

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

GABRIEL ALVES RODRIGUES DOS SANTOS

IMPLEMENTAÇÃO DE PRINCÍPIOS E
FERRAMENTAS *LEAN* EM LABORATÓRIO DE
ENSINO: uma pesquisa-ação em um laboratório de
ensino de construção civil.

SÃO CARLOS -SP
2025

GABRIEL ALVES RODRIGUES DOS SANTOS

IMPLEMENTAÇÃO DE PRINCÍPIOS E FERRAMENTAS *LEAN* EM
LABORATÓRIO DE ENSINO: uma pesquisa-ação em um laboratório de ensino de
construção civil.

Trabalho apresentado ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção da
Universidade Federal de São Carlos,
para defesa no Mestrado Profissional
em Engenharia de Produção.

Orientador: Dr. Luciano Campanini

São Carlos-SP
2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Gabriel Alves Rodrigues dos Santos, realizada em 28/02/2025.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Luciano Campanini (UFSCar)

Profa. Dra. Fabiane Leticia Lizarelli (UFSCar)

Profa. Dra. Camila Fabricio Poltronieri (UFG)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção.

RESUMO

SANTOS, G. A. R. **Implementação de princípios e ferramentas *Lean* em laboratório de ensino: uma pesquisa-ação em um laboratório de ensino de construção civil.** 2025. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2025.

As Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) enfrentam restrições orçamentárias significativas desde a promulgação da Emenda Constitucional nº 95/2016, dificultando a modernização de laboratórios, a contratação de pessoal e a aquisição de equipamentos. Diante desse cenário, torna-se necessário adotar soluções de gestão que promovam maior eficiência e o uso racional dos recursos disponíveis. A filosofia Lean, originária do setor industrial, apresenta-se como alternativa promissora para a otimização de processos em ambientes acadêmicos. Sua aplicação em laboratórios de ensino tem ganhado destaque na literatura internacional, com evidências de melhorias expressivas em organização, redução de desperdícios e aumento da eficiência operacional. Ferramentas como o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) e o 5S têm sido empregadas com sucesso em laboratórios universitários, sobretudo na área da saúde, embora haja escassez de estudos aplicados à engenharia civil. Este trabalho investiga, por meio de uma pesquisa-ação, a implementação de princípios e ferramentas Lean em um laboratório de ensino de construção civil vinculado a uma IFES. Foram analisados os fluxos de trabalho, identificados os principais desperdícios e propostas melhorias estruturais e operacionais. A aplicação das intervenções resultou em até 84% de redução no tempo total de realização dos procedimentos, além de ganhos significativos na organização do espaço e na fluidez das atividades. Os dados coletados e analisados, por meio de abordagens qualitativa e quantitativa, demonstram a viabilidade e os benefícios da adoção do Lean nesse tipo de ambiente, contribuindo tanto para a literatura quanto para a gestão universitária.

Palavras-chave: *Lean thinking*; laboratórios de ensino; ensino superior; pesquisa-ação; mapeamento do fluxo de valor.

ABSTRACT

Federal public universities have faced significant budgetary constraints since the implementation of a policy in 2016 that limits public spending, making it difficult to modernize laboratories, hire staff, and acquire equipment. In this context, it is essential to adopt management solutions that promote greater efficiency and the rational use of available resources. The Lean philosophy, originally developed in the industrial sector, presents a promising alternative for process optimization in academic environments. Its application in teaching laboratories has gained prominence in international literature, with evidence of significant improvements in organization, waste reduction, and operational efficiency. Tools such as Value Stream Mapping (VSM) and 5S have been successfully applied in university laboratories, particularly in healthcare, although there is a lack of studies focused on civil engineering. This study investigates, through action research, the implementation of Lean principles and tools in a civil engineering teaching laboratory at a federal public university. Workflows were analyzed, key wastes identified, and structural and operational improvements proposed. The interventions resulted in up to 84% reduction in total procedure time, in addition to significant improvements in space organization and activity flow. The data collected and analyzed using both qualitative and quantitative approaches demonstrate the feasibility and benefits of adopting Lean in this type of environment, contributing to both academic literature and university management.

Keywords: Lean thinking; teaching laboratories; higher education; action research; value stream mapping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Casa do Sistema Toyota de Produção ou Casa <i>Lean</i>	20
Figura 2 – O Modelo 4P e os 14 princípios.....	23
Figura 3 - Os 5 princípios para implementação do LT.	26
Figura 4 - Etapas do MFV.	30
Figura 5 - Ícones Gerais.....	31
Figura 6 - Fluxo de Materiais.	32
Figura 7 - Fluxo de Informações.	33
Figura 8 - Métricas <i>Lean</i>	34
Figura 9 - Mapa do Estado Atual da Estamparia ABC.....	35
Figura 10 - Dois tipos de Kaizen.....	36
Figura 11 - 5S.....	38
Figura 12 – SMED.....	39
Figura 13 - Implementação da pesquisa-ação.....	45
Figura 14 - Planta do <i>Layout</i> em seu estado atual.	54
Figura 15 - Identificação dos equipamentos, bancadas e armários.	55
Figura 16 - Etapas do processo para realização do experimento CN.....	62
Figura 17 - MFV de estado atual da família 1.....	62
Figura 18 - Diagrama de espaguete para família 1.	63
Figura 19 - Mapa de estado atual da família 2.	64
Figura 20 - Diagrama espaguete para a família 2.	65
Figura 21 - Mapa de estado atual da família 3.	66
Figura 22 - Diagrama espaguete para a família 3.	68
Figura 23 - Mapa de estado atual da família 4.	70
Figura 24 - Diagrama de espaguete da família 4.....	71
Figura 25 - MFV de estado futuro da Família 1.	76
Figura 26 - <i>Layout</i> parcial e diagrama de espaguete.	78
Figura 27 - Retirada de materiais e equipamentos não utilizados.	79
Figura 28 - Planta de estado futuro do LMCC	85
Figura 29 - Setorização do LMCC. (colocar nova imagem).....	86
Figura 30 - Fluxo futuro da família 1	87
Figura 31 - Fluxo futuro da família 2.	88
Figura 32 - Fluxo futuro da família 3.....	88
Figura 33 - Fluxo futuro da família 4	89
Figura 34 - MFV de estado futuro da Família 2.	91
Figura 35 - MFV de estado futuro da Família 3.	92
Figura 36 - MFV de estado futuro da Família 4.	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Avanço do termo <i>Lean</i> ao longo dos anos.....	18
Tabela 2 - Exemplos de desperdícios	28
Tabela 3 - 5S	37
Tabela 4 - Princípios <i>Lean</i> no contexto laboratorial de ensino e pesquisa.....	40
Tabela 5 - Casos práticos de aplicação o <i>Lean</i> em laboratórios de ensino e pesquisa.	41
Tabela 6 - Etapas comuns aos ensaios realizados no LMCC.	49
Tabela 7 – Definição das famílias dos experimentos realizados no LMCC.....	50
Tabela 8 - Experimentos realizados no LMCC.....	51
Tabela 9 - Disponibilidade, funcionamento e demanda o LMCC.....	52
Tabela 10 – Novos tempos necessário para atender a demanda.	53
Tabela 11 - Principais desperdícios do LMCC.	73
Tabela 12 – Potenciais melhorias pretendidas do LMCC.	74
Tabela 13 - Deslocamento atual, futuro e redução.	78
Tabela 14 - Deslocamentos no LMCC.	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Integrantes da pesquisa-ação.	44
Quadro 2 - Ciclos da pesquisa-ação.....	46
Quadro 3 - Funcionamento e demanda atual do LMCC.....	48
Quadro 4 - Identificação dos equipamentos, bancadas e armários.	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AV	Atividades que agregam valor
CN	Consistência Normal
CPs	Corpos de Prova
DENC	Departamento de Engenharia Civil
EPIs	Equipamento de Proteção Individual
IFES	Instituição Federal de Ensino Superior
JIT	<i>Just-in-time</i>
LL	<i>Lean Laboratory</i>
LMCC	Laboratório de Materiais de Construção Civil
LT	<i>Lean Thinking</i>
MFV	Mapeamento de fluxo de valor
NAV	Atividades que não agregam valor
SMED	<i>Single Minute Exchange of Dies</i>
SPA	Sala de Preparação de Amostras
STP	Sistema Toyota de Produção
UF	Universidades Federais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	Do Sistema Toyota de Produção ao <i>Lean Thinking</i>	16
2.2	Princípios e Pilares do <i>Lean</i>	20
2.2.1	Modelo 4P	21
2.2.2	Princípios do <i>Lean</i>	24
2.2.3	Relação entre o Modelo 4P de Liker e o <i>Lean Thinking</i> de Womack e Jones.....	26
2.2.4	Os 3Ms e os desperdícios	27
2.3	Ferramentas <i>Lean</i>	28
2.3.1	<i>Takt time</i> e tempo de ciclo	28
2.3.2	Mapeamento do Fluxo de Valor.....	29
2.3.3	<i>Kaizen</i>	35
2.3.4	5S.....	36
2.3.5	<i>Single Minute Exchange of Dies</i> (SMED).....	38
2.4	<i>Lean</i> e Laboratórios de Ensino	40
3	MÉTODO DE PESQUISA	42
4	ESTADO ATUAL E IDENTIFICAÇÃO DE DESPERDÍCIOS	48
4.1	Contexto inicial	48
4.1.1	Análise de <i>Layout</i> e seus componentes.....	54
4.2	Estudo das famílias	60
4.2.1	Estudo da família 1	61
4.2.2	Estudo da família 2.....	64
4.2.3	Estudo da família 3.....	66
4.2.4	Estudo da família 4.....	68
4.3	Síntese do Estado Atual	72
4.3.1	Principais desperdícios identificados.....	72
4.3.2	Potenciais Melhorias e Aspectos Críticos.....	74
5	PROPOSTA DE MELHORIAS E NOVO <i>LAYOUT</i>	75
5.1	Melhorias parciais e ajustes iniciais	76
5.2	Proposta de estado futuro	84
5.2.1	Novo <i>layout</i> proposto e fluxos de trabalho	85

5.2.2	MFV de estado futuro e sua futura implementação.....	90
5.2.3	Etapas de Implementação.....	94
6	DISCUSSÕES FINAIS E CONSIDERAÇÕES	95
	REFERÊNCIAS.....	99
	APÊNDICE A - PRODUTO TECNOLÓGICO: MANUAL DE IMPLEMENTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS LEAN EM LABORATÓRIOS ACADÊMICOS.....	105

1 INTRODUÇÃO

As Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) são vetores estratégicos do desenvolvimento regional e econômico do Brasil, consolidando-se como centros de produção científica, inovação tecnológica e qualificação profissional. Fundamentadas no princípio constitucional da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão, essas instituições desempenham um papel essencial na formação de capital humano e na disseminação do conhecimento técnico e científico (BRASIL, 1988). Sua presença está diretamente associada ao aumento do PIB per capita, ao fortalecimento de setores estratégicos e à descentralização da produção científica, impulsionando cadeias produtivas regionais e fomentando a inovação (VIEIRA; PÔRTO JÚNIOR, 2023; VIEGA et al., 2023).

Entre os diversos recursos acadêmicos das IFES, os laboratórios de ensino destacam-se como espaços fundamentais para a formação prática dos estudantes. Esses ambientes permitem a aplicação de conceitos teóricos em situações reais, promovendo o desenvolvimento de habilidades técnicas e analíticas essenciais para a qualificação profissional (ALSHAMMARI; ALHUSSIAN; RIZK, 2021). Além de aprimorarem a formação acadêmica, os laboratórios fortalecem a pesquisa aplicada e apoiam projetos de extensão que conectam a universidade às demandas do setor produtivo. Dessa forma, esses espaços potencializam a produção científica e tecnológica, ampliando o impacto das IFES no desenvolvimento socioeconômico do país.

Apesar de sua importância estratégica, as IFES vêm enfrentando restrições orçamentárias severas, comprometendo sua capacidade de manutenção e modernização da infraestrutura. A Emenda Constitucional nº 95/2016, que instituiu o Teto de Gastos, limitou os investimentos públicos, resultando em perdas acumuladas na capacidade de financiamento das universidades (INÁCIO; FERREIRA; RODRIGUES, 2025). Entre 2016 e 2021, os cortes orçamentários nas IFES chegaram a 32% em termos reais, reduzindo significativamente a capacidade dessas instituições de manter e modernizar sua infraestrutura (INÁCIO; FERREIRA; RODRIGUES, 2025). Além disso, a ausência de recomposição orçamentária proporcional à inflação comprometeu o poder de compra das IFES, dificultando a modernização de laboratórios e a aquisição de novos equipamentos (INÁCIO; FERREIRA; RODRIGUES, 2025).

Esse cenário tem impactos diretos no desenvolvimento regional, uma vez que a presença das IFES estimula a inovação e fortalece setores estratégicos. No entanto, a redução dos investimentos compromete a descentralização do progresso econômico, restringindo o cumprimento da missão constitucional dessas instituições (MOTTA, 2013). Assim, os cortes orçamentários não apenas restringem a atuação das IFES, mas também afetam sua capacidade de gerar conhecimento e inovação, elementos fundamentais para o desenvolvimento sustentável e a competitividade do Brasil no cenário global.

Diante desse cenário, a filosofia *Lean* surge como uma abordagem promissora para otimizar processos e minimizar desperdícios em ambientes acadêmicos. Com sua origem na indústria automotiva, o *Lean* foi desenvolvido na Toyota, no final da década de 1940, e aperfeiçoado por Taiichi Ohno e Eiji Toyoda para tornar a empresa competitiva no cenário econômico japonês pós-Segunda Guerra Mundial (HOLWEG, 2006; DILANTHI, 2018). Com foco na eliminação de desperdícios, Ohno introduziu um sistema produtivo flexível, permitindo a produção de múltiplos modelos de veículos com baixo volume (LIKER, 2022; ERLHANIMI; EL ABBADI; ABOUABDELLAH, 2018).

Entretanto, foi somente em 1990 que o termo *Lean* ganhou ampla difusão mundial, com a publicação do livro *A Máquina que Mudou o Mundo*, de Womack, Jones e Roos (GIL-VILDA; YAGUE-FABRA; SUNYER, 2021; DANESE; MANFÈ; ROMANO, 2018). Ao longo das últimas décadas, o *Lean* expandiu-se para diversos setores, incluindo serviços, saúde e construção civil (GIL-VILDA; YAGUE-FABRA; SUNYER, 2021). Embora a literatura tenha um foco predominante na manufatura, há um interesse crescente na sua aplicação em setores públicos e educacionais, sinalizando novas áreas de estudo e oportunidades de implementação (DANESE; MANFÈ; ROMANO, 2018). No entanto, poucos estudos exploram sua aplicação em laboratórios de ensino de engenharia civil, o que representa uma oportunidade de preencher lacuna na literatura e evidencia a necessidade de investigações que validem sua viabilidade nesse contexto.

Inicialmente, o *Lean* foi consolidado como um sistema produtivo estruturado, fundamentado na eliminação sistemática de desperdícios, na produção sob demanda e na eficiência dos fluxos produtivos (OHNO, 1988; SHINGO, 1985). No entanto, ao longo das décadas, sua aplicação expandiu-se para diferentes setores, incluindo serviços, saúde e educação, sendo adaptado como uma abordagem de melhoria contínua (WOMACK; JONES, 1996; STONE, 2012).

Atualmente, o *Lean* não é apenas um modelo produtivo aplicado à manufatura, mas sim uma filosofia que visa a otimização de processos e a maximização da eficiência em diversos contextos organizacionais. No âmbito acadêmico, sua aplicação permite reestruturar fluxos de trabalho, reduzir desperdícios e aprimorar a gestão de recursos em laboratórios de ensino. No entanto, a literatura ainda apresenta uma lacuna no que se refere à implementação do *Lean* em laboratórios da área de engenharia civil, evidenciando a necessidade de investigações que validem sua viabilidade nesse contexto (MARCELINO, 2022).

Considerando a realidade das IFES brasileiras, marcadas por restrições orçamentárias e pela constante busca por maior eficiência operacional, a aplicação da filosofia *Lean* emerge como uma estratégia promissora para promover a sustentabilidade dessas instituições. Ferramentas como o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), o 5S e outras técnicas de baixo ou nenhum custo já demonstraram impactos positivos em ambientes laboratoriais (VIERA; SARDOUEINASAB; LEE, 2019; SREMCEV et al., 2018; JIMÉNEZ et al., 2015; MARCELINO, 2022). Embora existam evidências da adoção do *Lean* em laboratórios da área da saúde (HERASUTA, 2007), ainda são escassos os estudos que exploram de forma sistemática sua aplicação em laboratórios voltados ao ensino, especialmente no contexto das instituições públicas brasileiras.

De modo particular, laboratórios de ensino apresentam características que os aproximam de ambientes produtivos, demandando organização do fluxo de usuários, gestão de materiais e insumos, e coordenação de atividades como aulas práticas, experimentos científicos e pesquisas aplicadas. Tais elementos sugerem uma aplicabilidade concreta dos princípios *Lean* nesse contexto. Entretanto, apesar de estudos apontarem benefícios como redução no tempo de espera, otimização do espaço e melhor aproveitamento de recursos (MARCELINO, 2022), ainda são limitadas as investigações que detalham como essas melhorias são operacionalizadas em ambientes educacionais.

Nesta pesquisa, o objeto de estudo é um laboratório de ensino da área de construção civil de uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES), localizada no Brasil, na região Centro-Oeste. No campo da Engenharia Civil, os profissionais atuam tanto na execução quanto na fiscalização de obras, sendo a experiência prática fundamental para minimizar erros e aprimorar a capacitação profissional (CONFEEA, 1973). Pereira e Carvalho (2021) destacam que laboratórios de ensino na construção

civil desempenham um papel crucial na formação dos alunos, reduzindo lacunas entre o conhecimento teórico e a aplicação prática, fator determinante para a qualidade dos profissionais formados.

O laboratório analisado passou por crescimento na demanda de usuários nos últimos 20 anos, atendendo alunos da graduação, pós-graduação e projetos de pesquisa e extensão vinculados ao departamento ao qual pertence. No entanto, restrições orçamentárias dificultam a ampliação da mão de obra e a aquisição de novos equipamentos, limitando melhorias estruturais. Assim, a pergunta de pesquisa que fundamenta este estudo é: Como a aplicação de princípios e ferramentas do *Lean Thinking* pode apoiar a reorganização de processos em laboratórios de ensino em uma universidade pública de ensino superior?

Com o intuito de contribuir com a literatura sobre o tema e responder à questão de pesquisa, este estudo tem como objetivo geral aplicar princípios e ferramentas *Lean* em um laboratório de ensino de construção civil, focando na identificação e eliminação de desperdícios, reestruturação de processos e otimização do uso do espaço. Para isso, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- I. Realizar revisão bibliográfica sobre *Lean* e sua aplicação em ambientes laboratoriais, analisando seus princípios e ferramentas mais adequadas para esse contexto;
- II. Analisar a demanda atual e futura do laboratório, mapeando seus processos e identificando desperdícios e oportunidades de melhoria com base na filosofia *Lean*;
- III. Aplicar ferramentas *Lean*, como Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), 5S e outras técnicas para redução de desperdícios e melhoria da produtividade
- IV. Propor melhorias para o laboratório, considerando a reorganização do espaço, otimização dos fluxos operacionais e aplicação de ferramentas *Lean*, visando futuras implementações;
- V. Avaliar os impactos potenciais das melhorias propostas, verificando os benefícios esperados para a eficiência, redução de desperdícios e otimização do ensino-aprendizagem.

Para estruturar a presente pesquisa, o trabalho está organizado em seis capítulos. O Capítulo 1 apresenta a contextualização da pesquisa, justificando sua

relevância e destacando lacunas na literatura, além de expor os objetivos gerais e específicos do estudo. O Capítulo 2 discute a revisão bibliográfica sobre *Lean*, explorando conceitos fundamentais e sua evolução histórica.

No Capítulo 3, descreve-se a metodologia adotada, com ênfase na abordagem de pesquisa-ação que fundamenta o estudo. O Capítulo 4 realiza uma análise detalhada do contexto atual do laboratório, fornecendo subsídios para o Capítulo 5, que apresenta as propostas de melhorias e a reestruturação do *Layout*. Por fim, o Capítulo 6 expõe as considerações finais do estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, aprofunda-se o conhecimento sobre o surgimento e evolução do *Lean*, sua disseminação para diferentes setores e suas principais ferramentas.

A aplicação do *Lean* em laboratórios acadêmicos tem sido explorada por diversos estudos, evidenciando seu potencial para melhorar a organização, a eficiência operacional e a gestão de recursos nesses ambientes. Diante disso, esta revisão busca consolidar conceitos, princípios e ferramentas *Lean*, analisando sua aplicabilidade e contribuições para a otimização de processos laboratoriais.

O capítulo está estruturado em três partes: a primeira apresenta a evolução histórica do *Lean*; a segunda aborda seus princípios e pilares; e a terceira investiga sua aplicação em laboratórios acadêmicos.

2.1 Do Sistema Toyota de Produção ao *Lean Thinking*

A implementação do que viria a ser conhecido como Sistema Toyota de Produção (STP) começou no final da década de 1940, por Taiichi Ohno, com o objetivo de eliminar desperdícios e cortar custos devido ao cenário econômico devastador (HOLWEG, 2006). Nesse contexto, com o Japão enfrentando uma demanda em baixa e uma crescente necessidade de variedade de produtos para atender aos clientes (LIKER, 2022), a Toyota precisava se adaptar para permanecer competitiva no mercado.

Assim, Ohno analisou o sistema de produção ocidental, majoritariamente baseado na produção em massa, e identificou duas falhas lógicas. A primeira era que a produção em grandes lotes gerava estoques que ocupavam demasiado espaço, além de exigir capital parado, e apresentava um alto índice de defeitos (HOLWEG,

2006). A segunda falha era a incapacidade de se adaptar às preferências do consumidor, devido à baixa diversidade de produtos oferecidos. Essa questão já havia afetado Henry Ford na década de 1920, quando a diminuição das vendas do Modelo T foi atribuída à falta de opções de cores em comparação com a concorrente Chevrolet (HOLWEG, 2006; LIKER, 2022).

Então, Ohno passou a implementar a produção em pequenos lotes, em 1948, visando eliminar desperdício e reduzir custos (HOLWEG, 2006). Em 1949, Ohno começa a implementar os conceitos de *Just-in-Time* (JIT) e *Jidoka* (ABBADI, ELRHANIMI, MANTI, 2020), que seriam os pilares do STP. Apesar de ainda não ter atingido maturidade suficiente, o sistema evoluiu gradualmente ao longo dos anos, seguindo e incorporando o princípio do *Kaizen* (melhoria contínua) (HOLWEG, 2006).

Após consolidar internamente seu sistema, a Toyota expandiu seus conceitos para os fornecedores em 1965 (HOLWEG, 2006). Neste momento, ocorre a primeira formalização documental do sistema, disponibilizada aos fornecedores. Até então, esse conhecimento era transmitido de forma não estruturada, refletindo um processo de aprendizagem dinâmico e adaptativo às necessidades da época (HOLWEG, 2006).

Apesar da recessão mundial desencadeada pela crise do petróleo em 1973, a Toyota continuou a registrar lucros nos anos seguintes, o que despertou o interesse acadêmico e de outras empresas em compreender os motivos desse sucesso (OHNO, 1988). Após esse acontecimento, pesquisadores voltaram-se para a Toyota e seu então “novo” sistema de produção, que se expandiu para outras partes do mundo, como a América do Norte (SHAH E WARD, 2007).

A primeira publicação científica em inglês sobre o Sistema Toyota de Produção (STP) ocorreu anos mais tarde. O estudo identificou duas grandes distinções desse novo modelo produtivo: a primeira foi o Just-in-Time (JIT), enquanto a segunda enfatizava o “respeito pelo humano” (SUGIMORI ET. AL, 1977). Esses princípios diferenciavam o STP da produção em massa tradicional e serviram como base para futuras pesquisas.

Posteriormente, o termo *Lean* foi introduzido pela primeira vez em 1988, com a publicação do artigo “Triumph of the *Lean* Production System” de John F. Krafcik (HOLWEG, 2006; GIL-VILDA, YAGUE-FABRA E SUNYER, 2021). No entanto, foi somente em 1990 que o conceito ganhou ampla difusão mundial, a partir do livro *A Máquina que Mudou o Mundo*, de Womack, Jones e Roos. O termo *Lean* foi utilizado

para descrever o STP sem mencionar diretamente a Toyota, tornando-se a base de um novo modelo de gestão produtiva (GIL-VILDA, YAGUE-FABRA E SUNYER, 2021).

Stone (2012), em seu estudo sobre as quatro décadas do *Lean*, divide sua propagação em 5 fases, sendo estas: I. Fase de Descoberta (1970 – 1990); II. Fase de Divulgação (1991 – 1996); III. Fase de Implementação (1997 – 2000); IV. Fase Empresarial (2001 – 2005); V. Fase de Desempenho (2006 – 2009). De acordo com Holweg (2006), conforme o termo e a filosofia *Lean* foram sendo descobertos pelo mundo, houve uma expansão para aplicação em diversos setores, inclusive não manufatureiros, ocasionando uma adaptação de seus conceitos para as novas aplicações.

Gil-Vida, Yague-Fabra e Sunyer (2021) analisaram a evolução histórica do termo *Lean*, sintetizando suas principais mudanças na Tabela 1.

Tabela 1 - Avanço do termo *Lean* ao longo dos anos.

Conceito	Descrição	Primeiros autores
<i>Lean Production</i> (1988)	Surgiu como alternativa para se referir ao <i>Toyota Production System</i> .	Kracik (1988)
<i>Lean Manufacturing</i> (1993)	Sentido similar ao <i>Lean Production</i> , porém mais direcionado para operações fabris.	Powell (1993)
<i>Lean Logistics</i> (1994) <i>Lean Supply</i> (1996) <i>Lean Supply Chain</i> (1999)	Com foco maior na eficiência dos fluxos de materiais dentro e fora da fábrica, integração e desenvolvimento de fornecedores e integração de diferentes atores e informações em toda a cadeia de abastecimento.	Fynes e Ennis (1994) Lamming (1996) Huallacháin, B.; Wasserman, D (1999)
<i>Lean Management</i> (1994)	Adoção dos princípios <i>Lean</i> para gerir uma organização inteira.	Petrovic e Zsifkovits (1994)
<i>Lean Enterprise</i> (1994)	Refere-se a um grupo de indivíduos, funções e empresas legalmente separadas, mas operacionalmente sincronizadas que criam, vendem e prestam serviços a uma família de produtos.	Womack e Jones (1994)
<i>Lean Construction</i> (1994)	Adaptação de princípios e ferramentas <i>Lean</i> para a construção civil.	Koskela (1994)
<i>Lean and Green</i> (1996)	Diz respeito à integração de melhorias de processo com reduções de impactantes ambientais.	Florida (1996)
<i>Lean Thinking</i> (1996)	Adoção de uma forma de pensar para fazer melhorias radicais nas organizações, tendo em vista a eliminação de desperdício.	Womack e Jones (1996)
<i>Lean Product</i> (1996)	Desenvolvimento de produtos rápido, eficiente e de baixo custo.	Karlsson e Ahlstrom (1996)
<i>Lean Service</i> (1998)	Aplicação de princípios e ferramentas <i>Lean</i> para melhorar a eficiência de serviços não industriais	Bowen e Youngdahl (1998)
<i>Lean Six Sigma</i> (2000)	Combinação dos princípios e ferramentas de <i>Lean Manufacturing</i> e <i>Six Sigma</i> , que originalmente se voltava para indústrias manufatureiras, cuja implementação se estendeu também para os serviços.	Sheridan (2000)

Lean Office (2005)	Transferência da filosofia <i>Lean</i> para ambientes não fabris, com foco na melhoria da eficiência em nível administrativo.	Productivity Press Development Team (2005)
Lean Healthcare (2008)	Transferência da filosofia <i>Lean</i> para os serviços voltados à saúde, incluindo gestão hospitalar.	Portioli-Staudacher (2008)
Lean Startup (2011)	Refere-se à utilização de princípios <i>Lean</i> para lançar novos modelos de negócios, reduzindo o tempo de colocação no mercado e minimizando o investimento inicial e os riscos envolvidos	Ries (2011)
Lean 4.0 (2017)	Combinação de princípios de <i>Lean</i> Production com tecnologias da indústria 4.0	Metternich et al. (2017)

Fonte: Adaptado de Gil-vida, Yague-Fabra, Sunyer (2021) Stone (2012) Holweg (2006).

É possível notar que até o final do século XX houve grande propagação do termo nas mais diversas áreas, desde contextos fabris até a junção com o Six Sigma, cujo foco está na redução da variabilidade. De certa maneira, isso converge com as primeiras fases mencionadas por Stone (2012), uma vez que a rápida disseminação ocasionou na busca da aplicação em diversos setores, na busca de entender como os benefícios do *Lean* poderiam ser adaptados com o intuito de diminuir os desperdícios.

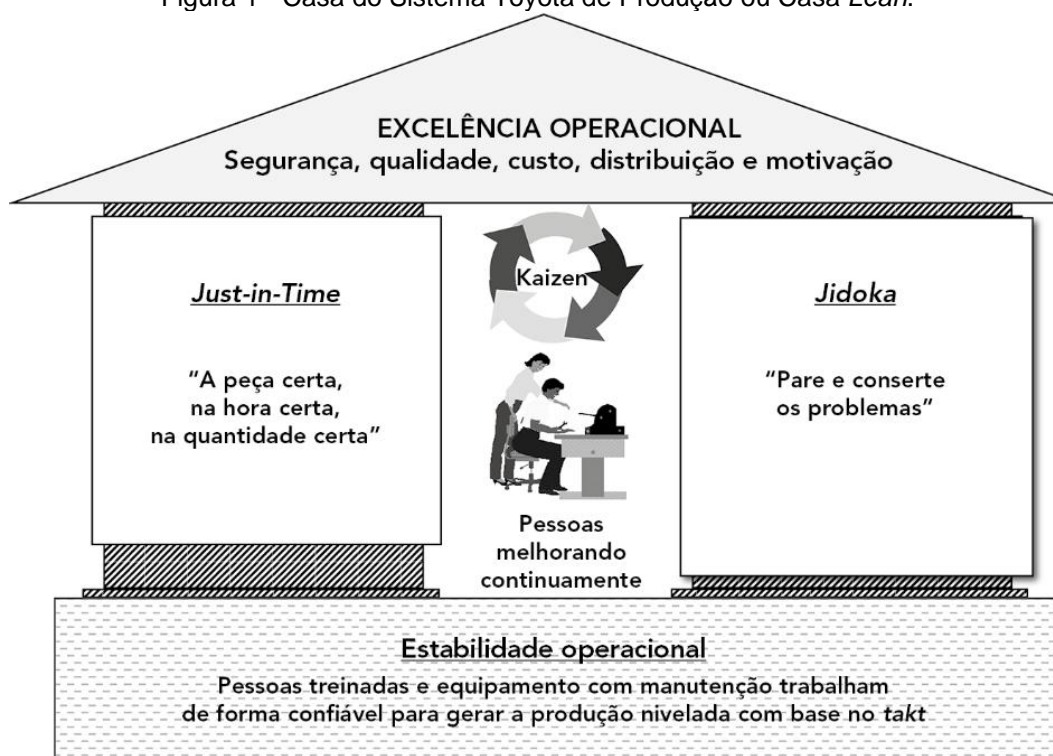
Com a intenção de definir o *Lean*, vários autores registraram em seus escritos o que pensavam sobre o tema (SINHA E MATHARU, 2019). Krafcik (1988), o define como a busca pela menor utilização de recursos, se comparado a produção em massa. Posteriormente, Womack, Jones e Roos (1990), entendem que é a junção da produção artesanal e científica, com princípios e práticas que visam a melhoria contínua. Outras definições poderiam ser utilizadas, como a de que seria um conjunto de práticas de gerenciamento, como o JIT, sistemas de qualidade, trabalho em equipe, entre outros, em um sistema integrado (SHAH E WARD, 2003). Ou ainda, definida como um modelo estratégico e integrado de gestão, que proporciona a empresas alcançar objetivos de desempenho, composto por uma série de princípios (GODINHO-FILHO e FERNANDES, 2004).

Independentemente do autor, aqueles que se dedicaram a conceituá-lo contribuíram significativamente para a redução da lacuna conceitual associada ao termo. Segundo Dilanthi (2018), as definições enfatizam a ideia essencial de minimizar o desperdício, destacando o valor para o cliente como um elemento fundamental. Elrhani, El Abbadi e Abouabdellah (2018), a partir do estudo de 35 autores, definiram como uma filosofia que possui como objetivo a redução do custo e tempo de ciclo, eliminando os desperdícios e atividades que não agregam valor.

2.2 Princípios e Pilares do Lean

O *Lean* teve origem no Sistema Toyota de Produção (STP), concebido para garantir a interconexão entre seus componentes e a eliminação sistemática de desperdícios (LIKER E ROSS, 2019). A Casa STP representa visualmente essa estrutura, consolidando os pilares que sustentam a produção enxuta. Essa representação gráfica está ilustrada na Figura 1.

Figura 1 - Casa do Sistema Toyota de Produção ou Casa *Lean*.



Fonte: Liker e Ross (2019, p. xxii).

Seus pilares de sustentação são o *Just-in-Time* (JIT) e *Jidoka* (autonomação), que sustentam a filosofia de produção enxuta.

O JIT, introduzido por Kiichiro Toyoda, visa reduzir estoques desnecessários, garantindo que a produção ocorra apenas quando necessária, na quantidade exata e no momento adequado (LIKER, 2022). Sua concepção remonta à experiência de Toyoda na Inglaterra, onde percebeu que chegar antes resultava em desperdício de tempo, enquanto chegar depois significava perder oportunidades (WADA e YUI, 2002).

O *Jidoka*, por sua vez, é um princípio que busca assegurar a qualidade nos processos produtivos por meio da automação inteligente. Inspirado nos teares automáticos desenvolvidos por Sakichi Toyoda, o conceito permite que máquinas

interrompam automaticamente a produção ao detectar falhas, prevenindo a propagação de defeitos e reduzindo desperdícios (LIKER, 2022; DILANTHI, 2015).

Esses princípios formam a base operacional do STP e servem como fundamento para modelos gerenciais que estruturam a aplicação do *Lean*. Embora a Casa STP forneça uma visão estrutural dos princípios do *Lean*, sua aplicação em ambientes produtivos demanda métodos gerenciais que transformem esses princípios em práticas organizacionais concretas. Nesse sentido, destacam-se dois modelos amplamente adotados: o Modelo 4P de Liker (2022) e os Princípios do *Lean Thinking* de Womack e Jones (2003).

O Modelo 4P organiza a filosofia *Lean* em quatro pilares fundamentais, desdobrando-os em 14 princípios gerenciais que estruturam sua aplicação de maneira sustentável. Já os Princípios do *Lean Thinking* oferecem uma perspectiva estratégica baseada em cinco diretrizes essenciais, voltadas para a criação de valor, a eliminação de desperdícios e a busca da perfeição operacional.

Embora compartilhem uma base conceitual comum, o Modelo 4P aprofunda os aspectos culturais e estruturais do *Lean*, enquanto os Princípios do *Lean Thinking* fornecem diretrizes práticas para sua implementação. Ambos os modelos possibilitam que os conceitos da Casa STP sejam aplicados de forma estruturada e adaptável, garantindo que a filosofia *Lean* seja efetivamente incorporada às organizações. A seguir, são detalhadas as estruturas desses modelos.

2.2.1 Modelo 4P

O Modelo 4P de Liker (2022) pode ser compreendido como uma formalização estrutural dos conceitos apresentados na Casa STP, previamente discutida. Ele se organiza em quatro pilares e 14 princípios, conforme detalhado a seguir:

I. Filosofia (*Philosophy*)

Princípio 1: Basear as decisões em uma filosofia de longo prazo, mesmo que em detrimento de metas financeiras de curto prazo.

II. Processo (*Process*)

Princípio 2: Conectar pessoas e processos por meio de um fluxo de processo contínuo para trazer os problemas à tona;

Princípio 3: Usar sistemas puxados para evitar superprodução;

Princípio 4: Nivelar a carga de produção (*Heijunka*);

Princípio 5: Trabalhar para estabelecer processos padronizados como base para a melhoria contínua;

Princípio 6: Construir uma cultura de parar para identificar condições fora do padrão e produzir qualidade;

Princípio 7: Usar controle visual para apoiar pessoas na tomada de decisões e na solução de problemas;

Princípio 8: Adotar e adaptar tecnologias que apoiem suas pessoas e processos.

III. Pessoas e Parceiros (*People & Partners*)

Princípio 9: Desenvolver líderes que compreendam profundamente o trabalho, vivam a filosofia e a ensinem a outros;

Princípio 10: Desenvolver pessoas e equipes excepcionais que sigam a filosofia da empresa;

Princípio 11: Respeitar sua rede de parceiros e fornecedores, desafiando-os e ajudando-os a melhorar.

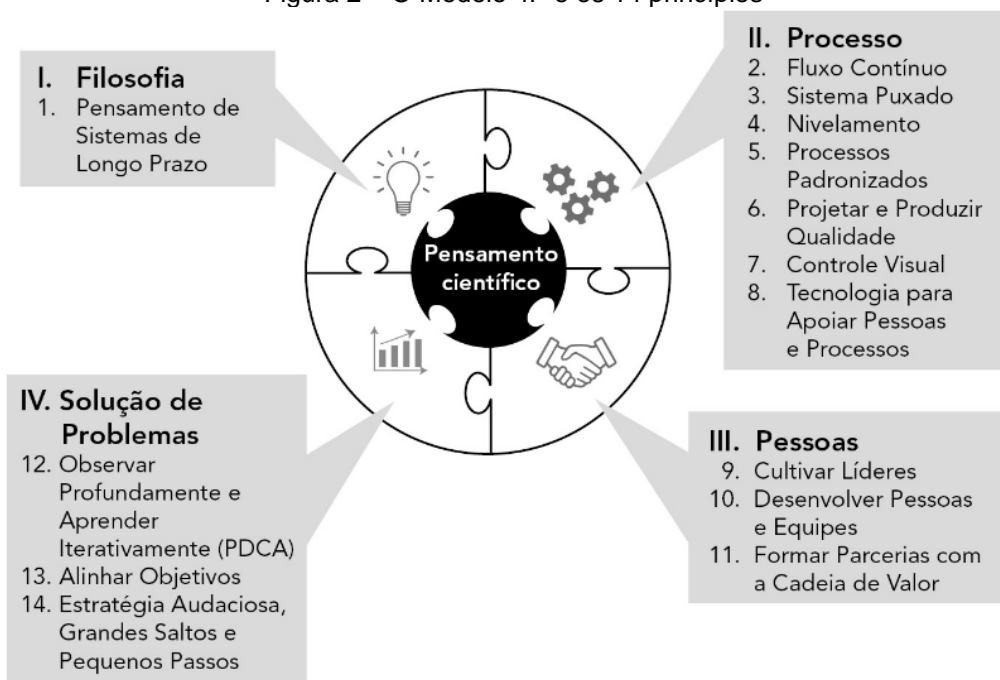
IV. Solução de Problemas (*Problem Solving*)

Princípio 12: Observar profundamente e aprender iterativamente (PDCA) para enfrentar cada desafio;

Princípio 13: Usar metas alinhadas em todos os níveis para focar a energia de melhoria das suas pessoas;

Princípio 14: Usar metas alinhadas em todos os níveis para focar a energia de melhoria das suas pessoas.

Figura 2 – O Modelo 4P e os 14 princípios



Fonte: Liker (2022, p. 8).

Liker (2022) destaca que o sucesso mundial não se resume apenas às ferramentas e técnicas, mas sim a uma filosofia de gestão. Essa visão é reforçada por Bashin e Burcher (2006), que salientam a importância de encarar o *Lean* como uma filosofia, pois empresas que não adotam essa mentalidade enfrentam desafios significativos na implementação do *Lean*.

Personalidades como Eiji Toyoda, Taichii Ohno, Fujio Cho, entre outros importantes nomes para o desenvolvimento do STP, fornecem embasamento na discussão dos princípios apresentados no Modelo 4P (LIKER, 2022). Cada componente é fundamentado em um pensamento científico, exemplificado pela filosofia, que se destaca como o primeiro componente, direcionado para uma visão de longo prazo e um claro senso de propósito (LIKER, 2022).

O processo, por sua vez, é mutável e requer melhorias que podem ser alcançadas por meio de experimentos, ou ainda, aperfeiçoando o processo de aprendizagem (LIKER, 2022). Já em relação às pessoas e à solução de problemas, trabalha-se contra o senso comum, moldando a natureza humana com a capacidade de recompensar a evolução lenta e gradual, evitando abordagens meramente paliativas em favor de soluções que ataquem as raízes dos problemas (LIKER, 2022).

2.2.2 Princípios do *Lean*

Womack e Jones (2003), a partir de suas interações e pesquisas resumiram o *Lean Thinking* (LT) em cinco princípios, para quem deseja implementar o pensamento enxuto, sendo eles: 1. Especificar valor, 2. Fluxo de valor, 3. Fluxo contínuo, 4. Produção puxada e 5. Buscar a perfeição. De acordo com Dilanthi (2015), esses princípios servem para examinar processos, com objetivo de identificar e reduzir custos e procedimentos ineficientes.

Tais princípios são responsáveis por explicar o modo que uma organização deve procurar de fazer as coisas (DILANTHI, 2015). O LT é uma maneira de buscar ser o mais enxuto possível, fazendo mais, com cada vez menos – menos espaço, menos tempo, menos esforço humano e menos equipamento (WOMACK e JONES, 2003). Para isso, é preciso entender a essência dos princípios, de modo a converter eventuais desperdícios em valores esperados por seu cliente, que estão descritos abaixo (WOMACK e JONES, 2003; DILANTHI, 2015).

- I. Especificar valor: é considerado um ponto crucial para o LT, e somente pode ser definido por seu consumidor final, do qual deve ter sua necessidade atendida por um situações específicas de produto, preço e tempo (WOMACK e JONES, 2003). Valor também é entendido como o que o cliente está disposto a pagar (DILANTHI, 2015). Contudo, embora o valor seja definido pela perspectiva do cliente, ele deve ser criado pelo produtor, a partir do diálogo com o consumidor, em uma tentativa consciente de definir valor (WOMACK e JONES, 2003).

- II. Fluxo de valor: Womack e Jones (2003), definem o fluxo de valor como o conjunto de ações específicas para trazer um produto, podendo ser serviços, ou outros, através das três tarefas críticas: solução de problemas (da concepção até o lançamento); gestão de informações (a partir do pedido até a entrega) e transformação física (desde a matéria-prima até o produto). Marcelino, Lima e Gaspar (2023) descrevem essa etapa como aquela na qual se identifica todas as atividades que agregam valor (AV), sua sequência e minimizar as atividades que não agregam valor (NAV).

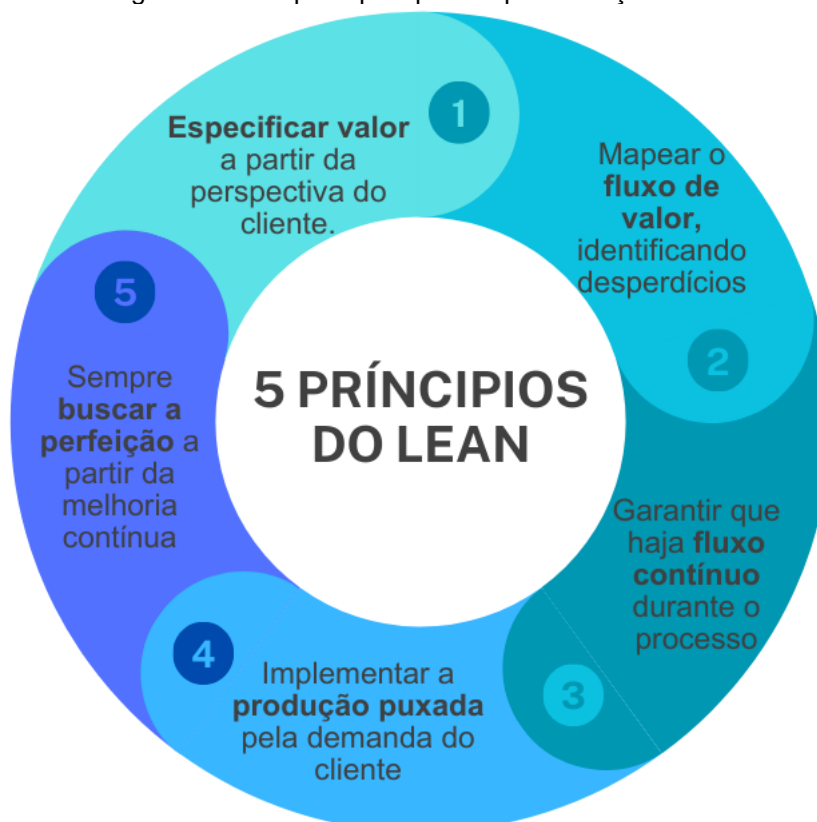
III. Fluxo contínuo: Após a especificação precisa do valor, a identificação do fluxo de um produto específico, é preciso garantir que haja continuidade na sua produção (WOMACK e JONES, 2003). O fluxo contínuo contribui com o movimento ininterrupto na produção, seja de produto ou serviços (MARCELINO, LIMA E GASPAR, 2023) e deve ser organizado de modo que o produto atinja o caminho contínuo no seu processo produtivo (DILANTHI, 2015). Para isso, talvez seja necessário a redefinição das funções de trabalho, departamentos, entendendo as necessidades dos funcionários para que se atinja o desempenho satisfatório de modo a contribuir positivamente para a criação do fluxo contínuo (WOMACK e JONES, 2003).

IV. Produção puxada: Diferentemente da produção em massa, o LT trabalha com a necessidade de adaptar a produção de acordo com a demanda do cliente. Para isso, se baseia no JIT, cuja premissa é de entregar o produto correto, no momento certo (DILANTHI, 2015). Ou seja, o cliente final demanda e somente depois inicia a produção. Para isso, é necessário que as etapas anteriores já tenham sido estabelecidas, pois são responsáveis por reduzir consideravelmente o tempo da transformação da matéria prima para o produto. (WOMACK e JONES, 2003).

V. Buscar a perfeição: Womack e Jones (2003) reforçam que, mesmo após as organizações realizarem as etapas anteriores, não se cessa o processo de buscar melhorias, seja de esforço, tempo, custo, entre outros. Ainda, Womack e Jones (2003), reforça que os quatro princípios iniciais interagem entre si em um ciclo. Esse mesmo ciclo pode ser observado dentro da casa STP, a partir do *Kaizen*, descrita por Liker (2022). Dilanthi (2015) ressalta esta etapa como sendo aquela que elimina o desperdício a partir da otimização e melhoria de processos.

Esses princípios estão resumidos na Figura 3.

Figura 3 - Os 5 princípios para implementação do LT.



Fonte: Adaptado de Womack e Jones (2003); Dilanthi (2015); Marcelino (2022).

2.2.3 Relação entre o Modelo 4P de Liker e o *Lean Thinking* de Womack e Jones

Tanto o *Lean Thinking* quanto o Modelo 4P derivam do Sistema Toyota de Produção (STP) e compartilham o mesmo objetivo central: redução de desperdícios e melhoria da eficiência organizacional. No entanto, cada um estrutura essa filosofia de forma distinta.

Enquanto o *Lean Thinking* foca na formulação estratégica, estabelecendo diretrizes para a transformação *Lean*, o Modelo 4P fornece um arcabouço gerencial detalhado, abordando desde a tomada de decisões estratégicas até a formação de equipes e o desenvolvimento da cadeia de suprimentos. Dessa forma, os dois modelos podem ser interpretados como complementares, onde o *Lean Thinking* estabelece os princípios fundamentais e o Modelo 4P detalha os mecanismos necessários para consolidar essa filosofia no longo prazo.

Assim, a escolha entre esses modelos dependerá do contexto organizacional e dos objetivos da implementação *Lean*. Enquanto o *Lean Thinking* pode ser mais adequado para estruturar uma transformação *Lean* em nível estratégico, o Modelo 4P

pode fornecer diretrizes mais detalhadas para consolidar essa cultura dentro das organizações, garantindo sua sustentação a longo prazo.

2.2.4 Os 3Ms e os desperdícios

Independentemente do modelo utilizado, a implementação do *Lean* tem como um de seus pilares fundamentais a identificação e eliminação de desperdícios (*muda*) ao longo dos processos produtivos. No contexto *Lean*, *muda* representa qualquer atividade que consome recursos sem agregar valor ao produto ou serviço final, impactando negativamente a eficiência operacional.

Além do *muda*, o *Lean* enfatiza a necessidade de gerenciar *mura* (desnívelamento) e *muri* (sobrecarga), que formam um sistema interdependente de ineficiências conhecido como os três Ms (LIKER, 2022). Esses três elementos estão diretamente conectados e, quando não tratados de maneira integrada, podem comprometer a implementação *Lean*. O foco exclusivo na eliminação de *muda* pode ser prejudicial se *mura* e *muri* não forem abordados simultaneamente.

Mura refere-se à variabilidade na carga de trabalho, levando a oscilações entre momentos de ociosidade e períodos de sobrecarga. Essa falta de uniformidade no fluxo operacional gera *muri*, pois exige que máquinas e trabalhadores operem além de sua capacidade em determinados momentos, resultando em estresse, falhas e baixa qualidade. Assim, o *mura* frequentemente desencadeia *muri*, e ambos amplificam o surgimento do *muda*, tornando fundamental uma abordagem que busque o equilíbrio dos processos e a estabilidade operacional para reduzir desperdícios de maneira sustentável (LIKER, 2022).

Os impactos desse sistema de desperdícios podem ser observados nas oito categorias identificadas por Ohno (1997) como prioritárias para a eliminação dentro da filosofia *Lean*: (I) Produção em excesso; (II) Espera; (III) Transporte; (IV) Processamento excessivo ou incorreto; (V) Estoque; (VI) Movimentação desnecessária; e (VII) Defeitos. Posteriormente, Womack e Jones (2003) acrescentaram um oitavo desperdício: bens ou serviços que não atendem às expectativas do usuário. Esses desperdícios, além de representarem diretamente o *muda*, são frequentemente agravados pela presença de *mura* e *muri*, reforçando a necessidade de uma abordagem integrada para a otimização dos processos. A Tabela 3 apresenta exemplos desses desperdícios em contextos de manufatura e serviços.

Tabela 2 - Exemplos de desperdícios

Tipo de Desperdício	Exemplo em Manufatura	Exemplo em Serviços
1. Superprodução	Produção acima da demanda real, gerando estoques elevados e obsolescência.	Realização de procedimentos desnecessários para preencher carga horária, elevando custos.
2. Espera	Operadores aguardam materiais ou liberação de máquinas para continuar a produção.	Clientes aguardam atendimento devido a processos internos lentos.
3. Transporte	Movimentação excessiva de peças entre setores sem agregação de valor.	Deslocamento desnecessário de documentos físicos entre departamentos.
4. Processamento excessivo	Inspeções redundantes em itens já validados, aumentando tempo e custo.	Repetição de informações em diferentes formulários para um mesmo serviço.
5. Estoque excessivo	Acúmulo de matéria-prima além da necessidade, elevando custos de armazenagem.	Manutenção de grande volume de produtos perecíveis sem demanda previsível.
6. Movimentação desnecessária	Funcionários percorrem distâncias longas para buscar ferramentas ou materiais.	Colaboradores precisam acessar múltiplos sistemas para completar uma tarefa simples.
7. Defeitos	Erros de fabricação identificados tarde no processo, resultando em retrabalho ou descarte.	Processos administrativos geram dados incorretos, exigindo correções manuais.
8. Produto/serviço que não atende às expectativas	Produto com funcionalidades desnecessárias, elevando custo sem agregar valor.	Sistema complexo que dificulta o uso pelo cliente, reduzindo sua adoção.

Fonte: produção dos autores (2025).

Com a intenção de eliminar, ou reduzir, tais desperdícios, o LT utiliza alguns métodos e ferramentas, tais como: *Kanban*, *Kaizen*, Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), *Single Minute Exchange of Dies* (SMED), 5S, entre outras, cuja algumas serão abordadas no tópico a seguir.

2.3 Ferramentas *Lean*

Antes de iniciar esta breve apresentação, é importante ressaltar que o *Lean* não é o conjunto ferramentas, mas sim o entendimento completo dos conceitos e lógica existente por trás do pensamento (LIKER, 2022). Ainda, é importante que todos os envolvidos no processo de implementação do *Lean* enxergue como uma filosofia, uma vez que isso traz benefícios que podem facilitar na sua adaptação (BASHIN e BURCHER, 2006). Embora existam diversas ferramentas disponíveis, como as supracitadas, o ideal é aplicar o maior número possível, se não todas (BASHIN e BURCHER, 2006).

2.3.1 *Takt time* e tempo de ciclo

Takt é uma palavra derivada do alemão, cujo significado é ritmo ou compasso. Liker (2022), destaca que a importância do timoneiro, pessoa cuja responsabilidade é

ditar o ritmo às remadas em competições de remo, para evitar problemas que a falta de sincronia entre os remadores pode gerar, como um possível barco se desgovernando e desacelerando. Womack e Jones (2003), ressalta a semântica da palavra que foi se adaptando a diversos contextos, em um primeiro momento musical, para definir intervalos precisos, posteriormente em indústrias aeronáuticas alemãs, até se infiltrar na Toyota, no Japão, e adquirir significado específico, sendo disseminada junto com o LT.

No LT, *takt time* é igual ao ritmo de produção de um serviço ou produto para atender a demanda dos clientes e deve ser calculado a partir do tempo disponível de trabalho por turno, pelo volume demandado pelo mercado no mesmo intervalo de tempo (ROTHER E SHOOK, 2003).

$$Takt\ Time = \frac{\text{Tempo operacional no período}}{\text{Volume de produção necessário no período}}$$

O cálculo preciso do *takt time* é importante para manter a sincronia entre a demanda e a produção (ROTHER e SHOOK, 2003), não sendo constante durante todo o ano, necessitando se adequar a um ritmo mais elevado ou lento, dependendo da demanda de mercado, de modo a trabalhar o mais próximo possível do tempo calculado (WOMACK e JONES, 2003).

Já o tempo de ciclo é definido pelo tempo necessário para a produção realizar o ciclo da operação (WOMACK e JONES, 2003), levando em consideração o tempo que o operador leva para percorrer todos os elementos inerentes ao processo antes de repeti-lo (ROTHER e SHOOK, 2003). É necessário que o tempo de ciclo esteja o mais próximo possível do *takt time*, de modo a permitir que haja o fluxo unitário e contínuo de peças, sem superprodução ou gargalos (LIKER, 2022).

2.3.2 Mapeamento do Fluxo de Valor

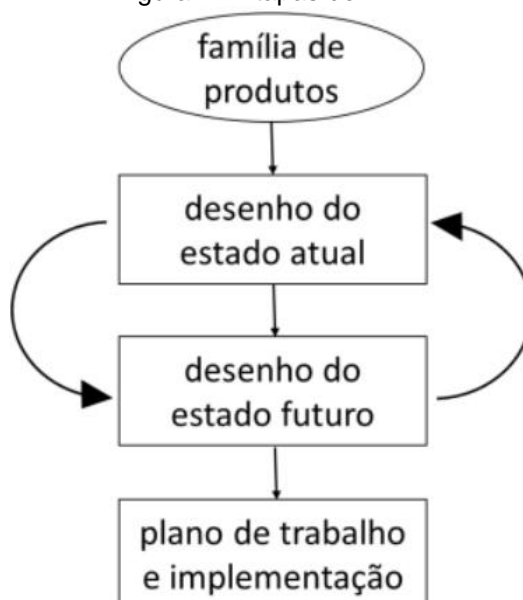
Danese, Manfè, Romano (2018) destacam mapeamento do fluxo de valor (MFV), ou *Value Stream Mapping* (VSM) em inglês, como uma das ferramentas mais utilizadas na implementação do *Lean Thinking* (LT). Rother e Shook (2003), em seu livro intitulado “Aprendendo a Enxergar”, definem o MFV como uma ferramenta de simples execução, com alto grau de impacto na identificação de desperdícios, sendo a única capaz de relacionar o fluxo de informação e material.

Os autores enfatizam que, no contexto *Lean*, a importância do fluxo de informações é equivalente à do fluxo de materiais. Embora a Toyota e seus fornecedores utilizem processos de transformação semelhantes aos da produção em massa, como estamparia, soldagem e montagem, suas fábricas regulam a produção de maneira distinta. A questão central que deve ser abordada é: "Como fazer com que a informação flua de maneira que um processo só seja iniciado quando solicitado pelo próximo?"

Womack e Jones, autores do livro "Mentalidade Enxuta nas Empresas", são responsáveis por escrever o prefácio do livro de Rother e Shook e citam a etapa de mapeamento do fluxo de valor como sendo a mais importante no processo de transformação de empresas que desejam implementar a mentalidade enxuta. Dentre as principais qualidades do MFV, está o fato de não ter somente a visão limitada do processo, mas sim o entendimento completo auxiliando na identificação para além dos desperdícios propriamente dito, mas sim suas causas (ROTHER e SHOOK, 2003).

Rother e Shook (2003), sugerem que o MFV seja feito de acordo com as quatro etapas, demonstradas abaixo na Figura 4.

Figura 4 - Etapas do MFV.



Fonte: Rother e Shook (2003).

As etapas consistem em: 1. Seleção da família de produtos a ser estudada, desenho do mapa de fluxo e valor do estado atual, proposta do mapa de fluxo e valor do estado futuro e o plano de trabalho e implementação dessa proposta.





A família de produtos é definida como um grupo de produtos que passam por etapas de processamento semelhantes e utilizam equipamentos comuns (ROTHER e SHOOK, 2003). Focar em uma família de produtos por vez é essencial para evitar sobrecarga de informações e porque o consumidor se preocupa apenas com produtos específicos da empresa, e não com todos os produtos (ROTHER e SHOOK, 2003).

As duas etapas seguintes estão inter-relacionadas, como indicado pelas setas que mostram um ciclo contínuo entre o desenho do estado atual e o desenho do estado futuro. O desenho do estado atual é baseado na coleta de informações diretamente do chão de fábrica, com o objetivo de esclarecer a situação atual da produção em termos de fluxo de informações e materiais. O desenho do estado futuro visa eliminar os desperdícios identificados, projetando um novo processo produtivo (ROTHER E SHOOK, 2003).

O último passo é o plano de implementação, que deve ser descrito em uma página, detalhando as ações necessárias para alcançar o estado futuro. Este processo é cíclico: após a implementação das melhorias, o estado futuro se torna o novo estado atual, o que reforça a busca contínua por melhorias, pois sempre haverá a necessidade de um novo mapa futuro (ROTHER e SHOOK, 2003).

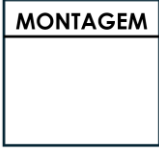

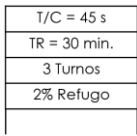







Para composição dos mapas, seja do estado atual ou futuro, o MFV utiliza-se de diversos símbolos padronizados divididos em três categorias: ícones gerais, fluxo de materiais e fluxo de informações, que podem ser observados nas Figuras 5, 6 e 7 respectivamente. Esses ícones servem para representar os processos e fluxos, de modo com que possam ser aplicados a diversos contextos (ROTHER E SHOOK, 2003).

Figura 5 - Ícones Gerais.

Ícones Gerais	Representa	Notas
 	Necessidade de <i>Kaizen</i>	Destaca as melhorias necessárias em processos específicos que são fundamentais para se chegar ao fluxo de valor desejado. Pode ser usada para planejar os <i>workshops Kaizen</i> .
	Estoque de segurança ou pulmão	“Pulmão” ou “estoque de segurança” devem ser anotados.
	Operador	Representa uma pessoa vista de cima.


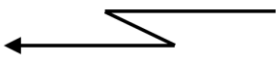
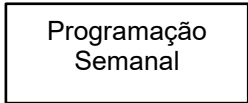
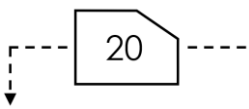


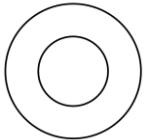
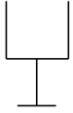
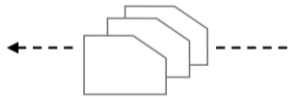


Fonte: Rother e Shook (2003).

Figura 6 - Fluxo de Materiais.

Ícones de Materiais	Representa	Notas
	Processo	Uma caixa de processo equivale a uma área de fluxo. Todos os processos devem ser identificados. Também usado para departamentos como o de Controle da Produção.
	Fontes externas	Usado para mostrar clientes, fornecedores e processos de produção externos.
	Caixa de dados	Usado para registrar informações relativas a um processo de manufatura, departamento, cliente etc.
	Estoque	Quantidade e tempo devem ser anotados.
	Entrega via caminhão	Anotar a frequência de entregas.
	Movimento de materiais da produção <u>EMPURRADA</u>	Material que é produzido e movido para frente antes do processo seguinte precisar; geralmente baseado em uma programação.
	Movimento de produtos acabados para o cliente	
	Supermercado	Um estoque controlado de peças que é usado para a programação da produção em um processo anterior.
	Retirada	Puxada de materiais, geralmente de um supermercado.
	Transferência de quantidades controladas de materiais entre processos em uma sequência "primeiro a entrar, primeiro a sair".	Indica um dispositivo para limitar a quantidade e garantir o fluxo de materiais (FIFO) entre os processos. A quantidade máxima deve ser anotada.

Fonte: Rother e Shook (2003).

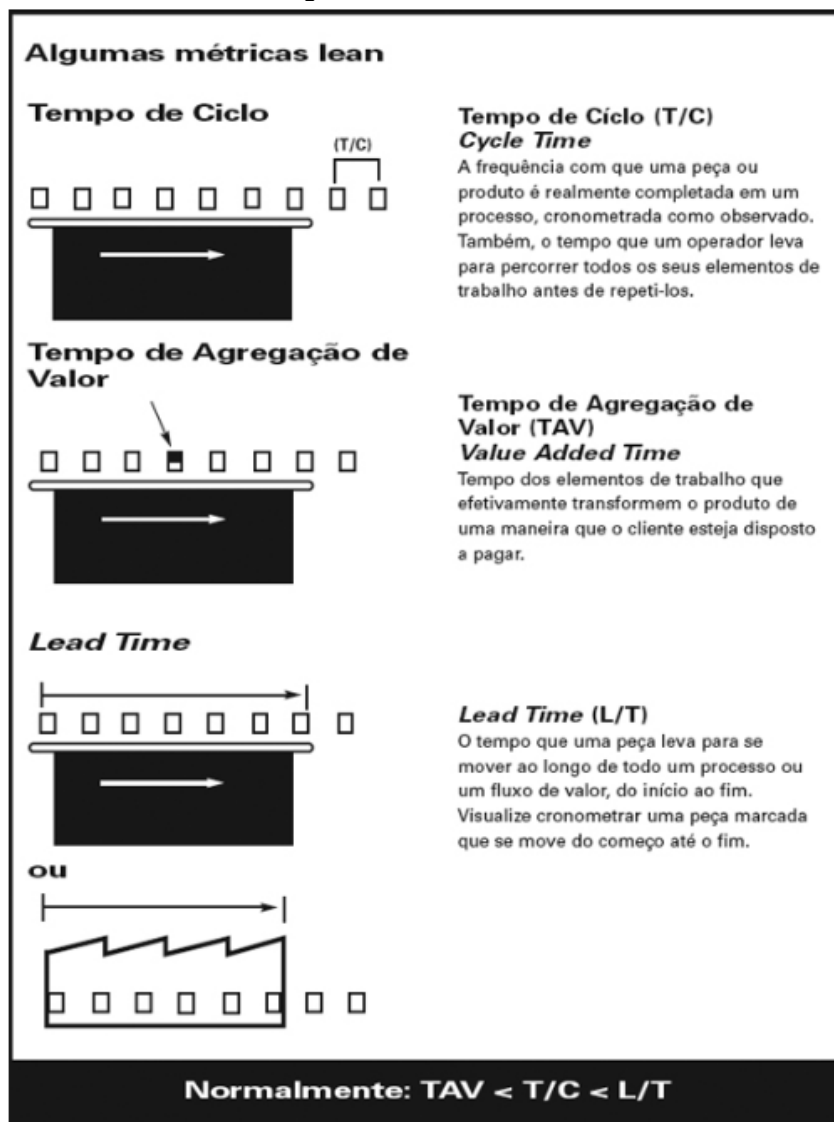
Figura 7 - Fluxo de Informações.

Ícones de Informação	Representa	Notas
	Fluxo de informações manual	Por exemplo: programação da produção ou programação da entrega.
	Fluxo de informações eletrônica	Por exemplo via "Troca Eletrônica de Dados".
	Informações	Descreve um fluxo de informações.
	<i>Kanban</i> de produção (linhas pontilhadas indicam a rota do <i>kanban</i>)	O <i>kanban</i> "um por contêiner". Um cartão ou dispositivo que avisa um processo quanto do que pode ser produzido e dá permissão para fazê-lo.
	<i>Kanban</i> de Retirada	Um cartão ou dispositivo que instrui o movimentador de materiais para obter e transferir peças (por exemplo: de um supermercado para o processo consumidor).
	<i>Kanban</i> de Sinalização	<i>Kanban</i> "um por lote". Sinaliza quando o ponto de reposição é alcançado e outro lote precisa ser produzido. Usado quando o processo fornecedor deve produzir em lotes por causa de trocas necessárias.
	Bola para puxada sequenciada	Dá instrução para produzir imediatamente uma quantidade e tipo pré-determinado, geralmente uma unidade. Um sistema puxado para processos de submontagem sem usar um supermercado.
	Posto de <i>kanban</i>	Local onde o <i>kanban</i> é coletado e mantido para transferência.
	<i>Kanban</i> chegando em lotes	
	Nivelamento de carga	Ferramenta para interceptar lotes de <i>kanban</i> e nivelar o seu volume e <i>mix</i> por um período de tempo.
	Programação da produção "vá ver"	Ajuste da programação com base na verificação dos níveis de estoque.

Fonte: Rother e Shook (2003).

É fundamental ter em mente algumas métricas do *Lean* que estarão presentes no Mapa de Fluxo de Valor (MFV), tais como o tempo de ciclo, tempo de agregação de valor e *lead time*, que fornecem suporte sobre onde as melhorias devem ser realizadas. Estas métricas estão resumidas na Figura 8.

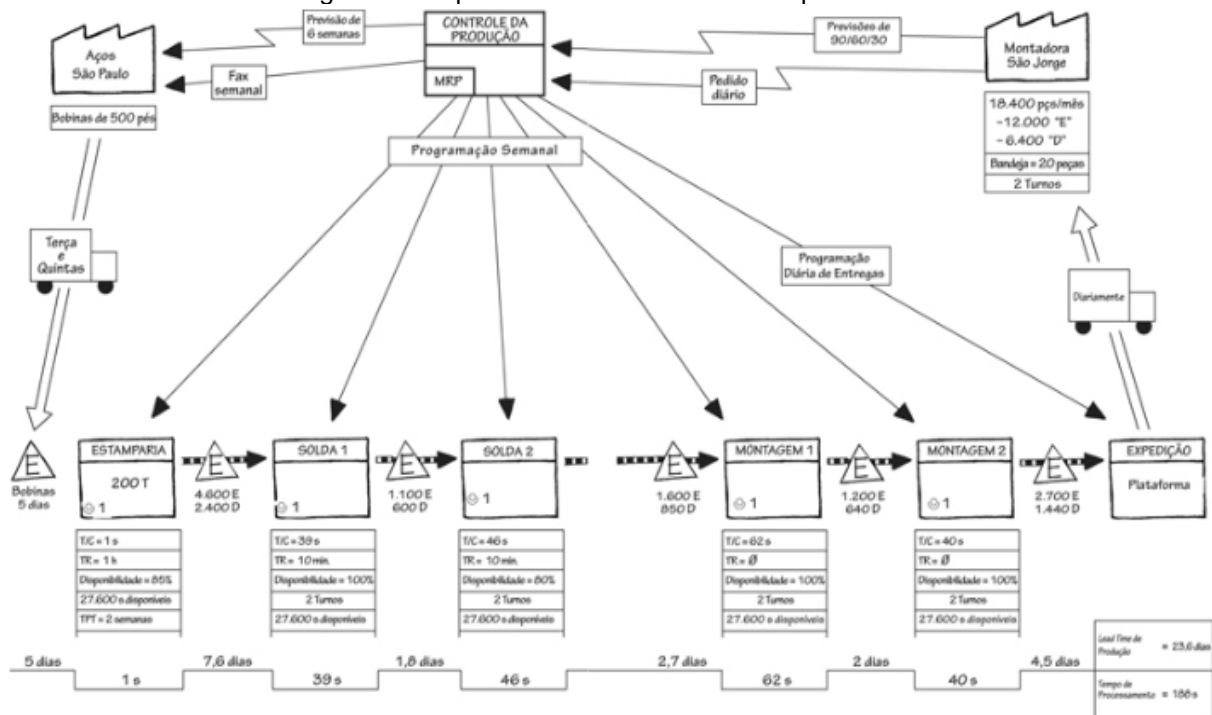
Figura 8 - Métricas *Lean*.



Fonte: Rother e Shook (2003).

Rother e Shook (2003), ao exemplificar um modelo de mapa de estado atual, realizaram um exercício com a empresa hipotética denominada Estamparia ABC, focando no processo de fabricação do suporte da direção. Suas informações, como demanda, quantidade de turnos de funcionamento, entre outras, estão representadas no mapa de estado atual mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Mapa do Estado Atual da Estamparia ABC.

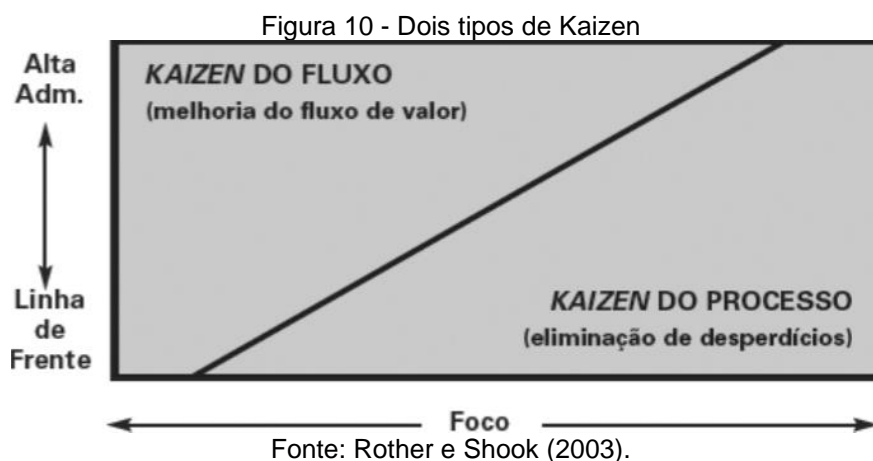


Fonte: Rother e Shook (2003).

A partir deste mapa, é possível entender a interação entre a Estamparia ABC e todo o seu processo de transformação do material para a produção do suporte de direção. Também permite identificar a quantidade de estoque presente entre cada etapa, o número de pessoas que executam as tarefas, entre outros detalhes. Todas essas informações são resumidas em uma linha do tempo, dividida entre o lead time e o tempo de processamento. Isso possibilita a visualização de pontos de desperdício que podem ser melhorados, otimizando assim o processo.

2.3.3 Kaizen

Assim como tantas outras para o pensamento enxuto, *Kaizen* é uma palavra de origem japonesa cujo significado é “mudar para melhor”, implementada na Toyota por Ohno para ser feito de maneira constante, visando superar os desafios um de cada vez, pois sempre que um problema era resolvido, outro se revelava (LIKER e ROSS, 2019). Existem dois tipos de *Kaizen*, sendo um deles o referente processo, centrado no fluxo de pessoas e processos, e o outro referente ao fluxo ou sistema, com foco no fluxo de material e informação, conforme Figura 10 (ROTHER E SHOOK, 2003).



Imai (1986) diferencia o *Kaizen* Estratégico, que envolve mudanças estruturais planejadas pela gestão, do *Kaizen* Diário, baseado em pequenas melhorias contínuas realizadas pelos colaboradores. Bessant e Caffyn (1997) ampliam essa visão ao tratar o *Kaizen* como uma capacidade organizacional, que exige suporte gerencial, estrutura formal para captação de melhorias e uma cultura de longo prazo.

Ao longo dos anos, o *Kaizen* consolidou-se como um dos princípios fundamentais do pensamento enxuto, promovendo um ciclo contínuo de aperfeiçoamento nos processos produtivos. Sua aplicação permite a redução de desperdícios e a melhoria da eficiência operacional, tornando-se um elemento essencial para organizações que buscam excelência e competitividade.

2.3.45S

As palavras japonesas *seiri* (utilização), *seiton* (organização), *seiso* (limpeza), *seiketsu* (padronização) e *shitsuke* (disciplina) compõe a técnica conhecida como 5S, utilizada para criar e manter ambientes de qualidade, a partir de práticas e baixo custo e pouca tecnologia, com a capacidade de proporcionar um aumento na competitividade, a partir da elevação na produtividade, padrões de qualidade e processo, além de redução de custos operacionais (SUAREZ-BARRAZA e RAMIS-PUJOL, 2012; GUTIERREZ et. al, 2020; JIMÉNEZ et. al, 2020).

A construção do 5S se dá na cultura japonesa desde os tempos dos Samurais, possuindo grande influência na vida cotidiana no Japão, tanto em escolas quanto em casa, e passou a ser implementada pela Toyota no início dos anos 1950, pelos primeiros 2S (*seiri* e *seiton*) quando a empresa buscava atingir seus objetivos de qualidade (SUAREZ-BARRAZA e RAMIS-PUJOL, 2012). Entre o meio da década de 1950 e o início da década de 1970, foram implementados os outros 2S (*seiso* e

seiketsu), seguido pelo último (*shitsuke*) já entre os anos de 1980 e 1990, sendo este o mais importante, pois quem o pratica diariamente tem a capacidade de repassá-lo a outras pessoas por meio do seu exemplo (SUAREZ-BARRAZA e RAMIS-PUJOL, 2012). Os conceitos de cada um dos 5S estão abaixo, na Tabela 2.

Tabela 3 - 5S

Conceito	Tradução	Significado	Exemplo
Seiri	Utilização	Separar claramente o que será e o que não será utilizado, abandonando esse último.	Descarte de materiais que não serão utilizados (papelão, caixas, entre outros)
Seiton	Organização	Organizar ordenadamente, com identificação nos itens para facilitar o uso.	Manter prateleiras e armários organizados e identificados.
Seiso	Limpeza	Sempre limpar, mantendo a organização e limpeza.	Estabelecer responsabilidades individuais específicas de limpeza preventiva e corretiva.
Seiketsu	Padronização	Manter constantemente os 3S acima (<i>seiri</i> , <i>seiton</i> e <i>seiso</i>). Está incluso o bem-estar individual e limpeza de cada pessoa.	Estabelecer padrões de manutenção dos 3S anteriores, bem como plano/programa para atividades físicas de bem-estar (exercícios).
Shitsuke	Disciplina	Fazer com que os colaboradores criem o hábito de estarem sempre em conformidade com as regras acima.	Executar padrões definidos de disciplina diariamente.

Fonte: Adaptado de Suarez-Barraza e Ramis-Pujol (2012).

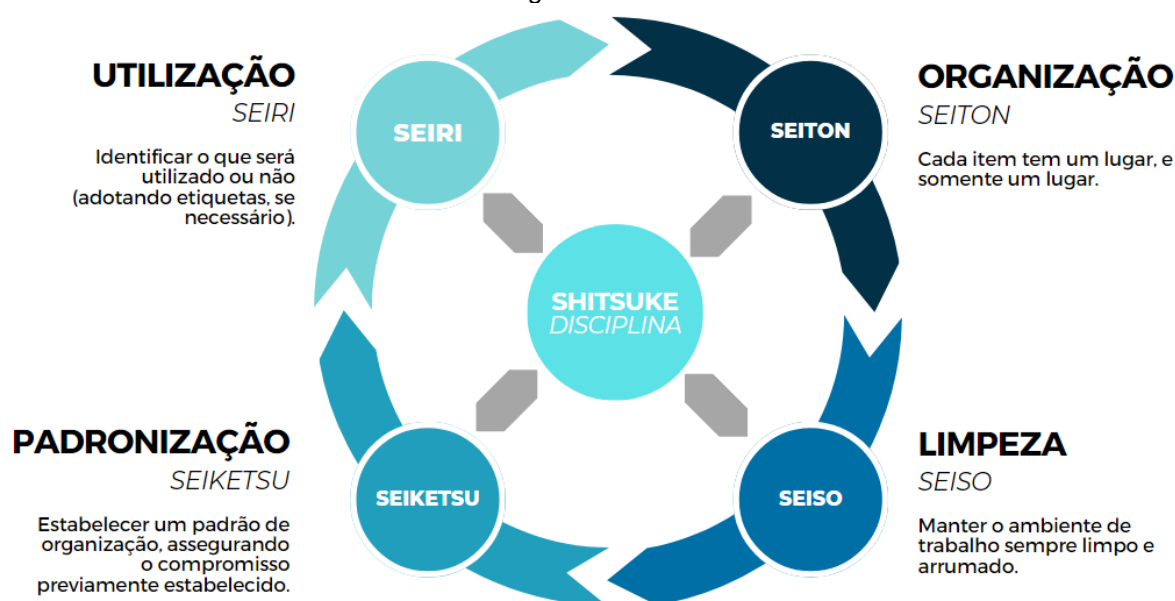
A aplicação do 5S deve iniciar pelo *seiri*, fazendo a distinção do que é necessário estar no local de trabalho e o que não, bem como a utilização de critérios na identificação entre o que será utilizado agora, em um futuro não imediato (cartão amarelo) e o que não será utilizado (cartão vermelho), descartando o que estiver na última categoria (SUAREZ-BARRAZA e RAMIS-PUJOL, 2012). O maior desafio é estabelecer qual é o limite correto entre o que é necessário e o que não (GUTIERREZ et. al, 2020)

O *seiton* indica o local exato onde cada coisa deve estar, partindo da ideia de que “cada item tem um lugar e somente um lugar”, sendo estabelecido a partir de critérios feitos pela equipe de trabalho, levando em consideração fatores como frequência de uso, itens mais demandados e outros fatores que forem pertinentes (SUAREZ-BARRAZA e RAMIS-PUJOL, 2012; GUTIERREZ et. al, 2020). No que diz respeito à limpeza, o *seiso*, esta deve ser feita de maneira corretiva, mantendo o ambiente de trabalho sempre arrumado e limpo, uma vez que os japoneses entendem que a limpeza física espacial gera também resultado na limpeza da mente (SUAREZ-BARRAZA e RAMIS-PUJOL, 2012; GUTIERREZ et. al, 2020).

Os dois últimos do 5S se dão no contexto de manutenção da melhoria aplicada nos primeiros três. O *seiketsu*, segundo Gutierrez et. al (2020), é para assegurar o

compromisso já previamente estabelecido, de modo bem articulado e se mantendo constantemente organizado, a partir de sinalização, cartazes, fotos que auxiliem nessa tarefa. De acordo com Suarez-Barraza, Ramis-Pujol (2012), o *shitsuke* tem caráter mais voltado à pessoa, no desenvolvimento o hábito diário de melhoria contínua, encorajando ações coletivas ou individuais que visam o desenvolvimento do ambiente de trabalho. A ideia de funcionamento é ilustrada a partir da Figura 11.

Figura 11 - 5S.



Fonte: Adaptado Suarez-Barraza e Ramis-Pujol (2012).

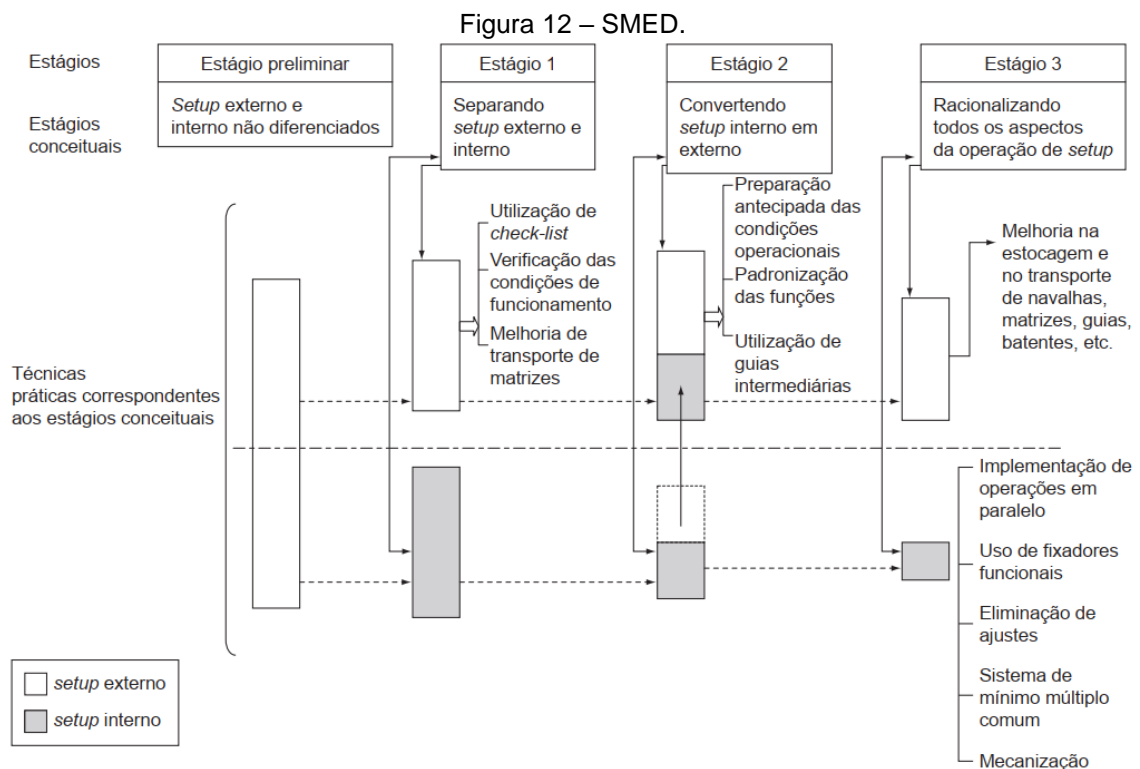
2.3.5 Single Minute Exchange of Dies (SMED)

Durante suas visitas a algumas fábricas, iniciadas na década de 1950, Shigeo Shingo introduziu a metodologia conhecida como Single Minute Exchange of Dies (SMED), a qual ele desenvolveu ao longo de quase duas décadas e que foi documentada no Ocidente em 1985 (MCINTOSH *et. al*, 2000). A sigla SMED denota não apenas um conceito, mas também uma abordagem de tempo que preconiza a redução do tempo de troca de moldes para menos de 10 minutos (SUGAI, MCINTOSH e NOVASKI, 2007).

No primeiro encontro, na fábrica de Mazda, Shingo classificou dois tipos de setups, sendo eles interno e externo. O primeiro, refere-se ao conjunto de trocas que devem ser realizadas com a máquina parada, enquanto o segundo é caracterizado pelas trocas que podem ser efetuadas com a máquina em funcionamento (SHINGO, 1985). No segundo momento, já na fábrica da Mitsubishi no ano de 1957, Shingo propôs uma máquina extra na linha de plainas, com o intuito de que as trocas fossem

feitas separadamente, reduzindo o tempo que uma máquina ficaria sem funcionar, cujo resultado foi de aumento na produtividade de 40% (SHINGO, 1985).

No último trabalho, realizado na fábrica da Toyota em 1969, com a ajuda de Ohno, foi reduzido o tempo de troca de quatro horas para apenas 3 minutos, convertendo *setup* interno em externo, permitindo que toda e qualquer troca necessária pudesse ser realizada com a máquina em funcionamento (SHINGO, 1985). A ferramenta consiste em quatro estágios, apresentados abaixo na Figura 12.



Fonte: Adaptado de Shingo (1985).

Cada estágio possui um conceito correspondente, localizado abaixo de seu nome, como é possível observar na Figura 12. No estágio preliminar, é fundamental compreender as diferenças entre setups internos e externos, realizando um estudo detalhado das condições da planta para uma implementação eficaz do SMED (SHINGO, 1985). O estágio 1 concentra-se na identificação de setups internos e externos, preparando o terreno para o estágio 2, onde ocorre a conversão máxima de setups internos em externos. Essa conversão pode resultar em uma redução significativa, de 30% a 50%, no tempo ocioso das máquinas durante as trocas (SHINGO, 1985).

Sugai, McIntosh e Novaski (2007), ponderam que a tradução do último estágio para “racionalizando todos os aspectos da operação de *setup*” não seja a mais adequada no contexto para representar o SMED como um meio de melhoria contínua,

pois pode induzir este estágio como uma fixação de métodos ou procedimentos. É sugerido por esses mesmos autores adotar a definição dada pelo próprio Shingo (1988) em outro livro no qual traduz este estágio como “Melhoria sistemática de cada operação básica do *setup* interno e externo”.

2.4 *Lean* e Laboratórios de Ensino

Embora o conceito de *Lean Laboratory* (LL) tenha sido inicialmente aplicado em laboratórios da área da saúde (HERASUTA, 2007), sua abordagem vem sendo expandida para laboratórios voltados à pesquisa e ensino. Marcelino (2022) destaca que, apesar das aplicações iniciais na saúde, o conceito também possui relevância no contexto de ensino, com estudos demonstrando o uso de ferramentas *Lean* para simular processos de montagem de peças físicas, visando a eficiência na formação dos alunos. As necessidades percebidas nesse contexto estão presentes na Tabela 4.

Tabela 4 - Princípios *Lean* no contexto laboratorial de ensino e pesquisa

1 Especificar Valor
Identificar aspectos do ambiente de trabalho que são muito importantes e que vão ao encontro das necessidades dos usuários (alunos e professores). Num laboratório, o valor pode referir-se fundamentalmente ao tempo (por exemplo, tempo para preparar uma atividade laboratorial).
2 Fluxo de Valor
Identificar todas as atividades que acrescentam valor e a respetiva sequência e minimizar as atividades que não acrescentam valor (por exemplo, procura de materiais necessários à atividade laboratorial).
3 Fluxo Contínuo
Contribuir para o movimento interrupto de um serviço ao longo do sistema até o utilizador, através, por exemplo, da iniciação de testes ou atividades o mais cedo possível, o que reduz o tempo despendido numa atividade e permite ganhar tempo para a execução de outra atividade educativa.
4 Produção Puxada
Providenciar produtos ou serviços quando o utilizador precisa (por exemplo, ajustar a aquisição de itens de acordo com a previsão do seu consumo)
5 Buscar a perfeição
Repetir os processos anteriores tantas vezes quanto possível para melhorar constantemente as condições de trabalho.

Fonte: Adaptado de Marcelino (2022).

Existem dois principais desperdícios encontrados em laboratórios de ensino e pesquisa, sendo eles o tempo de espera e estoque (DOUGLAS, ANTONY E DOUGLAS, 2015). O primeiro diz respeito ao tempo de espera para o início de uma atividade, seja no preparo de materiais ou equipamentos a ser movimentados (MARCELINO, 2022). O estoque, por sua vez, está relacionado ao excesso de materiais estocados, bem como grandes espaços destinados ao armazenamento desses materiais (KANG e MANYONGE, 2014).

A Tabela 5 foi elaborada com base no estudo de Marcelino (2022), que analisou a aplicação do *Lean* em laboratórios de ensino e pesquisa. Para ampliar a análise, foram incorporados dois novos artigos, sendo um deles o do próprio Marcelino (2022), que desenvolveu o estudo em um laboratório de ensino na área de robótica, assim como o trabalho de Muiambo, João e Navas (2022) que desenvolveram seus estudos em um laboratório de ensino de química.

Tabela 5 - Casos práticos de aplicação o *Lean* em laboratórios de ensino e pesquisa.

Autores	Local de estudo	Desperdícios	Ferramentas ou práticas <i>Lean</i>	Resultados
Ibrahim et al., 2022	Laboratório Hospitalar Universitário	- Tempo de espera; - Excesso de produção; - Defeitos.	- MFV; - Diagrama de espaguete; - Análise de causas de desperdícios; - Distinção de atividades que NAV	- Melhoria nos processos; - Redução de atrasos na entrega de exames de 19% para 1%.
Siegel, Kramer e Deranek, 2019	Fase pré-clínica de educação odontológica	- Excesso de produção - Tempo de espera; - Movimento; - Transporte.	- MFV; - Identificação e eliminação de desperdícios.	- Aumento de 6,8% do tempo de prática disponível - Diminuição de 30% no tempo de preparação.
Viera, Sardouein asab and Lee, 2019	Laboratório de Avaliação de Energia Inteligente e Segurança	- Tempo de Espera; - Defeitos.	- 5S; - Pareto; - MFV; - Trabalho padronizado.	- Redução de 18% do tempo total de avaliação de energia.
Yuksel, 2018	Laboratório Hospitalar Universitário	- Defeitos - Movimento - Transporte	- Distinção de atividades que NAV; - Identificação da causa de desperdícios.	- Redução no tempo de espera; - Aumento da eficiência dos processos.
Jiménez et al., 2015	Laboratório de Engenharia Universitário	- Tempo de Espera; - Movimento; - Estoque.	- 5S; - <i>Kaizen</i> ; - TPM.	- Redução de custos - Melhoria no ambiente de trabalho - Redução no tempo de preparo.
Sremcev et al., 2018	Laboratório de Simulação para Ensino Superior	- Tempo de Espera (preparação das aulas)	- 5S.	- Melhoria no espaço físico e redução de 20% no tempo de ensino.
Marcelino, 2022*	Laboratório de Automação e Robótica	- Tempo de Espera; - Movimentos.	- 5S; - Gestão Visual; - SMED; - Modelo de Apoio à Decisão.	- Redução de 84% no tempo total de realização do procedimento;
Muiambo, João e Navas, 2022*	Laboratório de Treinamento de Analistas Químicos	- Tempo de espera; - Transporte; - Defeitos.	- MFV; - Diagrama de Pareto; - Avaliação de desperdícios; - Diagnóstico de maturidade <i>Lean</i> .	- Identificação dos principais desperdícios; - Proposta de roadmap para melhorias <i>Lean</i> .

Fonte: Adaptado de Marcelino (2022), com complementações dos autores (*).

A partir da análise da Tabela 5, é possível identificar padrões comuns nos estudos revisados. Os principais desperdícios encontrados nos laboratórios de ensino analisados foram o tempo de espera e os movimentos, seguidos por defeitos, excesso de produção e transporte. Em relação às ferramentas mais utilizadas, destacam-se o 5S e o MFV, sendo frequentemente aplicadas para otimizar fluxos e reduzir desperdícios operacionais.

Além disso, a maioria dos estudos aponta melhorias expressivas na organização dos laboratórios, refletindo na redução do tempo de espera, maior eficiência dos processos e melhor aproveitamento dos espaços. Esses resultados observados reforçam a necessidade de aprofundar investigações sobre a implementação do *Lean* em laboratórios acadêmicos, especialmente no que diz respeito à adaptação das ferramentas *Lean* ao contexto educacional e à avaliação dos impactos dessas mudanças no aprendizado dos alunos.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Esta seção tem como objetivo explicitar os motivos da escolha do método de pesquisa e detalhar os procedimentos adotados para alcançar os objetivos gerais e específicos deste trabalho. Devido às características investigativas do problema de pesquisa encontrado no objeto de estudo, utilizou-se a abordagem qualitativa como base. A pesquisa qualitativa enfatiza a perspectiva do indivíduo, sendo esta relevante para o desenvolvimento da pesquisa (MARTINS, 2018). As interpretações subjetivas dos participantes fornecem parâmetros para que o pesquisador entenda a complexidade do problema, interessando-se não apenas pelos resultados, mas também pelo processo de obtenção desses resultados (MARTINS, 2018).

Como já mencionado, o objetivo deste estudo é identificar desperdícios no processo de ensino-aprendizagem em um laboratório de uma universidade pública localizada no Centro-Oeste, apoiando-se no *Lean* e suas ferramentas para propor melhorias no objeto estudado. Devido aos diferentes usos do objeto de estudo, seja no ensino, na pesquisa ou na extensão, há diversas interpretações dos usuários sobre a organização do espaço. Portanto, Martins (2018) sugere que sejam coletadas informações de múltiplas fontes de evidências para evitar que especulações ou opiniões alterem o contexto real do problema.

Para alcançar este objetivo, a abordagem qualitativa exige que o pesquisador adote uma postura investigativa, apoiando-se na literatura para compreender os

acontecimentos e coletando evidências de diversas fontes, seja por meio de entrevistas semiestruturadas ou não estruturadas, pesquisa documental, ou observação participante e não participante (MARTINS, 2018).

Os métodos de pesquisa mais apropriados para a abordagem qualitativa são o estudo de caso e a pesquisa-ação (MARTINS, 2018). A principal diferença entre esses dois métodos está no grau de envolvimento do pesquisador com os indivíduos e a organização estudada, bem como na realização ou não de mudanças no ambiente resultantes da pesquisa (MARTINS, 2018).

No estudo de caso, o pesquisador tem pouco envolvimento com a organização e seus indivíduos, tendo sua interação por meio de entrevistas, observação e acesso a documentação (MARTINS, 2018). A pesquisa-ação, por sua vez, há maior envolvimento do pesquisador com o meio, além de requerer modificação intencional da realidade estudada como parte do processo de pesquisa (MARTINS, 2018; MELLO e TURRIONI, 2018).

Para este trabalho, que possui como objetivo modificar a situação atual do objeto estudado, bem como a participação dos servidores envolvidos, adotou-se a pesquisa-ação como método de pesquisa. Ainda, a escolha do método foi facilitada pelo fato de o pesquisador ser servidor do departamento onde o estudo foi realizado, tendo acesso tanto aos usuários do espaço, sejam eles servidores, pesquisadores, alunos ou usuários externos, quanto aos documentos que regulamentam o espaço.

Além disso, o pesquisador, juntamente com outro servidor, atua diretamente na rotina do objeto estudado, sendo responsável pela gestão do espaço e sua utilização, incluindo agendamentos prévios, pedidos de materiais no almoxarifado, agendamento de limpeza e organização do local.

De acordo com Martins (2018), este tipo de método exige que o pesquisador seja integrante da equipe que realizará uma mudança organizacional, com seu papel bem definido. Por se tratar de um trabalho realizado pontualmente em um dos laboratórios de um departamento, além do pesquisador, os participantes desta pesquisa-ação são outros três integrantes, sendo eles: um servidor que atua diretamente no laboratório, a supervisora responsável pelo espaço e ainda o chefe de departamento. Segundo o regimento interno do departamento, estes são os três responsáveis por quaisquer assuntos que envolvam o laboratório: método de utilização, proposta de melhorias do ambiente seja por meio da aquisição de

equipamentos, ferramentas, ou ainda a mudança de *Layout* ou processos, seus papéis na pesquisa-ação estão resumidos abaixo, no Quadro 1.

Quadro 1 - Integrantes da pesquisa-ação.

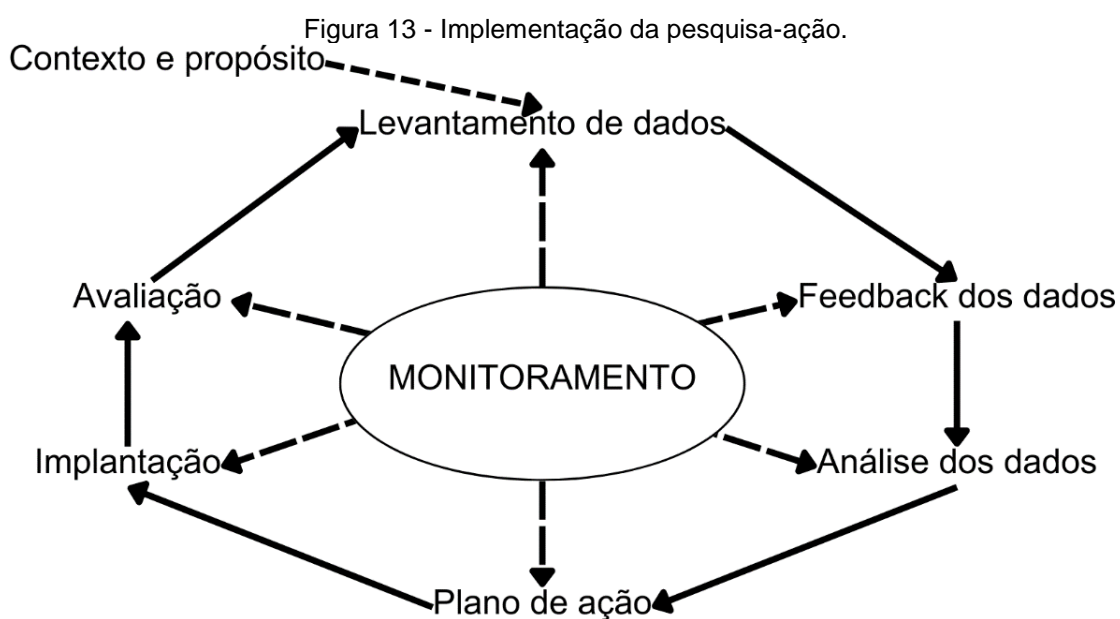
Cargo	Papel
Chefe de departamento	<p>Como chefe de departamento, é responsável por mediar discussões com professores, pesquisadores e usuários, avaliando a viabilidade de implantação de planos de ação voltados para melhorias propostas no laboratório. Sua atuação é fundamental para alinhar as expectativas e necessidades de todos os envolvidos, promovendo um ambiente colaborativo e eficiente. Além de suas responsabilidades administrativas, ele também é um pesquisador ativo e usuário frequente do laboratório, o que lhe permite contribuir com uma visão holística, integrando as perspectivas de gerenciamento e pesquisa. Sua experiência prática como pesquisador, cuja eficácia dos experimentos depende do bom funcionamento do laboratório, fortalece seu compromisso com a excelência operacional. Ao coordenar a implementação de melhorias, garante que o espaço atenda às demandas acadêmicas e de pesquisa, promovendo avanços significativos tanto na infraestrutura quanto na qualidade das atividades realizadas.</p>
Supervisora do laboratório	<p>Como supervisora do laboratório, é responsável por viabilizar a aquisição de novos equipamentos e melhorias estruturais que visam otimizar o espaço. Contribui ativamente mediando as necessidades operacionais dos servidores e os anseios dos usuários, garantindo que as demandas sejam atendidas dentro das possibilidades do departamento. Coordena a implementação de melhorias que não apenas aprimoram a funcionalidade do laboratório, mas também elevam a qualidade das atividades de ensino, pesquisa e extensão realizadas no local. Seu papel é fundamental para assegurar que o ambiente do laboratório esteja continuamente atualizado e alinhado às necessidades acadêmicas e operacionais, promovendo um espaço de trabalho produtivo e eficiente.</p>
Técnico do laboratório	<p>Como técnico da área, atua diariamente no laboratório mediante agendamento prévio, conciliando a utilização do espaço para aulas, atividades extraclasses, pesquisa e extensão. Possui profundo conhecimento dos processos de agendamento e pedido de material no almoxarifado, bem como dos procedimentos exigidos pelas normas que regulamentam os ensaios e o funcionamento do laboratório. Contribui com uma visão técnica e prática, garantindo a otimização do uso do laboratório e atendendo às necessidades específicas de cada atividade. Sua atuação não apenas facilita a logística e a organização do espaço, mas também assegura a conformidade com os padrões regulamentares, impactando diretamente a qualidade e a eficácia das pesquisas realizadas. Através de sua expertise, promove um ambiente propício à inovação e à resolução de problemas, elementos essenciais para o sucesso da pesquisa-ação.</p>

Fonte: produção dos autores (2025).

Segundo Mello e Turrioni (2018), idealmente, é esperado que a pesquisa-ação ocorra em tempo real, realizando a pesquisa e a ação simultaneamente de maneira cíclica, embora seja aceitável uma análise retrospectiva. Coughlan e Coughlan (2002) sugerem a implementação dos ciclos de pesquisa-ação em seis etapas: levantamento

de dados, feedback dos dados, análise dos dados, plano de ação, implantação e avaliação dos resultados.

Essas etapas são precedidas pela análise de contexto e propósito e acompanhadas continuamente pelo monitoramento, que percorre todas as fases. A análise de contexto e propósito define os objetivos e o ambiente da pesquisa, enquanto o monitoramento garante que cada etapa seja realizada conforme planejado, permitindo ajustes quando necessário. A ideia de como os itens se relacionam estão presentes na Figura 13.



Fonte: adaptado de Coughlan e Coughlan (2002).

A pesquisa-ação foi estruturada em quatro ciclos interdependentes, organizados progressivamente para permitir um aprofundamento contínuo na análise e na implementação das melhorias. O primeiro ciclo, voltado à compreensão do contexto da pesquisa, envolveu a coleta de dados gerais sobre o espaço e seu funcionamento, com base em múltiplas fontes: documentos normativos, entrevistas não estruturadas com alunos, professores, pesquisadores e servidores, além de visitas técnicas e observações da utilização dos espaços laboratoriais. Essas informações fundamentaram os ciclos subsequentes, possibilitando a identificação de gargalos e oportunidades de otimização.

Com base no levantamento inicial, o segundo ciclo foi direcionado para a validação de melhorias em uma primeira família de experimentos, de modo isolado. Esse estudo piloto testou ferramentas *Lean*, incluindo a reorganização do espaço e a implementação do 5S. Além disso, foi aplicado o Mapeamento do Fluxo de Valor

(MFV) para identificar desperdícios específicos e ajustar as intervenções antes da ampliação do escopo.

O terceiro ciclo expandiu o escopo da pesquisa para todas as quatro famílias de experimentos, permitindo uma visão mais abrangente do funcionamento do laboratório. Nessa fase, o MFV foi aplicado em todas as famílias, possibilitando uma compreensão mais aprofundada dos fluxos operacionais e das oportunidades de integração entre os diferentes tipos de experimentos. A partir dessas análises, foram identificadas soluções comuns e oportunidades de otimização mais amplas.

Por fim, o quarto ciclo será focado na proposição de um *Layout* otimizado, considerando todas as famílias de experimentos e as melhorias identificadas nos ciclos anteriores. Esse ciclo ainda não foi executado e deverá ser desenvolvido futuramente, visando consolidar um modelo eficiente de gestão do espaço laboratorial. A proposta de *Layout* será estruturada com base nos resultados obtidos, permitindo sua implementação em uma fase posterior.

Cada um desses ciclos foi conduzido de forma iterativa, permitindo ajustes e refinamentos progressivos para garantir que as soluções implementadas fossem eficazes e sustentáveis a longo prazo. Abaixo, no Quadro 2, se apresenta um detalhamento dos ciclos e suas atividades.

Quadro 2 - Ciclos da pesquisa-ação.

Ciclo	Objetivo	Atividades Realizadas / Planejadas	Data de início / término	Resultados Parciais / Esperados
1º Ciclo – Diagnóstico do Laboratório	Compreender a dinâmica do espaço e identificar os principais problemas e desperdícios.	<ul style="list-style-type: none"> Levantamento documental sobre normas e regulamentos do laboratório. Entrevistas exploratórias com servidores, alunos e pesquisadores para mapear dificuldades. Observação participante para registrar padrões de uso do espaço. 	Fev./2023 – abr./2023	<ul style="list-style-type: none"> Identificação de problemas como fluxo de trabalho ineficiente, movimentação excessiva, tempo de espera elevado e falta de padronização no uso de equipamentos. Definição das quatro famílias de experimentos e suas necessidades específicas.
2º Ciclo – Estudo Piloto (1ª Família de Experimentos)	Validar a metodologia <i>Lean</i> aplicada ao ambiente laboratorial.	<ul style="list-style-type: none"> Aplicação do 5S e redefinição experimental do <i>Layout</i> para otimizar fluxos. Implementação de medidas para reduzir tempos de setup e reorganizar bancadas. 	Abr./2023 – out./2023	<ul style="list-style-type: none"> Resultados parciais positivos, indicando redução do tempo de espera e melhoria na organização do espaço. Limitação do escopo: estudo aplicado

		<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) para identificação preliminar de desperdícios e gargalos. • Coleta de feedback dos usuários e monitoramento dos impactos iniciais. 		apenas a uma família de experimentos, sem atender à complexidade total do laboratório.
3º Ciclo – Expansão para as 4 Famílias de Experimentos	Abranger todas as famílias de experimentos e consolidar uma visão sistêmica do laboratório.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisão dos resultados do ciclo piloto. • Aplicação do MFV em todas as quatro famílias, considerando suas interações e diferenças operacionais. • Mapeamento detalhado das necessidades e pontos críticos comuns a todas as famílias. 	Feb./2024 – nov./2024	<ul style="list-style-type: none"> • Maior compreensão dos padrões operacionais do laboratório. • Identificação de soluções integradas em vez de melhorias isoladas.
4º Ciclo – Proposição de <i>Layout</i> Otimizado	Desenvolver uma proposta de <i>Layout</i> consolidada para otimizar o uso do laboratório.	<ul style="list-style-type: none"> • Estruturar um <i>Layout</i> unificado, com base nos princípios <i>Lean</i> e nas necessidades de todas as famílias de experimentos. • Propor recomendações para futura implementação e validação. 	Nov./2024 – fev./2025	<ul style="list-style-type: none"> • Proposta final de organização do laboratório, a ser considerada para execução em uma etapa posterior.

Fonte: produção dos autores (2025).

Apesar de a pesquisa-ação ter sido estruturada em quatro ciclos interdependentes, apenas os dois primeiros foram implementados integralmente até o momento da finalização desta dissertação. A não execução dos ciclos 3 e 4 decorre, sobretudo, da greve nas IFES, que interrompeu as atividades por mais de 100 dias, comprometendo o cronograma inicialmente previsto. Além disso, a complexidade de articulação com diferentes usuários do laboratório e as limitações de tempo para validação das intervenções também dificultaram o avanço das etapas posteriores. Ainda assim, os resultados obtidos no ciclo 2, com destaque para a aplicação do 5S e o redesenho parcial do layout, permitiram ganhos concretos em organização e eficiência, configurando um avanço significativo dentro da proposta desta pesquisa.

A partir dos princípios e ferramentas *Lean*, o próximo capítulo apresenta o mapeamento do estado atual do laboratório, destacando os desafios operacionais e as oportunidades de otimização.

4 ESTADO ATUAL E IDENTIFICAÇÃO DE DESPÉRDÍCIOS

Neste capítulo, caracteriza-se o Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), local da pesquisa, com a descrição de seu histórico, estrutura física, funcionamento e quadro de funcionários, fundamentais para contextualizar a aplicação dos princípios e ferramentas *Lean*. Aborda-se também uma análise do *layout* atual, destacando fluxos de trabalho, desperdícios e oportunidades de melhoria. Por fim, estuda-se os experimentos realizados no laboratório com base em critérios operacionais sob a perspectiva do *Lean*.

4.1 Contexto inicial

Surgido no início da década de 1970, juntamente com o curso de Engenharia Civil, o Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) está vinculado ao Departamento de Engenharia Civil (DENC). Inicialmente, o LMCC era o único laboratório do departamento, abrigando as atividades práticas de todas as áreas do curso. Com o aumento da infraestrutura, o departamento passou a contar com outros cinco laboratórios, permitindo que o LMCC fosse destinado exclusivamente à área de Materiais de Construção Civil.

Atualmente, o LMCC exerce um papel interdisciplinar, atendendo cursos como Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Sanitária e Ambiental, e Engenharia de Minas, oferecendo suporte para aulas, práticas, pesquisa e extensão. Regulamentado por um regimento interno, o laboratório organiza seu funcionamento, agendamentos e direitos e deveres dos usuários, abrangendo atividades de graduação, pesquisa e extensão. As informações sobre seu funcionamento e demanda atual estão detalhadas no Quadro 3, que orienta as análises deste trabalho.

Quadro 3 - Funcionamento e demanda atual do LMCC

FUNCIONAMENTO E DEMANDA ATUAL DO LMCC	
Quadro de funcionários fixos	2 servidores técnicos
Horário de funcionamento	07h às 19h00 – de segunda-feira a sexta-feira
Modo de funcionamento	2 turnos de 6h ininterruptos
Modo de utilização	Agendamento prévio com 48h de antecedência (regulamento aprovado pelo colegiado)
Atividades desenvolvidas	Aulas práticas, experimentos extraclasse, pesquisa e extensão
Cursos atendidos (semestre)	6 (variando em níveis de utilização)
Alunos atendidos (semestre)	Cerca de 120 alunos atendidos para aula prática; Cerca de 30 alunos que realizam experimentos extraclasse.
Pesquisas em andamento	3
Extensão em andamento	1

Fonte: produção dos autores (2025).

O LMCC possui infraestrutura voltada à realização de diversos experimentos práticos, fundamentados em normas técnicas rigorosas e métodos padronizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). No entanto, para os fins deste estudo, foram selecionados 15 experimentos que se destacam por sua alta recorrência ao longo dos semestres, pela presença em diferentes cursos da área de engenharia e pela possibilidade de serem executados extraclasse, diretamente pelos alunos, sem necessidade de acompanhamento contínuo de docentes ou técnicos. A escolha considerou a representatividade desses experimentos no cotidiano do laboratório, bem como sua frequência e o uso intensivo dos recursos laboratoriais, o que os torna mais adequados à proposta de análise e melhoria de fluxos. Ensaios que ocorrem com menor regularidade ou que atendem a demandas específicas e sazonais não foram incluídos nesta etapa da pesquisa por apresentarem menor impacto nos fluxos operacionais recorrentes.

A partir da análise documental das normas que regulamentam os experimentos realizados no LMCC, complementada por observações in loco e entrevistas com usuários, foi possível identificar um conjunto de seis etapas recorrentes nos diferentes ensaios laboratoriais. Essas etapas representam um fluxo básico que, apesar das particularidades de cada experimento, se repete de forma consistente na rotina do laboratório. A Tabela 6 apresenta essas etapas, juntamente com os equipamentos associados a cada uma delas.

Tabela 6 - Etapas comuns aos ensaios realizados no LMCC.

Etapa	Descrição	Equipamentos Utilizados
Preparo	Organização e separação inicial dos materiais e amostras	Variáveis conforme o ensaio
Pré-secagem	Secagem preliminar de amostras	Estufas
Pré-pesagem	Pesagem das amostras antes da execução técnica	Balanças de precisão em bancadas específicas
Execução técnica	Procedimentos principais do experimento, conforme norma técnica	Equipamentos variam de acordo com o ensaio
Pós-secagem	Secagem final após a execução técnica	Estufas
Pós-pesagem	Pesagem final para análise de resultados	Balanças de precisão em bancadas específicas

Fonte: produção dos autores (2025).

É possível observar que determinados equipamentos são específicos de algumas etapas, como é o caso das estufas e das balanças de precisão, o que reforça a importância desses recursos na estruturação dos ensaios. Essa organização servirá de base para compreender os deslocamentos realizados pelos usuários ao longo dos

processos experimentais, além de evidenciar os pontos críticos relacionados ao uso dos equipamentos.

Essa categorização será utilizada como referência para a organização e análise das famílias de experimentos ao longo do trabalho, permitindo uma visão comparativa estruturada entre os diferentes fluxos operacionais. A Tabela 7, a seguir, apresenta os experimentos realizados no LMCC, agrupados por famílias e associados às respectivas etapas de execução, destacando os padrões comuns observados em cada tipo de ensaio

Tabela 7 – Definição das famílias dos experimentos realizados no LMCC.

Fam.	Ensaio	Preparo	Pré-secagem	Pré-pesagem	Execução técnica	Pós-secagem	Pós-pesagem	
1	1	Finura do Cimento		X	X		X	
	2	Consistência normal		X	X			
	3	Tempo de Pega		X	X			
2	4	Massa unit. Graúdo	X	X	X	X	X	
	5	Massa unit. Miúdo	X	X	X	X	X	
	6	Granulometria Graúdo	X	X	X	X	X	
	7	Granulometria Miúdo	X	X	X	X	X	
3	8	Massa espec. Graúdo	X	X	X	X	X	
	9	Massa espec. Miúdo	X	X	X	X	X	
	10	Mat. Pulv. Graúdo	X	X	X	X	X	
	11	Mat. Pulv. Miúdo	X	X	X	X	X	
	12	Abrasão Los Angeles	X	X	X	X	X	
	13	Inchamento da Areia	X	X	X	X	X	
4	14	Dosagem concreto	Possuem etapas específicas					
	15	Resistência compressão						

Fonte: produção dos autores (2025).

As famílias de experimentos, conforme descritas na Tabela 7, compartilham as mesmas etapas operacionais, com exceção da família 4. Esta foi classificada como especial devido à necessidade de realização de experimentos preliminares e à inclusão de etapas adicionais específicas, que não se aplicam às demais famílias. Tal

diferenciação destaca a complexidade de sua execução e justifica sua categorização distinta no LMCC.

Atualmente, o LMCC possui uma demanda fixa para fins de ensino e variável para pesquisa e extensão, devido à natureza de cada atividade. No ensino, a demanda se divide em dois períodos distintos: o aprendizado teórico, realizado em sala de aula e no laboratório por meio de aulas demonstrativas, e o aprendizado extraclasse, que será o foco das análises deste trabalho, cujo objetivo é proporcionar aos alunos, organizados em grupos de quatro integrantes, a realização autônoma dos ensaios, aproximando-os da prática profissional.

O curso de Engenharia Civil, principal usuário do LMCC, está em processo de transição de regime anual para semestral, além da redução do número de integrantes por grupo pela metade. Essas mudanças aumentarão significativamente a demanda pelos experimentos, pois o mesmo número de ensaios precisará ser realizado em um intervalo de tempo menor.

Para embasar a discussão sobre os impactos dessa transição, a Tabela 8 detalha o tempo médio demandado por grupo para a execução dos 15 ensaios extracurriculares obrigatórios, conforme registros históricos do laboratório. Os dados foram coletados ao longo de três anos (2020–2023) e ajustados às normativas técnicas vigentes que definem o número mínimo de amostras por ensaio. O tempo total de 3.480 minutos (58 horas) por grupo reflete a soma das etapas de preparação, execução e análise, incluindo repetições exigidas para garantia da precisão dos resultados.

Abaixo, na Tabela 8, é apresentado detalhadamente do tempo médio gasto em cada experimento, considerando o número de mínimo de amostras e o tempo total de horas demandadas, bem como o percentual que cada ensaio representa do tempo total.

Tabela 8 - Experimentos realizados no LMCC.

Ensaio		Tempo (min)	Amostras	Total (min)	%	
1	1	Finura do Cimento	60	1	60	1,72%
	2	Consistência normal	180	1	180	5,17%
	3	Tempo de Pega	300	1	300	8,62%
2	4	Massa unit. Graúdo	60	1	60	1,72%
	5	Massa unit. Miúdo	60	1	60	1,72%
	6	Granulometria Graúdo	120	2	240	6,90%
	7	Granulometria Miúdo	120	2	240	6,90%

3	8	Massa espec. Graúdo	90	2	180	5,17%
	9	Massa espec. Miúdo	210	2	420	12,07%
	10	Mat. Pulv. Graúdo	60	2	120	3,45%
	11	Mat. Pulv. Miúdo	60	2	120	3,45%
	12	Abrasão Los Angeles	120	2	240	6,90%
	13	Inchamento da Areia	180	1	180	5,17%
4	14	Dosagem de concreto	270	3	810	23,28%
	15	Resistência à compressão	90	3	270	7,76%
FINAL						3480

Fonte: Adaptado de Santos e Campanini (2025).

Apesar da estrutura do LMCC, sua disponibilidade é limitada por fatores como sazonalidade da procura, férias dos servidores, manutenção preventiva dos equipamentos e períodos destinados à limpeza. Além disso, é importante considerar que os trabalhos são entregues antes do fim do semestre e que não são iniciados de imediato, pois há a necessidade de uma aula demonstrativa dos ensaios para que, posteriormente, os alunos realizem as atividades extraclasse.

Esses fatores resultam em uma disponibilidade efetiva de apenas 60% do tempo. Portanto, considerando que o semestre dispõe de, em média, 16 semanas letivas e seu atual horário de funcionamento de 12 horas diárias, chegou-se aos resultados apresentados abaixo, na Tabela 9.

Tabela 9 - Disponibilidade, funcionamento e demanda o LMCC.

Item	Detalhes
Total de semanas no semestre	16 semanas
Disponibilidade efetiva	60% do semestre (10 semanas – arredondado)
Horas de funcionamento semanal	60 horas (Resultando em 57h líquidas, devido a limpeza)
Horas totais disponíveis	570 horas (10 semanas x 57h/semana)
Demanda total por ensaios	870 horas (58h x 15 grupos)
Déficit de horas	300 horas (870h – 570h)

Fonte: produção dos autores (2025).

A partir da Tabela 9, fica evidente que há um déficit de 300 horas entre as horas demandadas e o tempo disponível. Esse descompasso tem gerado a necessidade de adaptações nos procedimentos dos grupos, que, para cumprir com o tempo disponível, reduzem o número de amostras analisadas ou, em casos extremos, deixam de realizar determinados ensaios.

Para entender o motivo responsável para isso, será realizado um estudo do *Layout* do espaço, análise do estado de seus componentes, assim como análise das famílias de experimentos para identificar possíveis desperdícios nos processos atuais,

auxiliados a partir de ferramentas *Lean* como o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), entre outras.

Através dessa análise, serão localizadas as principais fontes de ineficiência, como atividades redundantes, tempo de espera e movimentação desnecessária de materiais e pessoas. Além disso, espera-se que a reorganização do *Layout* permita que mais grupos trabalhem simultaneamente, otimizando o uso do espaço. Com a delimitação de áreas específicas para cada tipo de ensaio e a criação de um fluxo contínuo de trabalho, será possível minimizar deslocamentos desnecessários e reduzir o tempo ocioso dos alunos.

Para calcular os novos tempos, com o intuito de eliminar o déficit de 300 horas apresentados, considerou-se a porcentagem atual que cada ensaio possui na utilização do laboratório, de modo a entender qual seria o *takt-time* necessário para que seja possível atender a demanda dentro do período estabelecido. A Tabela 10 apresenta esses novos tempos.

Tabela 10 – Novos tempos necessário para atender a demanda.

Ensaio		Tempo (min)	Amostras	Total (min)	%	
1	1	Finura do Cimento	39	1	39	1,72%
	2	Consistência normal	118	1	118	5,17%
	3	Tempo de Pega	197	1	197	8,62%
2	4	Massa unit. Graúdo	39	1	39	1,72%
	5	Massa unit. Miúdo	39	1	39	1,72%
	6	Granulometria Graúdo	79	2	157	6,90%
	7	Granulometria Miúdo	79	2	157	6,90%
3	8	Massa espec. Graúdo	59	2	118	5,17%
	9	Massa espec. Miúdo	138	2	275	12,07%
	10	Mat. Pulv. Graúdo	39	2	79	3,45%
	11	Mat. Pulv. Miúdo	39	2	79	3,45%
	12	Abrásão Los Angeles	79	2	157	6,90%
	13	Inchamento da Areia	118	1	118	5,17%
4	14	Dosagem de concreto	177	3	531	23,28%
	15	Resistência à compressão	59	3	177	7,76%
				FINAL	2280	

Fonte: produção dos autores (2025).

Estudos anteriores reforçam a importância da reorganização do espaço para melhorar a eficiência dos laboratórios de ensino. Siegel, Kramer e Deranek (2019) demonstraram que a eliminação de deslocamentos desnecessários reduziu 30% do tempo de preparação de experimentos em um laboratório universitário. Além disso,

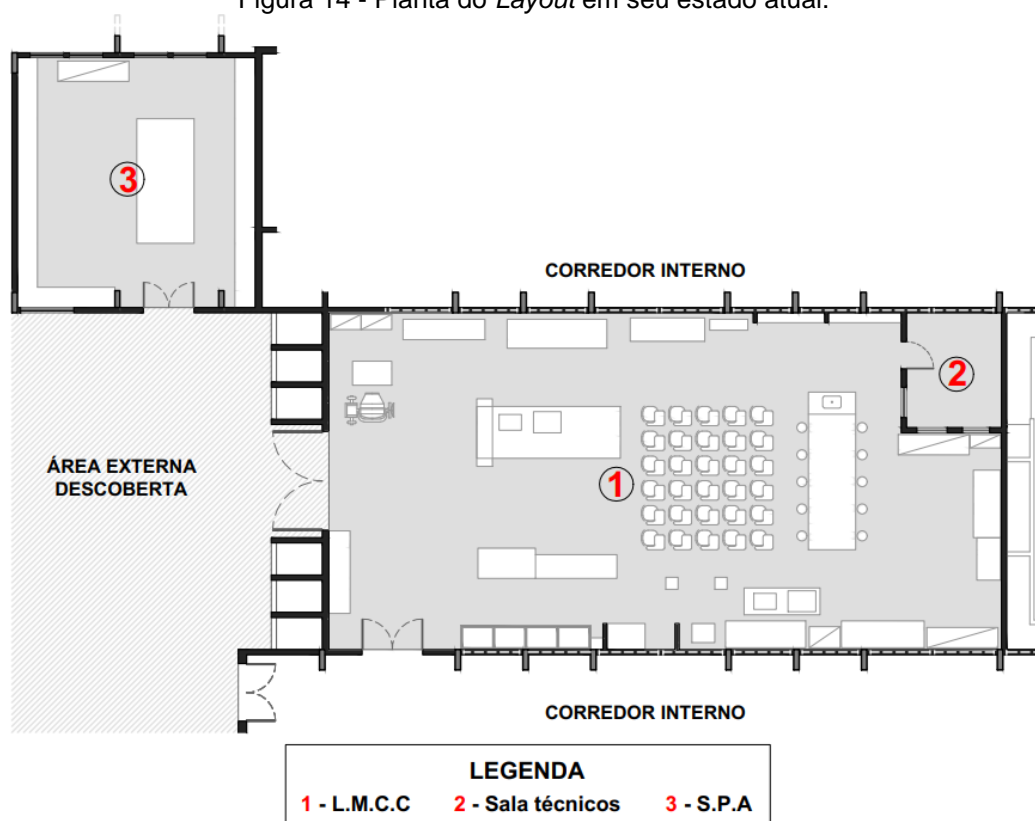
Jiménez et al. (2015) relataram que a aplicação do 5S e MFV em laboratórios de engenharia universitários levou a uma melhoria significativa na eficiência operacional.

Esses itens sugerem que a adoção dessas técnicas no LMCC pode trazer benefícios semelhantes. Essas intervenções, fundamentadas nos princípios *Lean*, visam garantir que as horas disponíveis sejam suficientes para atender à demanda de ensaios, melhorando a eficiência operacional do laboratório e eliminando o déficit de horas.

4.1.1 Análise de *Layout* e seus componentes

O LMCC ocupa uma área de 200 m², com dimensões de 10x20m, e dispõe de uma sala de técnicos, destinada aos profissionais responsáveis por oferecer suporte ao funcionamento do laboratório. Além disso, conta com uma Sala de Preparação de Amostras (SPA), projetada para o armazenamento e manuseio de materiais insalubres, cuja separação do restante do espaço do laboratório é imprescindível para mitigar os riscos à saúde decorrentes do contato prolongado com esses materiais. Essa medida visa proteger alunos, professores e servidores. A planta baixa que ilustra a disposição atual do LMCC é apresentada a seguir, na Figura 14.

Figura 14 - Planta do *Layout* em seu estado atual.

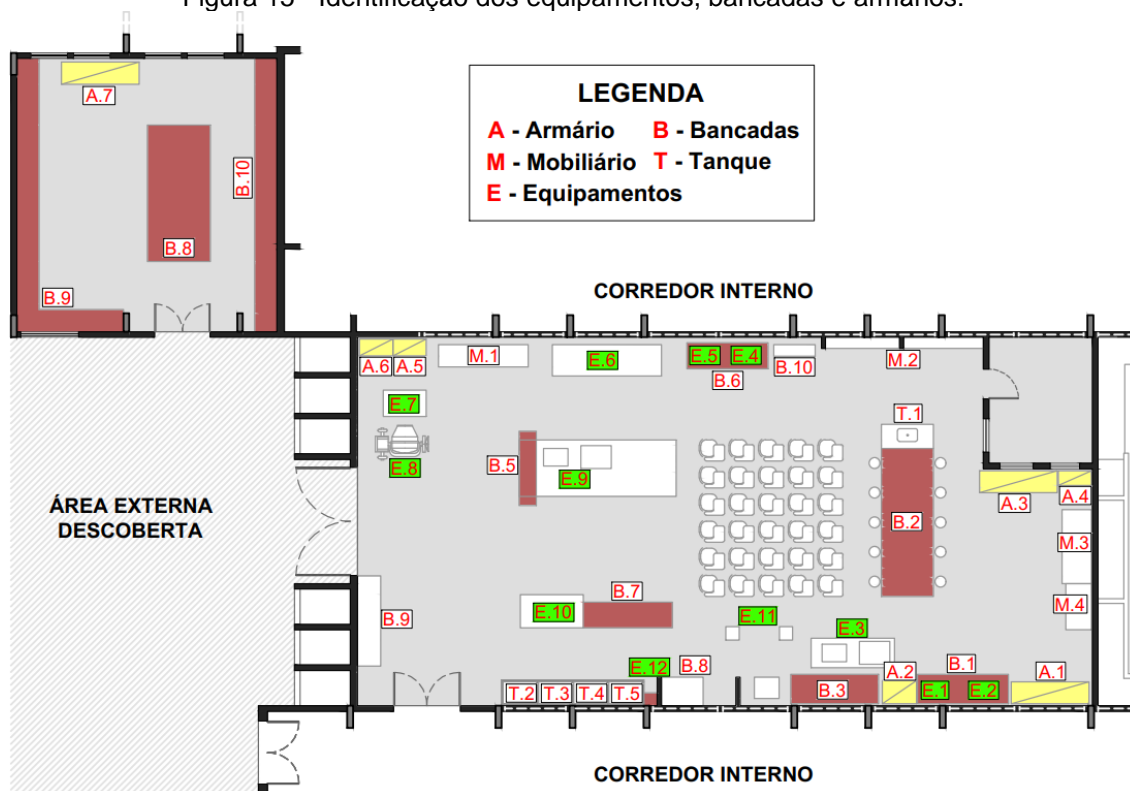


Fonte: produção dos autores (2025).

Na Figura 14, observa-se que a ligação entre o LMCC e a SPA é feita por meio de uma área externa descoberta, o que pode inviabilizar seu uso em dias chuvosos, visto que materiais como cimento reagem com a água, comprometendo alguns experimentos. Além disso, após visita *in loco* foi possível notar a presença de diversas máquinas e ferramentas de tamanhos variados, que devem ser manuseadas exclusivamente por técnicos e outras que também são manuseadas pelos alunos, mediante treinamento prévio. O espaço também conta com bancadas fixas (em concreto e cerâmica) e móveis (em madeira).

Foi realizado um levantamento de todos os equipamentos e bancadas existentes, tanto no LMCC quanto na SPA, com o objetivo de obter informações sobre suas características e usos. Abaixo, na Figura 15, estão identificados esses equipamentos e ferramentas, os quais foram atribuídos alguns códigos para facilitar a identificação e compreensão de seus locais e funções no espaço. Essa representação visual, combinada com a planta baixa, permite uma análise mais detalhada do *Layout* atual e oferece uma visão clara de como os itens estão distribuídos, o que será crucial para identificar pontos de interesse em comum aos experimentos, assim como áreas que necessitam de melhorias.

Figura 15 - Identificação dos equipamentos, bancadas e armários.



Fonte: produção dos autores (2025).

Abaixo, no Quadro 4, foram compiladas as informações mais relevantes sobre esses equipamentos. Esses dados serão fundamentais para identificar os recursos necessários à otimização do espaço e melhorar a distribuição das atividades. Além disso, servirão como base para as análises de desperdícios, considerando o fluxo de trabalho atual e as oportunidades de melhoria através dos princípios *Lean*.

Quadro 4 - Identificação dos equipamentos, bancadas e armários.

Cód.	Descrição	Taxa de Uso	Posição	Impacto no Fluxo de Trabalho	Ações Sugeridas
Armários e Estocagem					
A.1	Armário de armazenamento de ferramentas	Alta	Adequado	Essencial para organização e acesso rápido às ferramentas	Melhorar organização e etiquetas visuais
A.2	Armário para armazenamento de peneiras	Moderada	Dificuldade de acesso	Necessário para experimentos, mas mal localizado	Reposicionar para melhorar acesso
A.3	Armário de estoque de materiais de consumo	Baixa	Adequado	Suporte ao estoque, porém pouco utilizado	Avaliar real necessidade no laboratório
A.4	Armário para itens de escritório	Baixa	Adequado	Ocupa espaço, mas não contribui diretamente para os ensaios	Transferir para área administrativa
A.5	Armário de produtos químicos	Moderada	Adequado	Mantém produtos concentrados e organizados	Avaliar melhorias de segurança e ventilação
A.6	Armário de materiais de consumo e ferramentas	Baixa	Adequado	Organização para ensaios, mas pouco utilizado	Reavaliar disposição dos itens
A.7	Armário para sacos plásticos	Baixa	Adequado	Suporte à sala de preparação de amostras	Manter apenas se essencial
Bancadas e Apoios					
B.1	Bancada de apoio às balanças (madeira)	Alta	Adequado	Fundamental para medições	Manter organização de equipamentos
B.2	Bancada de trabalho (cerâmica)	Alta	Adequado	Uso frequente em aulas e experimentos	Sem necessidade de mudanças
B.3	Bancada de apoio de corpos de prova (MDF)	Moderada	Difícil acesso	Essencial para armazenamento, mas mal posicionada	Melhorar posicionamento para acessibilidade
B.4	Bancada para água destilada (concreto)	Baixa	Adequado	Deve estar próxima ao destilador	Manter localização

B.5	Bancada de apoio (madeira)	Moderada	Adequado	Reduz deslocamento de ferramentas pesadas	Avaliar melhorias na ergonomia
B.6	Bancada para equipamentos pesados (aço e madeira)	Alta	Não ideal	Necessita ajuste para melhorar acesso aos equipamentos	Reorganizar conforme fluxo de uso
B.7	Bancada para secagem (MDF)	Alta	Adequado	Organização de ferramentas pós-uso	Sinalizar locais de armazenamento
B.8	Bancada para preparação de amostras (cerâmica)	Moderada	Adequado	Suporte essencial para ensaios	Manter organização do espaço
B.9	Bancada para secagem de materiais (cerâmica)	Alta	Adequado	Crucial para experimentos de secagem	Sem necessidade de mudanças
B.10	Bancada para secagem de materiais (mármore)	Moderada	Adequado	Suporte adicional para secagem	Avaliar necessidade de manter ambas bancadas de secagem
Equipamentos					
E.1	Balança de alta capacidade	Alta	Adequado	Fundamental para experimentos acima de 5kg	Manutenção preventiva periódica
E.2	Balança de precisão	Alta	Adequado	Essencial para medições	Garantir calibração periódica
E.3	Máquina universal de ensaios	Não funciona	Necessita ajustes	Essencial, mas fora de uso devido a vazamentos	Planejar reparo ou substituição
E.4	Misturador mecânico (argamassadeira)	Moderada	Adequado	Importante para ensaios específicos	Sem necessidade de mudanças
E.5	Estufa para secagem de materiais	Alta	Adequado	Uso frequente, exige segurança no manuseio	Implementar uso obrigatório de EPI
E.6	Pêndulo medidor de impactos	Não utilizada	Necessita ajustes	Fora de norma e segurança	Avaliar necessidade de descarte ou adequação
E.7	Moinho de esferas (Los Angeles)	Moderada	Não ideal	Gera muito ruído, impactando o uso do laboratório	Avaliar isolamento acústico
E.8	Betoneira	Moderada	Adequado	Uso essencial, requer treinamento	Implementar checklists de uso seguro

E.9	Máquina de ensaio a compressão	Moderada	Adequado	Indispensável para testes estruturais	Manutenção programada para evitar falhas
E.10	Máquina de fadiga	Não funciona	Necessita ajustes	Em desuso por falta de técnico capacitado	Avaliar viabilidade de reparo
E.11	Mesa de consistência da argamassa	Baixa	Necessita ajustes	Mal posicionada, atrapalha o fluxo de trabalho	Reposicionar para melhor circulação
E.12	Destilador de água	Baixa	Adequado	Importante para diversos ensaios.	Avaliar reposicionamento conforme necessidade.
Tanques					
T.1	Tanque para higienização das mãos	Alta	Adequado	Essencial para segurança e higiene	Sem necessidade de mudanças
T.2	Tanque para cura de corpos de prova	Baixa	Adequado	Importante para experimentos específicos	Sem necessidade de mudanças
T.3	Tanque para higienização de mãos	Moderada	Adequado	Suporte adicional para alunos	Manter sinalização adequada
T.4	Tanque extra para períodos de alta demanda	Moderada	Adequado	Utilizado em momentos específicos do ano	Pode ser realocado conforme necessidade
T.5	Tanque para destilação de água	Alta	Adequado	Essencial para manutenção do laboratório	Monitorar condição da água destilada
Mobiliário e Mostruários					
M.1	Mostruário de materiais cerâmicos	Baixa	Adequado	Importante para ensino, mas ocupa espaço	Avaliar reposicionamento
M.2	Mostruário de materiais metálicos	Baixa	Adequado	Relevante para visualização, porém pode ser otimizado	Reposicionar em local de menor impacto
M.3	Mesa de escritório 1,50m x 0,60m	Baixa	Não ideal	Apenas apoio para leitura de normas	Avaliar real necessidade no espaço
M.4	Mesa de escritório 1,20m x 0,60m	Baixa	Não ideal	Com avarias, deve ser recolhida pelo setor de patrimônio	Planejar descarte ou substituição

Fonte: produção dos autores (2025).

Por meio de observações e entrevistas com os servidores, identificou-se a presença de diversos itens armazenados no local por necessidade do departamento, mas que não pertencem ao LMCC. Os itens foram depositados em espaços de circulação, próximos a equipamentos e sobre bancadas de trabalho, sem qualquer tipo de identificação. A falta de organização e a ausência de um sistema de identificação resultam em desperdício de movimento, pois os usuários precisam

deslocar-se repetidamente para procurar materiais ou ferramentas, aumentando o tempo de execução das tarefas.

Essa situação poderia ser mitigada com a aplicação do 5S, que possibilitaria a definição clara de locais para armazenamento e a eliminação de materiais desnecessários, garantindo maior organização no ambiente de trabalho. Marcelino (2022) e Jiménez et al. (2015) destacaram que a aplicação do 5S e de ferramentas de gestão visual em laboratórios similares levou a ganhos de espaço e redução de acidentes, corroborando a necessidade de implementar essas soluções no LMCC.

A situação se repete nos armários, tanto nos destinados ao estoque de materiais de consumo, quanto nos utilizados para armazenamento de ferramentas. A falta de controle eficiente gerou estoques duplicados, movimentação desnecessária e dificuldade de acesso a itens essenciais, prejudicando a eficiência operacional e dificultando a fluidez do trabalho. A adoção de metodologias visuais, como etiquetas padronizadas e sinalização clara nos armários, poderia minimizar esse problema, proporcionando maior controle e agilidade no acesso aos itens armazenados.

Além disso, o posicionamento inadequado desses itens em áreas de intenso tráfego e próximos a equipamentos frequentemente utilizados gera desperdício de transporte, pois há a necessidade constante de mover materiais e corpos de prova (CPs) para liberar espaço. Esse cenário aumenta o risco de acidentes e demanda esforço adicional dos usuários para reorganizar o ambiente.

A aplicação do mapeamento do fluxo de valor (MFV) ajuda a identificar pontos críticos nessa movimentação, permitindo ajustes na disposição dos equipamentos e uma melhor alocação dos recursos no laboratório. Ainda, essa situação poderia ser mitigada com a reorganização do *Layout*, padronização de locais de armazenamento e implementação do 5S, garantindo que cada item tenha um local definido, reduzindo deslocamentos desnecessários e otimizando a segurança no ambiente de trabalho.

Outro fator crítico identificado é a presença de uma máquina de médio porte que está obsoleta há vários anos, sem técnico capacitado para operá-la. Além disso, há armários deteriorados e sem utilização. Esse espaço, que poderia ser destinado a equipamentos funcionais e necessários, está sendo subutilizado, evidenciando a necessidade de reorganização. A aplicação da metodologia *Kaizen* permitiria avaliar melhorias contínuas na disposição do espaço e na eliminação de itens que não agregam valor às atividades laboratoriais.

A Sala de Preparação de Amostras (SPA), por sua vez, é uma área compartilhada por todos os laboratórios do departamento. Não há um técnico responsável especificamente pela manutenção e organização do espaço. O objetivo da SPA é armazenar, em local apropriado com ventilação forçada, os materiais utilizados nos experimentos de todos os laboratórios do departamento.

Foi constatado que os itens eram organizados de maneira aleatória, conforme as amostras chegavam ou eram utilizadas nos experimentos. A falta de um sistema de etiquetagem ou de elementos visuais de identificação dificultava a localização dos materiais. Muitas vezes, os materiais eram descartados erroneamente por pessoas que não eram os donos, ou até pelos próprios servidores responsáveis pela limpeza do espaço, devido à ausência de informações como data de entrada, responsável pela amostra, entre outras. A ausência de organização sistemática leva a movimentos desnecessários em busca de materiais e ao acúmulo de itens não identificados, resultando em perda de tempo e recursos.

Para compreender como o *layout* e o posicionamento atual dos equipamentos foram definidos, realizou-se uma entrevista não estruturada com os integrantes da pesquisa-ação. Constatou-se que não havia conhecimento sobre os critérios de organização, uma vez que a última atualização dos espaços foi feita por outros servidores há muitos anos, sem qualquer documentação que justificasse o motivo das escolhas ou que repassasse essas informações aos atuais responsáveis.

Diante desses pontos críticos, evidencia-se a necessidade de análises mais aprofundadas sobre como o *layout*, a disposição de equipamentos e a dinâmica operacional do LMCC afetam não apenas a eficiência das rotinas, mas também a percepção de valor por parte dos usuários. Nesse sentido, no próximo subcapítulo serão aplicadas ferramentas alinhadas aos princípios *Lean*, com o objetivo de diagnosticar os principais gargalos e desperdícios, bem como possibilitar a proposição de melhorias que tornem os processos mais ágeis e efetivos.

4.2 Estudo das famílias

Para realização do segundo ciclo desta pesquisa-ação, visando entender as especificidades no processo produtivo das quatro famílias, compostas por 15 experimentos realizados no laboratório, apoiou-se na utilização de ferramentas como o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) e o diagrama de espaguete. O diagrama de espaguete é uma ferramenta visual utilizada para mapear o fluxo de pessoas,

materiais ou informações em um processo, destacando movimentos e identificando possíveis desperdícios ou ineficiências. Seu nome deriva das linhas traçadas no mapa, que frequentemente se assemelham a fios de espaguete devido à complexidade dos trajetos. Diversos estudos aplicaram essa ferramenta para otimizar *layouts* e processos. Guimarães e Grander (2024) propuseram a readequação do *layout*, resultando na redução de 44,87% da distância. Além disso, Drozda, Neto e Fraiz (2019) utilizaram essa ferramenta na implementação da metodologia SMED em uma indústria do setor de óleo e gás, visando à redução do *lead time* e à eliminação de atividades que não agregam valor.

Os experimentos escolhidos foram definidos em comum acordo com a equipe de pesquisa-ação, considerando critérios técnicos e a experiência empírica da equipe sobre os desafios enfrentados pelos alunos. Para cada família, foi selecionado um ensaio representativo, que apresentasse maior deslocamento dentro do laboratório, alta repetitividade ou maior complexidade operacional, permitindo uma análise mais detalhada das dificuldades enfrentadas durante sua execução. Tanto o MFV quanto o diagrama de espaguete foram feitos com base em observação de pelo menos 5 amostras de cada ensaio.

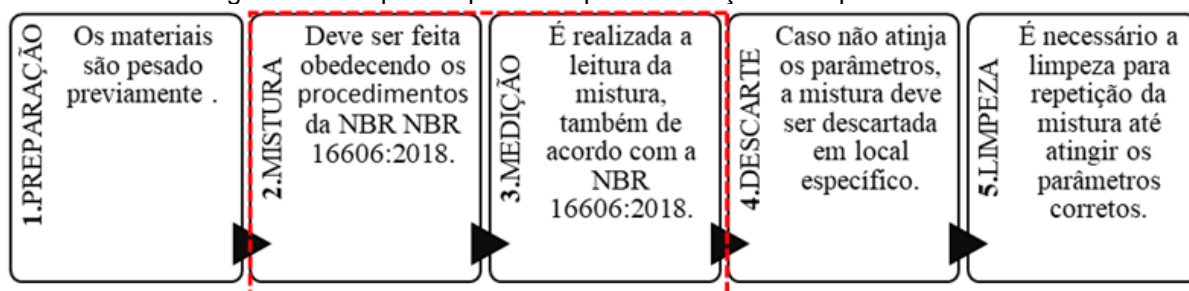
A seguir, cada família de ensaios será analisada separadamente, detalhando-se os experimentos escolhidos e as particularidades que motivaram sua seleção.

4.2.1 Estudo da família 1

Para o estudo da família 1, composta por três experimentos, foi selecionado o ensaio número 2, denominado Consistência Normal (CN). A escolha foi acordada com os integrantes da pesquisa-ação, justificada pelo aumento excepcional da demanda por esse ensaio, impulsionado pela criação de um projeto de pesquisa que exigirá sua realização nos próximos anos. Esse experimento consiste em determinar, por tentativa e erro, a porcentagem ideal de água para o cimento, sendo realizado, em média, quatro vezes por grupo.

Para uma melhor compreensão do processo, foram realizadas pesquisas documentais e entrevistas com os usuários do laboratório. Durante esse levantamento, constatou-se que parte do procedimento não pode ser alterada devido às exigências da norma NBR 16606:2018, que estabelece a execução do ensaio em sequência e dentro de tempos específicos. As etapas necessárias para a realização do ensaio estão apresentadas na Figura 16.

Figura 16 - Etapas do processo para realização do experimento CN.

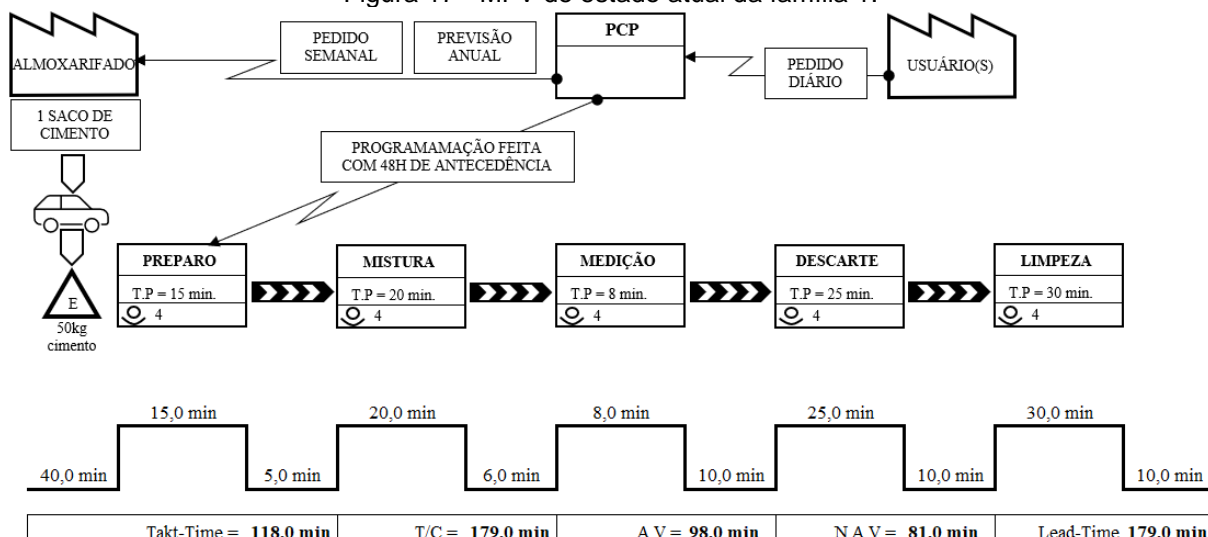


Normalizadas pela NBR 16606:2018.

Fonte: Santos e Campanini (2023).

A partir dessas etapas e da observação in loco da execução do experimento, seguindo as diretrizes de Rother e Shook (2003), foi elaborado o MFV de estado atual, representado na Figura 17. Esse mapeamento permitiu visualizar o fluxo completo do ensaio e identificar pontos de desperdício e possíveis melhorias.

Figura 17 - MFV de estado atual da família 1.



Fonte: Santos e Campanini (2023).

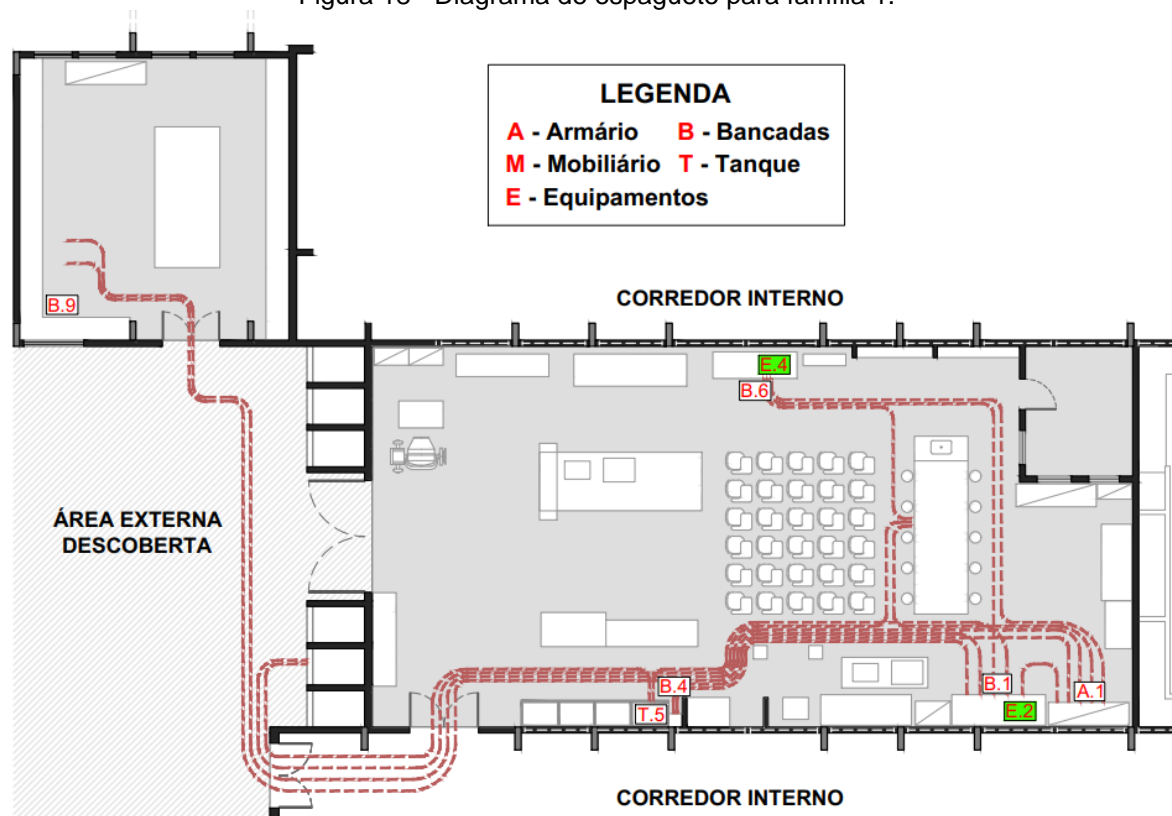
O processo tem início com o usuário entrando em contato com o servidor responsável, geralmente por aplicativo de mensagens, para solicitar a utilização do laboratório. Conforme estabelecido no regulamento interno, há um intervalo mínimo de 48 horas entre a solicitação e a liberação do espaço. Os materiais necessários para o ensaio são previamente requisitados via almoxarifado, com previsão de consumo realizada anualmente pelos servidores. A entrega desses insumos ocorre semanalmente, por meio do transporte interno da instituição.

No dia do experimento, o usuário inicia a pesagem dos materiais e ferramentas, atividade realizada imediatamente antes do processo de mistura e medição. Por exigência da norma NBR 16606:2018, não há estoque intermediário entre as etapas,

e todas as atividades devem ser executadas em sequência e dentro dos tempos determinados. Ao final do ensaio, o usuário segue diretamente para o descarte e limpeza dos materiais utilizados.

A análise do MFV revelou dois principais gargalos no processo. O primeiro está relacionado ao deslocamento excessivo dentro do laboratório. Observou-se que os equipamentos e ferramentas utilizados no ensaio estão concentrados em um único armário, resultando em grande convergência de fluxo e cruzamento de trajetos, como é possível observar na Figura 18. Isso gera movimentação desnecessária e compromete a eficiência do ensaio. Além disso, a necessidade de retornar repetidamente a pontos específicos para captar materiais e realizar a pesagem dificulta a execução simultânea do experimento por mais de um grupo, mesmo havendo equipamentos suficientes para atender a dois grupos ao mesmo tempo.

Figura 18 - Diagrama de espaguete para família 1.



Fonte: Santos e Campanini (2023).

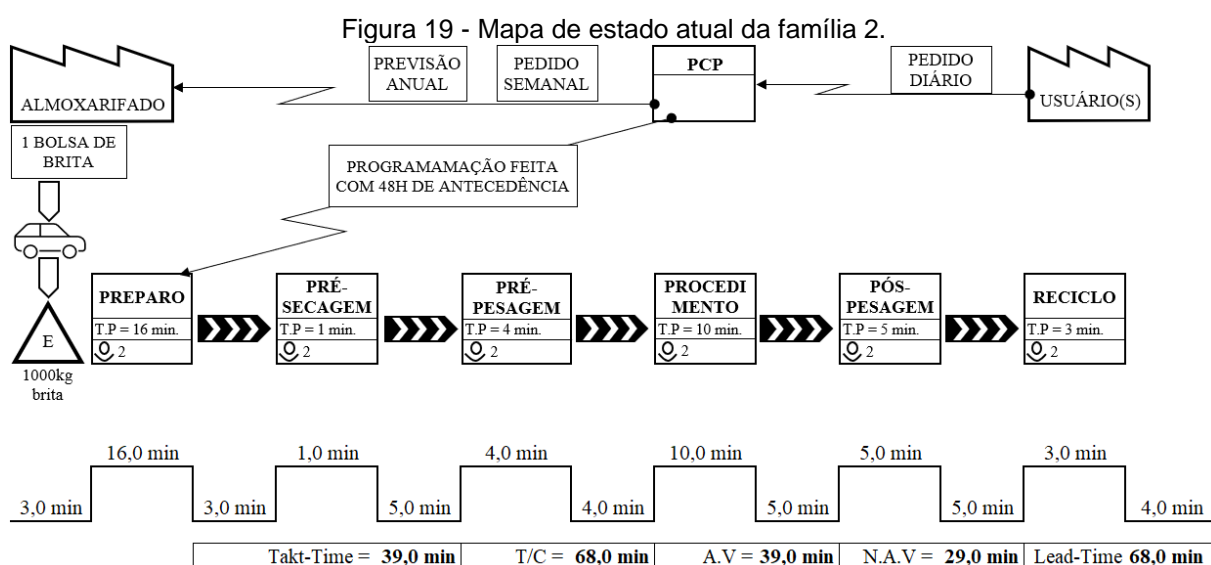
O segundo ponto crítico identificado foi o tempo de espera de 48 horas entre a solicitação e a realização do ensaio. Embora esse intervalo esteja previsto no regulamento interno, ele pode impactar a flexibilidade do planejamento das atividades, limitando a adaptação dos alunos às suas demandas acadêmicas e aumentando o tempo ocioso do espaço.

O diagrama de espaguete elaborado para esse ensaio evidencia a presença de obstáculos que alteram o trajeto dos usuários durante a execução do experimento. Esse mapeamento mostra a repetição de deslocamentos e a complexidade do fluxo, reforçando a necessidade de otimizar a disposição dos equipamentos. Para mitigar esses problemas, uma reorganização do *Layout* pode reduzir o tempo gasto com movimentações desnecessárias. Além disso, a revisão dos processos de agendamento poderia flexibilizar o tempo de resposta ou aprimorar a programação dos horários de utilização do laboratório.

4.2.2 Estudo da família 2

Para o estudo da família 2, composta por quatro experimentos, foi selecionado o ensaio número 6, denominado Massa Unitária do Agregado Graúdo, devido à complexidade de suas etapas de preparação e ao maior peso deslocado durante sua realização. Esse ensaio objetiva determinar, por meio da média de duas amostras, a massa unitária e o índice de vazios do agregado graúdo, em conformidade com a NBR 16972:2021.

A fim de compreender melhor o processo, foram realizadas pesquisas documentais e observações in loco. Verificou-se que a preparação do material se inicia antes mesmo de o agregado chegar ao laboratório, por meio de um procedimento de homogeneização conhecido como quarteamento. Essa etapa busca garantir a representatividade do material ensaiado, minimizando variações nos resultados. O MFV referente a esse experimento está apresentado na Figura 19.



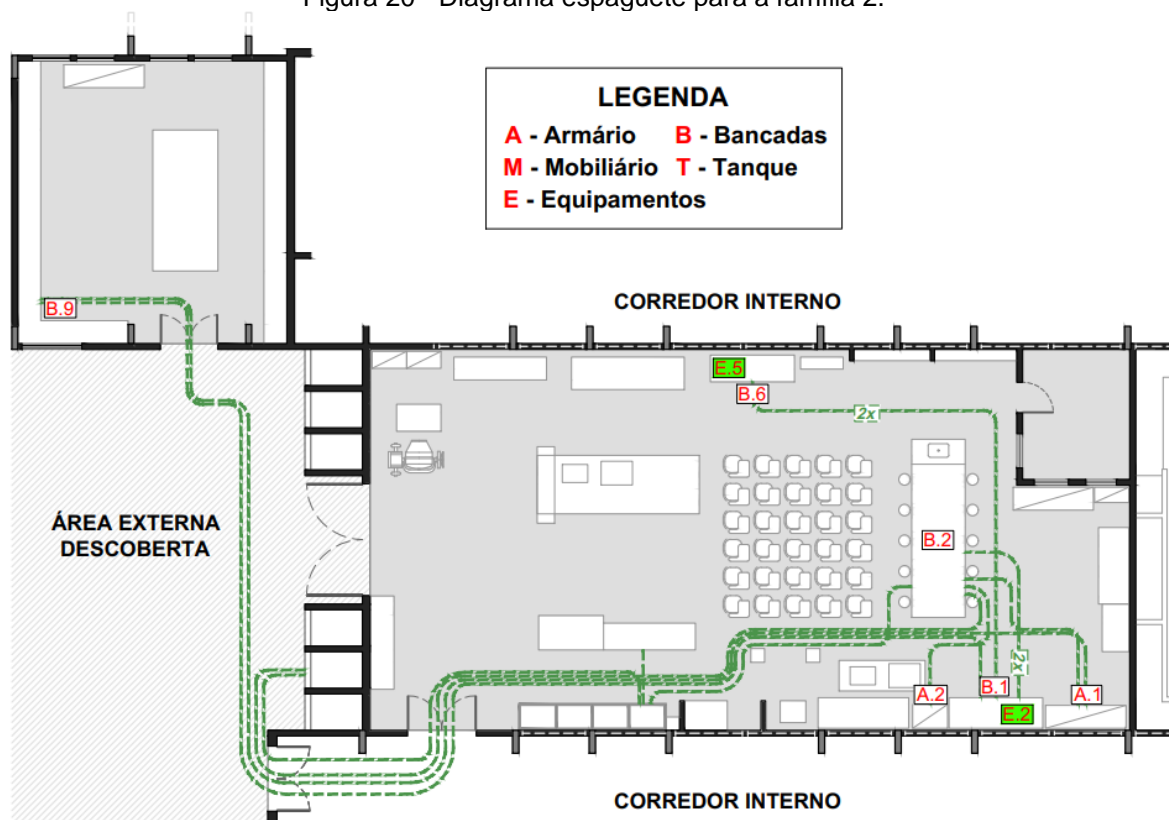
Fonte: produção dos autores (2025).

Após o quarteamento, procede-se à secagem da amostra, seguida pelo reconhecimento do recipiente de volume conhecido e, então, pelo preenchimento com o material. Esse preenchimento deve ser realizado ao menos duas vezes, de forma a assegurar a obtenção de uma média representativa. Ao final do ensaio, o material é armazenado para futura reutilização.

Embora no MFV não conste explicitamente o tempo de secagem do material, é importante ressaltar que, de acordo com a norma, o ensaio deve ser planejado para no mínimo dois dias, pois o agregado precisa permanecer em estufa por 24 horas. Nesse contexto, as maiores durações de processo encontram-se na etapa de preparo e no procedimento técnico de medição em si. Identificou-se ainda que o principal foco de melhoria está na fase de preparo, fortemente impactada pela disposição de mobiliário e equipamentos. Ressalta-se a necessidade de movimentar cerca de 50 kg de brita durante o ensaio, o que exige deslocamentos entre diferentes áreas do laboratório e pode comprometer a eficiência e a ergonomia.

Para detalhar os movimentos realizados pelo usuário e identificar possíveis pontos de otimização, elaborou-se um diagrama espagete, conforme mostrado na Figura 20.

Figura 20 - Diagrama espagete para a família 2.



Fonte: produção dos autores (2025).

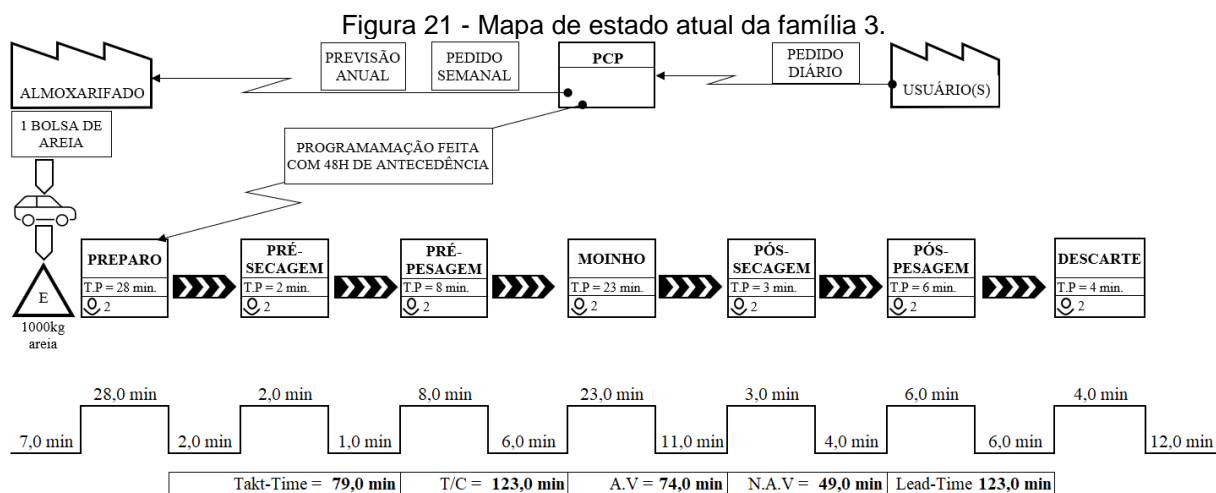
A partir da análise do fluxo de execução, evidenciaram-se alguns pontos críticos. O primeiro diz respeito à logística de movimentação dos materiais: atualmente, não existe um local designado para armazenamento temporário das amostras, o que acarreta maior esforço físico e desgaste do operador. Além disso, a ausência de um *Layout* otimizado para acomodar equipamentos, recipientes e estufa contribui para aumentar o tempo de deslocamento, tornando o processo mais demorado e oneroso.

Esses resultados servirão de base para as propostas de melhoria que serão apresentadas no capítulo 5, voltadas a otimizar o arranjo físico e os fluxos de trabalho, reduzindo os deslocamentos e o esforço necessário para a realização do ensaio.

4.2.3 Estudo da família 3

Para o estudo da família 3, composta por seis experimentos, foi selecionado o ensaio de número 12, denominado Ensaio de Resistência ao Impacto e à Abrasão “Los Angeles”, normatizado pela NBR 16974:2022. A escolha desse experimento considerou sua complexidade no preparo, o deslocamento elevado entre máquina e bancada e o nível de ruído gerado, que restringe a ocupação do laboratório devido à ausência de um ambiente adequado para controle acústico.

A execução do ensaio inicia-se com a seleção e pesagem das amostras, garantindo conformidade com os critérios normativos. Em seguida, as amostras são transportadas até o equipamento, onde são submetidas a impactos repetitivos por meio de esferas de aço. O Mapa de Fluxo de Valor (MFV) do estado atual foi elaborado com base em observações diretas e pesquisas documentais, possibilitando a identificação de ineficiências no processo, conforme Figura 21.



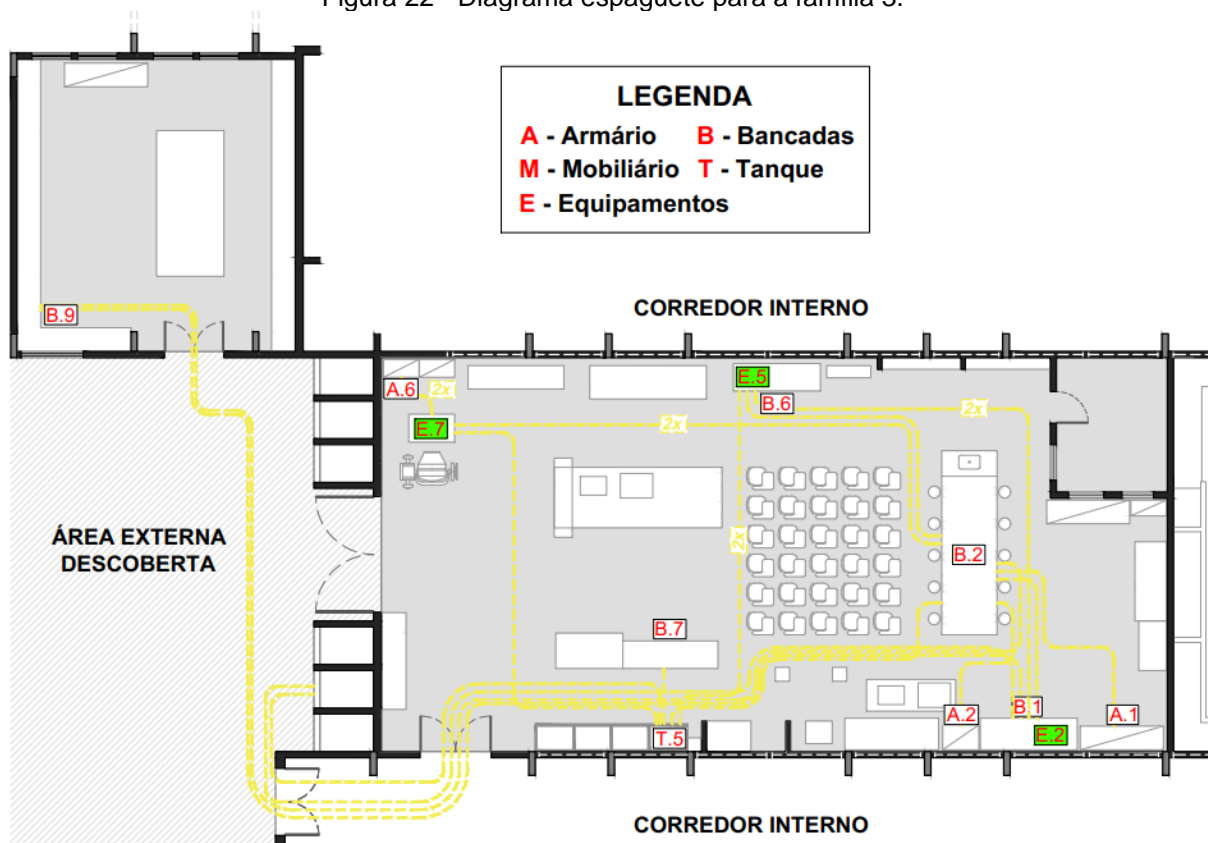
Fonte: produção dos autores (2025).

A análise do MFV revelou pontos críticos no fluxo do ensaio, especialmente no tempo despendido antes da execução e após o descarte das amostras, ambos sem agregação de valor ao processo. O primeiro decorre da necessidade de organizar ferramentas e materiais, retardando o início do experimento. O segundo, estimado em 12 minutos, refere-se ao tempo exigido para a limpeza do equipamento, procedimento que poderia ser otimizado. Além disso, a norma vigente determina um prazo total de três dias para a realização do ensaio, abrangendo as etapas de pré-secagem, execução e pós-secagem, o que demanda um planejamento rigoroso.

Outro aspecto crítico identificado foi o nível elevado de ruído gerado pelo equipamento, que, associado à disponibilidade limitada de EPIs, restringe a permanência de usuários no laboratório. Como a máquina Los Angeles opera com impactos de alta intensidade, o uso de protetores auriculares é obrigatório. No entanto, a insuficiência desses dispositivos restringe a capacidade operacional do espaço, impactando a realização de outras atividades no ambiente.

Além dessas questões, o deslocamento excessivo entre as bancadas de preparação e a máquina compromete a eficiência do ensaio. A Figura 22 apresenta o diagrama espaguete, que evidencia o alto fluxo de movimentação entre diferentes setores do laboratório, resultando em repetição de trajetos, aumento do tempo de execução e riscos ergonômicos decorrentes do transporte contínuo de cargas

Figura 22 - Diagrama espaguete para a família 3.



Fonte: produção dos autores (2025).

Diante dessas limitações, foram identificadas oportunidades de melhoria, entre elas a realocação da bancada de preparação para uma área adjacente à máquina Los Angeles, reduzindo deslocamentos desnecessários e otimizando o tempo de execução do ensaio. Além disso, a criação de um espaço vedado acusticamente mitigaria a propagação do ruído, permitindo a realização simultânea de outras atividades no laboratório. Essas medidas contribuiriam diretamente para a redução de desperdícios, otimização dos fluxos de trabalho e aumento da eficiência operacional do laboratório.

4.2.4 Estudo da família 4

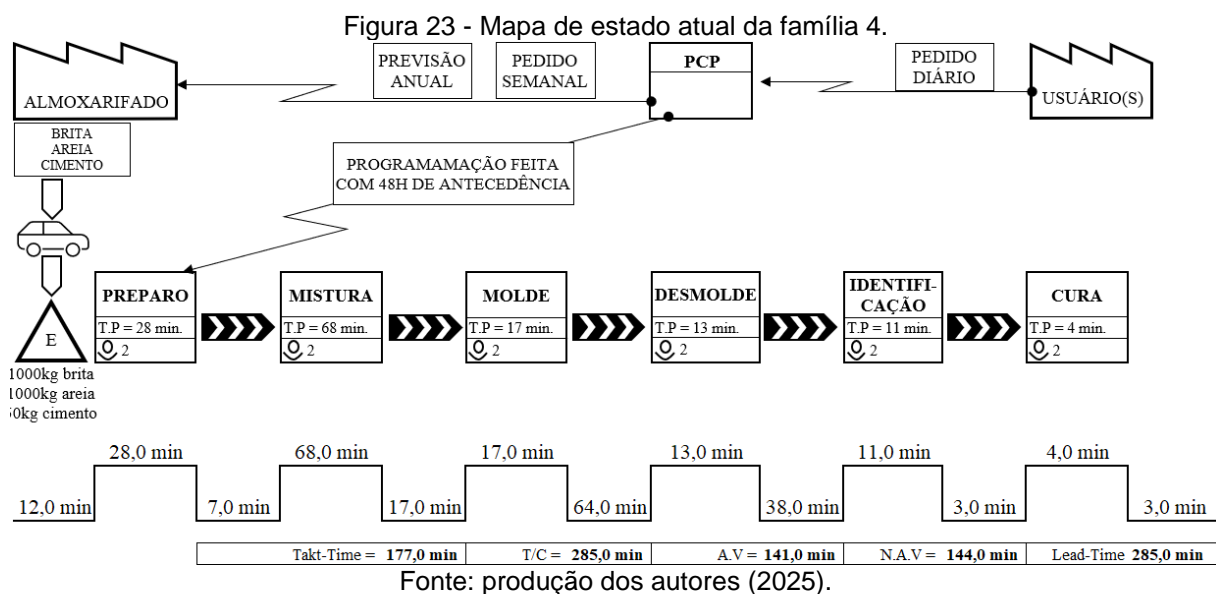
Para o estudo da família 4, composta por dois experimentos, foi selecionado o ensaio de número 14, denominado Dosagem de Concreto. A escolha desse experimento considerou sua complexidade processual, pois exige a realização prévia dos treze experimentos que o antecedem, além da necessidade de múltiplos ensaios ao longo do procedimento para verificar se as proporções estabelecidas atendem aos critérios técnicos. Diferentemente dos demais ensaios analisados, a dosagem de concreto não é normatizada por um único documento técnico, sendo conduzida com

base em metodologias experimentais para a determinação das proporções ideais dos materiais empregados na mistura.

Para compreender detalhadamente a execução do ensaio, foram analisados documentos técnicos, registros de ensaios anteriores e observações diretas no laboratório. A investigação revelou que a dosagem de concreto é um processo empírico e iterativo, no qual as proporções dos materiais são ajustadas conforme os resultados obtidos durante a execução. O procedimento inicia-se com a definição preliminar das quantidades de cimento, agregados, água e aditivos, considerando os requisitos técnicos do concreto a ser produzido. Em seguida, os materiais são pesados e misturados, sendo submetidos a ensaios intermediários para permitir ajustes antes da finalização do processo.

A execução desse experimento impõe um nível elevado de exigência ao aluno, que deve monitorar cada etapa com atenção e estar preparado para refazer medições e testes conforme necessário. Entre os ensaios empregados ao longo da execução, destaca-se o ensaio de abatimento do tronco de cone, normatizado pela NBR 16889:2020, que avalia a consistência e a trabalhabilidade da mistura. Esse ensaio pode precisar ser repetido várias vezes até que se obtenha o abatimento adequado, demandando paciência, precisão e um controle rigoroso da adição de água. Além disso, a moldagem dos corpos de prova, conforme a NBR 5738:2015, é essencial para a posterior verificação da resistência mecânica do concreto ao longo do tempo.

Outro fator que impacta diretamente a execução do ensaio é a variabilidade das condições ambientais, como temperatura e umidade do ar. Essas variáveis influenciam a trabalhabilidade da mistura e podem exigir ajustes contínuos para atingir os parâmetros desejados. Observou-se que, em dias mais quentes, a evaporação da água acelera o endurecimento da pasta cimentícia, tornando a mistura menos fluida e exigindo novas correções. Da mesma forma, variações na umidade dos agregados alteram a relação água/cimento, dificultando a reprodutibilidade do ensaio. Com base nessas observações, foi elaborado o MFV de estado atual, representado na Figura 23, permitindo visualizar o fluxo completo do ensaio e identificar oportunidades de melhoria.



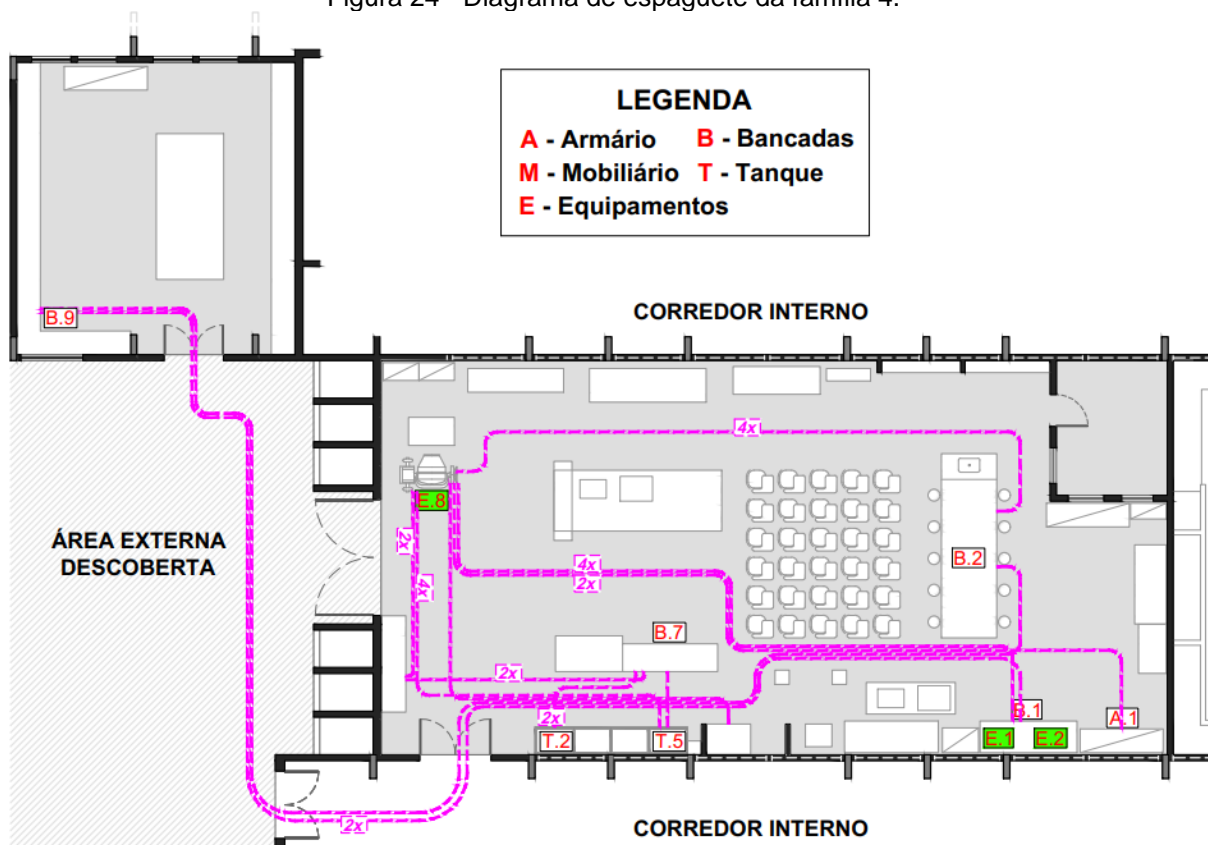
A complexidade desse experimento levou à identificação de três principais desafios. O primeiro é o tempo elevado despendido na etapa de preparo, decorrente da necessidade de organização de muitos utensílios e ferramentas. O segundo refere-se à demanda por sinergia entre os integrantes do grupo, uma vez que o processo exige coordenação precisa, conhecimento das normas, manipulação de diversos materiais e limpeza constante dos equipamentos utilizados. O terceiro ponto refere-se ao tempo necessário para a limpeza manual dos itens utilizados após a moldagem dos corpos de prova.

Como o concreto contém cimento, uma base fortemente alcalina, a remoção inadequada de resíduos pode comprometer tanto a infraestrutura do laboratório quanto a segurança dos alunos. Caso não seja lavado antes do endurecimento, o concreto pode obstruir tubulações, comprometer a integridade da betoneira e reduzir a vida útil dos equipamentos. Além dos danos estruturais, a exposição direta ao cimento sem o uso correto de EPIs pode causar irritações na pele e rachaduras nas mãos. Durante as observações realizadas, verificou-se que nem sempre os alunos utilizam luvas de proteção apropriadas, aumentando o risco de lesões dermatológicas. Dessa forma, recomenda-se reforçar as orientações sobre o uso adequado de EPIs e a adoção de boas práticas de limpeza e descarte de resíduos.

Atualmente, a limpeza dos equipamentos é realizada manualmente, utilizando baldes de água e escovas, um método pouco eficiente para a remoção completa do concreto ainda fresco. Além de demandar grande esforço físico dos alunos, esse procedimento prolonga o tempo de execução da etapa de limpeza e pode deixar

resíduos nos equipamentos, reduzindo sua vida útil. A Figura 25 apresenta a análise do fluxo de trabalho, que evidenciou dificuldades relacionadas à logística de movimentação dos materiais, além dos desafios inerentes à execução do ensaio.

Figura 24 - Diagrama de espaguete da família 4.



Fonte: produção dos autores (2025).

A análise da Figura 24 revelou um padrão de movimentação repetitiva, evidenciando a necessidade de otimização do fluxo de trabalho. Como o processo envolve diferentes tipos de agregados, cimento, aditivos e água, há uma circulação constante de insumos entre os setores do laboratório, o que aumenta o tempo total de execução e pode gerar congestionamentos em determinados pontos, dificultando a realização simultânea de atividades. Além disso, itens como moldes e bandejas precisam ser frequentemente transportados até a betoneira (item E.8), reforçando a necessidade de reorganização do espaço.

Diante dessas questões, as principais oportunidades de melhoria incluem um estudo detalhado dos processos, a aproximação dos insumos e ferramentas necessários para a execução do ensaio e a implantação de um novo método de limpeza, mais seguro e eficiente. Para isso, sugere-se a aquisição de uma máquina de alta pressão para a remoção dos resíduos imediatamente após o uso dos

equipamentos. Essa solução garantiria uma limpeza mais rápida e eficaz, prevenindo o endurecimento dos resíduos nos componentes da betoneira e demais ferramentas.

Além dos ganhos operacionais, a adoção de um sistema pressurizado de limpeza também traria benefícios ergonômicos e de segurança. O método atual exige esforço repetitivo e contato direto com materiais alcalinos, aumentando o risco de irritações dérmicas em caso de uso inadequado de EPIs. Com a utilização da limpeza pressurizada, o contato direto dos alunos com os resíduos seria reduzido, minimizando os riscos de exposição ao cimento e proporcionando melhores condições de trabalho dentro do laboratório.

Entre as ações propostas, destaca-se a reorganização da logística de armazenamento e transporte dos materiais, reduzindo deslocamentos desnecessários e melhorando a fluidez do processo. Além disso, a implementação de procedimentos padronizados para o controle da umidade dos agregados e o descarte adequado dos resíduos pode contribuir significativamente para a eficiência operacional e a segurança dos envolvidos no ensaio.

4.3 Síntese do Estado Atual

Embora o LMCC possua área satisfatória de 200m², percebeu-se com o aprofundamento no conhecimento das características do objeto estudado e após as análises realizadas neste capítulo, foi possível entender a demanda do laboratório, seus processos e ainda mapear diversos desperdícios, a partir da perspectiva e filosofia *Lean*. Para que se possa propor melhorias, visando o atendimento dos princípios destacados na seção 2.5 deste trabalho, é importante sintetizar os principais pontos observados ao longo das análises.

4.3.1 Principais desperdícios identificados

Os desperdícios identificados no LMCC estão alinhados com aqueles relatados em estudos prévios sobre a aplicação do *Lean* em ambientes laboratoriais. Como demonstrado na Tabela 5 (presente na Seção 2.5), os principais problemas enfrentados em diferentes contextos de laboratórios de ensino incluem tempo de espera, movimentação excessiva e estoques desnecessários. No LMCC, esses mesmos desafios foram observados, especialmente no que se refere ao tempo de espera para preparação e execução dos experimentos, ao excesso de deslocamentos

devido à disposição ineficiente dos equipamentos e à acumulação de materiais, consequência do modelo de compras anuais, que resulta em estoque elevado e pouco rotativo. A Tabela 11 relaciona os desperdícios mapeados, as famílias afetadas e os principais pontos críticos.

Tabela 11 - Principais desperdícios do LMCC.

Desperdício	Famílias afetadas	Pontos de atenção
Tempo de espera	Todas as famílias	<ul style="list-style-type: none"> • Grande tempo de espera (48h) entre agendamento e utilização; • Utilização de apenas um grupo por vez; • Grande tempo despendido no início das atividades das famílias 1 e 4; • Excesso de tempos fixados por normas;
Movimento excessivo	Todas as famílias	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de critérios no posicionamento dos equipamentos e bancadas; • Utensílios concentrados em poucos armários, ocasionando a movimentos repetitivos para agrupá-los antes do início da utilização; • Famílias 2 e 4 exigem alto esforço em carregar altas cargas demandadas para execução dos ensaios, o que pode reduzir a produtividade dos grupos, devido a fadiga.
Estoques desnecessários	Todas as famílias	<ul style="list-style-type: none"> • Processo de compra e aquisição de materiais são sempre em grandes quantidades, porém os experimentos demandam pouca quantidade por vez; • Alguns materiais possuem validade inferior ao tempo necessário para sua utilização integral

Fonte: produção dos autores (2025).

A recorrência desses desperdícios no LMCC compromete diretamente a produtividade do laboratório e a experiência dos usuários. Estudos indicam que problemas como tempo de espera elevado, movimentação excessiva e estoques desnecessários são comuns em ambientes laboratoriais, impactando não apenas a eficiência dos experimentos, mas também a segurança e a ergonomia dos usuários (SIEGEL; KRAMER; DERANEK, 2019; IBRAHIM et al., 2022).

No LMCC, verificou-se que a disposição inadequada dos equipamentos e a necessidade de transporte manual de cargas pesadas em determinadas famílias de ensaios agravam esses desperdícios, impactando diretamente a produtividade e a segurança dos usuários. Para mitigar essas ineficiências, o próximo capítulo apresentará estratégias fundamentadas em ferramentas *Lean*, focadas na redução do tempo de espera, na reorganização do *Layout* para otimização do fluxo de trabalho e no gerenciamento mais eficiente dos estoques. As melhorias propostas foram desenvolvidas a partir da análise dos desperdícios diagnosticados e das melhores práticas descritas na literatura, conforme detalhado na Tabela 5 (Seção 2.5).

4.3.2 Potenciais Melhorias e Aspectos Críticos

A partir da análise dos desperdícios identificados no LMCC, foram mapeadas oportunidades para a otimização do ambiente laboratorial. Como demonstrado na Tabela 12, algumas ações estratégicas podem mitigar os problemas mais críticos, reduzindo tempo de espera, movimentação excessiva e estoques desnecessários. Essas sugestões de aprimoramento estão alinhadas com os princípios *Lean* e buscam maximizar a eficiência operacional do laboratório.

Tabela 12 – Potenciais melhorias pretendidas do LMCC.

Tipo de Melhoria	Ação Específica	Desperdício reduzido
Sistema de agendamento online	Criar e disponibilizar aos usuários um sistema de agendamento online, do qual seja possível agendar o horário com antecedência e de maneira direta.	Tempo de espera
Reorganização de equipamentos	Redistribuir máquinas e bancadas para minimizar deslocamentos	Movimentação excessiva
Implementação de gestão visual	Criar sinalizações para localização rápida de materiais e ferramentas	Movimentação excessiva, Tempo de espera
Planejamento otimizado de ensaios	Reestruturar cronogramas para evitar sobrecarga e minimizar tempo ocioso	Tempo de espera
Uso de estações de trabalho próximas	Criar estações otimizadas para cada tipo de ensaio, reduzindo movimentação	Movimentação excessiva
Padronização dos processos	Estabelecer protocolos de execução para evitar retrabalho e inconsistências	Tempo de espera, Estoques desnecessários
Redução de tempo de transporte	Introduzir carrinhos de transporte e armazenamento próximo aos locais de uso	Movimentação excessiva
Melhor fluxo de materiais	Criar um sistema de controle de estoque mais eficiente para evitar desperdício	Estoques desnecessários
Aquisição de equipamentos novos	Implementar uma lavadora de alta pressão para limpeza eficiente dos materiais e bancadas	Tempo de espera
Avaliação de novas balanças	Adquirir balanças de precisão para garantir maior exatidão nos ensaios	Tempo de espera

Fonte: produção dos autores (2025).

A análise desses aspectos críticos demonstra que há oportunidades significativas para otimização do LMCC, especialmente na organização do espaço físico, no planejamento das atividades e no gerenciamento de materiais e equipamentos. Observa-se que a ausência de um fluxo bem estruturado gera impactos diretos na produtividade dos experimentos e na experiência dos usuários.

No próximo capítulo, serão exploradas estratégias mais detalhadas para aprimorar esses processos, considerando abordagens fundamentadas em ferramentas *Lean*. O desenvolvimento dessas melhorias terá como base os dados obtidos a partir da análise feita esta seção, garantindo que as propostas estejam

alinhadas às necessidades reais do laboratório e contribuam para um ambiente mais eficiente e produtivo.

5 PROPOSTA DE MELHORIAS E NOVO LAYOUT

A análise do estado atual do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), apresentada no Capítulo 4, revelou a existência de desperdícios que impactam negativamente a eficiência dos processos laboratoriais. Entre os principais problemas identificados, destacam-se a falta de organização do espaço físico, a ocorrência de deslocamentos desnecessários entre equipamentos e bancadas, o tempo excessivo para preparação e execução de experimentos e a ausência de padronização em processos operacionais. Esses fatores geram impactos diretos no fluxo de trabalho, no tempo de espera e na experiência dos usuários do laboratório.

Diante desse cenário, este capítulo apresenta as propostas de melhorias desenvolvidas a partir dos princípios e ferramentas do *Lean Thinking*, com o objetivo de otimizar o uso do espaço, reduzir desperdícios e melhorar a produtividade do laboratório. Parte dessas melhorias já foi implementada ao longo da pesquisa, especialmente durante o segundo ciclo da pesquisa-ação, no qual foram testadas soluções iniciais para um conjunto específico de experimentos.

No entanto, essas melhorias foram aplicadas de forma isolada a uma única família de experimentos, sem considerar a totalidade dos ensaios realizados no laboratório. Assim, o *layout* futuro deve buscar um equilíbrio que maximize a eficiência global do espaço, garantindo uma organização que atenda da melhor forma possível a todas as demandas do LMCC, em vez de otimizar exclusivamente para um único grupo de experimentos.

Além dessas melhorias já realizadas, este capítulo propõe um *layout* futuro ideal para o laboratório, projetado com base nos conceitos *Lean*, visando consolidar um ambiente mais eficiente e funcional. Para garantir uma abordagem estruturada, as melhorias propostas foram categorizadas em três eixos principais: organização do espaço e fluxo de trabalho, redução de tempo de espera e movimentação, e padronização de processos e gestão de recursos. Essas mudanças têm o potencial de tornar o LMCC mais produtivo e alinhado às necessidades dos usuários, promovendo um ambiente otimizado para atividades de ensino, pesquisa e extensão.

Por fim, este capítulo apresenta uma comparação entre o estado atual, o estado intermediário (melhorias já realizadas no segundo ciclo da pesquisa-ação) e o estado

futuro (*layout* ideal), além de um plano para implementação das mudanças de forma progressiva.

5.1 Melhorias parciais e ajustes iniciais

A implementação inicial das melhorias no LMCC foi conduzida de forma gradual, considerando os desafios operacionais identificados na etapa de diagnóstico e os princípios *Lean* aplicados nos ciclos da pesquisa-ação. Durante esse processo, ajustes foram realizados em pontos críticos, como a redução de tempos de espera, a otimização do fluxo de materiais e a melhoria das condições de trabalho. Entretanto, essas melhorias foram aplicadas de forma parcial e isolada, exigindo refinamentos adicionais para garantir uma transição mais eficiente para o *layout* futuro. Assim, este item apresenta os principais ajustes realizados até o momento, detalhando as ações implementadas e seus impactos na dinâmica do laboratório.

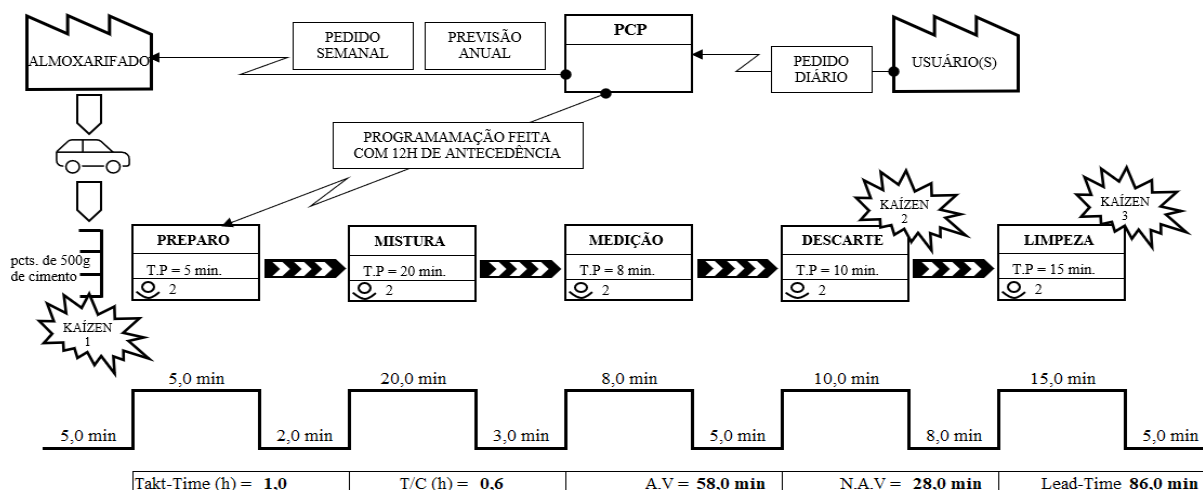
Também, para a elaboração do *layout* intermediário, foram consideradas as informações coletadas na etapa de análise do estado atual. Além disso, a implementação dos princípios e ferramentas *Lean* foi baseada nos conceitos apresentados no item 2.5 deste trabalho.

Um dos pontos críticos identificados foi a necessidade do agendamento prévio com 48 horas de antecedência, o que resultava em um alto tempo de espera entre a solicitação e o início da atividade. Para solucionar esse problema, foi proposto um novo sistema de agendamento on-line, no qual o usuário pode visualizar os horários disponíveis em tempo real e solicitar a utilização imediata do laboratório, necessitando apenas da aprovação dos servidores antes do início do trabalho.

Com essa mudança, espera-se reduzir o tempo mínimo de espera para agendamento de 48 horas para 12 horas, além de eliminar possíveis conflitos de interesse para o mesmo período, uma vez que os usuários terão acesso à agenda compartilhada e poderão planejar suas atividades de forma mais eficiente.

A Figura 25 apresenta o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) parcial, refletindo as mudanças implementadas no experimento CN, que pertence à Família 1.

Figura 25 - MFV de estado futuro da Família 1.

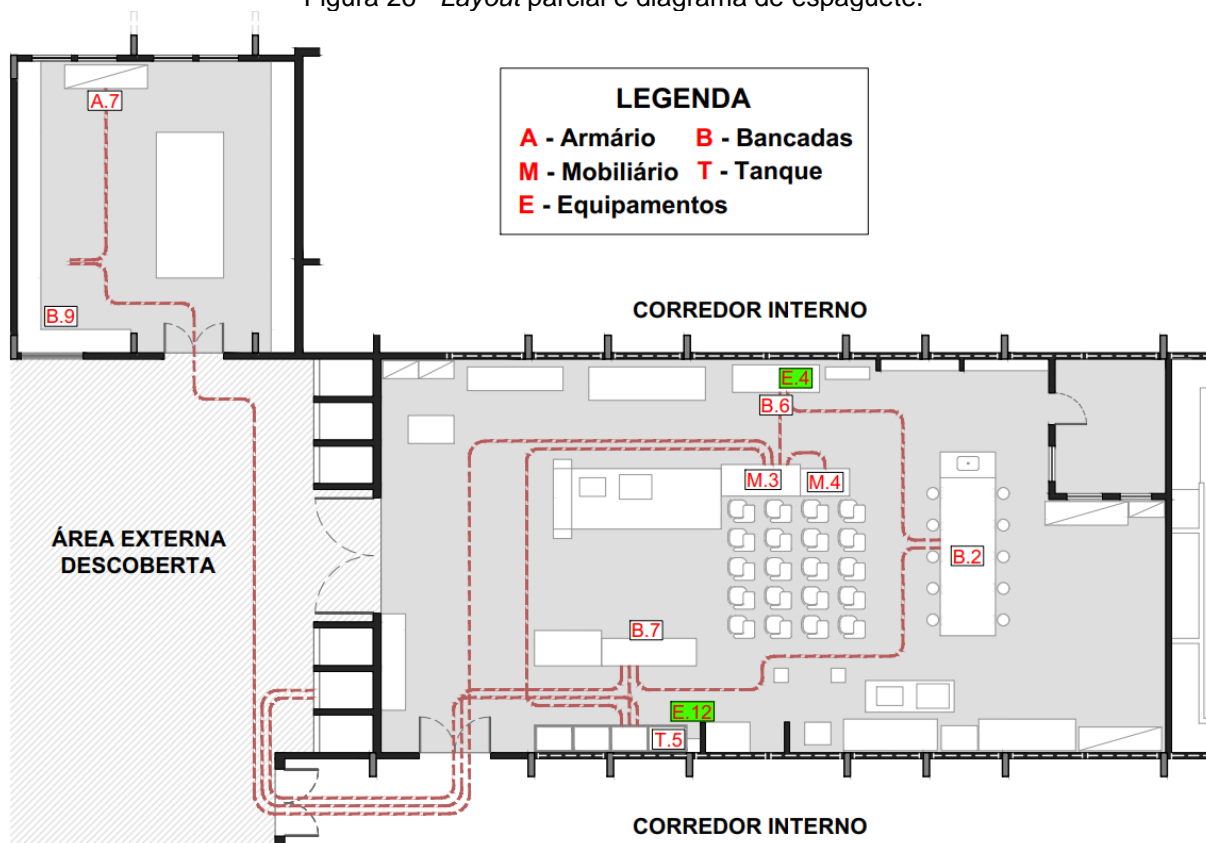


Fonte: Santos e Campanini (2023).

Além do novo sistema de agendamento, foram identificadas oportunidades de melhoria por meio da abordagem *Kaizen*. O primeiro ponto, denominado *Kaizen 1*, propõe a implementação de um mercado com pacotes previamente pesados, conforme os requisitos da NBR 16606:2018. Assim, reduz-se consideravelmente o tempo de preparo inicial, sendo necessário o deslocamento para a bancada de balanças apenas uma vez, para a pesagem da água destilada que será utilizada no experimento.

Embora não seja possível implementar a produção puxada devido às características do experimento em questão, um novo *layout* foi desenvolvido para permitir um fluxo contínuo entre os processos. Essa mudança possibilita que os grupos trabalhem de maneira simultânea e ordenada, reduzindo esperas e aumentando a eficiência do uso do espaço. Além disso, foi proposta a descentralização do armário A em quatro novos locais, conforme apresentado na Figura 26.

Figura 26 - Layout parcial e diagrama de espaguete.



Fonte: Santos e Campanini (2023).

Por fim, foram propostas melhorias nas duas últimas etapas de processamento, conforme indicado nos *Kaizens* 2 e 3. As mudanças incluem a implementação de etapas intermediárias de limpeza e o descarte realizado apenas ao final do procedimento, ambos visando a redução do desperdício de deslocamento dos usuários.

A Tabela 13 apresenta uma comparação entre o deslocamento dos usuários no estado atual e após as melhorias parciais, demonstrando uma redução total de 69,7%, equivalente a 338 metros a menos percorridos.

Tabela 13 - Deslocamento atual, futuro e redução.

ESTADO ATUAL		ESTADO PARCIAL		REDUÇÃO	
Etapa	Desloc. (m)	Etapa	Desloc. (m)	Etapa	%
Preparação	190	Preparação	30	Preparação	84,2%
Mistura	136	Mistura	36	Mistura	73,5%
Medição	7	Medição	7	Medição	0,0%
Descarte	100	Descarte	44	Descarte	56,0%
Limpeza	52	Limpeza	30	Limpeza	42,3%
TOTAL	485	TOTAL	147	TOTAL	69,7%

Fonte: Santos e Campanini (2023).

Além das mudanças estruturais e no fluxo de trabalho, foram implementadas outras melhorias baseadas em ferramentas como 5S e estratégias para redução do tempo de setup. Entre essas mudanças, destaca-se a reorganização parcial do *layout* para viabilizar a implementação do MFV de estado futuro do experimento já estudado, representado abaixo na Imagem 1.

Imagem 1 - Mudança parcial de *layout*.



Fonte: produção dos autores (2025).

Figura 27 - Retirada de materiais e equipamentos não utilizados.



Fonte: produção dos autores (2025).

Também, itens depositados que não estavam sendo utilizados foram retirados para facilitar o fluxo dos usuários, além de facilitar limpeza do laboratório. As fotos do antes e depois estão apresentadas abaixo nas

Imagem 2 - Antes - Equipamentos depositados no LMCC.



Fonte: produção do autor (2022).

Imagem 3 - Depois - Equipamentos retirados.



Fonte: produção do autor (2025).

Também, a máquina obsoleta, juntamente com os armários que não haviam utilização foram retirados e deram lugar a uma nova bancada, agora disponível para trabalho dos usuários, conforme Imagem 4 e Imagem 5.

Imagem 4 - Antes - Máquina obsoleta e armários sem utilização.



Fonte: produção do autor (2022).

Imagem 5 - Depois - Máquina obsoleta e armários sem utilização.



Fonte: produção do autor (2022).

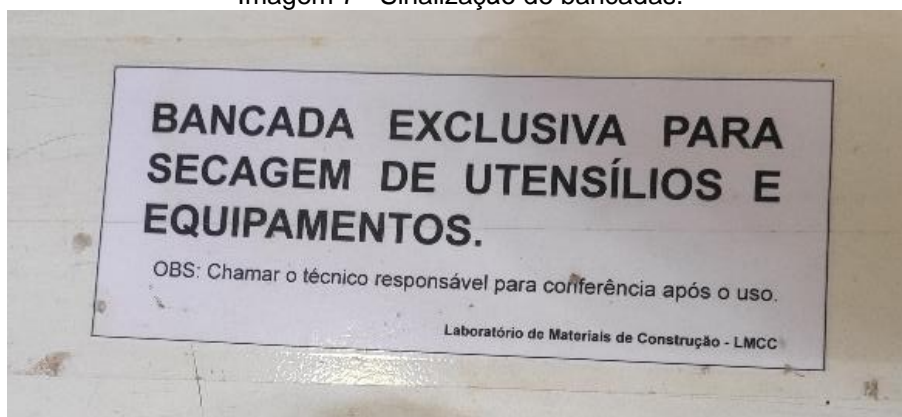
Ainda, foram adicionadas sinalizações para a correta utilização do espaço e das bancadas de trabalho, além da retirada de equipamentos e materiais sem uso, como ilustrado nas Imagem 6 e Imagem 7.

Imagem 6 - Sinalização de bancadas.



Fonte: produção dos autores (2025).

Imagem 7 - Sinalização de bancadas.



Fonte: produção dos autores (2025).

Por sua vez, foi retirada da Sala de Preparação de Amostras (SPA), que também serve de apoio ao LMCC, materiais não utilizados, bem como a identificação de amostras e reorganização do fluxo de pessoas e estoque de materiais, conforme é possível notar nas Imagens 8 e 9.

Imagem 8 - Antes - SPA



Fonte: produção dos autores (2022).

Imagem 9 - Depois - SPA



Fonte: produção dos autores (2025).

Os servidores relataram um aumento na produtividade, destacando que, com as mudanças implementadas, o laboratório agora pode ser utilizado simultaneamente por pelo menos dois grupos. Além disso, observou-se que os usuários demonstram maior clareza quanto à utilização do espaço e das bancadas de trabalho, reduzindo significativamente conflitos entre os fluxos operacionais.

Os resultados obtidos com as melhorias parciais já implementadas demonstram um avanço significativo na organização do laboratório, com redução de desperdícios e maior eficiência no uso do espaço. A diminuição do deslocamento dos usuários e o aumento da produtividade relatado pelos servidores indicam que a aplicação dos princípios *Lean* pode ser ampliada para aprimorar ainda mais o fluxo de trabalho.

Com base nesses primeiros impactos, propõe-se um novo *layout* para o laboratório, estruturado a partir das diretrizes *Lean* e das necessidades globais do espaço. O próximo item apresenta essa proposta, consolidando um modelo de estado futuro capaz de atender de forma mais integrada as diferentes atividades realizadas no laboratório.

5.2 Proposta de estado futuro

A experiência adquirida na etapa anterior, que trata das melhorias parciais, serviu como base para aprofundar o entendimento da dinâmica do laboratório, permitindo ajustes mais precisos e alinhados às necessidades reais dos usuários. Essa abordagem é especialmente relevante no contexto das universidades públicas, onde a necessidade de otimização dos recursos é um fator determinante para viabilizar mudanças estruturais. Conforme destaca Motta (2013), a gestão eficiente em instituições públicas deve equilibrar a busca por melhorias com as limitações financeiras, garantindo que a implementação ocorra de forma planejada e sustentável.

Com base nos desafios identificados e nas melhorias parciais implementadas, foi possível estruturar uma proposta abrangente para o estado futuro do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC). Considerando as limitações orçamentárias das universidades federais, a implementação desta proposta ocorrerá de forma escalonada ao longo dos próximos anos, garantindo uma evolução contínua do espaço. Essa abordagem, embora motivada pelo contexto financeiro, está alinhada à lógica defendida por Rother e Shook (2003), que destacam a importância da implementação gradual na transformação de processos produtivos, permitindo ajustes e refinamentos ao longo do tempo.

Além disso, parte dos custos pode ser reduzida devido à disponibilidade de mão de obra interna da universidade, o que minimiza a necessidade de contratações externas. Outra possibilidade é a obtenção de recursos por meio de projetos de pesquisa e extensão, viabilizando investimentos estratégicos que acelerem a adoção das melhorias propostas. Dessa forma, a principal preocupação orçamentária se concentra na aquisição de materiais, aspecto que deve ser planejado de maneira a garantir a viabilidade da implementação ao longo do tempo.

Ainda, a proposta busca um equilíbrio entre estrutura fixa e flexibilidade, permitindo que determinadas áreas e equipamentos sejam adaptáveis às necessidades futuras. De acordo com Liker (2022), a eficiência operacional de um ambiente produtivo está diretamente ligada à sua capacidade de adaptação, garantindo que mudanças possam ser absorvidas sem comprometer sua funcionalidade. Um exemplo disso é a criação de bancadas móveis, que coexistem com bancadas fixas, possibilitando reorganizações conforme a demanda e novos cenários de uso. Esse conceito de adaptabilidade visa não apenas otimizar o

presente, mas também preparar o laboratório para absorver mudanças sem comprometer sua funcionalidade, em consonância com os princípios *Lean* de melhoria contínua (WOMACK; JONES, 2003).

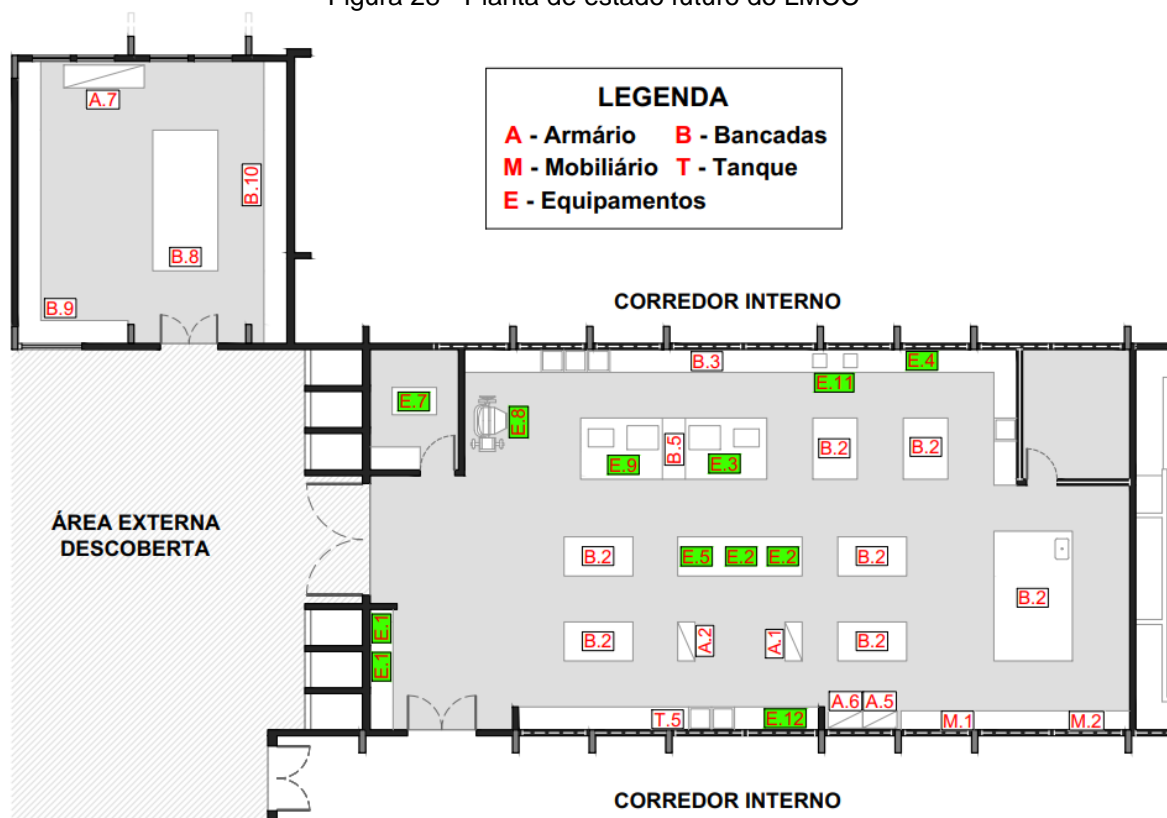
Este item detalha a configuração proposta para o estado futuro do laboratório, abordando as mudanças planejadas no *layout*, a reestruturação dos processos e os benefícios esperados com a implementação dessas melhorias.

5.2.1 Novo *layout* proposto e fluxos de trabalho

A nova configuração do laboratório foi desenvolvida para otimizar o uso do espaço, minimizar desperdícios e melhorar a fluidez dos experimentos. A reorganização dos postos de trabalho baseia-se nos conceitos *Lean*, priorizando a redução de movimentações desnecessárias e a padronização dos processos.

A Figura 28 apresenta o projeto de *layout* futuro do laboratório, que será implementado, destacando a redistribuição de bancadas e equipamentos para garantir um fluxo contínuo e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. Essa configuração permite que múltiplos grupos utilizem o espaço simultaneamente, reduzindo o tempo de espera e evitando sobrecargas em determinados pontos.

Figura 28 - Planta de estado futuro do LMCC



Fonte: produção dos autores (2025).

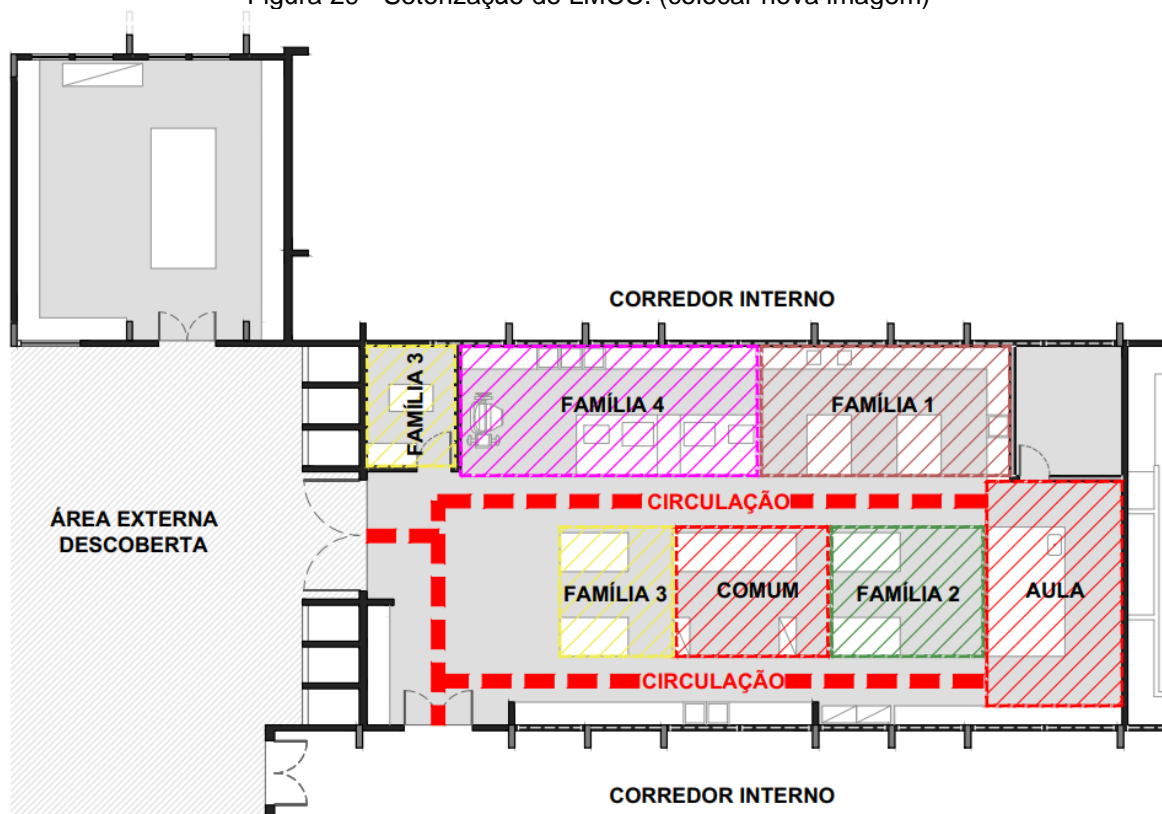
Para planejar a nova organização, foram mantidos os equipamentos já utilizados no laboratório e nos experimentos em andamento. Além disso, propõem-se dois tipos de bancadas: apoio e trabalho.

As bancadas de apoio são fixas e posicionadas junto às paredes, onde estão instaladas a infraestrutura elétrica e hidráulica. Elas abrigam ferramentas comuns aos ensaios, como bandejas metálicas e materiais auxiliares. As bancadas de trabalho são móveis, permitindo sua movimentação conforme necessário. Essa configuração possibilita maior flexibilidade para atender novas demandas laboratoriais e otimizar o uso do espaço.

Além da reorganização espacial, a nova configuração impacta diretamente a área útil disponível para bancadas de trabalho. No estado atual, o laboratório conta com aproximadamente 13,60 m² de bancadas de trabalho, enquanto no novo *layout* essa metragem será de 32,95 m², representando um aumento de 242% na área destinada aos ensaios.

O *layout* proposto inclui a setorização de bancadas independentes, organizadas conforme o fluxo de trabalho e os equipamentos necessários para cada família de experimentos, conforme Figura 29 .

Figura 29 - Setorização do LMCC. (colocar nova imagem)



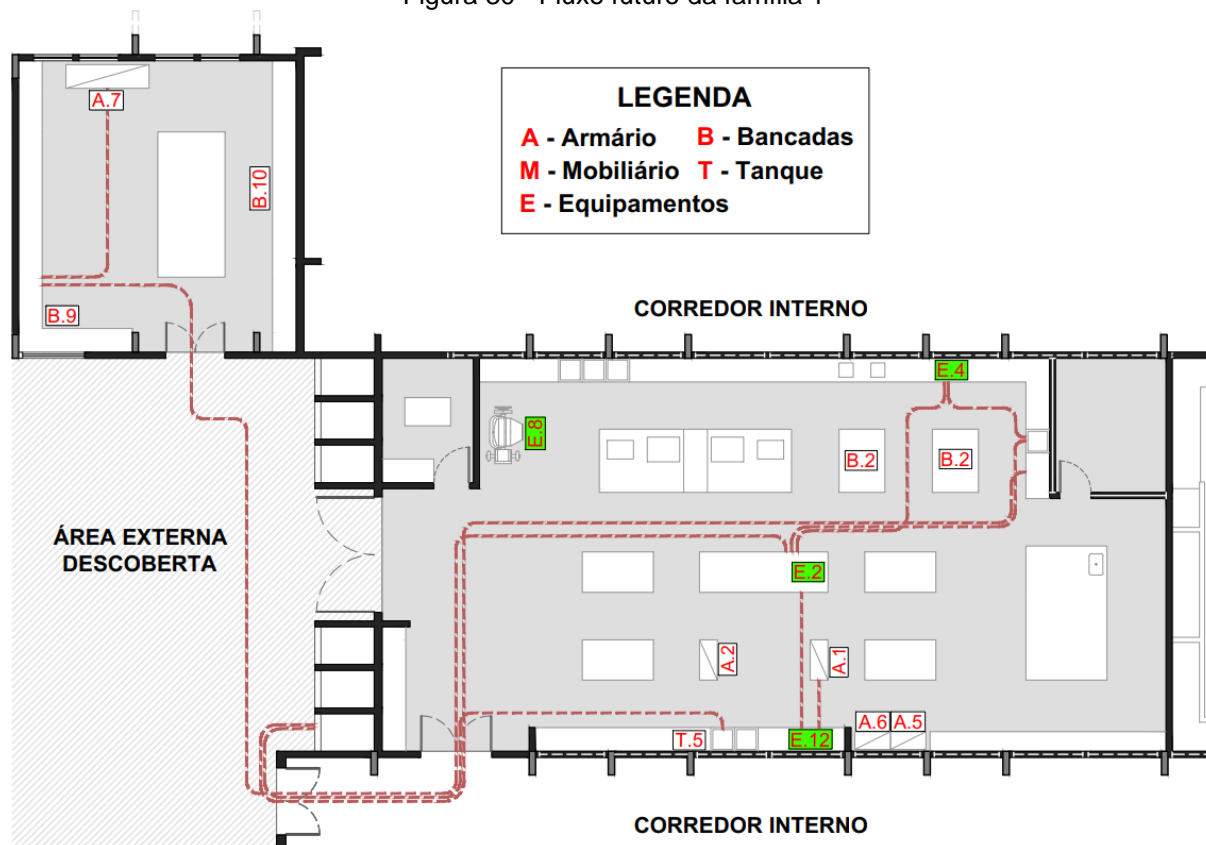
Fonte: produção dos autores (2025)

Essa configuração possibilita que diferentes grupos utilizem o laboratório simultaneamente para a realização de ensaios distintos, sem interferências no uso do espaço. Além disso, foram projetados corredores amplos, permitindo a circulação confortável de itens como carrinhos de mão e bandejas, garantindo um fluxo de trabalho contínuo e bem definido.

Para viabilizar a plena utilização do novo *layout*, será necessária a aquisição progressiva de equipamentos compartilhados, utilizados em praticamente todos os experimentos, como balanças, estufas e outros insumos essenciais. Esses equipamentos permitirão que diferentes grupos realizem ensaios simultaneamente, reduzindo a necessidade de espera e garantindo maior eficiência no uso do laboratório ao longo da implantação do novo modelo.

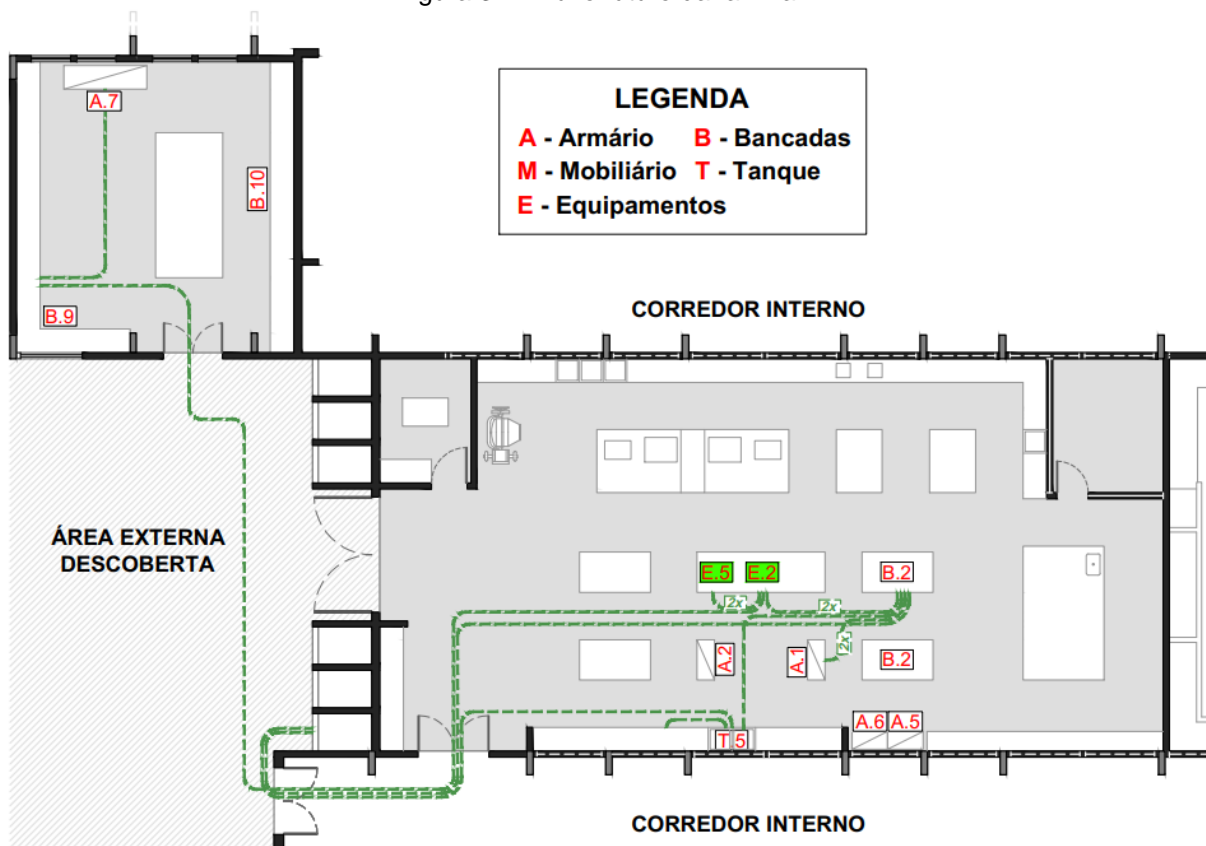
Com a definição deste *layout* e a reorganização dos postos de trabalho, foi realizada uma análise dos fluxos de movimentação no laboratório utilizando diagramas de espaguete, que serão apresentados nas Figuras 34, 35, 36 e 37. Essa ferramenta permitiu visualizar o deslocamento dos usuários e identificar potenciais melhorias na distribuição dos elementos dentro do espaço.

Figura 30 - Fluxo futuro da família 1



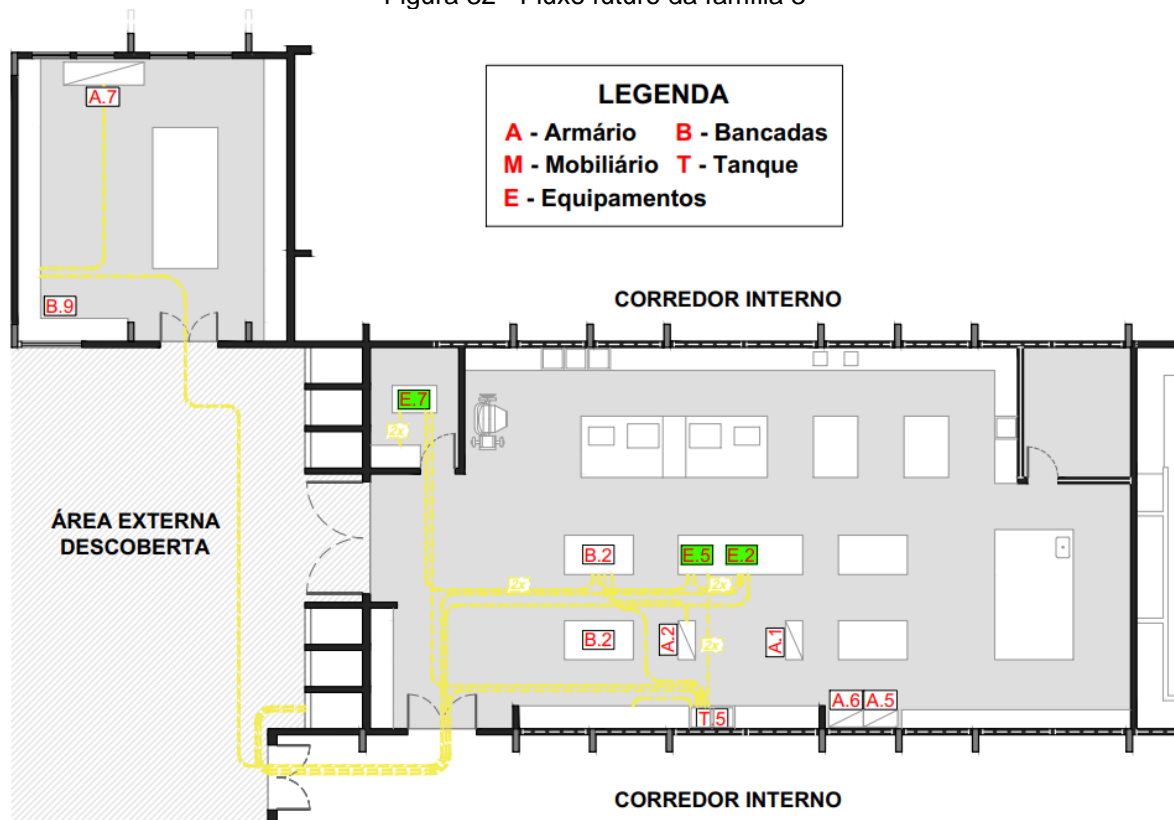
Fonte: produção dos autores (2025)

Figura 31 - Fluxo futuro da família 2.



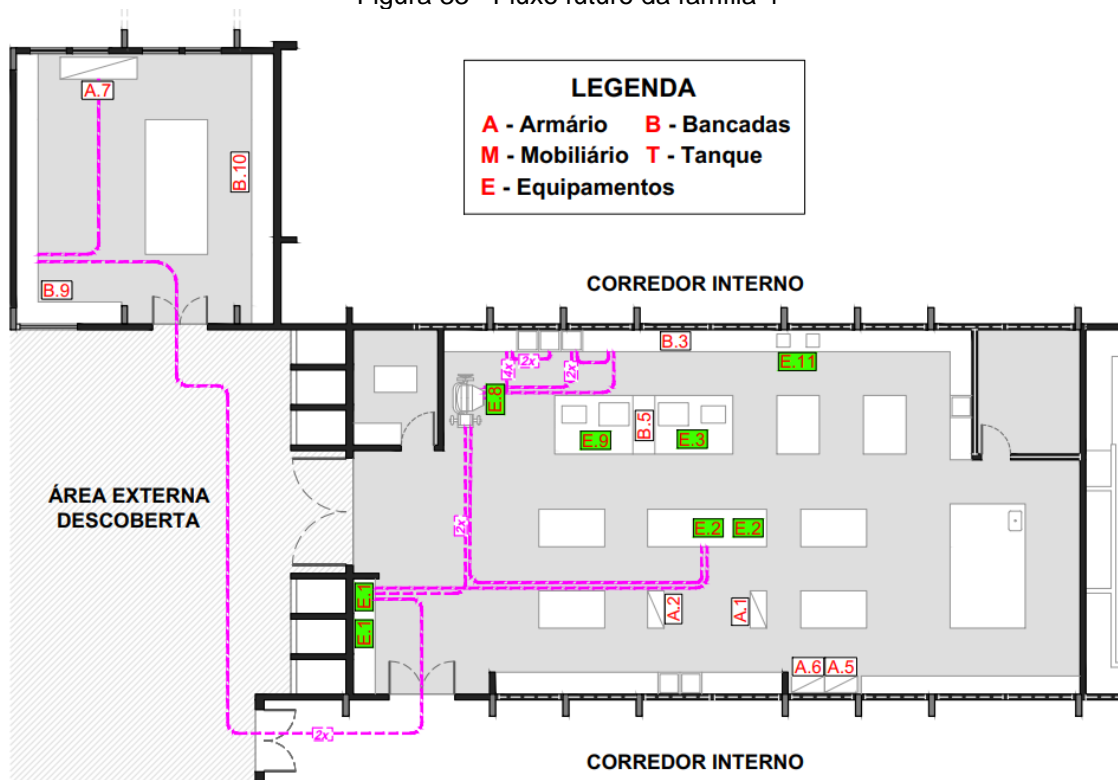
Fonte: Produção dos autores (2025).

Figura 32 - Fluxo futuro da família 3



Fonte: produção dos autores (2025).

Figura 33 - Fluxo futuro da família 4



Fonte: produção dos autores (2025).

Embora ainda haja corredores mais solicitados, em virtude do posicionamento dos equipamentos que são comuns na realização dos diferentes tipos de ensaio, como a balança e estufa, a presença de corredores bem definidos, juntamente com o alargamento das circulações, possibilitará a utilização do espaço por mais de um grupo simultaneamente.

As Figuras 34, 35, 36 e 37 apresentam o diagrama de espaguete do estado futuro para cada uma das famílias analisadas, no qual se observa uma significativa redução nas movimentações desnecessárias em comparação ao estado atual. A redistribuição das bancadas e a setorização do ambiente resultaram em trajetórias menores, minimizando o tempo gasto em deslocamentos. A comparação entre o estado atual e o estado futuro, considerando a quantidade de amostras necessárias para cada um, está agrupado abaixo, na Tabela 14.

Tabela 14 - Deslocamentos no LMCC.

FAMÍLIA	ATUAL	FUTURO	REDUÇÃO
Família 1	507 m	170 m	66,47%
Família 2	366 m	218 m	40,44%
Família 3	508 m	292 m	42,52%
Família 4	1347 m	363 m	73,05%
TOTAL	2728 m	1043 m	61,77%

Fonte: produção dos autores (2025).

É possível notar que em todas as famílias analisadas, houve diminuição na movimentação dos usuários, com variações no percentual de redução conforme a configuração e as exigências de cada experimento. A Família 4, que inicialmente apresentava os maiores deslocamentos, teve a redução mais expressiva, sugerindo que os fluxos anteriores eram mais dispersos e que a nova disposição dos postos de trabalho foi especialmente eficaz nesse caso. Já a Família 2 teve a menor redução relativa, o que pode indicar que algumas movimentações ainda são necessárias para acessar equipamentos específicos ou materiais utilizados nos ensaios.

No total, a movimentação no laboratório foi reduzida em 61,77%, confirmando que a reorganização espacial tornou os fluxos mais diretos e eficientes. Essa otimização não apenas diminuiu o tempo gasto em deslocamentos, mas também melhora a fluidez do trabalho, reduzindo sobrecargas em determinadas áreas e tornando o uso do espaço mais equilibrado. Apesar da necessidade de deslocamentos pontuais, como para a área de estocagem, a nova configuração minimiza desperdícios relacionados à movimentação excessiva e possibilita um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

Com essa nova organização validada, foi elaborado o MFV do estado futuro, que expande a visão do laboratório além da disposição física, incorporando melhorias nos processos para atender melhor à demanda. A próxima seção detalha esse mapeamento e as etapas necessárias para a transição ao novo modelo, garantindo a implementação das mudanças de forma estruturada e sustentável ao longo do tempo.

5.2.2 MFV de estado futuro e sua futura implementação

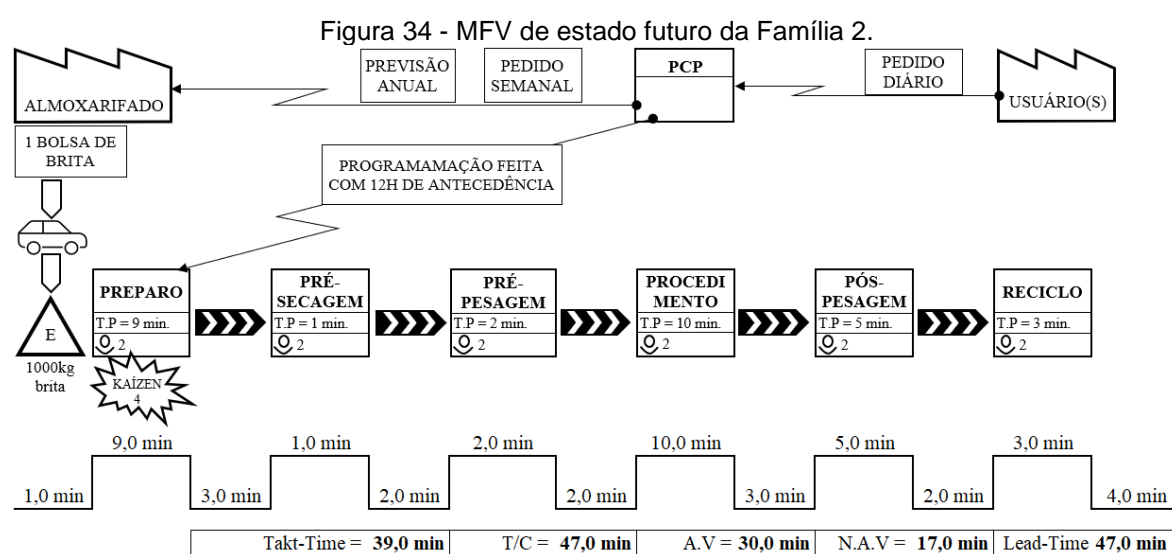
A construção do MFV de estado atual das quatro famílias baseou-se em informações obtidas por meio de entrevistas e observação *in loco*. O estado futuro, que será implementado futuramente, foi desenhado a partir das oportunidades de melhoria identificadas nessa análise, conforme detalhado na Tabela 12, na seção 4.3.2. Os tempos calculados são os esperados, a partir de simulação *in loco*, para as novas etapas.

As principais mudanças previstas para o estado futuro envolveram a redistribuição do *layout*, otimizando o posicionamento de equipamentos, ferramentas e utensílios no LMCC para melhorar a eficiência e a organização do espaço. Além disso, foram analisados os requisitos normativos, identificando itens que poderiam ser ajustados e aqueles sem diretrizes específicas. Para esses últimos, foram

desenvolvidos novos procedimentos operacionais, garantindo maior padronização e redução no tempo de execução das atividades.

A implementação do estado futuro considerou as especificidades de cada família. As mudanças previstas para Família 1, já foram discutidas na seção 5.1, sendo que a principal alteração envolveu a realocação dos equipamentos E.4 e E.12, reduzindo desperdícios de movimentação. Ainda, propôs-se a criação de etapas intermediárias de descarte e limpeza, de modo a tornar contínuo o fluxo percorrido dentro do laboratório.

Já na Família 2, conforme identificado no diagnóstico, priorizou-se a reorganização do fluxo de trabalho e o reposicionamento estratégico dos equipamentos E.2 e E.5, visando minimizar deslocamentos desnecessários e otimizar a interação entre os postos de trabalho. Além da realocação dos equipamentos, foi proposta a aproximação de armários e demais itens de armazenamento frequentemente utilizados, reduzindo o tempo de acesso aos materiais essenciais. O novo MFV, refletindo essas alterações, está apresentado na Figura 34.



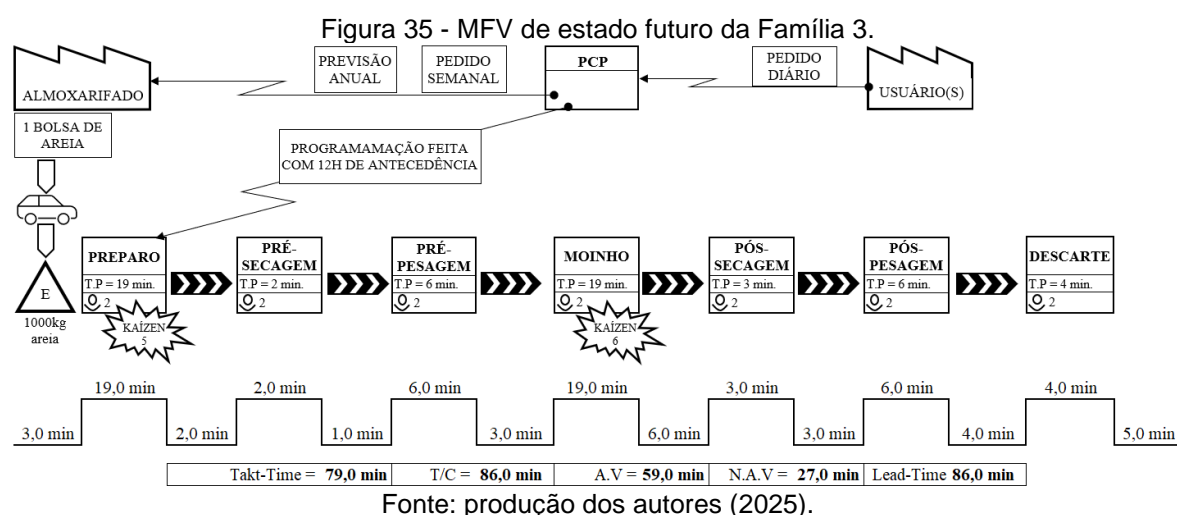
Fonte: produção dos autores (2025).

Também, foi implementado o *Kaizen 4*, otimizando a etapa de preparo da amostra. Para facilitar o acesso ao material e melhorar a organização do fluxo de trabalho, foi disponibilizado um recipiente menor, de 100 kg, na sala de amostras, garantindo que os alunos possam retirar a quantidade necessária de forma mais prática e ergonômica.

Na Família 3, seguiu-se uma abordagem semelhante à da Família 2, com a implementação de novos fluxos de trabalho e procedimentos operacionais voltados à

otimização da sequência de atividades. Essas mudanças visam reduzir tempos de espera, eliminar retrabalhos e garantir maior eficiência na execução das tarefas.

A Figura 39 apresenta o novo MFV da Família 3, evidenciando as melhorias na organização do fluxo de trabalho e a reconfiguração do espaço para otimização dos processos e minimização de interferências entre atividades simultâneas.



Adicionalmente, foi proposto o *Kaizen 5*, alinhado ao *Kaizen 4*, que consiste na instalação de um recipiente menor na sala de amostras. Essa melhoria visa facilitar o início dos ensaios, reduzir deslocamentos desnecessários e agilizar a preparação das amostras, garantindo um processo mais eficiente e padronizado.

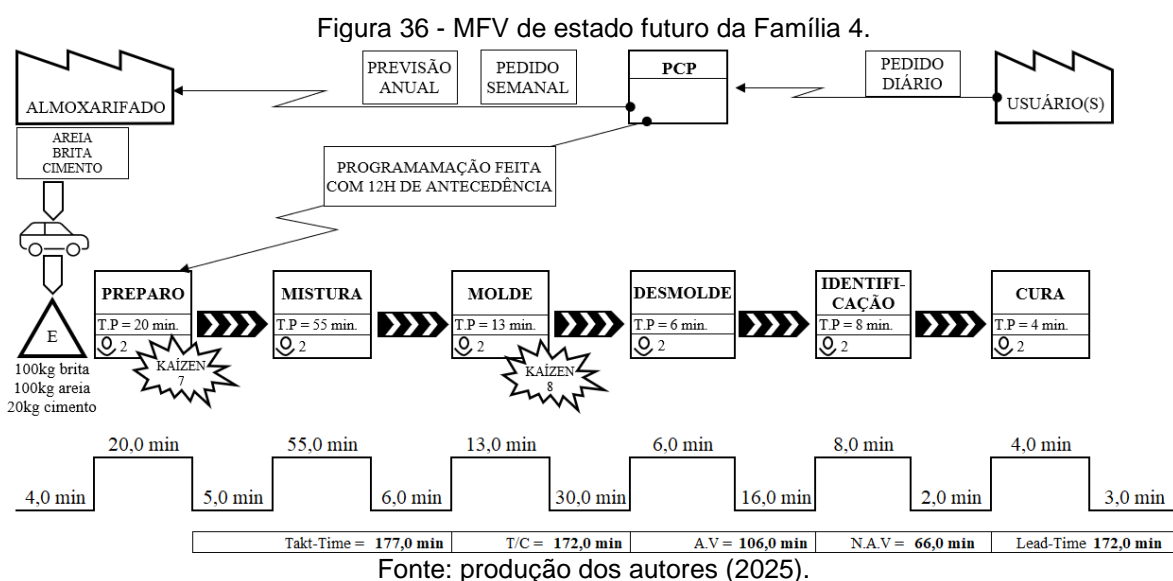
Além disso, conforme definido no novo *layout*, foi implementado o *Kaizen 6*, que propõe a criação de um ambiente vedado acusticamente, permitindo que diferentes grupos utilizem o espaço simultaneamente sem interferências. Essa solução possibilita a realização de atividades de forma contínua, melhorando o aproveitamento do laboratório e proporcionando maior controle sobre os ruídos gerados durante os ensaios.

Após a implementação das melhorias, a Família 4 passou por diversos ajustes estruturais e operacionais. Além das adaptações no *layout* e no posicionamento dos itens, foram implementados dois *Kaizens* voltados para a otimização do transporte de materiais e a melhoria do processo de limpeza.

O *Kaizen 7*, alinhado aos *Kaizens 4* e *5*, propõe a utilização de recipientes menores para facilitar o transporte dos materiais. Já o *Kaizen 8* trata da implementação de um novo processo de limpeza, com a aquisição de uma máquina de alta pressão para higienização dos utensílios e equipamentos. Essa solução

minimiza a exposição dos alunos ao cimento, reduzindo riscos ocupacionais, e melhora a eficiência da limpeza, garantindo maior durabilidade e manutenção dos equipamentos laboratoriais.

A Figura 36 apresenta o MFV da Família 4, ilustrando as melhorias implementadas, incluindo a nova disposição dos itens, a otimização do fluxo de trabalho e a introdução dos processos padronizados de transporte e limpeza.



A implementação das melhorias propostas resultou em reduções expressivas no Lead Time, refletindo diretamente em maior eficiência operacional, otimização do fluxo de trabalho e melhor aproveitamento dos recursos laboratoriais. A Tabela 14 apresenta a síntese dessas melhorias, demonstrando o impacto de cada intervenção.

Tabela 14 – Redução de Lead Time

Família	Lead Time (Estado atual)	Lead Time (Estado Futuro)	Redução
Família 1	179 min.	86 min.	51,96%
Família 2	68 min.	47 min.	30,88%
Família 3	123 min.	86 min.	30,08%
Família 4	285 min.	172 min.	39,65%

Fonte: produção própria (2025).

Com essas melhorias, o MFV de estado futuro apresenta um fluxo de trabalho mais eficiente, organizado e padronizado, reduzindo movimentações desnecessárias, desperdícios e tempos de espera. A redistribuição do *layout*, a otimização dos equipamentos e a implementação dos *Kaizens* resultaram em um ambiente mais produtivo, ergonomicamente adequado e alinhado às melhores práticas de gestão laboratorial.

Além dos benefícios imediatos, como a redução do Lead Time e a melhoria na execução dos processos, a nova configuração do LMCC cria condições favoráveis para a adoção de práticas de melhoria contínua, garantindo maior flexibilidade e adaptabilidade às futuras demandas experimentais.

A seguir, detalham-se as etapas de implementação necessárias para a consolidação desse novo modelo operacional, abordando os desafios envolvidos e os recursos necessários para sua execução.

5.2.3 Etapas de Implementação

A transição para o estado futuro do LMCC será realizada de forma progressiva, garantindo que as melhorias implementadas até o momento sejam consolidadas e ampliadas sem comprometer a operação do laboratório. A etapa inicial, descrita na seção 5.1, focou na reorganização parcial do espaço, redução de deslocamentos e aplicação de princípios *Lean*, permitindo ganhos imediatos na eficiência dos processos. A partir dessa base, as próximas etapas serão direcionadas à reestruturação completa do *layout*, com ajustes estruturais e a instalação definitiva das configurações planejadas.

A segunda etapa envolverá a adequação acústica do equipamento E.8, reduzindo a propagação de ruídos que possam interferir na execução dos ensaios. Além disso, será realizado o desfazimento de armários e equipamentos fora de uso ou em desconformidade com normas técnicas, incluindo a remoção do equipamento E.6, liberando espaço e garantindo melhor organização do laboratório. Essa fase também contemplará a reorganização dos materiais essenciais, eliminando acúmulos desnecessários e preparando o ambiente para os próximos ajustes. Com isso, espera-se um melhor aproveitamento do espaço disponível, reduzindo interferências e melhorando a disposição dos recursos utilizados nos experimentos.

A terceira etapa será a instalação das bancadas fixas, posicionadas ao longo das paredes, conforme o *layout* proposto no MFV de estado futuro. Para isso, serão necessários ajustes na infraestrutura elétrica e hidráulica, garantindo que os pontos de alimentação atendam à nova disposição dos postos de trabalho. A instalação dessas bancadas exigirá ainda o reposicionamento da porta da sala dos técnicos, melhorando o fluxo de circulação interna e facilitando o acesso aos equipamentos de uso frequente. A execução será feita em etapas, evitando interferências no

funcionamento do laboratório e assegurando que cada ajuste seja consolidado antes da próxima modificação.

Após a instalação das bancadas fixas e a readequação da infraestrutura, a próxima fase consistirá na implementação das bancadas móveis, garantindo que o laboratório mantenha a flexibilidade necessária para futuras reconfigurações do espaço. A quarta etapa envolverá a instalação de seis bancadas móveis, projetadas para permitir a adaptação do laboratório conforme necessário. Essas bancadas poderão ser reposicionadas ou removidas caso novas máquinas sejam adquiridas, otimizando o uso da área disponível. Se forem identificadas bancadas subutilizadas, elas poderão ser realocadas ou doadas para outros laboratórios, evitando desperdício de espaço. A estrutura dessas bancadas será resistente o suficiente para suportar os ensaios realizados, mas sem comprometer sua mobilidade quando necessário. Esse modelo modular garantirá que o laboratório permaneça adaptável a novas demandas, possibilitando ajustes sem a necessidade de grandes intervenções estruturais.

A implementação dessas etapas garantirá que a transição para o estado futuro do LMCC ocorra de maneira estruturada e sustentável, consolidando as melhorias propostas sem comprometer a operação do laboratório. Com essa configuração, espera-se que o laboratório reduza tempos de espera, otimize o uso do espaço e aumente a eficiência na execução dos ensaios, consolidando um modelo operacional mais robusto e sustentável. Entretanto, considerando o princípio da melhoria contínua, novas demandas podem surgir ao longo do tempo, exigindo ajustes no *Layout*. As bancadas móveis serão um recurso estratégico para absorver essas mudanças, garantindo que o laboratório continue flexível e adaptável a futuras necessidades, sem necessidade de grandes reestruturações.

Com a conclusão dessas etapas, o laboratório estará configurado de acordo com o MFV de estado futuro, possibilitando melhorias na execução dos ensaios e um melhor aproveitamento do espaço. A seguir, serão discutidas as implicações práticas e acadêmicas das mudanças implementadas, avaliando os impactos observados e as possibilidades para novas otimizações.

6 DISCUSSÕES FINAIS E CONSIDERAÇÕES

A questão de pesquisa proposta, como a aplicação de princípios e ferramentas do Lean Thinking pode apoiar a reorganização de processos em laboratórios de ensino em uma universidade pública, foi respondida ao longo da pesquisa-ação. A

aplicação estruturada do Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), do diagrama de espaguete e do 5S possibilitou identificar desperdícios, além de se apoiar no fluxo contínuo, entre outros princípios *Lean*, possibilitou reorganizar fluxos e melhorar a ocupação do espaço, resultando em ganhos concretos, como a redução de 61,77% nos deslocamentos dos usuários.

Os objetivos desta pesquisa foram atingidos, evidenciando a viabilidade da implementação de princípios e ferramentas *Lean* em laboratórios de ensino. O objetivo geral de identificar desperdícios no processo de ensino-aprendizagem e propor melhorias baseadas em *Lean* foi cumprido por meio da redução dos principais desperdícios identificados, como tempo de espera, movimentação excessiva e estoques desnecessários.

Entre os objetivos específicos, a caracterização do fluxo de trabalho no laboratório foi realizada por meio de entrevistas, visitas *in loco* e ferramentas como MFV e diagrama de espaguete, permitindo a visualização dos gargalos operacionais. A proposta de intervenções foi estruturada com base na aplicação do 5S e na reorganização espacial, resultando em ganhos mensuráveis. A avaliação dos impactos das mudanças foi conduzida por meio de análise comparativa, entre o antes e depois, confirmando que a adoção de práticas *Lean* trouxe melhorias significativas para a organização do laboratório.

A presente pesquisa evidenciou a viabilidade da implementação de princípios e ferramentas *Lean* em laboratórios de ensino, com resultados que se alinham à literatura existente. A redução de desperdícios confirma os resultados de estudos anteriores, como os de Ibrahim et al. (2022) e Marcelino (2022), que também identificaram tais gargalos em laboratórios acadêmicos e hospitalares. Além disso, a aplicação de ferramentas como Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), 5S e *Kaizen* resultou em melhorias significativas do ambiente, além da otimização do espaço e dos fluxos operacionais.

Outra contribuição teórica relevante foi a adaptação do *Lean* ao contexto acadêmico, demonstrando que, embora a literatura se concentre em setores industriais e hospitalares, a aplicação desses conceitos em laboratórios de ensino pode gerar impactos significativos, mas também apresenta desafios metodológicos na definição de métricas aplicáveis. A adaptação do *Lean* ao contexto acadêmico evidenciou desafios metodológicos, especialmente na definição de métricas aplicáveis. Diferentemente do setor industrial, onde tempo de ciclo e Lead Time

possuem definições consolidadas, no contexto laboratorial sua aplicação carece de consenso. A pesquisa não teve como objetivo definir essas métricas, mas sim questionar sua viabilidade e apontar dificuldades na sua utilização, indicando a necessidade de investigações futuras para consolidar abordagens adequadas.

No âmbito prático, a reorganização do *Layout*, incluindo a redistribuição das bancadas e melhorias na gestão de materiais, otimizou o fluxo de trabalho e reduziu deslocamentos. A setorização do espaço e ajustes estruturais reduziram desperdícios operacionais sem demandar altos investimentos, corroborando estudos anteriores. A implementação gradual das melhorias refletiu a dinâmica progressiva da pesquisa-ação, permitindo ajustes contínuos e aprimoramento das soluções.

Como principal legado, propõe-se um método estruturado para aplicação do pensamento *Lean* em laboratórios acadêmicos, consolidando diretrizes para otimização desses ambientes. Esse método oferece um passo a passo sistematizado para identificação de desperdícios, reorganização dos fluxos de trabalho e implementação de melhorias contínuas. Sua flexibilidade permite adaptação conforme as necessidades específicas de cada laboratório, fornecendo um guia estruturado para gestores e pesquisadores interessados na adoção de conceitos *Lean*.

Entretanto, alguns desafios foram identificados. Enquanto estudos anteriores destacam a produção puxada e a flexibilização de processos como estratégias viáveis, no contexto analisado tais abordagens foram limitadas por normativas técnicas que exigem sequências fixas de ensaios. Ademais, a resistência dos usuários à mudança demandou esforço adicional em treinamentos e conscientização para garantir a adesão às novas práticas, reforçando a necessidade de uma abordagem gradual.

Outra limitação reside na aplicação do estudo a um único laboratório, restringindo a generalização dos resultados. A especificidade do ambiente analisado pode influenciar a replicabilidade das intervenções, tornando recomendável a ampliação da pesquisa para diferentes tipos de laboratórios a fim de verificar a adaptabilidade das metodologias *Lean*.

Futuras pesquisas devem se concentrar na formulação de métricas mais precisas para mensuração da eficiência *Lean* em laboratórios, permitindo comparabilidades mais robustas com estudos anteriores. Também se recomenda o acompanhamento das melhorias implementadas para avaliação de sua efetividade no longo prazo. Além disso, a integração de ferramentas digitais, como sistemas de gestão visual e sensores para monitoramento de variáveis operacionais, pode

fortalecer o controle dos processos. Espera-se que essas direções contribuam para a consolidação do *Lean* como estratégia eficaz para otimização de laboratórios de ensino e pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABBADI, L. E.; ELRHANIMI, S.; MANTI, S. E. A Literature Review on the Evolution of *Lean* Manufacturing. **Journal of System and Management Sciences**. [S.l.], v. 10, n. 4, p. 13-30, 2020.

ALSHAMMARI, W.; ALHUSSAIN, H.; RIZK, N. M. Risk Management Assessments and Recommendations Among Students, Staffs, and Health Care Workers in Educational Biomedical Laboratories. **Risk Management Healthcare Policy**. Qatar, v. 2021, n. 14, p. 185-198, jan. 2021. DOI: 10.2147/RMHP.S278162.

ANTON, C. I.; EIDELWEIN, H.; DIEDRICH, H. Proposta de Melhoria no *Layout* da Produção de uma Empresa do Vale do Taquari. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 4, n. 1, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16606**: Cimento Portland: Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BESSANT, J.; CAFFYN, S. High-involvement innovation through continuous improvement. **International Journal of Technology Management**, v. 14, n. 1, p. 7-28, 1997.

BHASIN, Sanjay; BURCHER, Peter. *Lean viewed as a philosophy*. **Journal of Manufacturing Technology Management**, Vol. 17, No. 1, p. 56-72, 2006. <https://doi.org/10.1108/17410380610639506>

BOWEN, D. E.; YOUNGDAHL, W. E. “*Lean*” service: in defense of a production-line approach. **International Journal of Service Industry Management**. [S.l.], v. 9, n. 3, p. 207-225, 1998.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 12 fev. 2025.

Conselho Federal de Engenharia e Agronomia. **Resolução no 218, de 29 de junho de 1973**. Regulamenta as atribuições profissionais inseridos nos sistemas CONFEA/CREA. Disponível em: <https://normativos.confea.org.br/Ementas/Visualizar?id=266>. Acesso em: 08 de jan. 2022.

COUGHLAN, P.; COUGHLAN, D. Action research for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**. [S.l.], v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.

DANESE, P.; MANFÈ, V.; ROMANO, P. A Systematic Literature Review on Recent *Lean* Research: State-of-the-art and Future Directions. **International Journal of Management Reviews**, [s. l.], v. 20, p. 579-605, 2018. DOI: 10.1111/ijmr.12156

DILANTHI, M.G.S. Conceptual Evolution of *Lean* Manufacturing: A review of Literature. **International Journal of Economics, Commerce and Management**. Reino Unido, v. 3, n. 10, n.p., out. 2015.

DOUGLAS, J.; ANTONY, J.; DOUGLAS, A. Waste identification and elimination in HEIs: the role of *Lean* thinking. **International Journal of Quality & Reliability Management**. [S.l.], v. 32, n. 9, pp. 970-981, 2015.

ELRHANIMI, S.; EL ABBADI, L.; ABOUABDELLAH, A. *Lean* manufacturing: from the craft production to the global emergence. **International Journal of Engineering & Technology**. [S.l.], v. 7, n. 4.16, p. 54-59, 2018.

FLORIDA, R. *Lean* and green: the move to environmentally conscious manufacturing. **California Management Review**, v. 39, n. 1, p. 80-105, 1996.

FRAIZ, M. M.; ASSAD, A.; DROZDA, F. O. Implementação da metodologia SMED em um processo manual: estudo de caso em uma indústria do setor de óleo e gás. **Journal of Lean Systems**, v. 4, n. 3, p. 121-145, 2019.

FYNES, B.; ENNIS, S. From *Lean* production to *Lean* logistics: the case of Microsoft Ireland. **European Management Journal**. [S.l.], v. 12, n. 3, p. 322-331, 1994.

GIL-VIDA, F.; YAGUE-FABRA, J. A.; SUNYER, A. From *Lean* Production to *Lean* 4.0: A Systematic Literature Review with a Historical Perspective. **Applied Sciences**. [S. l.], v. 21, n. 21, n.p., nov. 2021. DOI: 10.3390/app112110318.

GODINHO FILHO, M; FERNANDES, F. C. F. Manufatura Enxuta: uma revisão que classifica e analisa os trabalhos apontando perspectivas de pesquisas futuras. **Gestão e Produção**. [S.l.], v.11, n.1, p. 1-19, abr. 2004.

GUIMARÃES, M. R.; GRANDER, G. Proposta de adequação do layout de uma pizzaria por meio da aplicação do diagrama de espaguete. **Produto & Produção**, v. 25, n. 2, p. 1-13, 2024.

GUTIERREZ, J.; SANTAOLALLA, A.; TERCJAK, A.; ROJO, N.; ENCINAS, D.; GOMEZ-DE-BALUGERA, Z.; GALLASTEGUI, G. Creating a Green Chemistry Lab: Towards Sustainable Resource Management and Responsible Purchasing. **Sustainability**. Suíça, v. 12, n. 21, n.p., nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12218934>. Acesso em: 03 mar. 2025.

HERASUTA, M. A. “*Lean*” laboratory. **Laboratory Medicine**. [S.l.], v. 38, n. 3, p. 143-144, mar. 2007.

HOLWEG, M. The genealogy of *Lean* production. **Journal of Operations Management**. Cambridge, v. 25, n. 2, p. 420-437, mai. 2006. DOI: 10.1016/j.jom.2006.04.001.

HUALLACHAIN, B.; WASSERMAN, D. Vertical integration in a *Lean* supply chain: Brazilian automobile component parts. **Economic Geography**. [S.l.], v. 75, n. 1, p. 21-42, jan. 1999.

IBRAHIM, I.; SULTAN, M.; YASSINE, O.; ZAKI, A.; ELAMIR, H.; GUIRGUIS, W. Using *Lean* Six Sigma to improve timeliness of clinical laboratory test results in a university hospital in Egypt. **International Journal of Lean Six Sigma**. [S.l.], v. 13, p. 1159-1183, 2022.

IMAI, M. ***Kaizen: the key to Japan's competitive success***. Nova York: McGraw-Hill, 1986.

JIMENEZ, M.; ROMERO, L.; DOMINGUEZ, M.; ESPINOSA, M. D. M. 5S methodology implementation in the laboratories of an industrial engineering university school. ***Safety Science***. [S.l.], v. 78, p. 163-172, 2015.

JUNIOR, J. A. S.; ANDRADE, M. H. S.; CARMO, B. B. T.; SANTIAGO, K. J ALBERTIN, M. R. **Identificação do *Layout* adequado em uma empresa de tecnologia eletrônica**. Revista Eletrônica Sistemas & Gestão, p. 1-22, 2012.

KANG, P. S.; MANYONGE, L. M. Exploration of *Lean* principles in higher educational institutes – based on degree of implementation and indigence. ***International Journal of Scientific and Engineering Research***. [S.l.], v. 5, n. 2, p. 831-838, fev. 2014.

KARLSSON, C.; ÅHLSTRÖM, P. The difficult path to *Lean* product development. ***Journal of Product Innovation Management***, v. 13, n.4, p. 283-295, 1996.

KOSKELA, L. *Lean* production in *Lean* construction. In: **Proceedings of the National Construction and Management Conference**. Sydney, Australia, 17–18 fev. 1994.

KRAFCIK, J. F. Triumph of the *Lean* Production System. ***Sloan Management Review***. Massachusetts, v. 30, n. 1, p. 41-52, 1988.

LAMMING, R. Squaring *Lean* supply with supply chain management. ***International Journal of Operations & Production Management***. [S.l.], v. 16, n. 2, p. 183-196, 1996.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Muda, Mura, Muri: Tipos Atividades que Geram Desperdícios**. [São Paulo]: Lean Institute Brasil, [s.d.]. Disponível em: <https://www.Lean.org.br/conceitos/78/muda-mura-muri---tipos-atividades-que-geram-desperdicios.aspx>. Acesso em: 25 jan. 2025.

LIKER, Jeffrey K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. São Paulo: Grupo A, 2022. *E-book*. ISBN 9788582605691. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582605691/>. Acesso em: 02 jan. 2025.

LIKER, Jeffrey K.; ROSS, Karyn. **O modelo Toyota de excelência em serviços: a transformação *Lean* em organizações de serviço**. São Paulo: Grupo A, 2019. *E-book*. ISBN 9788582604755. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582604755/>. Acesso em: 20 jan. 2025.

LISTA, A. P., TORTORELLA, G. L., BOUZON, M., MOSTAFA, S., & ROMERO, D. *Lean Layout* design: a case study applied to the textile industry. ***Production***, 31, e20210090, 2021, <https://doi.org/10.1590/0103-6513.2021009>

LONGO, F., CALOGERO, A., NICOLETTI, L., MASSEI, M., DE FELICE, F. & PETRILLO, A. 2014, "*Lean* management tools applied to hospital facilities: The case

of an operative unit of intensive care", **3rd International Workshop on Innovative Simulation for Health Care**, IWISH 2014, pp. 60.

MARCELINO, S. D. M. **Lean Laboratory**: Proposta de aplicação de *Lean* a laboratórios de ensino e investigação. 2022. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial). Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2022.

MARCELINO, S. M.; LIMA, T. M.; GASPAR, P. D. *Lean Laboratory—Designing an Application of Lean for Teaching and Research Laboratories*. **Designs**. [S.l.], v. 7, n. 1, s.p., 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/designs7010017>. Acesso em: 03 fev. 2025.

MARTINS, R. A. Abordagens Quantitativa e Qualitativa. *In*: MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018. p. 45-63.

MARTINS, V. W. B.; FREITAS, F. F. T. **Planejamento sistemático de Layout (PSL): Análise do Layout de uma empresa produtora de pneus recapados**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), Florianópolis, julho, 2011.

MCINTOSH, R. I.; CULLEY, S. J.; MILEHAM, A. R.; OWEN, G. W. A critical evaluation of Shingo's 'SMED' methodology. **International Journal of Production Research**. v. 38, n. 11, p. 2377-2395, 2000.

MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B. Pesquisa-ação na Engenharia de Produção. *In*: MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018. p. 147-164.

METTERNICH, J.; MÜLLER, M.; MEUDT, T.; SCHADE, C. *Lean 4.0 – between contradiction and vision*. **Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb**. [Alemanha], v. 112, n. 5, p. 346-348, 2017.

MOTTA, Paulo Roberto de Mendonça. O estado da arte da gestão pública. **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, v. 53, n. 1, p. 82–90, 2013. DOI: 10.1590/S0034-75902013000100008.

MUIAMBO, C. C. E.; JOÃO, I. M.; NAVAS, H. V. G. **Lean waste assessment in a laboratory for training chemical analysts for the pharmaceutical industry**. *International Journal of Lean Six Sigma*, v. 13, n. 1, p. 178-202, 2022. DOI: 10.1108/IJLSS-11-2020-0184

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala. 5 ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997. 149p.

PEREIRA, T. M. C. de V.; CARVALHO, A. O. P. **Montagem de laboratório da área da Construção Civil: Relato de experiência na ótica do ensino-aprendizagem**. *Research, Society and Development*, [s. l.], v. 10, n. 5, p. e23510514883, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i5.14883. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14883>>. Acesso em: 05 mai. 2023.

PETROVIC, O.; ZSIFKOVITS, H. E. Business process re-engineering as an enabling factor for *Lean* management. In: **Proceedings of the IFIP TC8 Open Conference on Business Process Re-engineering**: Information Systems Opportunities and Challenges. Queensland Gold Coast, Australia, maio 1994.

PORTIOLI-STAUDACHER, A. *Lean* healthcare: an experience in Italy. In: KOCH, T. (org.). **Lean business systems and beyond**. IFIP – The International Federation for Information Processing, v. 257. Boston, MA: Springer, 2008.

POWELL, C. *Lean* manufacturing organization, 21st century. In: **Proceedings of the Annual International Conference**. American Production and Inventory Control Society, nov. 1993.

PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENT TEAM. **The Lean office: collected practices & cases**. Nova York: Productivity Press, 2005.

RIES, E. **The Lean startup: how today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses**. Nova York: Currency, 2017. 336 p.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: *Lean Institute* Brasil, 2003.

SANTOS, G. A. R.; CAMPANINI, L. Mapeamento do fluxo de valor: um estudo de caso em um laboratório de ensino de construção civil. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2023, Bauru. **Anais XXX**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2023.

SHAH, R.; WARD, P.T. Defining and developing measures of *Lean* production. **Journal of Operations Management**. [S.l.], v. 25, n. 1, pp. 785-805, 2007.

SHAH, R.; WARD, P.T. *Lean* manufacturing: context, practice bundles, and performance. **Journal of Operations Management**. [S.l.], v. 21, n. 2, pp. 129-149, 2003.

SHERIDAN, J. H. '*Lean* sigma' synergy. **Industry Week**. *Nashville*, v. 249, n. 17, p. 81-82, out. 2000.

SHINGO, S. **A revolution in manufacturing: the SMED System**. 1 ed. Cambridge: Productivity Press, 1985.

SIEGEL, S. C.; KRAMER, S. B.; DERANEK, K. M. *Lean* methods applied to CAD/CAM pedagogy in the dental simulation laboratory. **Journal of Dental Education**. [S.l.], v. 83, n. 9, p. 1081-1091, set. 2019.

SINHA, N.; MATHARU, M. A comprehensive insight into *Lean* management: Literature review and trends. **Journal of Industrial Engineering and Management**. Barcelona, v. 12, n. 2, p. 302-317, abr. 2019. DOI: 10.3926/jiem.2885.

SREMCEV, N.; LAZAREVIC, M.; KRAINOVIC, B.; MANDIC, J.; MEDOJEVIC, M. Improving teaching and learning process by applying *Lean* thinking. **Procedia Manufacturing**. Columbus, v. 17, p. 595-602, jun. 2018.

STONE, K. B. Four decades of *Lean*: a systematic literature review. **International Journal of Lean Six Sigma**. Kansas, v. 3, n. 2, p. 112-132, 2012.

SUAREZ-BARRAZA, M.F.; RAMIZ-PUJOL, J. An exploratory study of 5S: a multiple case study of multinational organizations in Mexico. **Asian Journal on Quality**. [S.l.], v. 13, n. 1, p. 77-99, 2012.

SUGAI, M.; MCINTOSH, R. I.; NOVASKI, O. Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso. **Gestão & Produção**, v. 14, n. 2, p. 323-335, 2007.

VIEGA, G. L. L.; BARROS, T. A. B. C.; LORENZI JUNIOR, D.; GLASENAPP, S. **O papel de uma universidade para o desenvolvimento sustentável**. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, São José dos Pinhais, v. 16, n. 12, p. 32895-32906, 2023. DOI: 10.55905/revconv.16n.12-228.

VIEIRA, C. A.; PÔRTO JÚNIOR, S. S. Impacto das Instituições de Ensino Superior no Desenvolvimento Econômico Brasileiro 2002-2016. **Revista Estudo & Debate, Lajeado**, v. 30, n. 1, p. 74-94, 2023. DOI: 10.22410/issn.1983-036X.v30i1a2023.3252.

VIERA, R. J.; SARDOUEINASAB, Z.; LEE, J. Improving the efficiency of energy assessments with application of *Lean* tools: a case study. **Energy Efficiency**. [S.l.], v. 12, p. 1717-1728, out. 2019.

WADA, K.; YUI, T. **Courage and Change**: The life of Kiichiro Toyoda. 1 ed. Tóquio: Toyota Motor Corporation, 2002. 330p.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. From *Lean* production to the *Lean* enterprise. **IEEE Engineering Management Review**. [S.l.], p. 38-46, 1994.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean thinking banish waste and create wealth in your corporation**. London, Touchstone Books, 2003.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**: baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology (MIT). 10 ed. São Paulo: *Lean Institute Brasil*, 1990. 332p.

YUKSEL, H. An application of *Lean* thinking principles in a laboratory of a hospital. **lioab Journal**. [S.l.], v. 9, n. 6, p. 21-27, 2018.

Laboratório *Lean*

Seu manual para implementação
de princípios e ferramentas *Lean*.



Publicado em Maio, 2025

Versão 2025

Sobre o manual Lean



Objetivo do manual

Este manual de implementação Lean, voltado para laboratórios de ensino, enfatiza o impacto positivo para o usuário, promovendo processos otimizados, menor tempo de espera e ambientes de aprendizagem mais organizados. Por meio de ferramentas simples e práticas, como 5S, diagrama de espaguete e Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), você aprenderá a identificar os oito tipos de desperdícios e a adotar práticas de alto impacto, desde a adoção de fluxos contínuos até a realização de *Kaizens*. Ao longo das etapas de planejamento, execução e acompanhamento, o objetivo é fortalecer a cultura de melhoria contínua e garantir que o usuário vivencie uma experiência mais ágil, segura e satisfatória.

O que você encontrará neste manual

- ◆ **Os 8 desperdícios** Quais são os desperdícios mais comuns e como identificá-los.
- ◆ **Ferramentas Lean** Quais ferramentas podem ser utilizadas para mapear o fluxo de valor e identificar desperdícios.
- ◆ **Implementação** Etapas recomendada para implementação dos princípios e ferramentas Lean em laboratórios de ensino.
- ◆ **Melhoria contínua** Continue se desenvolvendo!

Porque este manual é importante?

- ◊ **Identificar desperdícios** *O Lean oferece diversas ferramentas que auxiliam a identificação de desperdícios, possibilitando reduzi-los.*
- ◊ **Alto impacto, baixo custo** *Muitas ferramentas e parte dos princípios Lean não possuem grandes custos de aplicação.*
- ◊ **Melhoria contínua** *A ideia de seguir melhorando pouco a pouco, até alcançar o máximo potencial.*

As Instituições Federais de Ensino Superior (IFES), desde a implantação da Emenda Constitucional nº 95/2016, vem sofrendo cortes orçamentários que representaram 32% no período entre 2016 e 2021. Com isso, é preciso maximizar o potencial operacional a partir da implementação de práticas de baixo custo que visem a otimização da utilização da infraestrutura existente.

A filosofia Lean, originalmente desenvolvida no contexto industrial, vem sendo adaptada com sucesso a diferentes ambientes, incluindo instituições de ensino. Em laboratórios, a aplicação do Lean permite reduzir desperdícios, facilitar o acesso a materiais e equipamentos, melhorar o fluxo das atividades e aumentar a satisfação dos usuários.

Este manual é resultado de uma pesquisa acadêmica desenvolvida no âmbito do Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, sob orientação do Prof. Luciano Campanini. Ele foi construído a partir de uma pesquisa-ação realizada no laboratório de construção civil de uma universidade no Centro-Oeste, onde as ferramentas Lean foram testadas, adaptadas e validadas em ambiente real.

Nota importante!



Mais do que apresentar teorias, este manual se propõe a oferecer orientações práticas e diretas para que coordenadores, técnicos e demais envolvidos possam iniciar melhorias com recursos simples e foco na solução de problemas cotidianos. Se precisar de ajuda, não hesite entrar em contato.

Gabriel Alves Rodrigues dos Santos

Telefone (65) 99643 2257

Email gabriel_alves03@hotmail.com

Tabela de conteúdo

	Sobre o Manual	02
	◊ Objetivo do manual	02
	◊ O que você encontrará neste manual	02
	◊ Porque este manual é importante?	03
	Tabela de conteúdo	04
01	Conhecendo o <i>Lean</i>	05
	1.1 Surgimento do <i>Lean</i>	06
	1.1.1 A Casa <i>Lean</i>	07
	1.2 Os 5 princípios <i>Lean</i>	07
	1.3 Os desperdícios <i>Lean</i>	08
02	Implementando	09
	2.1 Passo 1 – Observar e Identificar problemas	10
	2.2 Passo 2 – Organizar com o 5S	11
	2.3 Passo 3 – Mapear desperdícios e identificar melhorias	12
	2.3.1 Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV)	13
	2.3.2 Diagrama de espaguete	15
	2.4 Passo 4 – Planejar e Implementar melhorias	17
03	Considerações finais	18
	3.1 Caminhos para Sustentar as Melhorias	19
	3.2 Próximos passos	19
	3.3 Cultura colaborativa	20
	3.4 Manual em melhoria contínua	20



01

Conhecendo o *Lean*



1.1 Surgimento do *Lean*

Iniciado por Taiichi Ohno e Eiji Toyoda na década de 1940, o *Lean* surgiu a partir da necessidade de tornar a Toyota competitiva no mercado, diante de um cenário econômico japonês devastado devido ao pós-Segunda Guerra Mundial.

Contrapondo a produção em massa, principal meio de produção da época, o *Lean* se estabeleceu como um método produtivo fundamentado na **eliminação sistemática de desperdícios**, na **produção sob demanda** e com foco na **eficiência dos fluxos produtivos**.

O conceito, que iniciou-se com a implementação e aprimoramento apenas em sua fábrica, após sua consolidação foi expandido também para seus fornecedores em 1965.

Com seu amadurecimento ao longo dos anos, teve seu reconhecimento e interesse de outros países, onde em 1990 o método produtivo passou a ser divulgado mundialmente, com a publicação do livro "A Máquina que Mudou o Mundo", de Womack, Jones e Roos.

1.1.1 A Casa *Lean*

A *Casa Lean* representa visualmente a estrutura de sua filosofia, concebido para garantir a interconexão de seus componentes e a eliminação sistemática de desperdícios. Os dois pilares que sustentam a casa são o *Just-in-Time* (JIT) e o *Jidoka*.



1.2 Os 5 Princípios *Lean*

Womack e Jones (2003), definiram 5 princípios que organizam e devem ser levados em consideração por quem deseja implementar o *Lean*. A literatura adaptou estes princípios para sua aplicação em contextos laboratoriais.

- | | |
|--------------------|---|
| 1. Valor | Identificar o que realmente importa para o usuário do laboratório (professor, técnico, aluno). |
| 2. Fluxo de valor | Mapear as etapas que o usuário percorre para realizar uma atividade, identificando e eliminando desperdícios. |
| 3. Fluxo contínuo | Organizar o ambiente de forma que o trabalho flua sem interrupções ou deslocamentos desnecessários |
| 4. Produção puxada | Atender as necessidades reais dos usuários no momento certo, evitando preparos e estoques desnecessários. |
| 5. Perfeição | Promover a melhoria contínua a partir da observação constante e do envolvimento da equipe. |

1.3 Os desperdícios *Lean*

Eliminar desperdícios é o principal objetivo da filosofia *Lean*. Abaixo, estão listados os tipos de desperdícios e exemplos práticos adaptados ao ambiente de laboratórios de ensino.

Tipo de desperdício	Descrição	Exemplos
Superprodução	Produção acima da demanda real.	Montagem de bancadas para aulas que não ocorrerão; reagentes preparados e descartados.
Espera	Tempo ocioso por atrasos ou falhas no processo.	Usuários esperando equipamentos; técnicos esperando orientações.
Transporte	Movimentações desnecessárias de itens.	Caminhos longos entre estoque, bancadas e equipamentos.
Processamento excessivo	Etapas mais complexas que o necessário.	Repetição de registros manuais e digitais; formulários redundantes.
Estoque	Acúmulo de materiais sem uso imediato.	Reagentes vencidos; ferramentas armazenadas em excesso.
Movimentação	Esforços físicos desnecessários.	Técnicos acessando materiais em locais altos ou distantes; deslocamentos frequentes.
Defeitos	Erros que causam retrabalho.	Falhas em experimentos por falta de padronização; uso incorreto de equipamentos.
Produto ou serviço que não atende às expectativas	Qualidade inferior à esperada, gerando insatisfação ou retrabalho.	Resultados de um experimento apresentados de forma incompleta ou imprecisa, exigindo nova coleta ou revisão dos dados.

Reconhecer esses desperdícios são o desafio de quem deseja implementar princípios *Lean* em seus laboratórios. Com a intenção de identificar e reduzi-los, existem alguns métodos e ferramentas que servirão de suporte, tais como: 5S, Mapa de Fluxo de Valor (MFV), diagrama de espaguete, entre outros.

Dica prática:

Transforme essa tabela em um quadro visual ou cartaz e coloque no ambiente para gerar consciência entre os usuários.



Laboratório Lean Manual de aplicação

02

Implementando





2.1 Passo 1 – Observar e identificar problemas

O primeiro passo prático é observar o laboratório com atenção para identificar onde ocorrem desperdícios e dificuldades operacionais. Essa análise deve ser feita diretamente no local, de forma colaborativa, ouvindo os usuários e acompanhando a rotina real de funcionamento.

Durante a observação, registre:

- Materiais sem uso ou fora do lugar;
- Equipamentos com baixa utilização ou com fila de espera;
- Deslocamentos excessivos para buscar ferramentas ou insumos;
- Falta de padronização de procedimentos;
- Espera ou retrabalho causados por falhas de comunicação.

Uma ferramenta útil aqui é o checklist dos desperdícios, baseado nos sete tipos descritos anteriormente. Esse checklist pode ser aplicado em uma caminhada pelo laboratório e ajudará a listar os principais pontos de melhoria, que serão priorizados nas próximas etapas.



2.2 Passo 2 – Organizar com 5S

Após identificar os principais problemas no laboratório, o próximo passo é organizar o ambiente com base na metodologia 5S. Essa ferramenta é simples, prática e altamente eficaz para transformar o espaço físico e criar uma cultura de disciplina e cuidado.

O 5S é formado por cinco etapas, originadas de termos japoneses, que promovem a organização, limpeza e padronização dos ambientes de trabalho. A seguir, apresentamos cada “S” com explicações e exemplos adaptados ao contexto de laboratórios de ensino:

I. *Seiri* (Senso de Utilização)

Separar o que é necessário do que não é.

- **Aplicação prática:** Eliminar materiais, ferramentas ou reagentes sem uso frequente. Realizar um inventário e descartar o que estiver obsoleto, vencido ou duplicado.
- **Exemplo:** Recolher frascos antigos, tubos de ensaio sem tampa ou instrumentos duplicados em bancadas e armários.

II. *Seiton* (Senso de Ordenação)

Organizar os itens de forma lógica, funcional e acessível.

- **Aplicação prática:** Agrupar materiais por tipo e uso, etiquetar gavetas e prateleiras, padronizar locais para itens essenciais.
- **Exemplo:** Criar estações de trabalho com kits de ferramentas completas e dispostas na ordem de uso, facilitando a preparação de aulas práticas.

III. *Seiso* (Senso de Limpeza)

Manter o ambiente limpo, identificando e eliminando as fontes de sujeira.

- **Aplicação prática:** Criar rotinas e responsáveis pela limpeza, associando esse cuidado à manutenção preventiva.
- **Exemplo:** Manter bancadas e pias limpas ao final de cada aula, com registro visual indicando a situação de cada área.

Dica prática:

Inicie com uma aplicação piloto do 5S em uma área menor do laboratório (por exemplo, um armário ou bancada) e vá expandindo conforme os resultados aparecem. Fotografe o "antes e depois" para motivar os envolvidos.



IV. *Seiketsu* (Senso de Padronização)

Estabelecer padrões para manter o que foi organizado.

- **Aplicação prática:** Criar instruções visuais, procedimentos simples e quadros de orientação com as regras de uso do laboratório.
- **Exemplo:** Adotar um layout padrão para organização de armários, definindo locais fixos para cada item com uso de etiquetas e cores.

V. *Shitsuke* (Senso de Disciplina)

Manter a prática dos 4S anteriores como um hábito.

- **Aplicação prática:** Estimular o compromisso de todos com a manutenção da organização e incorporar o 5S na rotina.
- **Exemplo:** Incluir uma verificação do 5S ao final de cada aula, com checklists rápidos para alunos e técnicos.

A aplicação do 5S é essencial para promover um ambiente de trabalho organizado, limpo e eficiente, condições indispensáveis para a implementação do pensamento *Lean*. Em laboratórios de ensino, sua adoção facilita o fluxo das atividades, reduz desperdícios, aumenta a segurança e contribui para o uso mais racional dos recursos disponíveis.



2.3 Passo 3 – Mapear desperdícios e Identificar Melhorias

Compreender o estado atual do laboratório é o primeiro passo para promover melhorias reais. Isso envolve analisar como o trabalho flui, onde ocorrem desperdícios e como o espaço é utilizado. Duas ferramentas fundamentais para isso são o **Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV)** e o **Diagrama de Espagete**.

2.3.1 Mapeamento do Fluxo de Valor

O **Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV)** ajuda a visualizar todas as etapas de um processo, desde o recebimento de materiais até a entrega do resultado final. Ele destaca quais atividades agregam valor (essenciais para o objetivo da atividade) e quais representam desperdícios (atividades que consomem tempo, recursos ou energia sem trazer valor ao usuário final). Esse mapeamento pode ser feito de forma simples, com fluxogramas que incluam tempos de ciclo, tempos de espera, retrabalhos e movimentações.

Essa ferramenta permite responder perguntas como:

- Onde ocorrem atrasos ou gargalos?
- Quais etapas exigem deslocamentos desnecessários?
- O que pode ser padronizado ou eliminado?
- Como seria um fluxo ideal, com menos perdas?

A aplicação do MFV em laboratórios pode ser feita de maneira simples, com papel, caneta e observação direta. O foco deve ser em processos recorrentes, como uma aula prática ou o uso de equipamentos por múltiplos grupos.

Etapas sugeridas:

1. Escolha uma atividade representativa.

Pode ser uma aula prática comum, o uso de uma bancada específica ou o fluxo de retirada de materiais.

2. Liste todas as etapas envolvidas.

Identifique, na ordem real de ocorrência, cada etapa do processo.

3. Observe e registre os tempos e dificuldades.

Meça, quando possível, quanto tempo cada etapa leva e anote onde há esperas, retrabalhos, movimentos excessivos ou etapas desnecessárias.

4. Desenhe o fluxo atual (estado atual).

Use um modelo simples: retângulos para atividades, setas para movimentações, triângulos para estoques ou esperas. O importante é que o diagrama seja compreensível por todos.

5. Discuta os desperdícios identificados.

Relacione o fluxo com os tipos de desperdício apresentados anteriormente.

6. Proponha um fluxo ideal (estado futuro).

Redesenhe o processo incluindo melhorias como:

- Redução de etapas ou deslocamentos;
- Organização do ambiente para facilitar o acesso aos materiais;
- Padronização de procedimentos para evitar erros.

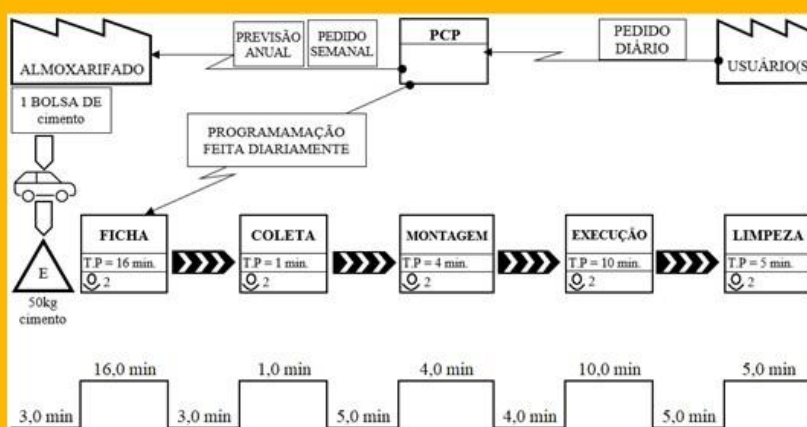
Exemplo prático simplificado

Atividade: Preparação de uma aula prática de argamassa.

Etapa	Observação	Desperdício
Preenchimento da ficha	Manual, sem padronização	Processamento excessivo
Coleta de Materiais	Técnico caminha até 4 locais	Movimentação
Montagem da Bancada	Itens espalhados, falta de padronização de layout	Espera e movimentação
Execução	Poucos equipamentos, gargalo de produção	Espera
Limpeza	Sem método definido	Defeito

Exemplo de melhorias propostas:

- Criação de kits prontos por tipo de aula;
- Layout fixo para cada bancada;
- Etiquetas e divisórias para insumos;

Exemplo de MFV

Para aprender mais sobre os símbolos e como fazer o MFV, recomenda-se a leitura do livro "Aprendendo a Enxergar" de Rother e Shook (2003).

2.3.2 Diagrama de espaguete

O **Diagrama de Espaguete** é uma ferramenta visual poderosa utilizada para mapear os deslocamentos físicos realizados por pessoas, materiais ou equipamentos dentro de um espaço de trabalho. O nome deriva do aspecto visual do diagrama, que se assemelha a fios de espaguete embaralhados, representando caminhos confusos ou ineficientes.

Nos laboratórios de ensino, onde o espaço costuma ser limitado e o fluxo de atividades depende da movimentação constante de alunos e técnicos, essa ferramenta é especialmente útil. Seu objetivo é identificar movimentos desnecessários, trajetos longos ou repetitivos e possíveis pontos de cruzamento que podem comprometer a fluidez das operações e até a segurança.

Essa ferramenta permite responder perguntas como:

- Os usuários percorrem distâncias desnecessárias durante as atividades?
- Há cruzamento excessivo entre fluxos de alunos, técnicos e equipamentos?
- Existem zonas de conflito ou de espera causadas pela má organização do espaço?
- O tempo gasto com deslocamentos poderia ser convertido em atividades que agregam valor?

Essas respostas permitem não apenas reorganizar o espaço físico, mas também repensar fluxos e sequências de trabalho. Assim, a ferramenta atua diretamente sobre os **desperdícios de movimento, transporte e espera**, além de estar alinhada ao princípio *Lean* de **fluxo contínuo**, ao favorecer a fluidez das operações no ambiente.

Como elaborar?

1. Obtenha uma planta simples do laboratório.

É importante que esta planta tenha os pontos de interesse (equipamentos, materiais e ferramentas) para que seja possível traçar os fluxos.

2. Acompanhe e registre os percursos feitos durante uma prática.

Defina as rotas percorridas por cada grupo envolvido (alunos, técnicos, equipamentos, insumos, etc.).

3. Analise os trajetos.

Observe se há caminhos longos, cruzamentos frequentes ou retornos que podem indicar ineficiências.

4. Proponha melhorias.

Reposicionar equipamentos, reagrupar materiais de uso frequente, ou ajustar o layout para reduzir os deslocamentos.

Dica prática:

o uso de cores diferentes para identificar cada tipo de fluxo (ex: azul para alunos, vermelho para técnicos, verde para equipamentos) facilita a leitura e a identificação de sobreposições e gargalos visuais.



Exemplo prático simplificado

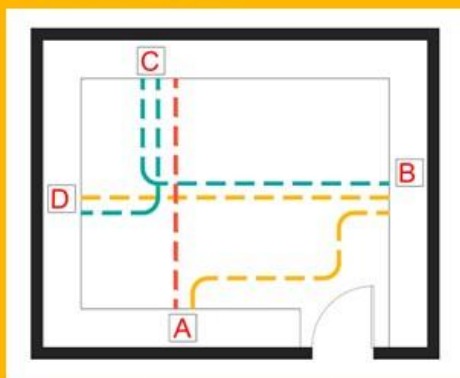
Atividade: Preparação de uma aula prática de argamassa.

Etapa	Deslocamentos	Observações
Preenchimento da ficha	Sala de instrução → Bancada de anotação → Armário de fichas	Percursos curtos realizados pelos alunos.
Coleta de Materiais	Almoxarifado → Bancada → Armário	Cruzamento entre grupos.
Montagem da Bancada	Armário → Estufa → Balança	Distância elevada entre itens.
Execução	Bancada → Estufa/Balança	Repetição de trajetos longos.
Limpeza	Sem método definido	Percurso compartilhado com risco de fila

Melhorias propostas:

- Reorganizar a posição dos materiais e insumos mais utilizados para reduzir o deslocamento dos usuários;
- Redistribuir os equipamentos no layout para minimizar cruzamentos e trajetos redundantes;
- Criar pontos de apoio intermediários (como bancadas auxiliares ou suportes para utensílios) próximos às áreas de trabalho.

Esses são apenas exemplos de possibilidades que podem emergir da análise do diagrama de espaguete. É necessário avaliar a configuração do seu próprio laboratório, identificar os principais gargalos e propor soluções que melhor se adaptem ao seu contexto.

Exemplo de Diagrama de Espaguete.



2.4 Passo 4 – Planejar e implementar melhorias

Com base nas análises do MFV e do Diagrama de Espaguete, é possível propor mudanças para um novo cenário desejado: o Estado Futuro. Esse estágio representa a configuração ideal (ou mais eficiente possível) dos fluxos, layout e rotinas do laboratório, com o objetivo de eliminar desperdícios, reduzir gargalos e facilitar o trabalho dos usuários.

I. Desenhe o estado futuro

Utilize o mesmo formato visual do MFV para esboçar um novo fluxo de atividades, agora com os ajustes sugeridos. Identifique etapas que foram eliminadas, deslocamentos encurtados, melhorias de layout, ou mudanças de sequência.

II. Projete um novo *layout* físico, se necessário

Caso os dados do Diagrama de Espaguete mostrem desperdícios significativos de movimento, proponha uma nova organização do espaço. Isso pode incluir:

- Reposicionamento de bancadas e equipamentos;
- Centralização de insumos utilizados com frequência;
- Criação de “ilhas” de trabalho por tipo de experimento.

III. Envolve a equipe nas decisões e crie indicadores de acompanhamento

As melhorias propostas devem ser discutidas com técnicos, professores e estudantes, pois todos têm percepções importantes sobre o uso do espaço e os desafios do dia a dia. Crie formas simples de medir o impacto das mudanças, como redução de deslocamento, tempo de preparo, etc.

IV. Priorize mudanças de alto impacto e baixo custo

Nem todas as melhorias precisam ser complexas ou exigir investimentos. Comece pelas ações que trazem ganhos rápidos e são de fácil execução:

- Reorganização de armários e bancadas;
- Definição de locais fixos para ferramentas;
- Adoção de checklists para preparo de aulas práticas.

Dica prática:

Teste uma melhoria por vez. Comece com pequenas mudanças e avalie os resultados. Essa abordagem incremental evita sobrecargas e permite ajustes mais precisos.



03

Considerações finais





3.1 Caminhos para Sustentar as Melhorias

Este manual apresentou um caminho acessível e adaptado para a implementação dos princípios e ferramentas Lean em laboratórios de ensino, com base na experiência real de uma pesquisa-ação conduzida em um laboratório da área de construção civil. A aplicação de ferramentas e princípios *Lean* permitiram avanços na organização do espaço, na redução de desperdícios e na promoção de maior eficiência no uso do ambiente. Contudo, como todo processo de melhoria contínua, esta jornada não se encerra com a implementação das primeiras ações. A sustentabilidade dos resultados depende da padronização das boas práticas implementadas, da avaliação sistemática dos efeitos alcançados e do engajamento contínuo dos usuários.

3.2 Próximos passos

A seguir, são sugeridas algumas ações que podem orientar a continuidade do processo Lean no laboratório:

- Formalizar os novos fluxos de trabalho por meio de procedimentos simples e checklists visuais, com linguagem acessível aos usuários;
- Criar quadros de acompanhamento com indicadores visuais básicos (tempo de preparo, organização das bancadas, número de não conformidades);
- Estabelecer rotinas de avaliação periódica, mesmo que breves (por exemplo, reuniões mensais de 15 minutos para escuta ativa dos usuários);
- Ampliar o escopo dos estudos a partir da aplicação do 5s, MFV e diagrama de espaguete até atingir a totalidade da necessidade do espaço;
- Capacitar novos usuários com introduções breves sobre o Lean, o funcionamento das melhorias aplicadas e a importância da colaboração.



3.3 Cultura colaborativa

Mais importante do que novas ferramentas é o fortalecimento de uma cultura participativa e de melhoria contínua.

A construção de um laboratório mais eficiente e funcional não deve ser responsabilidade isolada da gestão, mas sim resultado da contribuição ativa de professores, técnicos e alunos.

Criar canais de escuta e reconhecer pequenas contribuições pode ser tão importante quanto uma intervenção estrutural.

3.4 Manual em melhoria contínua

Por fim, este manual não deve ser encarado como um modelo fechado, mas como uma ferramenta viva, que pode (e deve) ser adaptada à realidade de cada laboratório. Ele pode ser enriquecido a partir das experiências de outros contextos, incorporando novos exemplos, dificuldades e soluções.

A jornada Lean não termina com a aplicação de um conjunto de passos, mas se fortalece com a disposição para observar, aprender, ajustar e seguir melhorando.



Obrigado!

Agradeço imensamente a oportunidade de compartilhar este manual, fruto de pesquisa e prática dedicada, com todos que buscam soluções práticas para otimizar laboratórios de ensino. Desenvolver este material reforçou minha convicção de que o *Lean*, quando adaptado com sensibilidade, é uma ferramenta poderosa para transformar desafios operacionais em oportunidades de eficiência e aprendizado coletivo.

Este manual é um convite para que você:

- Experimente as ferramentas *Lean* em seu laboratório, independentemente de seu tamanho ou complexidade;
- Adapte os métodos às suas necessidades – o *Lean* não é um modelo rígido, mas um convite à criatividade;
- Compartilhe insights com sua equipe, pois pequenas mudanças, quando somadas, geram impactos significativos.

O *Lean* não é uma teoria distante – ele ganha vida quando colocamos a mão na massa. Comece com um armário, uma bancada ou um fluxo de trabalho. O primeiro passo é sempre o mais importante.

Contato

Telefone 65 99643 2257

E-mail Gabriel_alves03@hotmail.com

Referências

ABBADI, L. E.; ELRHANIMI, S.; MANTI, S. E. A Literature Review on the Evolution of *Lean* Manufacturing. **Journal of System and Management Sciences**. [S.l.], v. 10, n. 4, p. 13-30, 2020.

HOLWEG, M. The genealogy of *Lean* production. **Journal of Operations Management**. Cambridge, v. 25, n. 2, p. 420-437, mai. 2006. DOI: [10.1016/j.jom.2006.04.001](https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.04.001).

LIKER, Jeffrey K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. São Paulo: Grupo A, 2022. *E-book*. ISBN 9788582605691. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582605691/>. Acesso em: 02 jan. 2025.

LIKER, Jeffrey K.; ROSS, Karyn. **O modelo Toyota de excelência em serviços: a transformação *Lean* em organizações de serviço**. São Paulo: Grupo A, 2019. *E-book*. ISBN 9788582604755. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582604755/>. Acesso em: 20 jan. 2025.

MARCELINO, S. M.; LIMA, T. M.; GASPAR, P. D. *Lean* Laboratory – Designing an Application of *Lean* for Teaching and Research Laboratories. **Designs**. [S.l.], v. 7, n. 1, s.p., 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/designs7010017>. Acesso em: 03 fev. 2025.

SANTOS, G. A. R. **Implementação de princípios e ferramentas *Lean* em laboratório de ensino: uma pesquisa-ação em um laboratório de ensino de construção civil**. 2025. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2025.