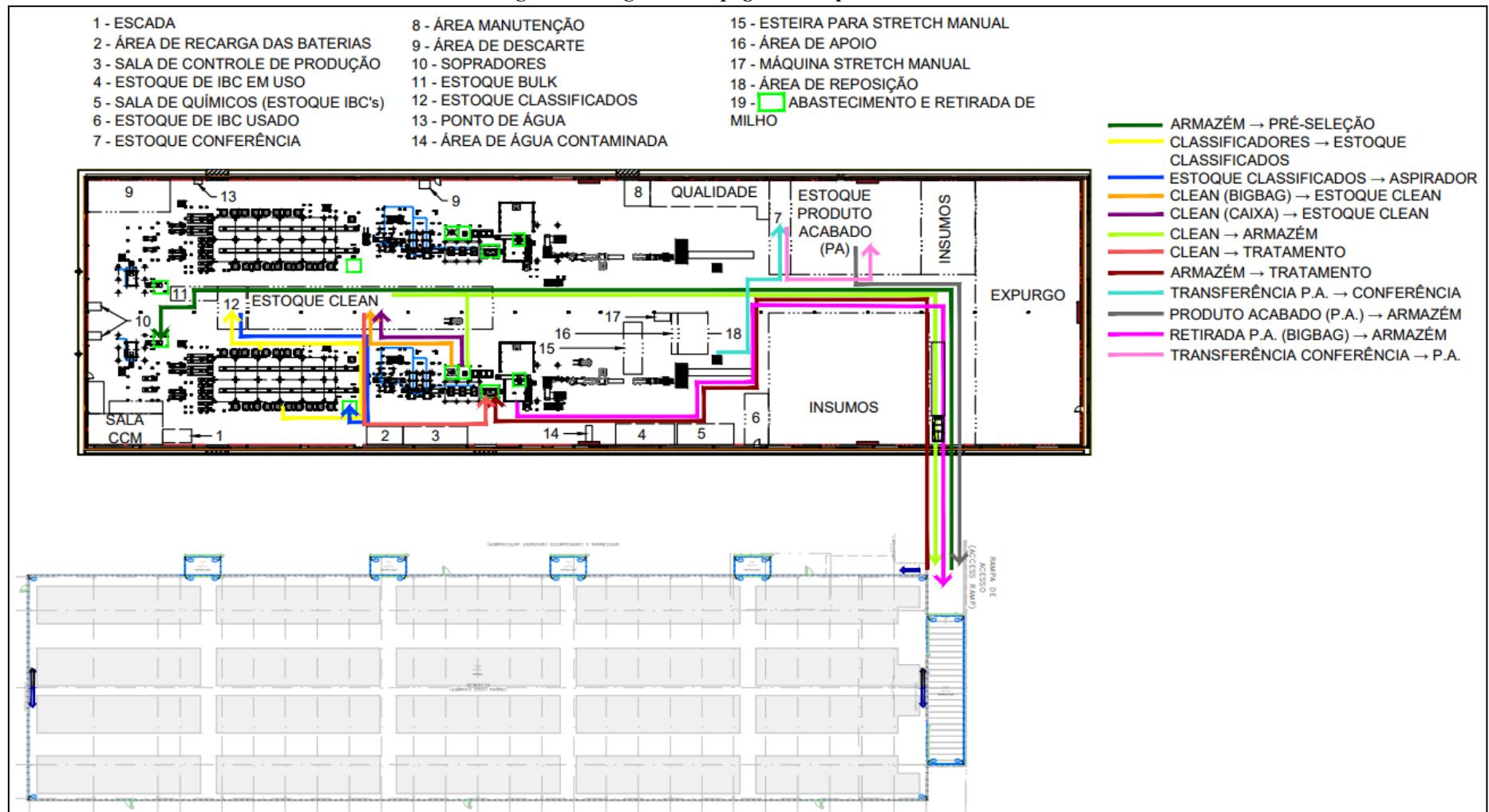
Figura 1 - Layout UBS Conditioning



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Após o levantamento do *layout* atual da fábrica, foram elaboradas linhas de deslocamento com o objetivo de representar, de forma visual, os percursos realizados pelas empilhadeiras durante as operações de abastecimento e retirada de produtos na linha de produção, bem como no abastecimento de insumos (materias-primas). A Figura 2 apresenta o diagrama de espaguete (*spaghetti chart*), que ilustra graficamente os trajetos percorridos e possibilita a identificação de movimentações excessivas e oportunidades de melhoria no fluxo interno de materiais.

Figura 2 - Diagrama de spaghetti dos processos internos



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A elaboração de diagramas de espaguete sobre o arranjo físico atualizado permitiu a mensuração precisa das distâncias percorridas entre os pontos de origem (A) e destino (B), identificados em colaboração com a equipe local. As informações levantadas, que englobam a distância por processo e o número de movimentações diárias, foram sistematizadas e são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Movimentações internas e distâncias totais percorridas por dia

Deslocamentos Processos Internos	Distância Diária (metros)	Qtd. de Movimentações por dia	Distância x Qtd. de Movimentações (km/dia)
ARMAZÉM → PRÉ-SELEÇÃO	427,56	66	28,22
CLASSIFICADORES → ESTOQUE CLASSIFICADOS	139,66	11	1,54
ESTOQUE CLASSIFICADOS → ASPIRADOR	94,06	21	1,98
CLEAN (BIG BAG) → ESTOQUE CLEAN	50,91	11	0,56
CLEAN (CAIXA) → ESTOQUE CLEAN	50,91	31	1,58
CLEAN → ARMAZÉM	302,83	49	14,84
CLEAN → TRATAMENTO	96,6	49	4,73
ARMAZÉM → TRATAMENTO	328,52	49	16,10
PRODUTO ACABADO (P.A.) → ARMAZÉM	160,08	192	30,74
TRANSFERÊNCIA P.A. → CONFERÊNCIA	62,91	192	12,08
RETIRADA P.A. (BIG BAG) → ARMAZÉM	308,31	48	14,80
TRANSFERÊNCIA CONFERÊNCIA → P.A	62,91	192	12,08
Total			139,23 (11,6 horas/dia)

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Com o objetivo de aprofundar a análise dos fluxos, os deslocamentos foram categorizados em duas naturezas distintas: os internos, diretamente ligados às etapas produtivas que agregam valor, e os de insumos, referentes ao transporte de matérias-primas para abastecimento da linha, considerados atividades de suporte sem valor agregado sob a ótica do cliente. O mapeamento específico desses fluxos de insumos é apresentado na Figura 3. Uma análise quantitativa dessas rotas, detalhando as distâncias percorridas e a frequência diária dos transportes, está consolidada na Tabela 2.

Figura 3 - Diagrama de spaghetti dos insumos



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A Tabela 2 consolida os dados referentes ao deslocamento de insumos, quantificando os fluxos na situação atual da fábrica.

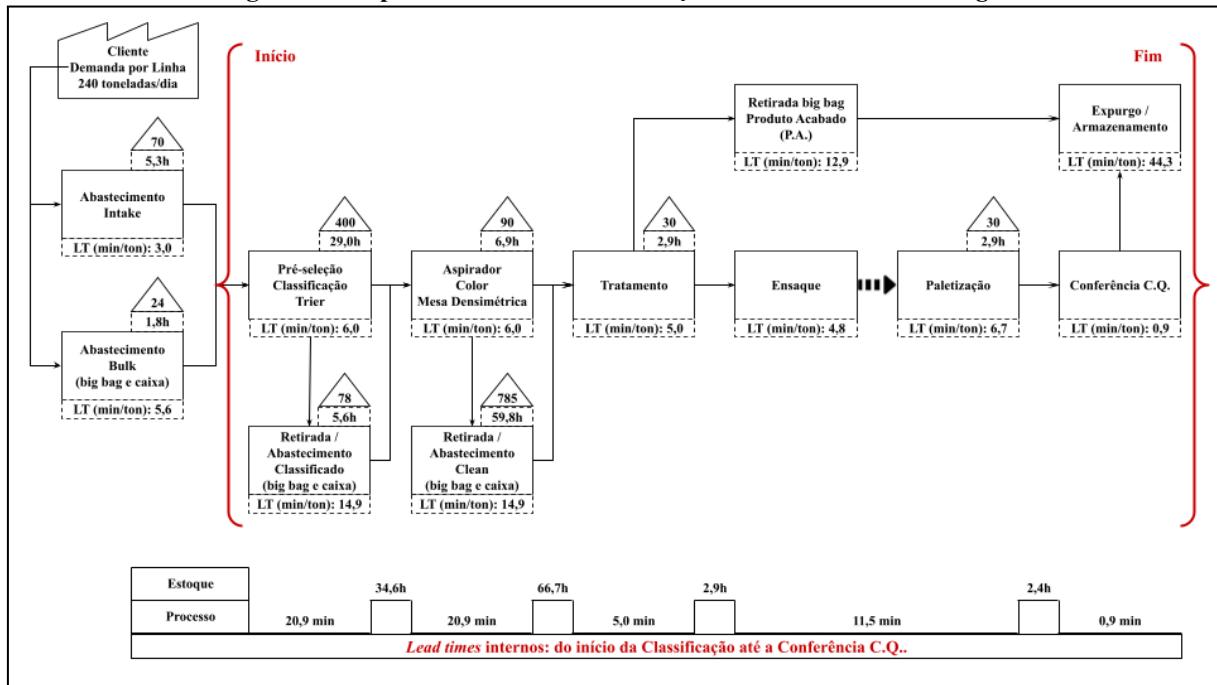
Tabela 2 - Movimentações internas de insumos e distâncias totais percorridas por dia

Deslocamentos Insumos	Distância Diária (metros)	Qtd. de Movimentações por dia	Distância x Qtd. de Movimentações (km/dia)
INSUMOS (BLOCO PALETES / BIG BAGS) → CLASSIFICADOS / CLEAN	128,76	6	0,77
INSUMOS PALETIZAÇÃO (PALLETS / STRETCH / COVER BOX / BIG BAGS) → ESTEIRA	107,00	9	0,96
SACOS PLÁSTICOS → ESTEIRA	156,49	5	0,78
BLOCOS PALETES → ESTEIRA	274,83	6	1,65
DESCARREGAMENTO INSUMOS (CAMINHÃO) → INSUMOS	93,00	26	2,42
		Total	6,58 (0,5 horas/dia)

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Para uma análise aprofundada da operação, foi desenvolvido um Mapa de Fluxo de Valor (MFV) dos processos internos da unidade de beneficiamento de sementes. O objetivo dessa etapa foi mapear detalhadamente os fluxos de produção, mensurar os *lead times* de cada processo e diagnosticar os estoques em horas existentes entre as etapas, cujos resultados são apresentados na Figura 4.

Figura 4 - Mapa de Fluxo de Valor situação atual UBS Conditioning



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A partir da elaboração do Mapa de Fluxo de Valor (MFV), que retrata a situação atual do processo produtivo, os estoques intermediários foram quantificados em horas para cada etapa. Esses dados foram sintetizados na Tabela 3, na qual se detalha o tempo total consumido tanto pelas atividades de processamento quanto pelos períodos de espera (estoque). Essa análise oferece uma visão precisa do desempenho corrente e evidencia os principais pontos que demandam melhorias.

Tabela 3 - Total de tempos em estoques e processos na situação atual

Estoques (horas)	Processos (minutos)	Total (horas)
106,7	59,2	107,7 (4,5 dias)

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

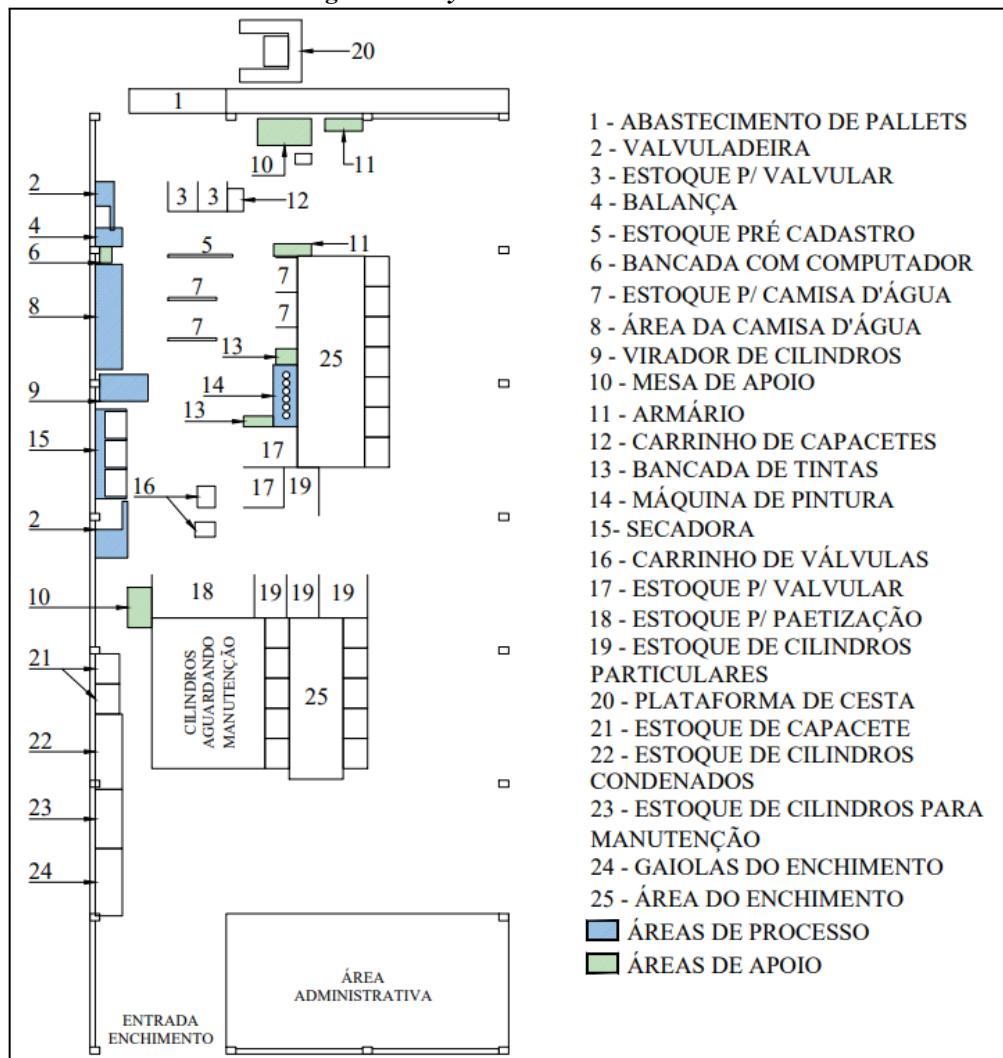
3.1.2 Fábrica de Cilindros

O segundo contexto industrial analisado corresponde a uma unidade prestadora de serviços especializada na manutenção de cilindros, localizada no estado do Paraná. Diferentemente do ambiente industrial anterior, esse sistema produtivo é caracterizado pela elevada variabilidade dos serviços executados, pela diversidade de rotas de processamento e

pela dependência do sequenciamento das operações, fatores que impactam diretamente a organização do arranjo físico e o comportamento dos fluxos internos.

A análise desse ambiente concentrou-se na compreensão dessas variabilidades operacionais, considerando os tempos de processamento, a definição de agrupamentos de serviços com características semelhantes e a configuração espacial existente. A partir dessa caracterização, foram analisados os deslocamentos médios associados às diferentes rotas produtivas, permitindo avaliar de que forma o *layout* atual influencia a movimentação interna e o desempenho do sistema como um todo. Na Figura 5, apresenta-se o *layout* da Fábrica de Serviços de Cilindros correspondente à situação inicial considerada para a análise.

Figura 5 - Layout fábrica de cilindros



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Com base no levantamento do arranjo físico atual, foram identificados os pontos de coleta, abastecimento e movimentação dos cilindros ao longo do processo produtivo. A partir

desses dados, elaborou-se um mapa dos deslocamentos realizados pelos operadores, permitindo visualizar de forma clara como os trajetos ocorrem na prática. Na sequência, apresenta-se uma tabela contendo o mapeamento das famílias de produtos e a respectiva demanda diária de cada uma delas, fornecendo apoio adicional para a compreensão dos fluxos e volumes que influenciam diretamente a dinâmica operacional analisada.

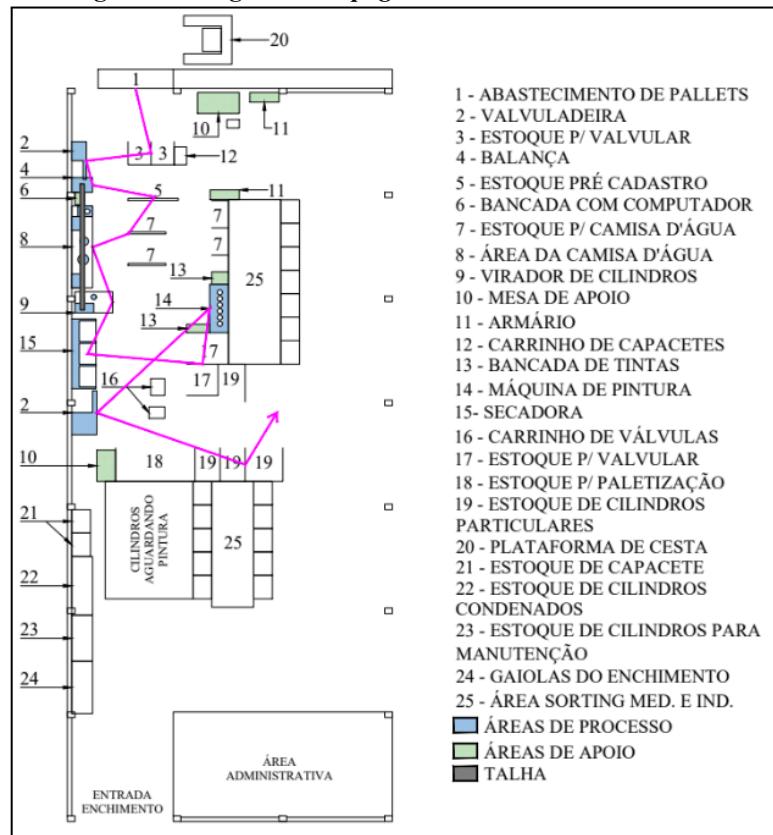
Tabela 4 - Famílias de produtos e demandas diárias

Famílias	Demanda Diária de Cilindros (unidades)
F1: Teste hidrostático completo com pintura	24
F2: Teste hidrostático sem pintura	79
F3: Só pintura (Medicinais e industriais)	3
F4: Troca de válvula sem pintura	2
F5: Revisão / manutenção de cestas	12
Total	120

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Com o mapeamento das famílias de produtos, foi elaborado o diagrama de espaguete que pode ser observado na Figura X, apresentada abaixo, o qual sintetiza os percursos realizados no layout atual. A representação evidencia trechos longos, retornos recorrentes e movimentações que não agregam valor ao processo. Ao relacionar visualmente o fluxo real ao arranjo físico existente, o diagrama torna mais explícitas as oportunidades de reorganização e otimização do espaço fabril.

Figura 6 - Diagrama de spaghetti das famílias de cilindros



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Após o levantamento do layout atual e a elaboração de um diagrama de deslocamento geral que representasse todas as famílias de produtos, procedeu-se à sistematização dos dados em uma Tabela 5. A partir dessa organização, foi possível calcular a distância percorrida diariamente, considerando a quantidade de cilindros produzidos por dia.

Tabela 5 - Total de tempos em estoques e processos na situação atual

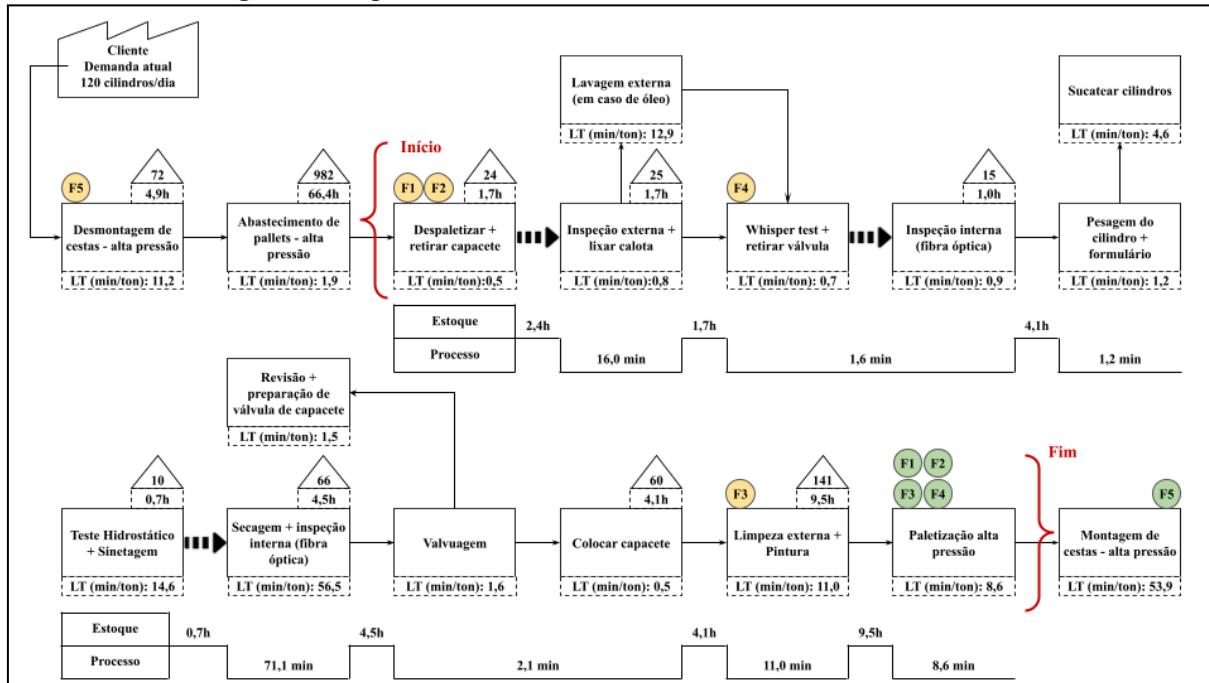
Famílias	Deslocamento Médio por Cilindro (metros)
F1: Teste hidrostático completo com pintura	
F2: Teste hidrostático sem pintura	
F3: Só pintura (Medicinais e industriais)	35,9
F4: Troca de válvula sem pintura	
F5: Revisão / manutenção de cestas	

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Em seguida, elaborou-se o Mapa de Fluxo de Valor (MFV) dos processos da fábrica, com o objetivo de representar de forma detalhada o fluxo de materiais e informações,

identificando tempos de processamento, *lead times* e pontos de acúmulo de estoque em processo. A Figura 7 a seguir apresenta essa representação, permitindo visualizar gargalos e oportunidades de melhoria ao longo da cadeia produtiva.

Figura 7 - Mapa de Fluxo de Valor situação atual fábrica de cilindros



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Com base nas informações obtidas no Mapa de Fluxo de Valor, foi elaborada uma tabela reunindo os tempos de estoque (em horas) e os tempos de processamento (em minutos) das etapas do fluxo produtivo com finalidade de sintetizar os principais tempos envolvidos nos processos, conforme a Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 - Total de tempos em estoques e processos na situação atual

Famílias de produtos	Estoques (horas)	Processos (minutos)	Total (horas)
F1: Teste hidrostático completo com pintura			
F2: Teste hidrostático sem pintura			
F3: Só pintura (medicinais e industriais)	23,9	111,6	25,8
F4: Troca de válvula sem pintura			
F5: Revisão / manutenção de cestas			

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

3.2 Configuração do estado futuro

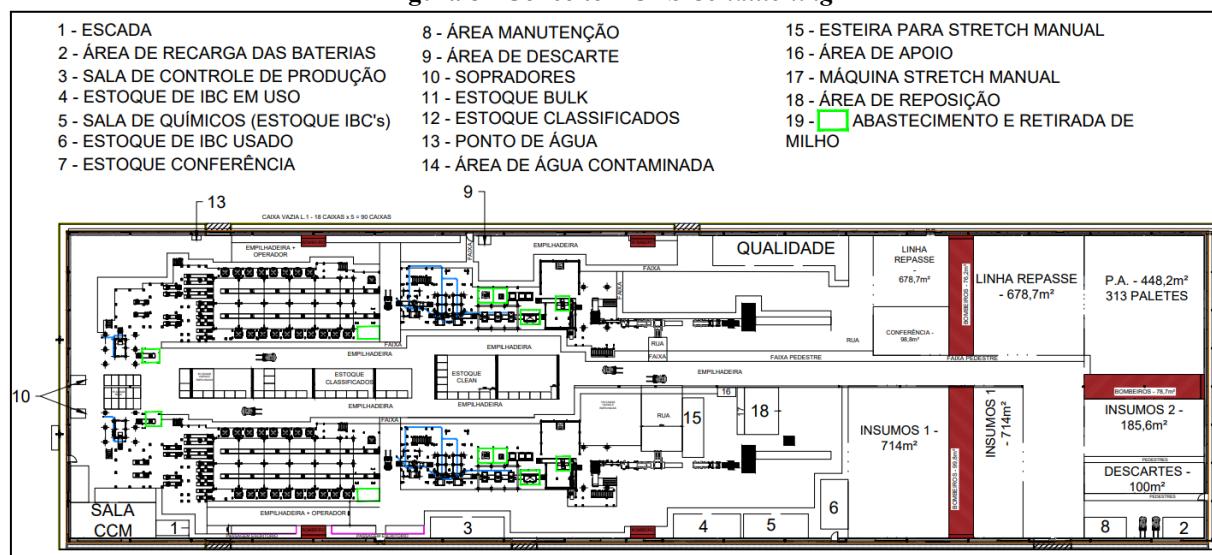
A partir da análise do estado atual dos sistemas produtivos e do arranjo físico existente, foram elaboradas propostas de melhoria voltadas à reorganização dos processos e ao balanceamento das atividades. Essas proposições fundamentaram-se nos problemas, desperdícios e restrições identificados na etapa de diagnóstico, buscando explorar alternativas de configuração futura que favorecessem a melhoria dos fluxos produtivos.

O desenvolvimento do estado futuro envolveu a construção de alternativas de *layout*, alinhadas aos princípios do *Lean Manufacturing* e aos conceitos de *Lean Plant Design*, considerando as características específicas de cada contexto industrial analisado. As propostas elaboradas foram avaliadas de forma preliminar quanto ao seu potencial de redução de movimentações, melhoria da organização dos fluxos internos e apoio ao desempenho operacional, servindo de base para a comparação entre os cenários atual e futuro apresentada na seção subsequente.

3.2.1 UBS *Conditioning*

Na situação futura para a unidade beneficiadora de sementes, foi levantada a demanda futura diária para podermos realizar os cálculos de capacidade produtiva da fábrica de um modo geral e esboçar conceitos de um novo layout para atender à demanda. Deste modo, foram criados 4 conceitos de layout da fábrica conforme abaixo.

Figura 8 - Conceito 1 UBS *Conditioning*



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O conceito 1, Figura 8, desenvolvido para a UBS *Conditioning*, propõe um novo arranjo físico com foco na otimização dos fluxos internos e no uso eficiente dos espaços produtivos. Esse conceito contempla o dimensionamento de estoques centrais específicos para cada setor (*bulk*, classificados e *clean*), bem como a criação de áreas laterais destinadas ao armazenamento de caixas. Além disso, prevê a implantação de vias exclusivas para o tráfego de empilhadeiras, garantindo maior segurança operacional e fluidez nas movimentações. Por fim, inclui o redimensionamento das áreas de Conferência, Linha de Repasse, Produto Acabado (P.A.), Insumos e Descartes, de modo a promover melhor integração entre os processos e redução de desperdícios. A seguir, a Figura 9 referente ao conceito 2 apresenta uma nova proposta de layout, desenvolvida a partir das oportunidades de melhoria identificadas no primeiro conceito.

Figura 9 - Conceito 2 UBS *Conditioning*



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O conceito 2, desenvolvido para a UBS *Conditioning*, apresenta avanços significativos em relação à proposta anterior, com foco na segurança operacional e na melhoria da logística interna. Nesta configuração, foi realizada a criação de novas áreas de estoque de caixas distribuídas ao longo da unidade, favorecendo o abastecimento setorial e reduzindo as distâncias de movimentação. Além disso, foram implantados caminhos seguros ao redor das máquinas e das áreas de armazenagem, assegurando maior proteção aos colaboradores e melhor organização dos fluxos de pessoas e equipamentos.

Outra modificação relevante consiste na divisão das áreas de Produto Acabado (P.A.) e Insumos 2, acompanhada pela inclusão de uma rua exclusiva para o tráfego de empilhadeiras,

promovendo maior eficiência e segregação entre as rotas de movimentação de materiais e pessoas. A seguir, a Figura 10 referente ao conceito 3 apresenta uma nova proposta de *layout*, elaborada com base nas melhorias observadas neste conceito e na busca por maior integração entre os processos produtivos.

Figura 10 - Conceito 3 UBS *Conditioning*

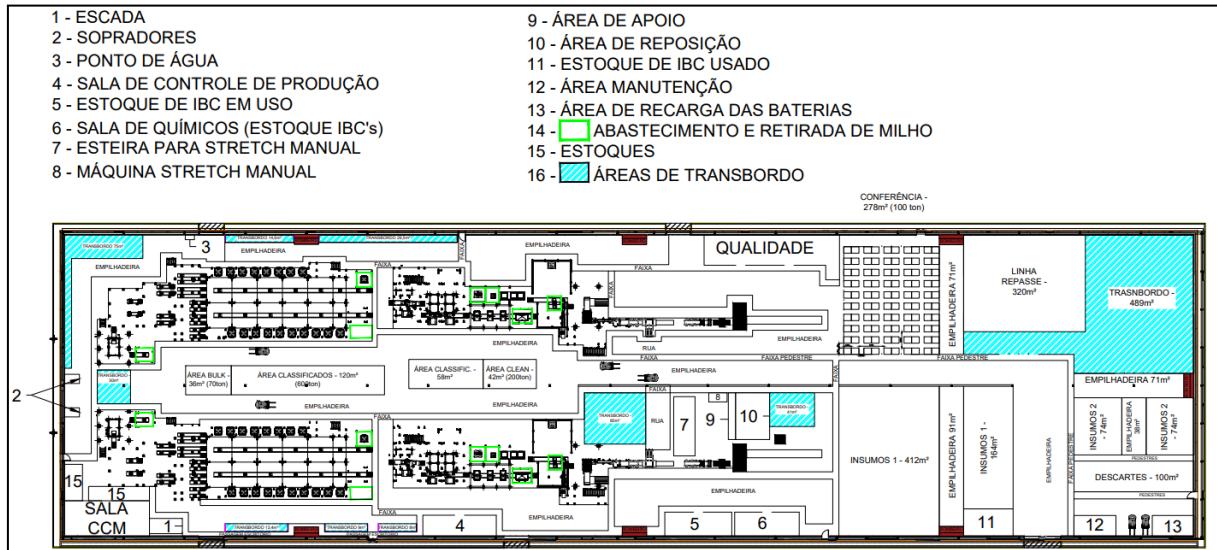
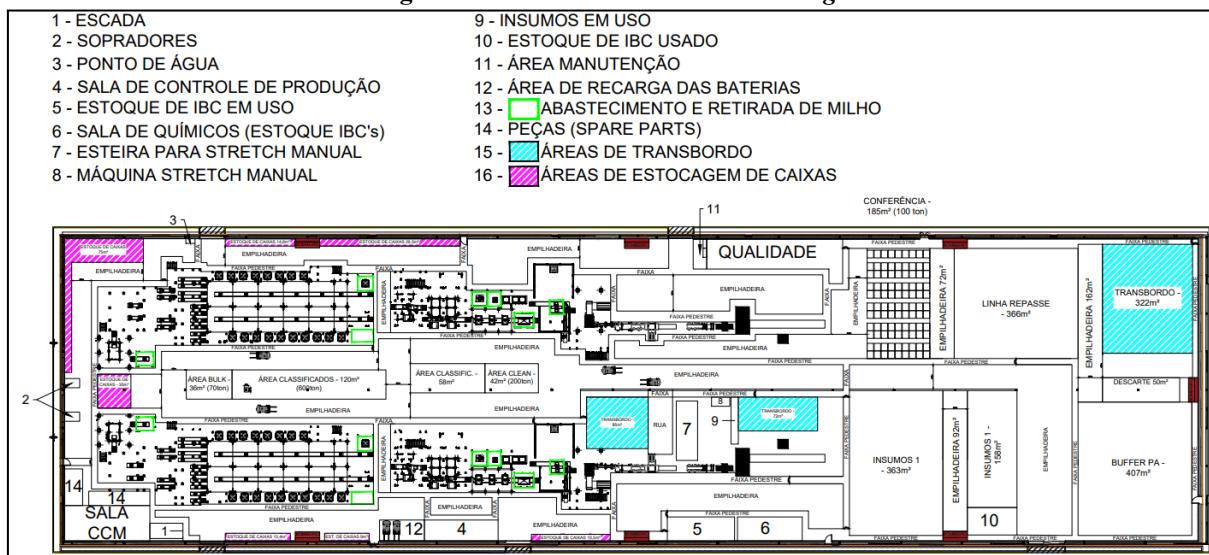


Figura 11 - Conceito 4 UBS Conditioning

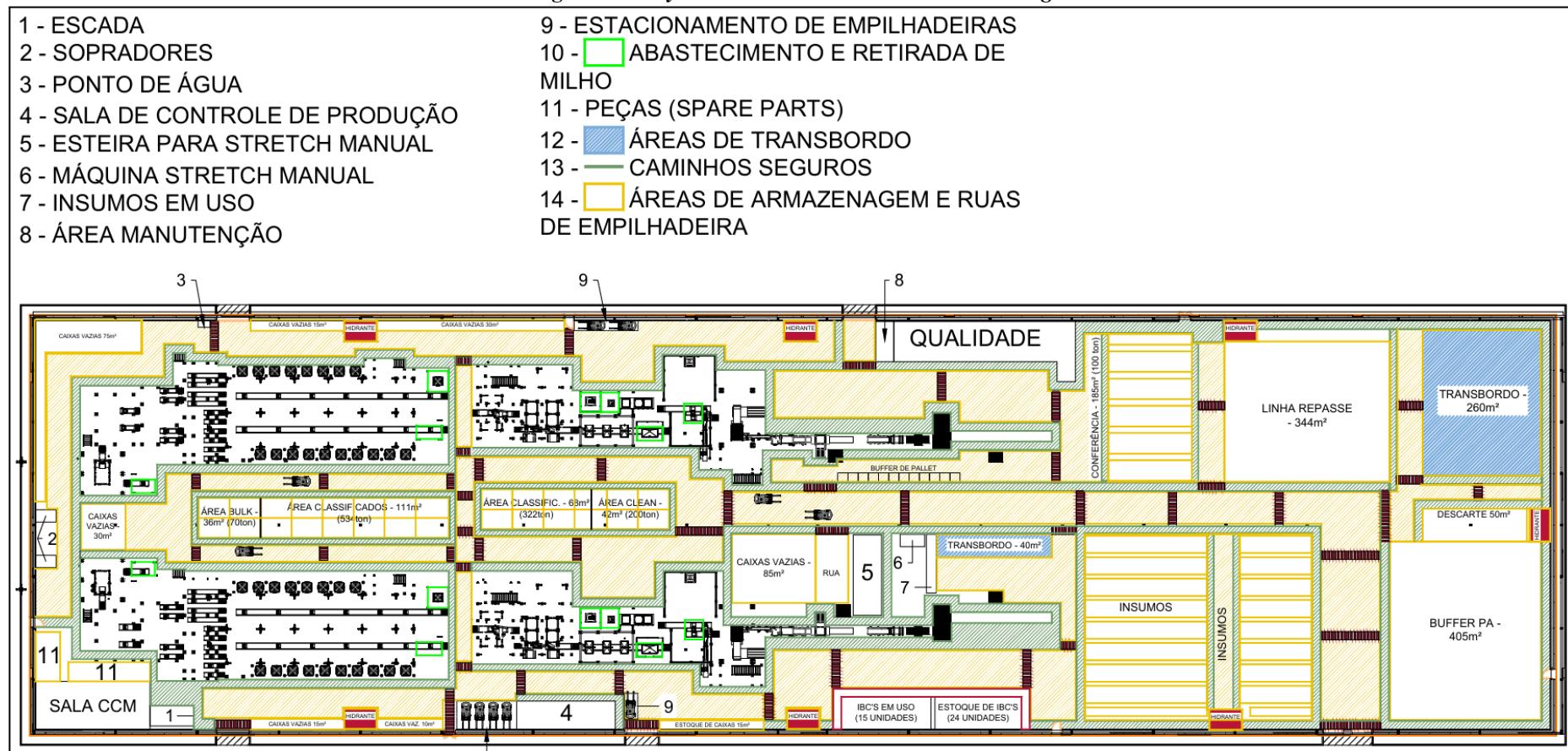


Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O conceito 4 apresenta a versão aprimorada do arranjo físico proposto para a UBS *Conditioning*, cujo desenvolvimento visou à máxima eficiência na utilização dos espaços. Nesta configuração, a área de Conferência foi redimensionada para 185 m², mantendo-se a capacidade de armazenamento de 100 toneladas, o que otimiza o uso da área produtiva. A delimitação de áreas distintas para as operações de transbordo e de estocagem de caixas foi implementada para favorecer a organização interna e agilizar a movimentação de materiais.

Adicionalmente, a área de Descarte foi redefinida com o intuito de estabelecer um fluxo mais seguro e racional para o manejo de resíduos. Propõe-se, ainda, a criação de uma área de acumulação (*buffer*) para Produto Acabado (P.A.), elemento que confere maior flexibilidade ao sistema produtivo e estabilidade à cadeia logística. Dessa forma, esta versão final do arranjo físico, conforme a Figura 12 abaixo, consolida as melhorias identificadas ao longo do estudo, constituinte uma solução integrada, segura e mais eficiente para a operação da unidade.

Figura 12 - Layout futuro detalhado UBS *Conditioning*



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Após a definição do novo conceito de *layout*, foi elaborado o diagrama de espaguete com o objetivo de comparar as movimentações realizadas pelas empilhadeiras entre a situação atual e a situação proposta. Esse mapeamento permitiu visualizar e mensurar as distâncias percorridas, facilitando a identificação de trajetos excessivos e pontos de melhoria no fluxo interno de materiais.

Com base nessas informações, foram realizadas simulações de movimentação considerando a aplicação do sistema *Milk Run*, já discutido anteriormente, o que possibilitou a padronização das rotas de abastecimento e coleta dentro da fábrica. Essa reorganização, aliada ao agrupamento de processos com funções semelhantes, contribuiu para reduzir a quantidade de empilhadeiras necessárias, melhorar o aproveitamento dos recursos e diminuir o tempo de deslocamento entre os setores produtivos. A Tabela 7 apresenta os novos deslocamentos e agrupamentos de processos para a situação futura, elaborado a partir do novo *layout* e das rotas otimizadas.

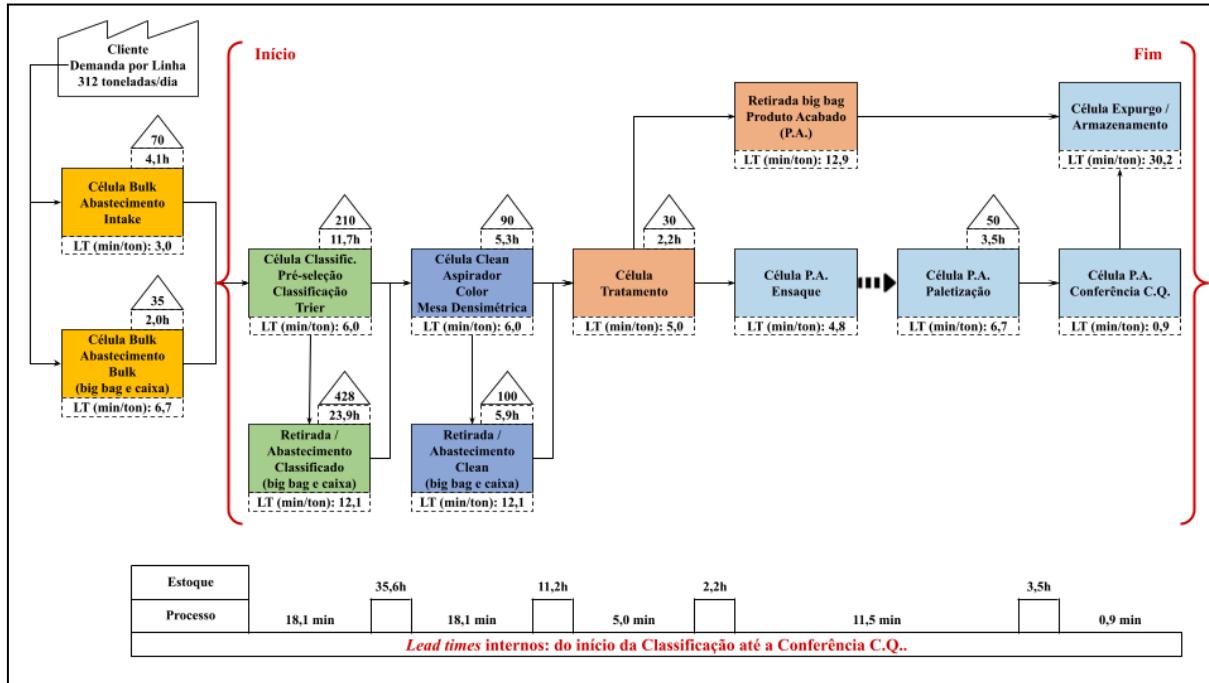
Tabela 7 - Análise dos deslocamentos diários de empilhadeiras

Processos Internos e Insumos	Deslocamentos por linha (metros)	Frequência Diária	Deslocamentos x Frequência Diária (km/dia)
Insumos	233,52	46	10,74
Bulk	223,01	91	20,29
Classificado	96,54	74	7,14
Clean	88,06	27	2,38
Tratamento + Big Bag P.A.	139,20	90	12,53
Paletização + Conferência C.Q.	179,80	250	44,95
Expurgo	38,76	54	2,09
Total			100,13

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Além de traçar novas linhas representando os deslocamentos das empilhadeiras dentro fábrica, foi revisado o MFV para situação futura conforme a Figura 13. Nesta imagem, podemos observar de forma clara os processos que foram agrupados levando em consideração o conceito de células de trabalho, que neste caso serviu como agrupamento de atividades para otimização das empilhadeiras

Figura 13 - Mapa de Fluxo de Valor situação futura UBS Conditioning



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

De forma a consolidar os novos tempos de estoques e processos dentro da UBS, elaborou-se a Tabela 8 para organizar esses novos dados obtidos, conforme abaixo.

Tabela 8 - Total de tempos em estoques e processos na situação futura

Estoques (horas)	Processos (minutos)	Total (horas)
52,5	53,6	53,4 (3,5 dias)

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

3.2.2 Fábrica de Cilindros

Para a definição da situação futura da fábrica, foi disponibilizada a demanda diária projetada, a partir da qual foram realizados os cálculos de capacidade produtiva e desenvolvidos os primeiros conceitos de layout capazes de atender ao volume esperado, bem como de incorporar melhorias de processo. No caso específico deste projeto, o cliente informou que a demanda evoluiria em duas etapas antes de atingir o nível final previsto. A Tabela 9 a seguir apresenta essas duas fases de demanda futura, distribuídas por família de produtos.

Tabela 9 - Total de tempos em estoques e processos na situação futura

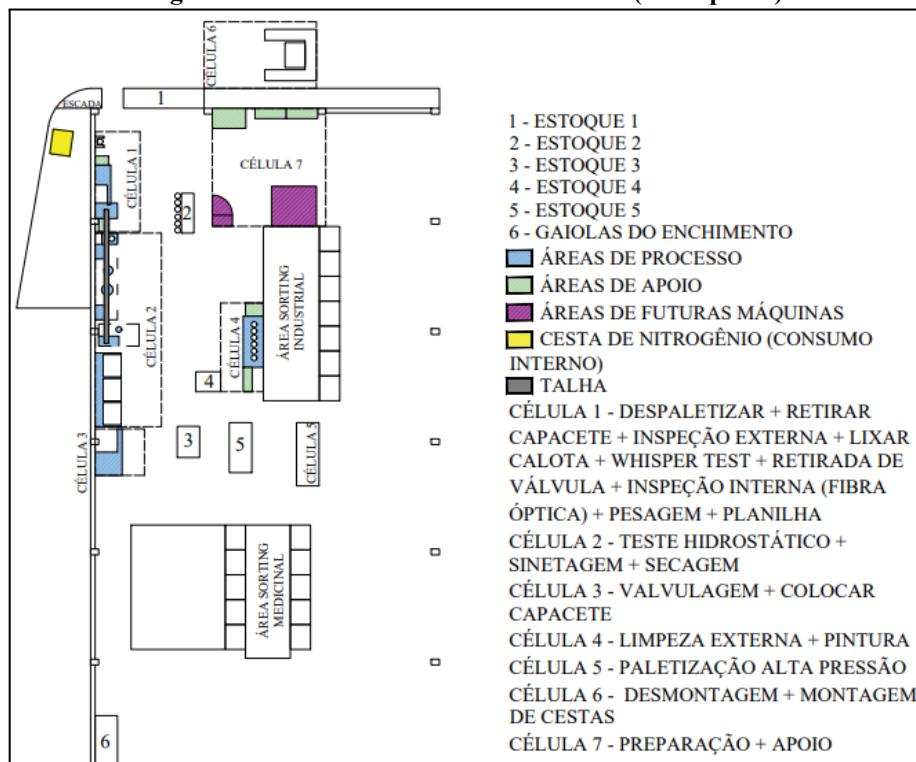
Famílias	Demandas Diárias de Cil. - Curto Prazo (unidades)	Demandas Diárias de Cil. - Longo Prazo (unidades)
F1: Teste hidrostático completo com pintura	24	36
F2: Teste hidrostático sem pintura	79	120
F3: Só pintura (Medicinais e industriais)	3	4
F4: Troca de válvula sem pintura	2	2
F5: Revisão / manutenção de cestas	12	18
Total	120	180

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Com base na demanda futura projetada e nas limitações estruturais identificadas, foram desenvolvidos dois conjuntos de conceitos de layout: um voltado ao curto prazo, visando atender rapidamente às necessidades operacionais imediatas com intervenções de baixa complexidade, e outro direcionado ao longo prazo, contemplando modificações mais abrangentes e estruturais para suportar a demanda final prevista.

As melhorias propostas no conceito 1, Figura 14, para o layout incluem a adição de uma prensa mecânica na célula 1, a remoção e posterior readequação dos estoques internos conforme a demanda futura, mantendo-se as máquinas em suas posições atuais. As células foram reorganizadas para agrupar os processos previstos no fluxo futuro. Também foram incorporadas máquinas de limpeza externa e interna na célula 7, além da centralização da mesa de apoio para revisão de válvulas nessa mesma célula, substituindo a segunda mesa antes localizada próxima à célula 5.

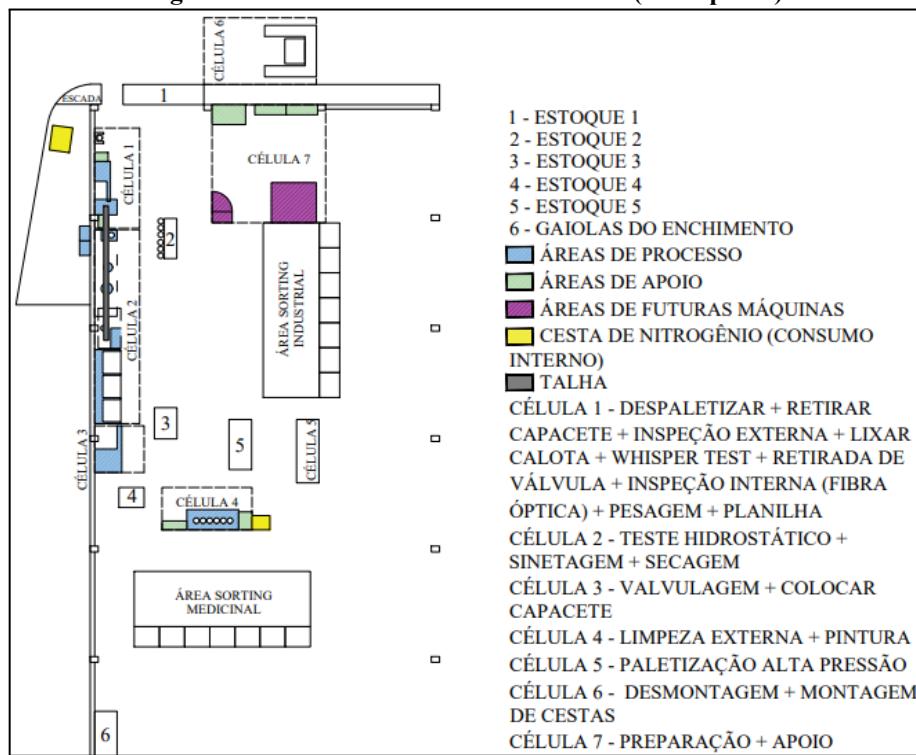
Figura 14 - Conceito 1 fábrica de cilindros (curto prazo)



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O segundo conceito, Figura 15, propõe a realocação dos motores da camisa d'água para a parte externa do galpão, liberando área interna útil. Prevê-se também a revisão e modificação do virador de cilindros, posicionado sob a talha, de modo a permitir o travamento do cilindro, a remoção da tampa e a sinetagem antes do escoamento da água. A máquina de pintura é relocada para a sequência imediata da célula 3, enquanto as áreas de sorting medicinal e de manutenção são ampliadas para atender às necessidades operacionais futuras.

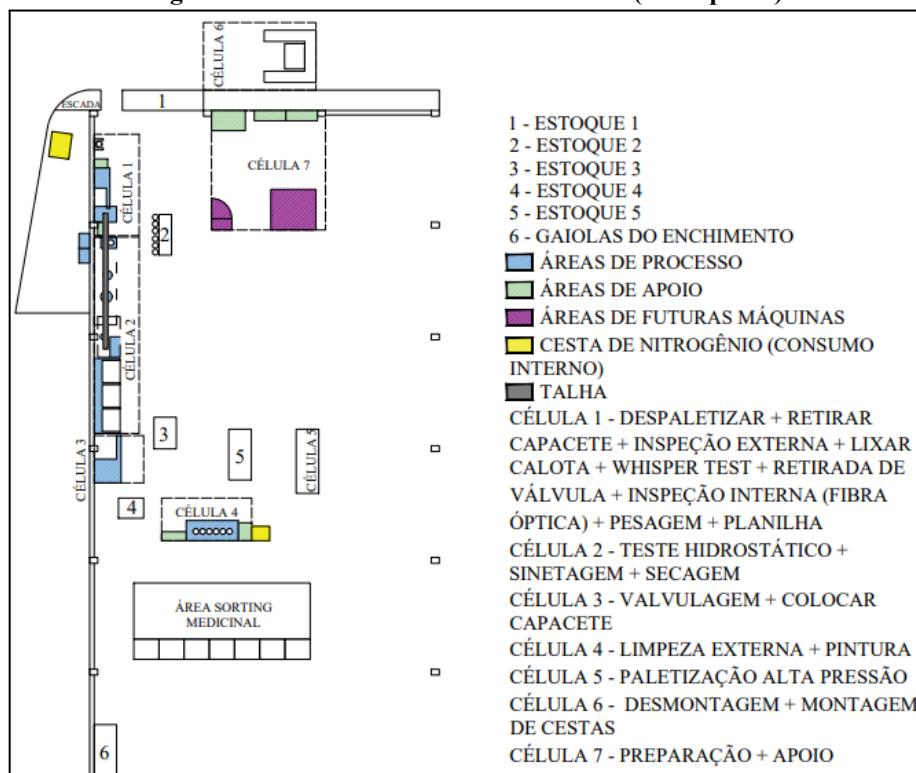
Figura 15 - Conceito 2 fábrica de cilindros (curto prazo)



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O terceiro conceito, Figura 16, contempla a remoção do sorting industrial da área atualmente destinada à manutenção, realocando essa atividade para uma região mais adequada ao fluxo produtivo e liberando espaço para as demandas de manutenção.

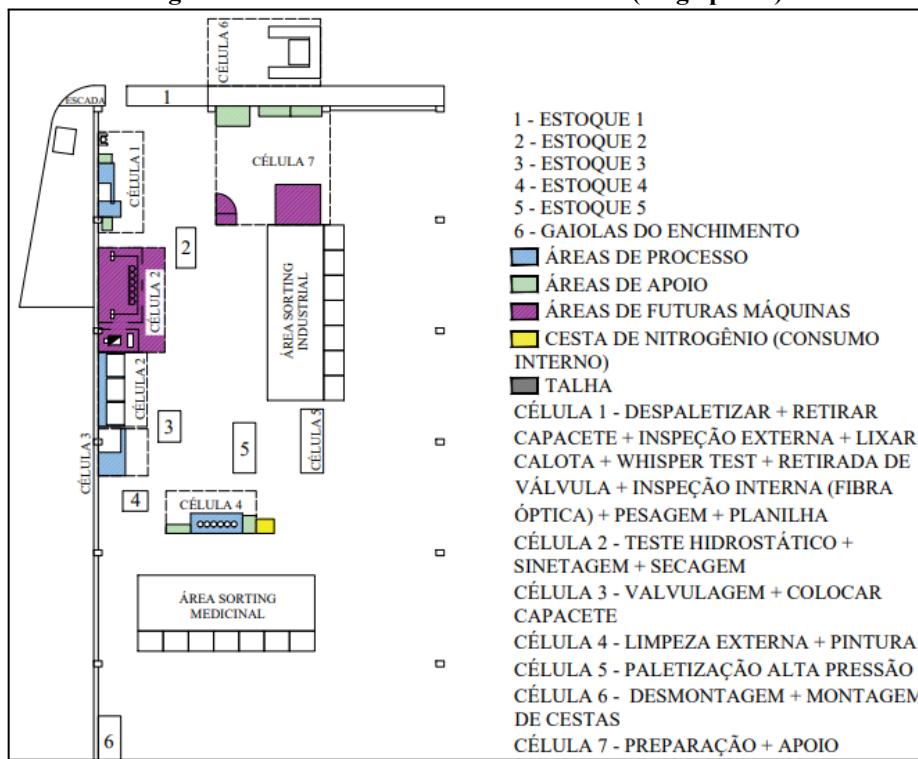
Figura 16 - Conceito 3 fábrica de cilindros (curto prazo)



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O quarto conceito, Figura 17, propõe a remoção das duas camisas d'água localizadas na área de manutenção, bem como a retirada da talha, possibilitando a reorganização desse espaço. Nesse novo arranjo, a máquina de teste proveniente de Jundiaí é posicionada no local anteriormente ocupado pelas camisas d'água, enquanto a área destinada ao sorting industrial permanece inalterada, garantindo a continuidade das operações já estabelecidas.

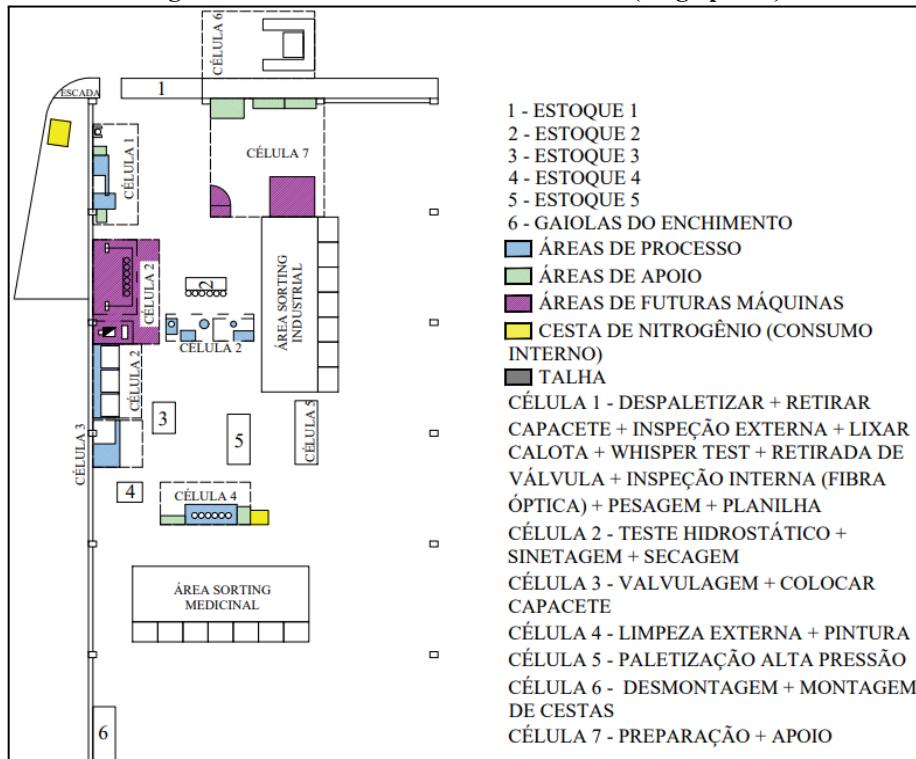
Figura 17 - Conceito 4 fábrica de cilindros (longo prazo)



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O quinto conceito, Figura 18, sugere a remoção da camisa d'água de maior porte localizada na área de manutenção, possibilitando a reorganização desse setor. Nesse arranjo, a máquina de teste oriunda de outra cidade é posicionada no espaço anteriormente ocupado pelas camisas d'água, enquanto a camisa d'água menor é reposicionada perpendicularmente à parede do galpão, otimizando o uso da área disponível. Além disso, propõe-se a remoção completa da área destinada ao sorting industrial, abrindo espaço para uma configuração mais enxuta e funcional.

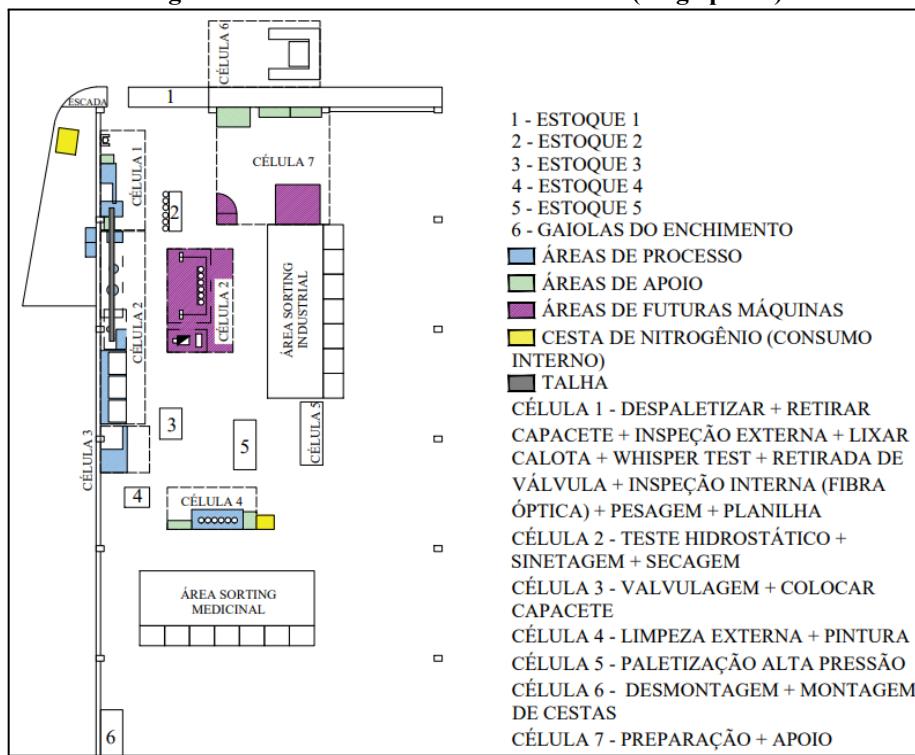
Figura 18 - Conceito 5 fábrica de cilindros (longo prazo)



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Por fim, o sexto conceito, Figura 19, propõe a alocação dos motores das camisas d'água na parte externa do galpão, mantendo os tanques em suas posições originais, de modo a preservar a lógica atual do processo. Nesse arranjo, a máquina de teste proveniente da outra é adicionada em frente à área das camisas d'água, facilitando a continuidade das operações sem interferir no fluxo existente. Por fim, a área destinada ao sorting industrial permanece no mesmo local, garantindo a manutenção da organização previamente consolidada.

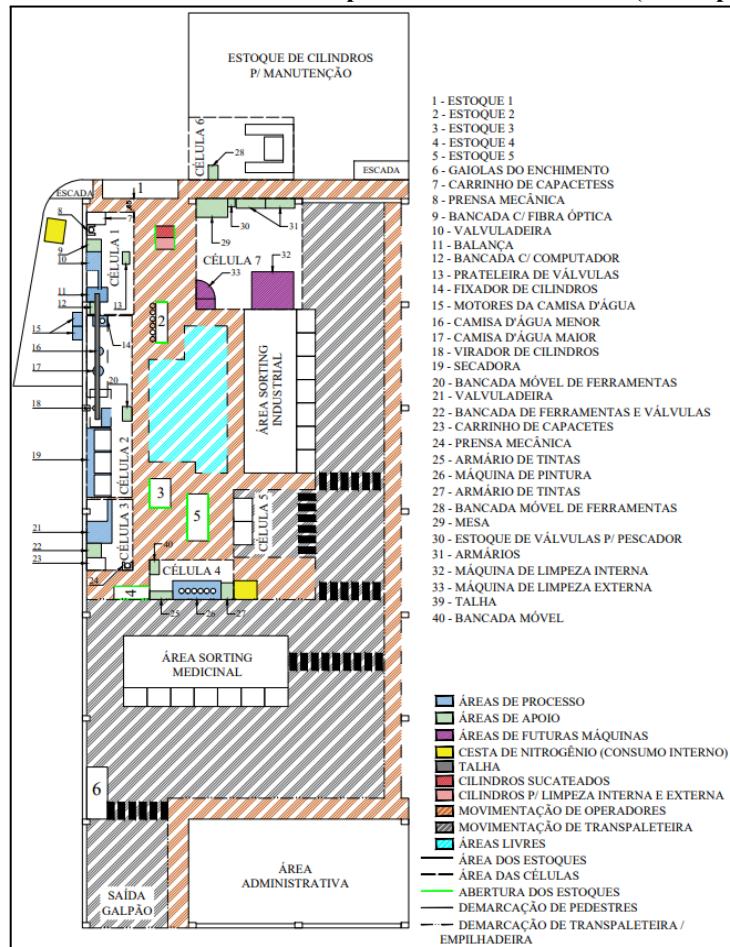
Figura 19 - Conceito 6 fábrica de cilindros (longo prazo)



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Foram selecionados dois conceitos para orientar as melhorias no layout: um destinado à implementação de curto prazo, visando intervenções rápidas e de baixo impacto estrutural, e outro definido como solução de longo prazo, voltado à reorganização mais ampla do processo produtivo. A Figura 20 apresenta o conceito selecionado para o curto prazo, destacando as intervenções imediatas propostas.

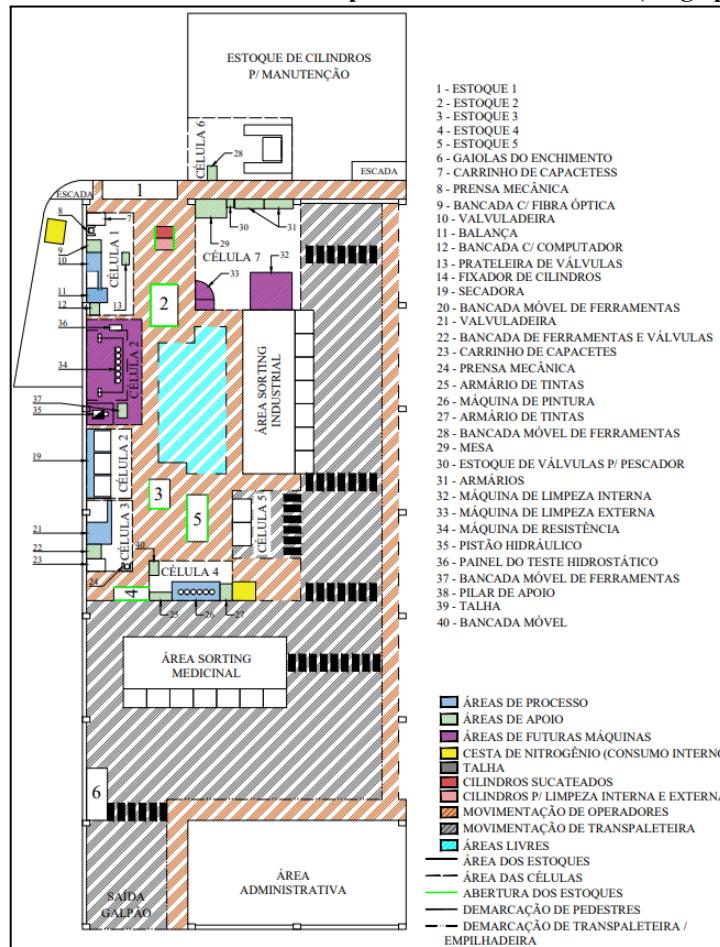
Figura 20 - Conceito 2 selecionado para fábrica de cilindros (curto prazo)



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A Figura 21, por sua vez, apresenta o conceito de longo prazo, que contempla uma reorganização mais abrangente do processo produtivo e a redistribuição estratégica das áreas, orientando a evolução futura do arranjo físico.

Figura 21 - Conceito 4 selecionado para fábrica de cilindros (longo prazo)



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Após o conceito de layout definido, fizemos a elaboração do diagrama de *spaghetti* para realizar os cálculos de movimentação para cada um dos trajetos levantados na situação atual com intuito de mapear as diferenças de deslocamento. Deste modo, o diagrama de *spaghetti* da situação futura, levando em consideração o novo layout selecionado, está na seguinte Tabela 10.

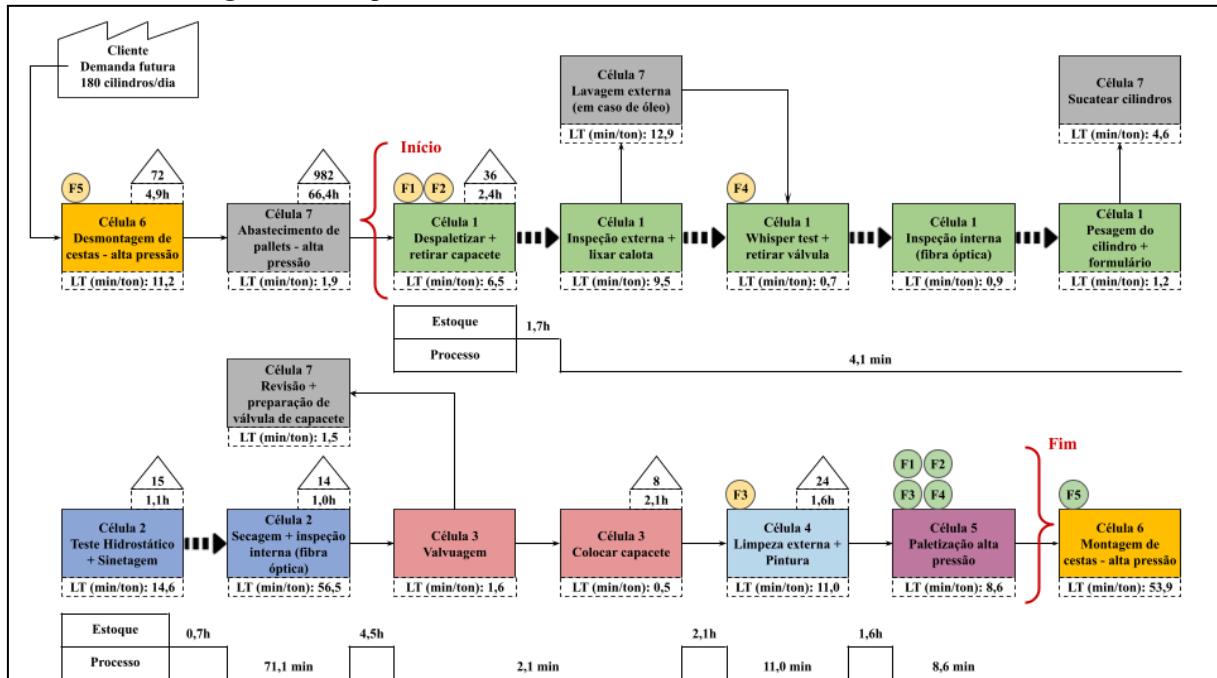
Tabela 10 - Total de tempos em estoques e processos na situação futura

Famílias	Deslocamento Médio por Cilindro (metros)
F1: Teste hidrostático completo com pintura	
F2: Teste hidrostático sem pintura	
F3: Só pintura (Medicinais e industriais)	35,9
F4: Troca de válvula sem pintura	
F5: Revisão / manutenção de cestas	

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Também foi elaborada a visão do MFV para a situação futura, na qual foram definidos os lead times atualizados de cada processo, os estoques redimensionados para a nova condição operacional e os trechos em que foi possível estabelecer fluxo contínuo. A Figura 22 apresenta essa configuração futura do MFV, evidenciando as principais melhorias projetadas no fluxo produtivo.

Figura 22 - Mapa de Fluxo de Valor situação futura fábrica de cilindros



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A Tabela 11 apresenta a consolidação dos tempos totais de estoque e de processamento obtidos a partir do MFV, reunindo em um único quadro os valores agregados de todas as etapas do fluxo produtivo.

Tabela 11 - Total de tempos em estoques e processos na situação futura

Famílias	Estoque (horas)	Processos (minutos)	Total (horas)
F1: Teste hidrostático completo com pintura			
F2: Teste hidrostático sem pintura			
F3: Só pintura (Medicinais e industriais)	7,5	88,3	9,0
F4: Troca de válvula sem pintura			
F5: Revisão / manutenção de cestas			

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

3.3 Avaliação dos cenários e ganhos potenciais sob a ótica *Lean*

Nesta etapa, realizou-se a comparação analítica entre o estado atual dos sistemas produtivos e os cenários de estado futuro propostos, com o objetivo de avaliar, de forma preliminar, os impactos das mudanças de layout e das melhorias estruturais sugeridas ao longo do estudo. Essa avaliação teve como foco a análise dos fluxos produtivos, das distâncias percorridas, da organização dos postos de trabalho e da disposição das áreas, considerando indicadores quantitativos e qualitativos obtidos a partir das análises realizadas nas seções anteriores.

Os ganhos associados às propostas foram analisados de maneira estimada e prospectiva, com base na redução de desperdícios relacionados à movimentação, à espera e à organização do fluxo, conforme os princípios do *Lean Manufacturing* e do *Lean Plant Design*. As ferramentas *Lean* empregadas ao longo do estudo foram utilizadas como instrumentos de apoio à análise e à comparação entre os cenários, não como evidência isolada de desempenho, permitindo discutir o potencial de melhoria dos sistemas produtivos a partir das alterações propostas.

3.3.1 UBS *Conditioning*

Ao comparar a situação futura com a situação atual da fábrica, observam-se ganhos quantitativos e qualitativos que refletem a eficiência das melhorias propostas. Os resultados quantitativos são expressos em indicadores de desempenho mensuráveis, enquanto os ganhos qualitativos se manifestam na organização do ambiente produtivo, na fluidez dos processos e no engajamento das equipes.

3.3.1.1 Ganhos quantitativos

As melhorias propostas nos conceitos de layout da UBS Conditioning resultaram em avanços significativos na eficiência operacional, com destaque para a redução dos *lead times* e a otimização dos fluxos produtivos, conforme a Tabela 12.

Tabela 12 - Comparativo das demandas, estoques e processos

Família	Situação Atual				Situação Futura			
	Demand. diária (toneladas)	Estoques (horas)	Processos (minutos)	Total (horas)	Demand. diária (toneladas)	Estoques (horas)	Processos (minutos)	Total (horas)
Milho	240	106,7	59,2	107,7	312 (+30%)	52,5 (-47%)	53,6 (-9%)	64,0 (-41%)

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Observou-se uma redução de 47% no *lead time* total, passando de 107,7 horas para 64,0 horas. Esse resultado reflete a diminuição dos estoques intermediários, que foram reduzidos de 106,7 horas para 52,5 horas – uma melhoria direta associada à reorganização dos espaços, à criação de áreas dedicadas de estocagem e ao aumento da fluidez entre processos. Além disso, os tempos de processo apresentaram uma redução de aproximadamente 9%, passando de 59,2 para 53,6 minutos, evidenciando o impacto positivo da redistribuição das áreas produtivas e da definição de rotas mais eficientes para a movimentação de materiais.

No que se refere às empilhadeiras, o novo arranjo possibilita uma melhoria significativa da produtividade das empilhadeiras, com rotas mais claras, vias exclusivas e áreas de estocagem estrategicamente distribuídas. Com isso, cada empilhadeira opera de forma mais contínua e com menor tempo de espera, aumentando a eficiência sem necessidade de novos recursos. Sendo assim, a produtividade por empilhadeira aumentou 30%, passando de 80 para 104 toneladas por equipamento. Esses ganhos mostram como ajustes no *layout* e na organização dos fluxos internos podem maximizar a capacidade operacional e a segurança das operações, como podemos observar na Tabela 13 abaixo.

Tabela 13 - Comparativo da produtividade diária por empilhadeira

Família	Situação Atual			Situação Futura		
	Demandá diária (toneladas)	Nº de Empilhadeiras	Produtividade de Empilhadeiras (ton./emp.)	Demandá diária (toneladas)	Nº de Empilhadeiras	Produtividade de Empilhadeiras (ton./emp.)
Milho	240	3	80	312 (+30%)	3	104 (+30%)

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O novo layout também impactou positivamente a produtividade por metro quadrado, evidenciando o efeito direto da otimização do espaço físico. Com a reorganização de estoques, criação de áreas dedicadas e melhor distribuição dos setores, cada área passa a contribuir mais efetivamente para a operação como um todo. A produtividade por área aumentou aproximadamente 14%, passando de 0,026 para 0,030 toneladas por metro quadrado. Esse resultado reflete o uso mais eficiente do espaço, permitindo que a unidade realize suas operações de forma mais enxuta e coordenada, consolidando o impacto do novo layout na performance geral da unidade, como podemos observar na Tabela 14 abaixo.

Tabela 14 - Comparativo da produtividade diária por área e por linha

Família	Situação Atual			Situação Futura		
	Demandas diárias (toneladas)	Área Total (m²)	Produtividade por Área (ton./m²)	Demandas diárias (toneladas)	Área Total (m²)	Produtividade por Área (ton./m²)
Milho	240	9.235	0,026	312 (+30%)	10.506	0,030 (+14%)

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A Tabela 15 apresenta a consolidação dos resultados da redução dos deslocamentos das empilhadeiras, comparando a situação atual com a situação futura após a implementação das melhorias propostas pelo *Lean Manufacturing*. Os dados evidenciam um ganho logístico significativo, refletido na diminuição das movimentações desnecessárias e na redução das distâncias percorridas pelas empilhadeiras. Com isso, as operações se tornam mais ágeis, seguras e eficientes, permitindo que os equipamentos realizem suas tarefas de forma contínua e com menor tempo de ociosidade, contribuindo diretamente para a produtividade da unidade.

Tabela 15 - Comparativo dos deslocamentos diáários das empilhadeiras

Família	Situação Atual (km/dia)	Situação Futura (km/dia)
Milho	145,81	100,13 (-46%)

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

3.3.1.2 Ganhos qualitativos

Para além dos ganhos quantitativos já mensurados, as melhorias implementadas na UBS *Conditioning* geraram avanços significativos no ambiente de trabalho e na gestão operacional. A aplicação da metodologia 5S resultou em uma organização superior do espaço físico, tornando-o mais funcional e eficiente para a execução das atividades diárias. Concomitantemente, a adoção de sistemas visuais, como o *Kanban* e a gestão visual, aumentou a transparência e o controle sobre os fluxos produtivos, o que possibilitou tomadas de decisão mais ágeis e assertivas.

No âmbito logístico, a introdução do sistema *Milk Run* para o abastecimento interno representou um aprimoramento qualitativo substancial. Essa prática viabilizou a padronização das rotas de suprimento, otimizando a sincronia entre as áreas de logística e produção e assegurando um fluxo de materiais mais estável e previsível. Adicionalmente, o *Milk Run* fortaleceu a disciplina operacional e a comunicação intersetorial, o que mitigou falhas de coordenação e elevou a confiabilidade no fornecimento de componentes.

As mudanças implementadas também repercutiram positivamente na ergonomia e na segurança dos operadores, pois o fluxo de movimentação tornou-se mais ordenado, reduzindo a interferência entre pedestres e empilhadeiras. O *layout* mais flexível, concebido sob os princípios do *Lean Plant Design*, confere à operação uma maior capacidade de adaptação às variações de demanda, preservando a eficiência mesmo diante de alterações no volume ou no *mix* de produção. Desse modo, os resultados qualitativos alcançados evidenciam não apenas uma otimização do desempenho produtivo, mas também uma maturação da cultura organizacional, agora mais orientada à padronização, à previsibilidade e à melhoria contínua.

3.3.2 Fábrica de Cilindros

Ao comparar a situação futura com a situação atual da fábrica, observam-se ganhos quantitativos e qualitativos que refletem a eficiência das melhorias propostas. Os resultados quantitativos são expressos em indicadores de desempenho mensuráveis, enquanto os ganhos qualitativos se manifestam na organização do ambiente produtivo, na fluidez dos processos e no engajamento das equipes.

3.3.2.1 Ganhos quantitativos

Para avaliar os efeitos das melhorias propostas no layout e nos fluxos internos, foi elaborado um comparativo entre a situação atual e a situação futura da fábrica de cilindros. A Tabela 16 apresenta essa relação, evidenciando as diferenças nos tempos de estoque, nos tempos de processamento e no total de horas demandadas por família de produtos. Esse consolidado permite visualizar de forma sintética os ganhos qualitativos obtidos, destacando a redução do *lead time* e o aumento da fluidez operacional no cenário futuro.

Tabela 16 - Comparativo de estoques e processos internos

Famílias	Situação Atual			Situação Futura		
	Estoque (horas)	Processos (minutos)	Total (horas)	Estoque (horas)	Processos (minutos)	Total (horas)
F1: Teste hidrostático completo com pintura	23,9	111,6	25,8	7,5 (-69%)	88,3 (-21%)	9,0 (-65%)
F2: Teste hidrostático sem pintura						
F3: Só pintura (Medicinais e industriais)						
F4: Troca de válvula sem pintura						
F5: Revisão / manutenção de cestas						

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Além da análise dos tempos de processo e de estoque, foi realizado um levantamento das distâncias médias percorridas pelos cilindros ao longo do fluxo produtivo. A Tabela 17 apresenta o comparativo entre a situação atual e a futura, evidenciando o deslocamento médio comum considerando as diferentes famílias de produtos. Esse indicador é essencial para avaliar o nível de movimentação interna existente, uma vez que deslocamentos excessivos caracterizam desperdícios do tipo transporte. Os resultados demonstram que o redesenho do layout proposto reduz significativamente as distâncias percorridas, contribuindo para fluxos mais diretos, menor esforço operacional e maior eficiência na movimentação dos cilindros.

Tabela 17 - Comparativo do deslocamento médio atual e futuro

Famílias	Deslocamento Médio por Cil. (metros)	Deslocamento Médio por Cil. (metros)
F1: Teste hidrostático completo com pintura	45,5	35,9 (-21%)
F2: Teste hidrostático sem pintura		
F3: Só pintura (Medicinais e industriais)		
F4: Troca de válvula sem pintura		
F5: Revisão / manutenção de cestas		

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Para complementar a avaliação qualitativa da proposta de melhoria, foi realizado um comparativo entre a produtividade diária por área na situação atual e na futura. A Tabela 18 apresenta essa análise, considerando a demanda diária atendida, a área total utilizada e o índice resultante de produtividade por metro quadrado. Esse indicador permite mensurar o potencial de ganho espacial e operacional decorrente do novo *layout*, evidenciando o aumento da capacidade produtiva sem necessidade de expansão física da planta. Os resultados demonstram que o cenário futuro proporciona um uso mais eficiente do espaço, elevando significativamente a produtividade por área disponível.

Tabela 18 - Comparativo da situação atual e futura

Potencial de Aumento de Produtividade Diária por Área						
Famílias (F1 até F5)	Situação Atual			Situação Futura		
	Demandá diária (cilindros)	Área Total (m ²)	Produtividá de por Área (cil./m ²)	Demandá diária (cilindros)	Área Total (m ²)	Produtividá de por Área (cil./m ²)

	120	264	0,45	180 (+50%)	264	0,71 (+58%)
--	------------	------------	-------------	-----------------------	------------	------------------------

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

3.3.2.2 Ganhos qualitativos

Com base nas análises quantitativas e nos conceitos de *layout* desenvolvidos para a situação futura, observam-se ganhos qualitativos que reforçam a efetividade das melhorias propostas. A redução dos tempos totais do fluxo, identificada na comparação entre estoques e tempos de processo, evidencia um ambiente mais organizado e estável, favorecido pela aplicação de 5S e pela eliminação de pontos que impactavam o *lead time*.

A diminuição dos deslocamentos médios entre etapas, apresentada na Tabela 17, decorre da reorganização dos fluxos e da adoção de células produtivas. Esses agrupamentos reúnem atividades com tempos semelhantes e proximidade física, possibilitando melhor balanceamento, redução de movimentações e maior aproveitamento dos operadores. Além disso, facilitam a utilização de sistemas visuais, como Kanban e gestão à vista, ampliando o controle operacional.

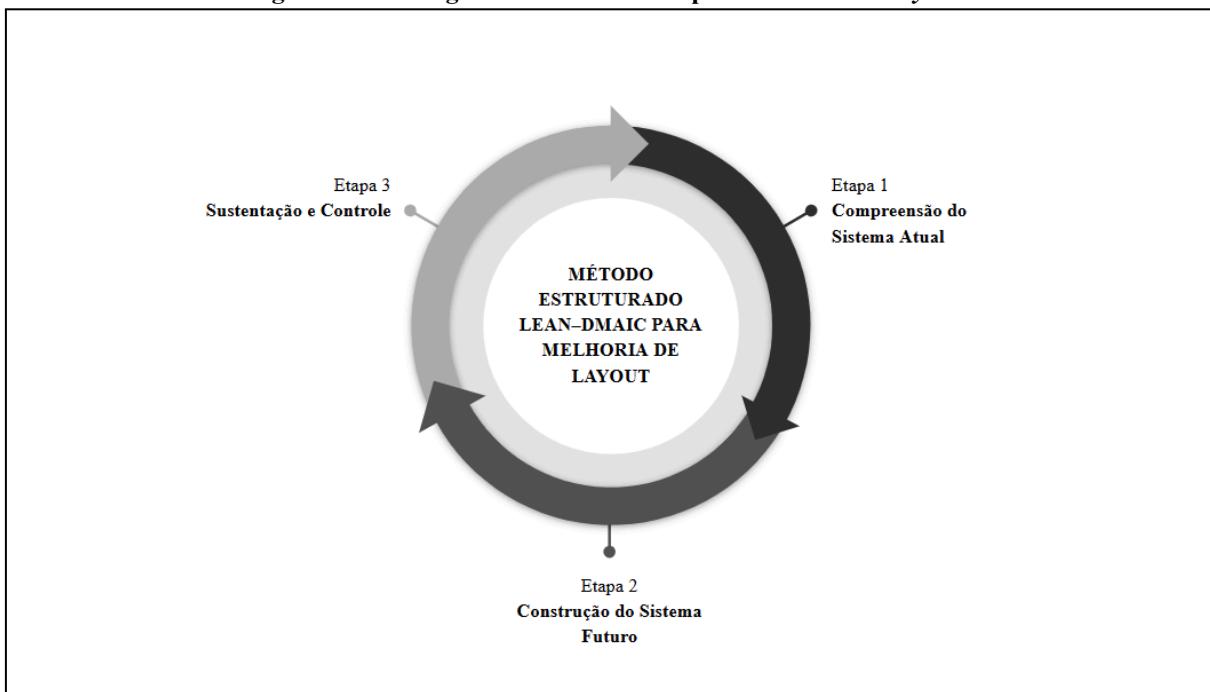
O aumento da produtividade por área, demonstrado na Tabela 18, reforça a flexibilidade do novo *layout*, que se adapta melhor às variações de demanda sem necessidade de expansão estrutural. A configuração em células, aliada à redução de estoques intermediários e ao fluxo mais contínuo, também contribui para melhorias ergonômicas e de segurança, reduzindo esforços repetitivos e deslocamentos desnecessários. Dessa forma, os ganhos qualitativos, maior organização, melhor visibilidade dos fluxos, aprimoramento ergonômico e aumento da flexibilidade produtiva, consolidam a aplicação dos conceitos *Lean* e demonstram a coerência do novo layout com os objetivos de eficiência e redução de desperdícios.

4 MÉTODO ESTRUTURADO LEAN–DMAIC PARA MELHORIA DE LAYOUT

A partir desta etapa do trabalho, apresenta-se a proposta de um método estruturado para orientar projetos de melhoria de *layout* industrial, fundamentado nos princípios do DMAIC, do *Lean Manufacturing* e do *Lean Plant Design*. Essa abordagem tem como finalidade apoiar, de forma sistemática e replicável, decisões relacionadas ao redesenho do arranjo físico, com foco na melhoria dos fluxos produtivos e na eliminação de desperdícios de natureza estrutural.

A estrutura proposta foi organizada em três etapas sequenciais, logicamente encadeadas, cada uma composta por sub etapas específicas e por entregáveis mínimos obrigatórios, os quais asseguram a consistência do diagnóstico, da proposição de melhorias e da sustentação dos resultados ao longo do tempo. Essa organização permite sua aplicação tanto em ambientes *brownfield* quanto *greenfield*, independentemente do setor industrial analisado. A Figura 23 apresenta, de forma sintética e em nível macro, as sub etapas que compõem essa estrutura.

Figura 23 - Fluxograma Lean-DMAIC para melhoria de layout



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

4.1 Etapa 1 – Compreensão do Sistema Atual

A Etapa 1 corresponde à fase de levantamento e organização das informações do sistema produtivo existente, constituindo o ponto de partida para o projeto de melhoria de

layout. Nessa etapa, são coletados e estruturados os dados necessários para compreender o funcionamento real do processo, permitindo identificar limitações operacionais, desperdícios e restrições espaciais que influenciam o desempenho global do sistema.

O início dessa etapa ocorre a partir da análise da demanda atendida pelo processo e da definição das famílias de produtos. Essa análise deve considerar volumes produzidos, frequência de produção e variabilidade, de modo a identificar os itens mais representativos e aqueles que compartilham rotas produtivas semelhantes. A correta definição das famílias de produtos estabelece a base analítica do estudo e direciona o mapeamento do fluxo, reduzindo o risco de proposições de layout baseadas em exceções ou produtos pouco relevantes.

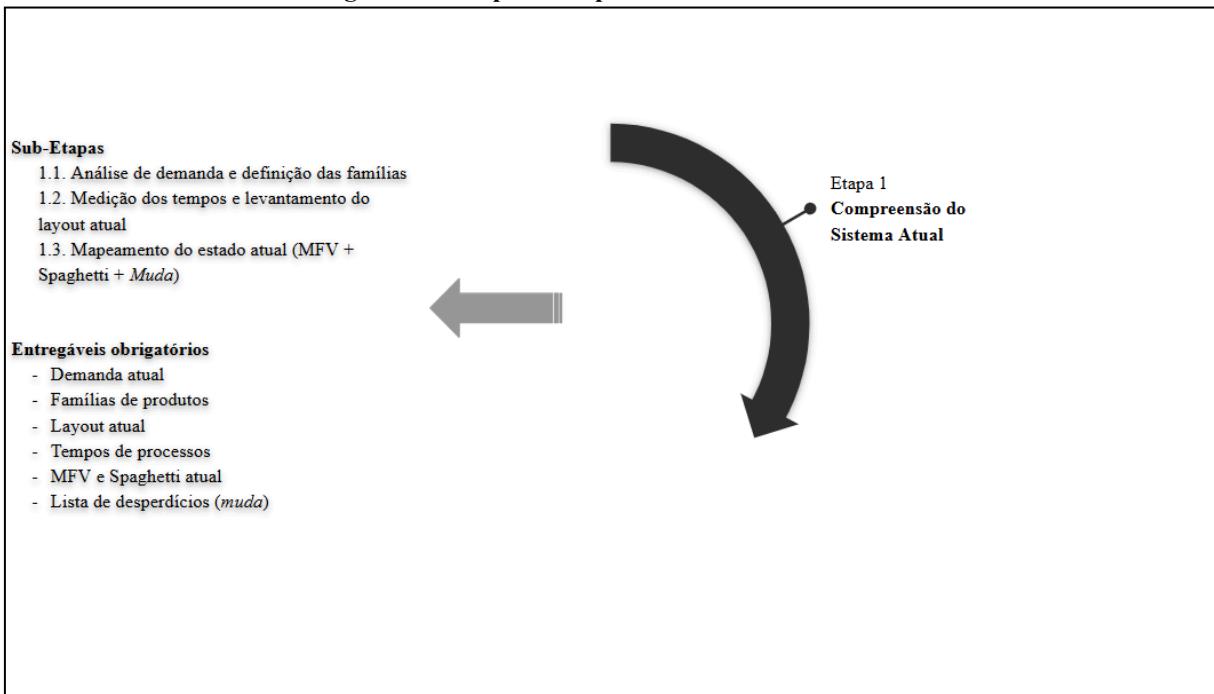
Na sequência, realiza-se a caracterização quantitativa do processo produtivo, por meio do levantamento dos tempos associados às operações. São registrados tempos de ciclo, tempos de operação, tempos de espera e, quando aplicável, tempos de setup. Paralelamente, é efetuado o levantamento do *layout* atual, contemplando a disposição física dos recursos, as áreas de circulação e as restrições estruturais da planta. Essa análise espacial permite identificar, ainda nessa fase, problemas como movimentações excessivas, cruzamentos de fluxo e utilização inadequada do espaço disponível.

Com base nas informações levantadas, procede-se à construção de uma representação consolidada do estado atual, utilizando o *Value Stream Mapping* (VSM) e o diagrama de *spaghetti*. O VSM possibilita a visualização da sequência das operações, dos tempos envolvidos e dos estoques intermediários, evidenciando gargalos e ineficiências do fluxo. O diagrama de *spaghetti* complementa essa análise ao representar graficamente os deslocamentos de materiais e operadores, tornando visíveis trajetos longos ou desnecessários. A utilização conjunta dessas ferramentas permite uma leitura integrada do fluxo físico e operacional do sistema.

Como resultado da Etapa 1, obtém-se um diagnóstico consistente do sistema produtivo, refletindo sua operação prática e evidenciando gargalos, desperdícios e limitações relacionadas ao arranjo físico. Esse diagnóstico fornece a base técnica necessária para o desenvolvimento das alternativas de layout e para a proposição do estado futuro, assegurando que as decisões subsequentes sejam fundamentadas em dados e não em percepções subjetivas.

A Figura 24 apresenta, de forma esquemática, as sub etapas e os entregáveis mínimos obrigatórios que compõem a Etapa de Compreensão do Sistema Atual, destacando a sequência lógica das atividades necessárias para a consolidação do diagnóstico inicial.

Figura 24 - Etapa 1 compreensão do sistema atual



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

4.2 Etapa 2 – Construção do Sistema Futuro

A Etapa 2 é dedicada à construção do sistema futuro, na qual as informações obtidas no diagnóstico do estado atual são utilizadas para estruturar o redesenho do fluxo produtivo e do arranjo físico, com base em princípios *Lean* e diretrizes de *Lean Plant Design*. Nessa fase, os resultados da análise inicial são convertidos em soluções de *layout* alinhadas aos objetivos de desempenho do sistema produtivo.

O início dessa etapa ocorre com a definição da demanda futura, considerando projeções de produção, sazonalidades e direcionamentos estratégicos da organização. Essa definição orienta o dimensionamento do sistema e contribui para que o *layout* proposto apresente robustez frente a variações de volume e possíveis cenários de crescimento.

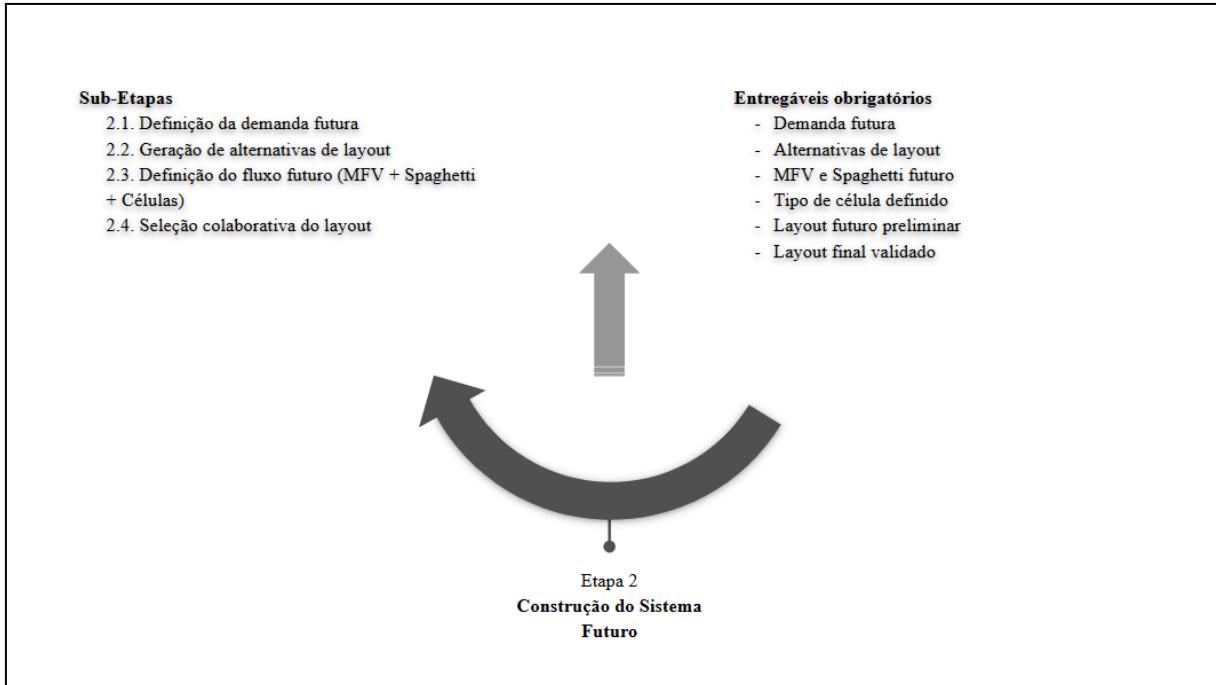
A partir desses requisitos, procede-se à concepção de alternativas de *layout*, utilizando as informações provenientes do mapeamento do fluxo atual, do diagrama de *spaghetti* e da análise dos desperdícios identificados. As alternativas devem atender a critérios *Lean*, como proximidade entre operações, continuidade do fluxo, redução de movimentações e estoques intermediários, respeitando simultaneamente as limitações físicas da planta. A elaboração de múltiplas configurações possibilita a comparação técnica entre soluções distintas e subsidia a escolha da alternativa mais adequada.

Na sequência, é desenvolvido o fluxo futuro, por meio da revisão do VSM e da análise dos deslocamentos físicos no cenário proposto. Nessa etapa, define-se também o tipo de arranjo produtivo ou célula de trabalho mais apropriado às famílias de produtos, considerando aspectos como balanceamento das operações, flexibilidade, ergonomia e facilidade de abastecimento, assegurando coerência entre o fluxo projetado e a organização espacial.

Por fim, realiza-se a seleção do layout final, baseada em critérios técnicos e na validação conjunta das áreas envolvidas no processo produtivo. A participação de operadores, supervisão, engenharia, logística e segurança contribui para garantir a viabilidade operacional da solução. A decisão deve considerar indicadores como redução de distâncias percorridas, melhoria do fluxo contínuo, otimização do uso do espaço e aderência à demanda futura, resultando em uma configuração equilibrada entre análise técnica e aplicação prática.

A Figura 25, referente à etapa de Construção do Sistema Futuro, sintetiza as subetapas e os entregáveis mínimos obrigatórios gerados ao longo dessa fase, evidenciando a transformação do diagnóstico inicial em alternativas de arranjo físico e na definição do fluxo produtivo futuro.

Figura 25 - Etapa 2 construção do sistema futuro



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

4.3 Etapa 3 – Sustentação e Controle

A Etapa 3 tem como finalidade assegurar a manutenção dos ganhos obtidos com o layout futuro após sua implementação, garantindo que o arranjo físico continue operando de forma eficaz ao longo do tempo. Essa etapa concentra-se na consolidação das melhorias propostas, no monitoramento do desempenho do sistema e na definição de mecanismos que permitam a adaptação do layout frente a variações do processo produtivo.

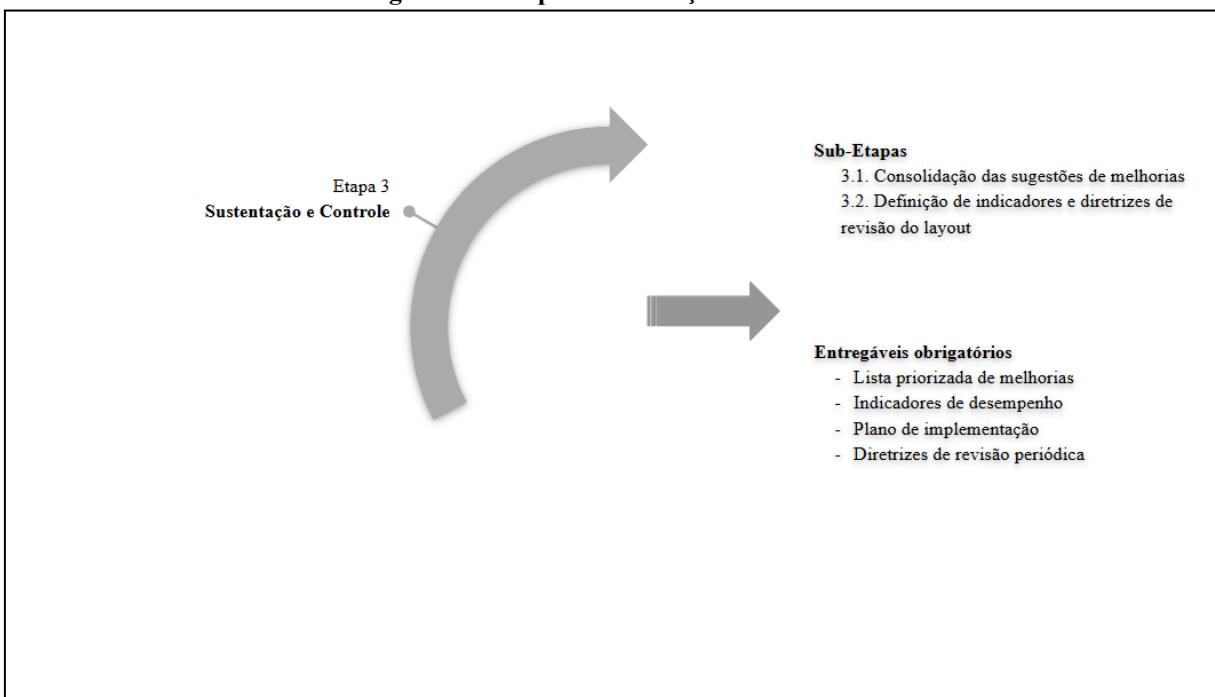
O primeiro passo consiste na consolidação das sugestões de melhoria decorrentes da análise do sistema futuro. Essas sugestões podem envolver ajustes no fluxo produtivo, reorganização das movimentações internas, melhorias ergonômicas, redefinição de pontos de abastecimento ou adequações estruturais no layout. O método orienta que essas melhorias sejam devidamente documentadas, priorizadas e associadas aos desperdícios ou gargalos identificados, permitindo a evolução contínua do sistema.

A sustentação do *layout* proposto requer o estabelecimento de indicadores de desempenho alinhados ao fluxo produtivo e ao arranjo físico definido. Esses indicadores devem refletir dimensões relevantes do processo, como *lead time*, distâncias percorridas, produtividade, utilização dos recursos e estabilidade do fluxo. A definição de métricas claras possibilita o acompanhamento do desempenho do sistema, a identificação de desvios e o suporte à tomada de decisão, reforçando a cultura de melhoria contínua.

Adicionalmente, essa etapa contempla a revisão periódica do *layout*, considerando eventuais mudanças no mix de produtos, variações na demanda ou a introdução de novos equipamentos. Essas alterações podem impactar o equilíbrio do fluxo produtivo, exigindo ajustes no arranjo físico. O método orienta que tais revisões sejam conduzidas com base nos mesmos princípios adotados na construção do sistema futuro, assegurando coerência na condução de novas intervenções.

Dessa forma, a Etapa 3 conclui o processo ao integrar melhorias priorizadas, indicadores de desempenho e mecanismos de revisão, garantindo que o layout proposto seja não apenas implementado, mas também sustentado e aprimorado ao longo do tempo. A Figura 27, referente à Etapa de Sustentação e Controle, apresenta de forma esquemática as sub etapas e os entregáveis mínimos obrigatórios associados a essa fase, evidenciando a organização das ações de consolidação, monitoramento e manutenção do *layout*.

Figura 26 - Etapa 3 sustentação e controle



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um método estruturado para orientar o redesenho de *layouts* industriais, fundamentado na integração entre *Lean Manufacturing*, *Lean Plant Design* e DMAIC. A aplicação do método em duas unidades industriais distintas permitiu verificar sua aplicabilidade prática e seu potencial como suporte à tomada de decisão em projetos de melhoria de layout.

Na UBS *Conditioning*, a aplicação do método resultou em ganhos relevantes de desempenho, com redução de 41% no *lead time*, 47% nos estoques intermediários e 46% nos deslocamentos internos, evidenciando a efetividade da reorganização do arranjo físico associada à padronização dos fluxos e à adoção do sistema *Milk Run*.

Na Fábrica de Serviços de Cilindros, o redesenho do layout e a redistribuição das áreas produtivas, com a formação de células compatíveis com diferentes horizontes de capacidade, contribuíram para a redução de movimentações e esperas, além de maior organização e fluidez operacional, reforçando a viabilidade da aplicação do pensamento *Lean* em ambientes *brownfield*.

A análise dos casos demonstra que a articulação entre *Lean Manufacturing*, DMAIC e *Lean Plant Design* constitui um caminho consistente para orientar projetos de melhoria de layout. O método estruturado desenvolvido sintetiza etapas e entregáveis essenciais, configurando-se como uma abordagem replicável para organizações que buscam alinhar seus *layouts* aos princípios enxutos e aprimorar sua eficiência operacional.

Entre as limitações do estudo, destacam-se a aplicação do método em apenas duas unidades industriais, a implementação parcial das propostas e a ausência de uma análise econômica aprofundada. Como perspectivas para trabalhos futuros, recomenda-se sua aplicação em outros contextos industriais, a realização de análises pós-implementação, o uso de simulações digitais e a incorporação de avaliações econômicas e ergonômicas mais completas.

Conclui-se que o método proposto atende ao objetivo do trabalho ao oferecer uma abordagem estruturada para o redesenho de *layouts* industriais, contribuindo para a redução de desperdícios, a melhoria dos fluxos produtivos e o aumento da produtividade.

REFERENCIAL TEÓRICO

- IMAI, M. Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success.** 2. ed. Nova York: McGraw-Hill, 1996.
- OHNO, T. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production.** Portland: Productivity Press, 1988.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T. The Machine That Changed the World.** Nova York: Rawson Associates, 1990.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. Lean Thinking: How to Use Lean to Create Value and Eliminate Waste.** Nova York: Free Press, 2004.
- LIKER, Jeffrey K. The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer.** McGraw-Hill, 2004.
- SHINGO, Shigeo. A Revolution in Manufacturing: The SMED System.** Productivity Press, 1985.
- DENNIS, Pascal. Lean Production Simplified: A Plain-Language Guide to the World's Most Powerful Production System.** 2. ed. New York: Productivity Press, 2008.
- HINES, Peter; TAYLOR, David. Going Lean.** Cardiff: Lean Enterprise Research Centre, 2000.
- ROTHER, Mike; SHOOK, John. Learning to See: Value-stream mapping to create value and eliminate muda.** Lean Enterprise Institute, 1999.
- WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation.** New York: Simon & Schuster, 1996.
- LUU, Duc Thanh et al. Lean Factory Design Using Digital Tools and Simulation.** Procedia CIRP, v. 72, p. 438–443, 2018.
- THÜRMER, Kai et al. Digital Lean Manufacturing: Visualization of Lean Principles Through a Digital Twin.** Procedia CIRP, v. 93, p. 412–417, 2020.
- BORTOLUZZI, S. C. et al. Integration of Lean Manufacturing and Industry 4.0: A Systematic Literature Review and Future Research Agenda.** Journal of Manufacturing Technology Management, v. 32, n. 3, p. 668–693, 2021.
- MOURA, Daniel L.; PINTO, Tarcísio A. Aplicação dos princípios da produção enxuta no projeto de layout de fábrica.** Revista Produção Online, v. 13, n. 3, p. 980–1002, 2013.
- PYZDEK, Thomas; KELLER, Paul A. The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels.** 4. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014. ISBN 978-0-07-184053-8.
- CHAFFIN, David B.; ANDERSSON, Gunnar B. J.; MARTIN, Bernard J. Occupational biomechanics.** 4. ed. New York: Wiley, 2006.

ARAÚJO, Eduardo C. de. **Utilização do conceito “Milk Run” para redução dos custos logísticos em uma indústria automobilística.** Cadernos UniFOA, v. 10, n. 27, p. 73–86, 2015.

MÍQUEO, Adrian et al. **Multi-Model In-Plant Logistics Using Milkruns for Flexible Assembly Systems under Disturbances: an Industry Study Case.** Machines, v. 11, n. 1, art. 66, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines11010066>.

RODRIGUES, Júlia M. **Utilização da ferramenta Milk Run em uma empresa do segmento automotivo.** 2018. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

SILVA, Tiago H. da; MENEZES, Lucas A. de. **Logística em manutenção de aeronaves: estudo de caso sobre o uso de Milk Run.** Revista Interface Tecnológica, FATEC, v. 18, n. 1, p. 89–104, 2021.