



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CAMPUS AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

BEATRIZ MARINHO CAVALCANTI

**ELIMINAÇÃO DOS SETE DESPERDÍCIOS PARA REDUÇÃO NO TEMPO DE
SETUP ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Caruaru
2025

BEATRIZ MARINHO CAVALCANTI

**ELIMINAÇÃO DOS SETE DESPERDÍCIOS PARA REDUÇÃO NO TEMPO DE
SETUP ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia de Produção do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de monografia, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Gestão da Produção.

Orientador (a): Augusto José da Silva Rodrigues

Caruaru
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Cavalcanti, Beatriz Marinho.

Eliminação dos sete desperdícios para redução no tempo de setup através da
simulação computacional / Beatriz Marinho Cavalcanti. - Caruaru, 2025.
65 p. : il., tab.

Orientador(a): Augusto José da Silva Rodrigues

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Engenharia de Produção, 2025.
Inclui referências.

1. Troca Rápida de Ferramentas. 2. Sete Desperdícios da Produção. 3.
Simulação Computacional. 4. Redução de Setup. 5. Lean Manufacturing.. 6.
Flexibilidade na produção. I. Rodrigues, Augusto José da Silva . (Orientação). II.
Título.

620 CDD (22.ed.)

BEATRIZ MARINHO CAVALCANTI

**ELIMINAÇÃO DOS SETE DESPERDÍCIOS PARA REDUÇÃO NO TEMPO DE
SETUP ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia de Produção do Campus
Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de
monografia, como requisito parcial para a
obtenção do grau de bacharel em
Engenharia de Produção.

Aprovada em: 10/04/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Augusto José da Silva Rodrigues (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Ramon Swell Gomes Rodrigues Casado (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Amanda Carvalho Miranda (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me trouxe ao lugar certo, no tempo certo e ao lado das pessoas certas. Agradeço também a Deus por todo discernimento e força que me fizeram prevalecer nessa trajetória apesar dos desafios.

À minha família, minha bisavó Beatriz pelos valores que me ensinou, minha avó Marluce por cuidar de mim com carinho nos momentos de cansaço, meu avô Clovis que me levava a escola todos os dias e que até hoje prepara meu café da manhã, a minha mãe Keity por me ensinar que tudo tem seu tempo certo, ao meu pai Emmanuel por vibrar vivamente em cada conquista minha, por menor que seja e as minhas irmãs, em especial a Bianca, minha irmã gêmea e uma das minhas maiores incentivadoras.

Aos meus amigos que estiveram comigo durante todos esses anos, em especial, Pedro, meu amigo de infância, por ter sido o portador da notícia de meu ingresso na faculdade, Mirles por desde o início ter me mostrando o conforto de uma amizade, obrigado por me ouvir e alegrar meus dias, Ewerton por ter sido tão presente, por me incentivar, por fazer questão da minha companhia, você se tornou família, Larissa, nossa pequeninha, doce, o fato de você sempre registrar nossos momentos através de vídeo pra rever depois mostra como somos importantes pra você e a Mayara, que sempre sabe o que falar, com um instinto de cuidado, sempre nos acolhe. Vocês tornaram todo o processo mais leve e divertido.

Aos meus colegas de trabalho, João Pedro por ter dividido o início da experiência industrial junto comigo, a Henrique por me alegrar todos os dias e ter sido um irmão, a Marcos e Letícia por tantos ensinamentos que me desenvolveram como profissional, a Elisângela por ter sido abrigo sempre que precisei e aos meus meninos da produção e manutenção que me auxiliaram em tantos trabalhos e projetos, vocês são uma equipe campeã!

Por fim agradeço imensamente ao Professor Augusto pela orientação na condução desse trabalho, pelo interesse e dedicação para que fizéssemos um bom trabalho. Sua disponibilidade em me ajudar me deu confiança em cada entrega. Agradeço também a parceria com a equipe do FlexSim por incentivar trabalhos como esse.

“Porque Ele faz infinitamente mais do que pedimos, do que pensamos...” (Ton Carfi, Dilsinho, 2021)

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo reduzir o tempo de *setup* no setor de impressão de uma empresa do ramo de embalagens plásticas flexíveis, por meio da aplicação conjunta das metodologias de Troca Rápida de Ferramentas (TRF) e eliminação dos sete desperdícios da produção, além de outras ferramentas do *Lean Manufacturing*. Para isso, foi utilizada a metodologia de estudo de caso, com análise quantitativa e qualitativa, visando identificar as principais causas de desperdício e correlacioná-las com estratégias da TRF. A pesquisa teve seus resultados através da simulação computacional utilizando o *software* FlexSim, que permitiu avaliar diferentes cenários e quantificar os ganhos produtivos obtidos com a aplicação das estratégias propostas. Os resultados demonstraram que a integração da TRF com a eliminação dos desperdícios promoveu uma redução significativa, de 43,87%, no tempo de *setup*, contribuindo para o aumento da flexibilidade no processo produtivo e redução do tempo de inatividade das máquinas. Conclui-se que a aplicação combinada dessas metodologias pode gerar impactos positivos na produtividade, reforçando a importância do uso de ferramentas de simulação para embasar tomadas de decisão no ambiente industrial.

Palavras-chave: Troca Rápida de Ferramentas; Sete Desperdícios da Produção; Simulação Computacional; Redução de Setup; *Lean Manufacturing*.

ABSTRACT

The present study aims to reduce setup time in the printing sector of a company operating in the flexible plastic packaging industry through the combined application of the Single-Minute Exchange of Die (SMED) methodology and the elimination of the seven types of production waste, along with other Lean Manufacturing tools. To achieve this, a case study methodology was employed, incorporating both quantitative and qualitative analyses to identify the main causes of waste and correlate them with SMED strategies. The research findings were obtained through computer simulation using the FlexSim software, which enabled the evaluation of different scenarios and the quantification of productivity gains resulting from the implementation of the proposed strategies. The results demonstrated that integrating SMED with waste elimination led to a significant 43.87% reduction in setup time, contributing to increased flexibility in the production process and decreased machine downtime. It is concluded that the combined application of these methodologies can generate positive impacts on productivity, reinforcing the importance of simulation tools in supporting decision-making within industrial environments.

Keywords: Quick Changeover (SMED); Seven Wastes of Production; Computational Simulation; Setup Time Reduction; Lean Manufacturing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Interface do <i>software</i> Flexsim	24
Figura 2 –	Esquema de uma impressora flexográfica de seis cores	32
Figura 3 –	Esquema do conjunto impressor	32
Figura 4 –	Diagrama de Rede antes da aplicação das estratégias da TRF	36
Figura 5 –	Diagrama de Rede após da aplicação das estratégias da TRF	36
Figura 6 –	Diagrama de Pareto das ocorrências de anomalia durante o setup	39
Figura 7 –	Diagrama Spaghetti do colador	40
Figura 8 –	Diagrama Spaghetti do colorista	41
Figura 9 –	Diagrama Spaghetti do operador	41
Figura 10 –	Diagrama Spaghetti do ajudante	42
Figura 11 –	Diagrama Spaghetti do colador no layout novo	44
Figura 12 –	Diagrama Spaghetti do colorista no layout novo	45
Figura 13 –	Diagrama Spaghetti do operador no layout novo	45
Figura 14 –	Diagrama Spaghetti do ajudante no layout novo	46
Figura 15 –	Modelo representando o cenário antes da teoria	49
Figura 16 –	Conexões do Colador de clichê	49
Figura 17 –	Conexões do Colorista	50
Figura 18 –	Conexões do Operador	50
Figura 19 –	Conexões do Ajudante	51
Figura 20 –	<i>Run Time</i> do cenário anterior as melhorias	51
Figura 21 –	Utilização x Ociosidade das Máquinas cenário 1	52
Figura 22 –	Utilização x Ociosidade dos Operadores cenário 1	53
Figura 23 –	Deslocamento dos operadores em Metros cenário 1	53
Figura 24 –	<i>Run Time</i> do cenário pós melhorias da TRF	54
Figura 25 –	Utilização x Ociosidade das Máquinas cenário 2	55
Figura 26 –	Utilização x Ociosidade dos Operadores cenário 2	55
Figura 27 –	Deslocamento dos operadores em Metros cenário 2	56
Figura 28 –	Modelo representando o cenário pós melhorias da TRF e os sete desperdícios	57

Figura 29 –	<i>Run Time</i> do cenário pós melhorias da TRF e dos sete desperdícios	57
Figura 30 –	Utilização x Ociosidade das Máquinas cenário 3	58
Figura 31 –	Utilização x Ociosidade dos Operadores cenário 3	58
Figura 32 –	Deslocamento dos operadores em Metros cenário 3	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Atividades do setup no setor de impressão	35
Tabela 2 –	Ações corretivas para eliminação ou redução dos desperdícios identificados	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

POP	Procedimento Operacional Padrão
SMED	Single Minute Exchange of Die
STP	Sistema Toyota de Produção
TRF	Troca Rápida de Ferramenta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVO GERAL.....	15
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO.....	17
2.2	LEAN MANUFACTURING.....	18
2.3	TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTAS.....	19
2.4	SETE DESPERDÍCIOS DA PRODUÇÃO.....	21
2.5	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	22
2.5.1	Flexsim.....	23
3	METODOLOGIA.....	26
3.1	DESENHO DO ESTUDO DE CASO.....	27
3.1.1	Coleta de dados.....	28
3.1.2	Cenários a serem simulados.....	29
4	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	31
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA ALVO DO ESTUDO.....	31
4.2	APLICAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DA TRF	34
4.3	CORRELAÇÃO ENTRE ESTRATÉGIAS DO SETUP COM OS DESPERDÍCIOS DA PRODUÇÃO.....	37
4.4	IDENTIFICAÇÃO DE DESPERDÍCIOS.....	38
4.5	ELIMINAÇÃO DOS DESPERDÍCIOS.....	42
5	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE CRÍTICA.....	47
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
	REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

Devido as oscilações na economia, a competitividade das indústrias brasileiras está fortemente ligada a busca constante em melhorar sua produtividade (Thenarasu *et al.*, 2024). Geralmente, o caminho para melhorar esse indicador de desempenho divide-se em dois: o primeiro está atrelado a identificação de desperdícios no processo e a aplicação de ferramentas que os elimine; o segundo são as melhorias contínuas no processo relacionado com uma utilização de recursos mais eficiente (Cantidio, 2009 *apud* Uchoa Filho; Araújo; Da Luz, 2018). Para a construção desse caminho, faz-se necessário o entendimento do conceito do Sistema Toyota de Produção, que orienta as práticas de melhoria contínua e eliminação de desperdícios (Towill, 2010).

Desde a Segunda Guerra, com a crise do Petróleo, a Toyota criou um sistema próprio de produção, Sistema Toyota de Produção (STP), que tem como conceito principal a produção sem estoque, uma forma de reduzir desperdícios e produzir em quantidades coerentes a demanda (Shingo, 1996). Esse sistema é considerado referência quanto a sua excelência em negócios e continua sendo foco de estudos feitos por gestores e pesquisadores do ramo industrial (Iyer; Seshadri; Vasher, 2009).

Ainda hoje esse modo de produzir é bastante utilizado, não apenas pela referência de sucesso na Toyota, como também pelas exigências no mercado. Um cenário de constantes mudanças, ondes as empresas buscam por uma postura gerencial, eficiente, dinâmica e enxuta (Barbosa, 2021). Essa postura que incorpora o STP é também conhecida como *Lean Manufacturing*, que é uma metodologia comumente utilizada nas empresas. Em seus pilares, observam-se características do STP, cuja estratégia predominante é a produção com estoque zero. Essa estratégia é alcançada por meio de um planejamento que aumenta a flexibilidade na produção, permitindo atender rapidamente às mudanças na demanda (Shingo, 1996; Gupta; Jain, 2013).

Em consonância com o exposto, Womack e Jones (2004) corroboram que, para tornar a produção mais flexível, uma das principais medidas é a adoção de produção em lotes menores. Essa abordagem permite alternar a fabricação de produtos diferentes para atender à demanda sem gerar estoques excessivos. Contudo, a problemática dessa estratégia reside no tempo necessário para troca de ferramentas e ajustes nos equipamentos entre as produções de diferentes itens, o chamado *setup*.

Para viabilizar a produção em pequenos lotes, Womack e Jones (2004) enfatiza que os tempos de *setup* devem ser reduzidos, e o processo, otimizado.

Nesse contexto, as indústrias de embalagens plásticas impressas enfrentam desafios operacionais significativos, pois precisam lidar com a produção de lotes personalizados, devido à impressão da marca de cada cliente. Ao mesmo tempo, atendem a setores que buscam reduzir custos por meio da diminuição dos estoques de embalagens, o que intensifica a demanda por pedidos em volumes menores. Como consequência, essas empresas enfrentam um alto número de *setup's* em sua programação de produção, impactando diretamente sua eficiência operacional. Diante disso, a redução do tempo de *setup* torna-se um dos principais indicadores de desempenho, sendo fundamental para melhorar a flexibilidade e a competitividade do setor.

A redução no tempo de *setup* costuma ser um dos principais indicadores de desempenho nas empresas. E essa visão estratégica aplica-se em diversos setores e segmentos de negócio, como por exemplo, o *pit stop* em corridas de Fórmula 1. Por isso, ao decorrer dos avanços industriais, surgiram novas técnicas e abordagens para redução no tempo de *setup*, que se bem implantadas é possível reduzir em até 95% o tempo de *setup* em alguns meses (Shingo, 1996). Apesar disso, muitas empresas ainda expressam dificuldades ao aplicar tais estratégias e principalmente ter constância nos resultados.

A Troca Rápida de Ferramentas (TRF) baseia-se nos princípios do STP, que visam à eliminação de desperdícios na produção. Onde o STP considera sete fontes de desperdícios: estoque, superprodução, movimentação, transporte, processamento, espera e defeito (Ohno, 1997). Apesar de a abordagem do STP inicialmente focar no produto, ao compará-lo com as ferramentas da TRF, percebe-se que ambas compartilham a mesma essência estratégica. Assim, o entendimento do conceito da TRF está profundamente relacionado à absorção do princípio de eliminar desperdícios.

Considerando o contexto apresentado, o objetivo desta pesquisa é responder às seguintes questões: qual é o impacto dos sete desperdícios do Lean Manufacturing sobre o tempo de *setup*? De que maneira a identificação, minimização ou eliminação desses desperdícios pode contribuir para o sucesso na implementação do método de Troca Rápida de Ferramentas (SMED)? Parte-se da hipótese de que a eliminação desses desperdícios pode resultar em melhorias significativas na eficiência

operacional, otimizando o tempo de *setup* e potencializando os benefícios da TRF na produção.

Para responder tais questionamentos, este trabalho foi estruturado em seis seções, onde os objetivos do estudo estarão descritos ainda nessa seção, enquanto a fundamentação teórica das metodologias e ferramentas que foram utilizadas estão dispostas na seção 2. Na seção 3, encontra-se toda a construção e abordagem da pesquisa como estudo de caso. Já a aplicação das ferramentas e metodologias estarão descritas na seção 4 e os resultados encontrados através de simulação computacional serão expostos na seção 5. Por fim, na seção 6, tem-se as considerações finais sobre a pesquisa e as sugestões de trabalhos futuros que aperfeiçoem o objeto de estudo apresentado.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é reduzir o tempo de *setup* em uma empresa do segmento de embalagens plásticas flexíveis, atuando mais especificamente no setor de impressão, por meio da aplicação das estratégias do Lean Manufacturing, com ênfase na Troca Rápida de Ferramentas (TRF) e na eliminação dos sete desperdícios da produção.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Pretende-se atingir o objetivo geral desse trabalho por meio do alcance dos seguintes objetivos específicos:

- Analisar os sete desperdícios da produção no contexto da atividade de *setup*, identificando suas principais causas e impactos;
- Correlacionar os sete desperdícios da produção com as oito estratégias da Troca Rápida de Ferramentas (TRF), visando à aplicação prática das soluções propostas;
- Simular, por meio do *software* FlexSim, os ganhos de produção decorrentes da redução do tempo de *setup* utilizando exclusivamente as oito estratégias da TRF;
- Simular, por meio do *software* FlexSim, os ganhos de produção resultantes da redução no tempo de *setup* ao integrar as oito estratégias da TRF com a

eliminação dos sete desperdícios da produção, comparando os resultados obtidos em ambos os cenários;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para embasar a compreensão e análise dos fenômenos estudados nesta pesquisa, esta seção apresentará os conceitos fundamentais do Sistema Toyota de Produção e do *Lean Manufacturing*, além de ferramentas essenciais para o desenvolvimento do estudo, como a Troca Rápida de Ferramentas e a Simulação Computacional aplicada a análises no setor industrial.

Além de fornecer o suporte teórico necessário, esta seção servirá como referência para a discussão e interpretação dos resultados obtidos.

2.1 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

Após a Segunda Guerra Mundial, com o ramo automotivo e a economia japonesa abalados, a Toyota ganhou destaque na indústria por, apesar do cenário, manter-se eficiente e com alta produtividade. Isso foi possível devido a técnicas inovadoras desenvolvidas por Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, que compuseram o Sistema Toyota de Produção, o STP (Womack; Jones; Roos, 2007)

Devido à escassez de recursos no pós-guerra, a empresa Toyota buscou reduzir os seus custos a através da redução de matéria prima e estoques intermediários, ao mesmo tempo em que aumentava sua produtividade, desenvolvendo assim um sistema de gestão inovador (Monden, 1984). Taiichi Ohno e Shigeo Shingo, adaptaram alguns conceitos do Fordismo, de Henry Ford, para uma aplicação mais próxima da realidade que o Japão enfrentava na época. O objetivo era melhorar a alocação de recursos da empresa principalmente os materiais e eliminar os que fossem identificados como fontes de desperdícios, por isso, esse é o conceito em que se baseia o STP (Womack; Jones, 2004).

O *just in time* característica marcante do STP é uma estratégia para produção com zero estoque, ou seja, só é produzido no momento exato em que há a demanda. O STP defende a produção em pequenos lotes para controlar a produção excessiva e a geração de estoque, mas sem deixar de atender o pedido no tempo correspondente a demanda (Shingo, 1996).

2.2 LEAN MANUFACTURING

O termo “*Lean Manufacturing*”, traduzido como “Produção Enxuta” foi utilizado pela primeira vez em um estudo sobre a indústria automobilística que foi conduzida por James P. Womack e Daniel T. Jones. Porém a filosofia *Lean* foi popularizada através do livro “A Máquina que Mudou o Mundo”, obra dos mesmos autores que criaram o termo. Este livro publicado em 1990 nos EUA, apresenta os resultados positivos da aplicação do STP, justificando o sucesso da indústria japonesa. Dessa forma, a metodologia do Lean Manufacturing também tem como objetivo a redução de desperdícios, porém, tirando agora um pouco o foco do material e abrangendo as atividades que agregam ou não valor em todo o processo (Liker, 2021).

Antunes (1995) define o *Lean Manufacturing* como um sistema produtivo ágil na entrega e nas respostas à variação da demanda, mantendo a qualidade do produto. O que possibilita esse resultado é a busca constante em detectar fontes de desperdícios. Moreira e Fernandes (2001) acrescenta que além da eliminação de desperdícios, a produção enxuta preza por um ambiente de trabalho organizado, uma estruturada gestão da qualidade e a prática de melhoria contínua.

De acordo com a pesquisa na literatura, Moutinho (2021) considera que para o sucesso no desempenho da Manufatura Enxuta, é necessário a adoção de algumas ferramentas, dentre elas, algumas ferramentas que se destacam como fundamentais são:

- Padronização das atividades: Analisar as atividades do processo produtivo de maneira crítica e padroniza-las para todos os colaboradores que a realizam;
As folhas de trabalho padronizadas são capazes de evitar a ocorrência de erros operacionais e a recorrência de produtos defeituosos. Porém para se obter uma folha de trabalho padronizada de fácil compreensão, o responsável por redigi-la deve internalizar a sua importância (Liker, 2021);
- Diagrama Spaghetti: Um diagrama que permite a análise visual das atividades desempenhadas pelo colaborador em relação ao layout. O resultado desse diagrama é um emaranhado de linhas que possibilita a identificação de movimentos repetitivos no processo e facilita a análise de postos de trabalho a serem otimizados (Moutinho, 2021);

- Troca Rápida de Ferramentas (TRF): Essa metodologia foi desenvolvida por Shigeo Shingo em 1950 com o objetivo de reduzir o tempo de *setup*, ao minimizar ou até eliminar as perdas provenientes da troca de ferramentas (Fogliatto; Fagundes, 2003).

O *setup* corresponde ao tempo necessário para reajustar algum equipamento para se produzir um item diferente do que estava sendo produzido, o que afeta a produtividade do processo;

Com o objeto de estudo desse trabalho sendo a redução do tempo de *setup* no setor de impressão de uma empresa do ramo de embalagens plásticas, essa ferramenta será mais explorada, apesar de outras ferramentas também estarem presentes na metodologia.

2.3 TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTAS

A Troca Rápida de Ferramentas (TRF), é a metodologia mais eficaz em reduzir tempo de *setup* (Fogliatto; Fagundes, 2003). Esse método é de extrema relevância para o STP por entender que a produção em *Just in time*, onde só é produzido o necessário no momento necessário, exige um aumento no número de *setup* e para não comprometer a produtividade o tempo necessário para cada *setup* deve ser acompanhado.

Shigo (1996) considera que o *setup* tem quatro funções, preparação e montagem dos componentes como matéria-prima e acessórios, troca de matrizes e/ou moldes, configuração de contração e dimensões das matrizes e/ou moldes, e por último, o início da produção e ajustes para aprovação.

Em seu estudo na Toyo-Kogy, Shingo (1996) afirma ter conseguido reduzir o tempo de *setup* de uma prensa em 50%, porém cita outros exemplos onde a média de redução no tempo de *setup* é de 80 a 95%. Para esses resultados Shingo enumerou oito estratégias da TRF:

1. Distinguir claramente *setup* interno do externo: Identificar quais atividades são realizadas previamente com o equipamento ainda em funcionamento (externa), e quais as atividades só podem ser realizadas com a máquina parada para o *setup* (interna);

2. Converter *setup* interno em externo: Avaliar atividades que podem ser adaptadas para serem realizadas ainda com a máquina em funcionamento. Considerado o princípio mais poderoso da TRF;
3. Padronizar a função, não a forma: Buscar adequação para que os componentes possam ser compartilhados na regulação de todos os produtos, padronizando a forma e/ou o tamanho e evitando trocas de grandes componentes de forma constante;
4. Desenvolver grampos funcionais ou eliminar grampos: Trocar parafusos por grampos sem rosca, engate rápido e outras soluções de fixadores;
5. Usar dispositivos intermediários: Utilizar conjuntos e/ou equipamentos onde o *setup* possa ser iniciado e depois, continuado no equipamento principal;
6. Adotar realização de atividades paralelas: Seguindo o conceito “Nagara” organizar as atividades interdependentes para que sejam realizadas de forma simultânea;
7. Eliminar ajustes: Ter configurações e receitas do equipamento com alta precisão para que ao final da regulação evite o ajuste fino que depende totalmente da expertise do operador;
8. Mecanização. Utilizar de tecnologias mecânicas e automatizadas para reduzir a atuação do operador diretamente no *setup*. Porém seu investimento deve ser feito com cautela e apenas depois de feito todos os esforços para melhorias no *setup*;

Segundo Shingo (1996), reduzir drasticamente os tempos de *setup* não é uma tarefa exagerada. Para ele, a adoção da metodologia TRF é fundamental para a produção sem estoques. Além disso, Shingo acredita que redução do *setup* não está apenas ligada ao treinamento da equipe ou à intensificação do trabalho, mas à aplicação de uma visão estratégica e de métodos científicos.

Antunes e Rodrigues (1993) destaca vantagens que a TRF consegue proporcionar para o STP, entre elas, diminuir os lotes de produção já que o tempo de preparação entre as mudanças de lote tem impacto reduzido na produtividade, com a redução dos lotes também é possível reduzir os estoques intermediários, redução nos erros de ajustes por ter um aumento na padronização da configuração das máquinas, além de influenciar no aumento da capacidade produtiva.

Embora o investimento inicial para implementar a TRF possa incluir adequações estruturais e padronizações de equipamentos, Shingo (1989) destaca que o maior desafio está no entendimento da metodologia. O conceito básico da TRF, envolve a conversão de *setup's* internos em externos, o que não exige necessariamente altos investimentos financeiros.

Apesar da aplicação de pelo menos algumas das estratégias já trazerem resultados significativos quanto a redução do tempo de *setup* é possível enxergar uma lacuna entre as atividades do *setup* que realmente agregam valor e as que não agregam valor. Essa ótica lembra dos sete desperdícios na produção também apresentado no Sistema Toyota.

2.4 SETE DESPERDÍCIOS DA PRODUÇÃO

Falconi (2013), traz como segundo passo para o desenvolvimento de liderança, gerenciar a rotina, ou seja, organizar a casa. Significa dizer, essencialmente, eliminar anomalias para que os colaboradores possam exercer suas funções operacionais da melhor forma.

É considerado como desperdício tudo aquilo que não agrega valor para o processo, de forma a se produzir com qualidade, no momento necessário de acordo com a demanda e com a redução de custos e recursos (Slack, 2009). No STP a Toyota desenvolveu o conceito de sete desperdícios básicos são eles (Ohno, 1997):

- Super produção: Quantidade acima da demanda necessária ou antecipação da demanda. Uma de suas características é a formação de filas;
- Espera: Lotes, itens ou recursos ficam ociosos aguardando para serem processados;
- Transporte: Lotes ou itens que precisam ser transportados para o processo seguinte podendo ser utilizados alguns equipamentos como carrinho de mão, empilhadeiras, entre outros;
- Processamento: Excesso de etapas de processo que não agregam valor para o produto;
- Estoque: Armazenamento de matérias primas e/ou produtos acabados de forma excessiva;

- Movimentação: Deslocamento de mão de obra, movimentos desnecessários;
- Defeitos: Produtos não conformes com o padrão, com falhas e defeituosos;

Treinar a equipe para identificar fontes de desperdícios, além de matura-la, tem o poder de capacita-la a resolver problemas diários auxiliando no desenvolvimento de um bom gerenciamento da produção (Silva, 2019). Porém para a excelência nos resultados de uma produção enxuta é necessário a continuidade em buscar melhorias no processo e na implantação das ferramentas, pois o insucesso está em não internalizar e integrar a filosofia Lean ao utilizar técnicas, ferramentas e conceitos de forma isolada (Bellé; Bellé, 2000).

Shingo (1996) apresenta dois eixos de análise. O primeiro sobre o processo, ou seja, transformação do produto, e o segundo sobre a operação, que seria uma sequência de ações do processo de transformação. A partir disso nota-se que a ótica apresentada por Shingo dos sete desperdícios está voltada para o produto a ser transformado, ou seja, o processo, porém o objeto de estudo proposto nessa pesquisa é a operação do *setup*.

Tomando a conclusão que toda perda e desperdício em um processo produtivo é uma anomalia, deve-se analisar a operação do *setup* e eliminar ou reduzir ao máximo seus desperdícios, ajustando a ótica dos sete desperdícios. Em seguida, aplicar as estratégias de *setup* e potencializar os resultados do setor.

2.5 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação computacional é uma abordagem para modelar processos reais e analisar seu comportamento sendo capaz de prever eventos sem a necessidade de alterar o ambiente físico (Hollocks, 1992). A realidade de cada sistema de produção apresenta uma complexidade que torna desafiador realizar análises através de cálculos matemáticos, como solução para esses casos, utiliza-se recursos computacionais para facilitar as manipulações numéricas imitando o comportamento real do sistema em um ambiente controlado para ser estudado (Maia, 2022). Através da simulação é possível testar cenários, analisar alterações e melhorias feitas no processo, antes de executar essas ações de fato na produção, permitindo

aperfeiçoamento e planejamentos mais detalhados no sistema e reduzindo custos e riscos no processo de implantação (Pedgen; Shanon; Sadowsky, 1995).

Há três tipos de simulação, a simulação de sistemas discretos, onde a variável de estado sofre alteração através de eventos discretos (Santos, 1999), simulação de sistemas contínuos onde as variáveis de estado sofrem alteração através de períodos de tempos contínuos (Banks *et al.*, 2005) e simulação de Monte Carlo que utiliza a repetição de amostragem aleatória para prever uma probabilidade de ocorrência (Meireles; Silva; Correia, 2017).

Com o avanço da tecnologia, a indústria dispõe de diversas ferramentas e *softwares* que auxiliam tanto na análise de projetos quanto em estudos, fornecendo informações cruciais para os responsáveis por decisões estratégicas. Os *softwares* de simulação computacional, em particular, permitem visualizar diferentes cenários de um processo e condicioná-los a diversas suposições (ESSS, 2022).

No contexto da redução do tempo de setup, por exemplo, a simulação computacional contribui significativamente para a validação de soluções propostas sem a necessidade de interromper o processo produtivo em estudo (Freire *et al.*, 2023). Além disso, sua adoção abre espaço para soluções mais criativas e transformações significativas nos processos organizacionais (Maciel; Montevechi; Pereira, 2013). A simulação também possibilita a previsão de resultados, fornecendo justificativas embasadas para que gestores tomem decisões voltadas à melhoria contínua das operações (Bamakan; Dehghanimohammadabadi, 2015).

Por outro lado, a simulação computacional apresenta desafios. Um dos principais riscos está na modelagem inadequada, seja por representar a realidade de forma errônea, excessivamente simplificada ou estruturada de maneira rígida. Essas limitações podem comprometer a precisão dos resultados, tornando o modelo distante da realidade e, conseqüentemente, gerando previsões artificiais (Curry; Moutinho, 1992).

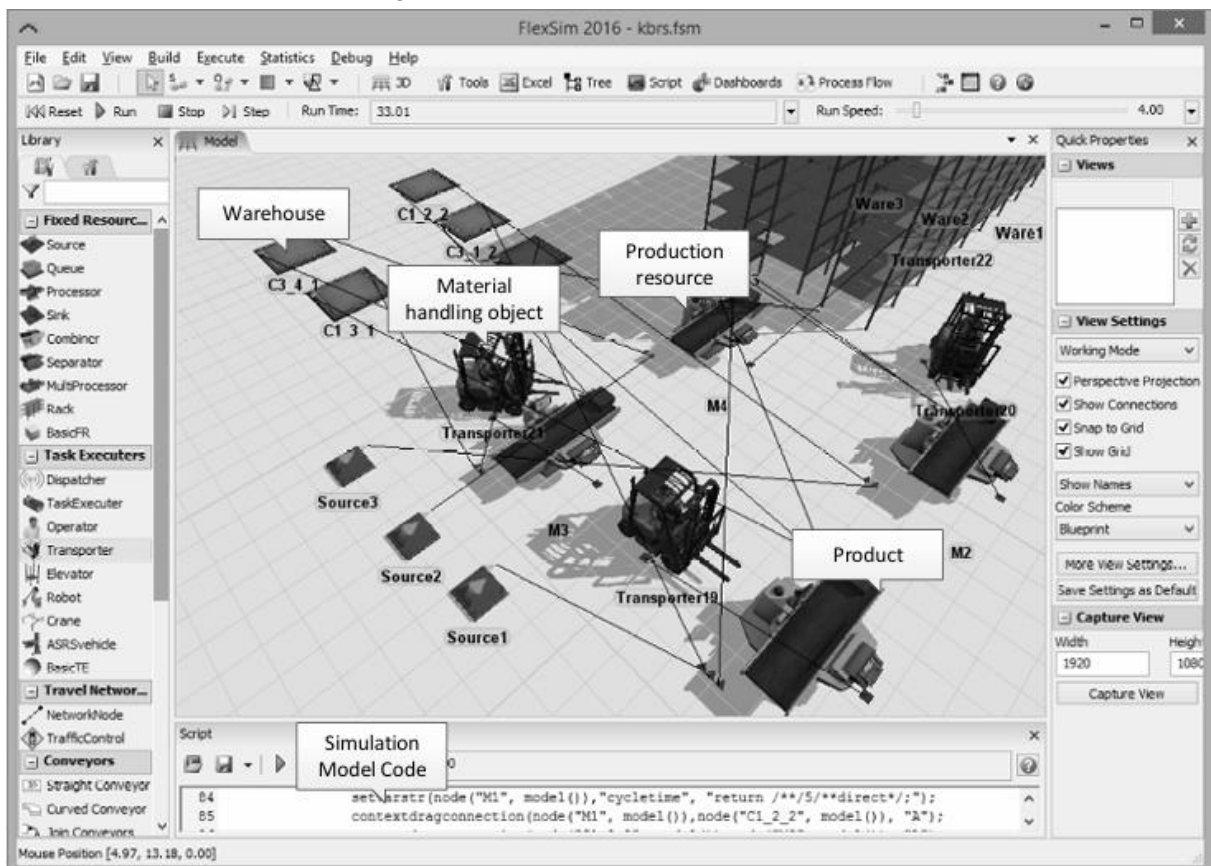
2.5.1 FlexSim

No contexto de simulação, o FlexSim é uma ferramenta de simulação de eventos discretos que se destaca pela sua capacidade de modelar sistemas complexos e fornecer análises detalhadas de desempenho (Nordgren, 2003). O FlexSim é amplamente utilizado em diversas áreas, como logística, manufatura, saúde

e outros setores, devido à sua versatilidade e poder de visualização. A principal característica do FlexSim é a criação de modelos 3D interativos que permitem a representação visual do sistema sendo simulado, facilitando a compreensão e análise do comportamento do sistema em tempo real (Duplák *et al.*, 2024). Esse recurso gráfico facilita a identificação de problemas e a compreensão do fluxo de materiais, informações e recursos dentro do sistema. Os resultados da simulação podem ser apresentados em gráficos, tabelas e outros formatos analíticos, o que facilita a interpretação dos dados e a avaliação de diferentes cenários.

Além disso, o FlexSim possui uma interface intuitiva e amigável, que permite que até mesmo usuários sem experiência prévia em programação ou modelagem de sistemas possam construir e manipular modelos de simulação de forma eficiente (Attajer *et al.*, 2021). A ferramenta oferece um ambiente de modelagem altamente interativo, onde é possível arrastar e soltar componentes para construir o sistema, além de permitir a personalização dos parâmetros e a definição de regras lógicas para simular processos específicos (Sarimi *et al.*, 2023). A interface do FlexSim pode ser vista na Figura 1 através da construção de um modelo usado como exemplo.

Figura 1 – Interface do software FlexSim



Fonte: Krenczyk *et al.* (2017)

Outra vantagem do FlexSim é a sua capacidade de integração com sistemas externos, como bancos de dados e outros *softwares* (por exemplo, Python) (Leon *et al.*, 2022). Isso permite que os modelos de simulação sejam alimentados com dados reais, o que melhora a precisão da análise e facilita a validação dos resultados. Além disso, o FlexSim é uma ferramenta escalável, o que significa que pode ser usado para simular desde sistemas simples até processos mais complexos, com múltiplos fluxos e interações.

Apesar da ampla disponibilidade de *softwares* na área de simulação, o FlexSim se destaca por permitir a simulação de modelos detalhados, auxiliando na previsão de cenários por meio da criação de layouts e da identificação de gargalos. É um *software* amplamente utilizado para a análise da movimentação de pessoas (Netta, 2024). Além disso, o FlexSim emprega recursos avançados de diagnóstico, incluindo modelagem contínua, dinâmica, estocástica e de movimentos, bem como a simulação de eventos discretos (Capterra, 2023).

Em termos de desvantagens, embora o FlexSim seja uma ferramenta poderosa e fácil de usar, a criação de modelos complexos pode exigir tempo e conhecimento técnico. Além disso, a validação dos resultados obtidos com a simulação requer uma análise cuidadosa e pode ser um processo demorado, especialmente se os dados de entrada não forem precisos. Apesar dessas limitações, o FlexSim continua sendo uma das ferramentas mais eficazes e populares para a simulação de eventos discretos, oferecendo soluções robustas para a análise e otimização de sistemas.

3 METODOLOGIA

A realização dessa pesquisa foi feita através do procedimento de estudo de caso, onde o processo em questão, suas características e influências foram acompanhados de perto para que as análises e inferências pudessem serem feitas (Gerhardt; Silveira, 2009). Apesar dessas características que indicam uma abordagem qualitativa (Creswell, 2014), a realização da pesquisa exigiu uma coleta de dados estruturada com ênfase na objetividade e um maior rigor no quadro teórico de hipótese, o que caracterizaria uma pesquisa quantitativa (Gerhardt, Silveira, 2009). Já em relação a sua natureza, caracteriza-se como natureza aplicada, pois os resultados encontrados serão direcionadores para aplicação de melhorias no processo através da redução no tempo de *setup* (Gerhardt; Silveira, 2009).

A metodologia de estudo de caso é muito utilizada, porém para atender o rigor metodológico é necessário um protocolo de aplicação (Yin, 2015).

Yin (2015) e Paré (2004) sugerem um protocolo de quatro etapas para a aplicação do estudo de caso: desenho do caso estudado; condução do estudo; análise das evidências obtidas; e escrever o estudo de caso.

Utilizando o protocolo em quatro etapas de Yin (2015) e Paré (2004), tem-se:

- Desenho desse estudo de caso: Trata-se da construção do escopo da pesquisa, a definição do objeto de estudo, o planejamento e estrutura que será usada para sua execução. Todo esse desenho será visto nessa seção e por fim as subclassificações da pesquisa.
- Condução do estudo: Esta etapa abrange toda coleta de dados, a compreensão do processo e a análise dos dados atrelado a aplicações de ferramentas e fundamentos teóricos capazes de propor inferências com o objetivo de obter melhorias no processo. Para este trabalho serão utilizadas como ferramentas principais para o desenvolvimento de melhorias, a TRF e os sete desperdícios da produção. Porém como no âmbito secundário, para o auxílio de identificação de desperdício, tem-se ferramentas como Diagrama de Pareto, Diagrama de Rede pelo Método do Caminho Crítico e Diagrama Spaghetti.
- Análise das evidências: Será apresentada pelos resultados obtidos através da aplicação das ferramentas utilizadas na etapa anterior. Os

resultados dessa pesquisa serão mensurados e validados a partir dos indicadores gerados pelo simulador computacional FlexSim.

- Escrever o estudo de caso: Para essa última etapa temos o presente trabalho, redigido com o embasamento teórico e com o passo a passo em que toda pesquisa foi conduzida. O registro da pesquisa indicará a realização de trabalhos futuro aperfeiçoando o campo de estudo e proporcionando a melhoria contínua.

3.1 DESENHO DO ESTUDO DE CASO

O objeto de estudo dessa pesquisa será o setor de impressão de uma fábrica de médio porte localizada no Agreste de Pernambuco, que atua no ramo industrial de embalagens plásticas flexíveis.

A empresa oferece como produto embalagens para outras indústrias, como por exemplo do ramo alimentício, de forma que seus produtos são personalizados com a marca de cada cliente acarretando em uma extensa lista de produtos e a necessidade de flexibilidade ao se produzir. Devido a produção puxada sobre pedido, a fila de produção sofre diversas alterações para que as mudanças na demanda sejam atendidas.

A justificativa de aprofundar a pesquisa apenas no setor de impressão dá-se por ser o maior responsável pela personalização de cada produto, pois é nele que a marca e produto do cliente é estampada no substrato plástico. Em consequência disso é o setor mais afetado com as mudanças da demanda e com maior quantidade de *setup's* em todo o processo produtivo da empresa. Além disso, atualmente o setor de impressão também é o gargalo do processo, o que indica que melhorias feitas a esse setor traz resultados de grande impacto para todo o processo produtivo.

Por se tratar de um estudo piloto, onde os resultados na simulação computacional serão argumentos para a aplicação do estudo e em seguida a sua replicação, é justificada a escolha de um estudo de caso único (Yin, 2015). Dessa forma, segundo Gil (2009), a pesquisa tem como objetivo o perfil exploratório, a fim de investigar a tese de maximizar os resultados aperfeiçoando a aplicação dos métodos da TRF e a eliminação de desperdícios da produção em conjunto.

3.1.1 Coleta de dados

O processo foi observado de perto por cerca de dois anos, o que possibilitou acompanhar mudanças na demanda, diferentes cenários de *setup* e ocorrências de anomalias durante a realização dos *setup's*.

Para identificar desperdícios e alimentar o FlexSim, os dados foram obtidos através de:

- Sistema de registro da produção: obteve-se quantidade de *setup's* realizados por dia e por máquina, duração de cada *setup*, operador responsável pelo *setup* e ocorrência de anomalias durante o *setup*;
- Fluxogramas: através do fluxograma desenvolvido pela empresa, foi possível identificar as atividades que compõe o *setup* e seu sequenciamento;
- Procedimento Operacional Padrão (POP): a partir do POP de cada atividade do *setup*, foi possível entender melhor sua execução e sua influência durante a realização do *setup*. Também foi possível identificar o responsável por cada atividade e as habilidades e ferramentas necessárias para desempenhar a mesma;
- Fila de produção: auxiliou no entendimento das demandas de *setup* e suas mudanças. Além disso, através das filas de produção, pode-se observar o balanceamento entre os setores precedentes e sucessores do setor de impressão o que influenciava nos estoques intermediários;
- Acompanhamento presencial da operação: pela aproximação com a execução da operação foi possível realizar uma sucinta análise quanto a tempos e movimentos do *setup*. Foi analisado o layout através do deslocamento dos colaboradores e os tempos para a realização das atividades de acordo com o POP a qual se refere;

Através desses *inputs*, foram feitas inferências quanto a fontes de desperdícios e simulado cenários atuais e com propostas de melhoria para que fossem comparados entre si.

3.1.2 Cenários a serem simulados

Com o acesso ao fluxograma do setor, foi disposto no FlexSim as áreas dos equipamentos, casa de tinta, clichéria, estoque de bobinas extrusadas e a sala de lavagem de anilox. O FlexSim irá simular a interação da equipe de *setup* entre essas áreas com o deslocamento condizente com a realidade, ou seja, o processo a ser simulado não é o de produção da impressão, mas o da realização do *setup*.

Serão avaliados os seguintes cenários no simulador:

1. Cenário atual: O simulador representará o processo conforme a sua execução atual sequenciamento das atividades, os tempos de execução e seus respectivos responsáveis conforme o observado no processo real. Os resultados obtidos através dos indicadores fornecidos pelo FlexSim serão comparados com o indicador de desempenho referente ao tempo médio de *setup* utilizado pela empresa em seu Sistema de Gestão. A partir dessa comparação, será possível validar que o modelo expressa o processo de forma satisfatória;
2. Cenário com técnicas da TRF: Nessa segunda simulação será aplicado melhorias quanto as oito estratégias da TRF. Serão evidenciadas melhorias relacionadas, a conversão de *setup* interno em *setup* externo, adoção de atividades paralelas e redução no tempo de ajuste;
3. Cenário com as técnicas da TRF em conjunto a eliminação dos desperdícios: Para o terceiro cenário a ser simulado, faz-se necessário a identificação de fontes de desperdícios, como otimização na execução dos POPs, *layout*, anomalias ocorridas durante o *setup* e outras fontes condizente a metodologia dos sete desperdícios. Após a identificação dos desperdícios deve-se propor melhorias com o objetivo de minimizar ou até eliminar tais desperdícios, essas melhorias propostas alterarão alguns inputs para o simulador, de forma a observar qual o impacto dessas melhorias no processo;

A comparação entre os três cenários será feita através dos indicadores apresentados no relatório que o FlexSim oferece. Entre esses indicadores estão o “*Run Time*” (tempo de duração do processo, que para essa pesquisa é o tempo de *setup*), a distância percorrida por operadores e as utilizações e ociosidade de máquinas e operadores.

O processo simulado estará representando a execução das atividades sequenciais que compõe o *setup*, ou seja, os insumos serão os acessórios e moldes, ajustados ao equipamento durante o *setup*, e os processadores irão representar a preparação dos mesmos. Deste modo, optou-se por rodar o modelo simulado apenas uma vez, visto que os dados referentes a quantidade de itens produzidos, e produtividade não trariam resultados significativos.

Outra característica dos modelos, é o *input* de dados determinísticos para os tempos de processamento e para a chegada de insumos, já que os insumos são peças que compõe o equipamento, em condições normais elas estarão disponíveis para uso e sua chegada ao processo não atende a nenhum tipo de distribuição. Embasado nessa justificativa, foi vetado a necessidade de realizar uma análise de sensibilidade que validasse a confiabilidade do modelo.

4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Para os *inputs* do modelo simulado, foi utilizado os dados obtidos através da observação do processo produtivo de uma fábrica de médio porte localizada no Agreste de Pernambuco.

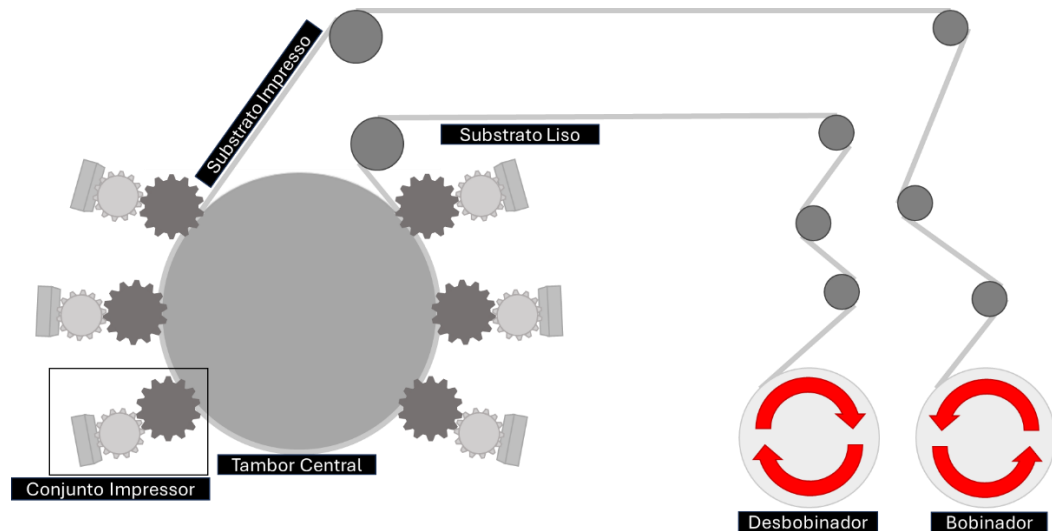
Dentre todo o processo produtivo dessa empresa, o setor de impressão apresentou maior relevância para essa pesquisa, visto que além desse setor ser gargalo do processo, ou seja, seus resultados possuem grande impacto no resultado do processo produtivo como um todo, também é o maior responsável pela personalização dos produtos ofertados pela empresa. Caracterizado pela necessidade de flexibilidade no processo, o setor de impressão possui uma demanda média de dois *setup's* por turno e está com um desempenho de tempo médio por *setup* considerado alto para os gestores da empresa, o que torna a aplicação dessa pesquisa atrativa.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA ALVO DO ESTUDO

Será utilizado como objeto de estudo para esse trabalho, o setor de impressão de uma empresa de embalagens plásticas flexíveis do Agreste de Pernambuco. O setor de impressão é um setor intermediário, além de ser gargalo do processo em questão é composto por impressoras flexográficas em banda larga e uma casa de tinta. O processo funciona às 24h do dia através de quatro equipes em escala 12h x 36h. Cada equipe é composta por um impressor, um ajudante, um colorista e um colador de clichê.

O processo de impressão flexográfica ocorre através de conjuntos impressores que são responsáveis pela impressão de cada cor que construirá a imagem da arte que será impressa. A Figura 2 ilustra o esquema de uma impressora flexográfica.

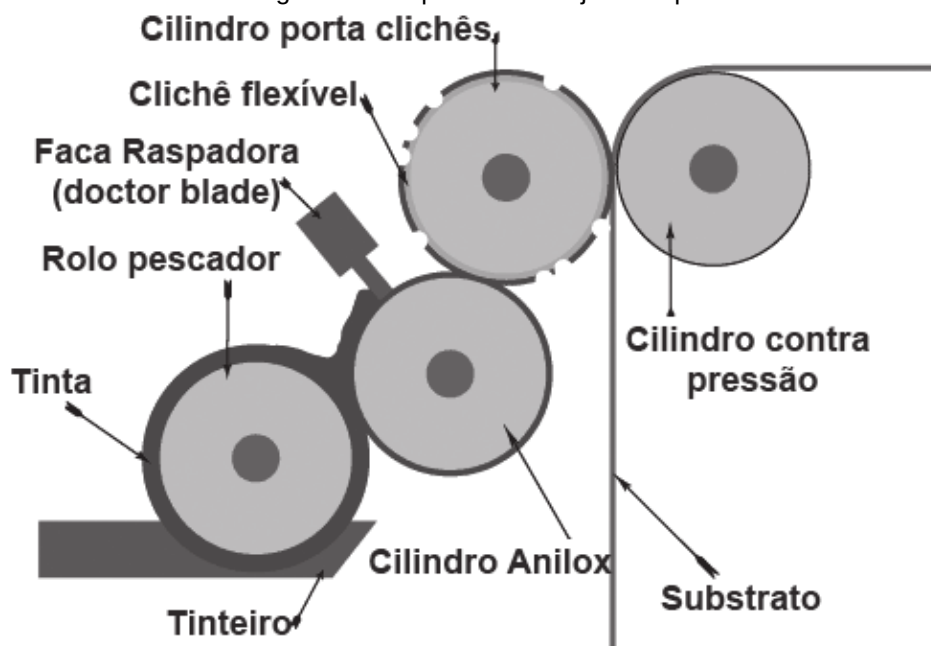
Figura 2 – Esquema de uma impressora flexográfica de seis cores



Fonte: A autora (2025).

Cada conjunto impressor é composto por uma câmara de tinta ou cilindro pescador, responsável pela entrada da tinta no processo, um cilindro anilox que é responsável pela carga de tinta que será transferida para imagem impressa, um cilindro porta clichê e um clichê onde a imagem a ser impressa é gravada e atua como um carimbo. No momento que o anilox transfere a tinta para o clichê, o clichê carimba o substrato que está envolvido no tambor central ou em um cilindro contra pressão. Todo esse processo está ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Esquema do conjunto impressor



Fonte: Flexototal (2021).

Na casa de tinta, as tintas cromia são dissolvidas em padrões de densidade, além de serem produzidas cores de acordo com a escala Pantone, através das misturas de tintas cromia.

O setup desse equipamento é minucioso e compostos por atividades críticas. Por isso o tempo de execução pode se prolongar gerando perdas de produção diária.

As atividades que compõe o setup da impressão são:

1. Pegar a pasta padrão do próximo pedido (que irá conter configurações de máquina do produto que entrará em produção);
2. Verificar qual o diâmetro do cilindro porta clichê que será usado e montar as engrenagens correspondentes a ele;
3. Pegar o cilindro porta clichê trocar a fita dupla-face e colar o clichê no cilindro;
4. Produzir as tintas (diluição da cromia ou produção de Pantone);
5. Verificar a configuração da carga do anilox;
6. Trocar tintas (limpar bombas e bandejas se necessário);
7. Trocar câmara de tinta;
8. Trocar anilox;
9. Trocar cilindro porta clichê;
10. Procurar a bobina do substrato no pátio de estoque intermediário;
11. Colocar a bobina no desbobinador;
12. Realizar a passagem do substrato pelo tambor central;
13. Realizar ajuste do registro das engrenagens do cilindro porta clichê e do tambor central;
14. Iniciar produção da amostra para aprovação;
15. Levar a amostra para a casa de tinta avaliar configurações da cor com espectrofotômetro;
16. Comparar a imagem de desenhos e textos da amostra com a prova digital/amostra padrão;
17. Se necessário realizar ajuste no encaixe entre cores e ou na tinta;

4.2 APLICAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DA TRF

A empresa já havia tentado aplicar as oito estratégias da TRF no *setup* das impressoras, porém encontrou barreiras na aplicação de algumas estratégias devido aos seus recursos limitados.

Algumas estratégias como a adequação de componentes que possam ser compartilhados, substituição de parafusos por grampos funcionais, utilização de dispositivos intermediários e a mecanização do equipamento, requerem maior investimento e contribuição de outras equipes como a manutenção e ferramentaria. Se o projeto para aplicação dessas estratégias não for minucioso, tanto no planejamento como na execução, a probabilidade dessas melhorias não perdurarem é muito alta, isso porque exige além do investimento financeiro inicial, o investimento necessário para reposição de alguns dispositivos.

As estratégias aplicadas no setor, que trouxeram constância nos resultados, foram: a separação de *setup* interno e *setup* externo, a conversão do *setup* interno em *setup* externo, a realização de atividades em paralelo e a redução do ajuste através da construção de receitas com a padronização dos parâmetros de máquina. Os ganhos advindos da aplicação dessas estratégias já demonstram resultados significativos, principalmente a conversão do *setup* interno em *setup* externo, que é o conceito básico da TRF (Shingo, 1996).

Na Tabela 1, estão apresentadas como as atividades de *setup* externo e *setup* interno eram distribuídas entre o operador e o ajudante, os dois maiores agentes na realização do *setup*, além dos tempos de execução para cada atividade e códigos para o auxílio de outras análises.

Tabela 1 – Atividades do setup no setor de impressão

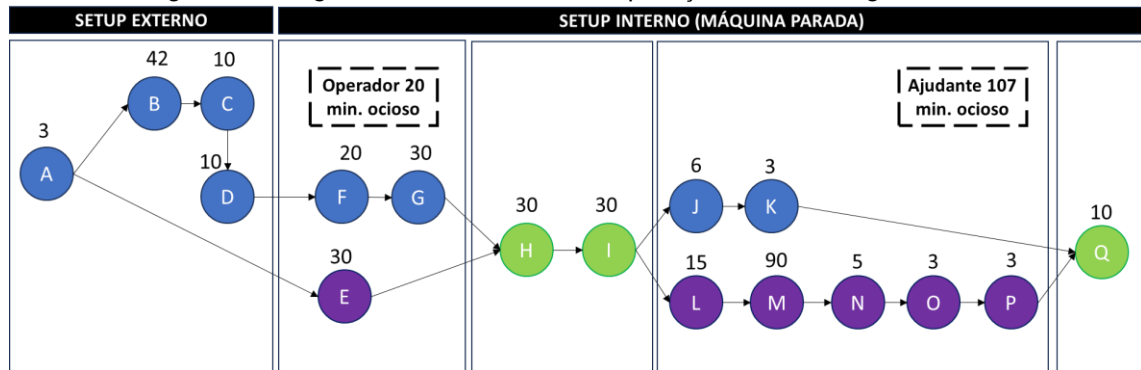
SETUP EXTERNO			
<i>Atividade</i>	<i>Responsável</i>	<i>Tempo</i>	<i>Código</i>
Pegar a pasta padrão do próximo pedido	Ajudante	3 min	A
Verificar qual o diâmetro do cilindro porta clichê que será usado e montar as engrenagens correspondentes a ele	Ajudante	42 min	B
Verificar se os clichês foram colados	Ajudante	10 min	C
Verificar se as tintas foram produzidas;	Ajudante	10 min	D
SETUP INTERNO			
<i>Atividade</i>	<i>Responsável</i>		
Verificar a configuração da carga do anilox;	Operador	30 min	E
Trocar tintas	Ajudante	20 min	F
Trocar câmara de tinta;	Ajudante	30 min	G
Trocar anilox;	Operador e Ajudante	30 min	H
Trocar cilindro porta clichê;	Operador e Ajudante	30 min	I
Procurar a bobina do substrato no pátio de estoque intermediário;	Ajudante	6 min	J
Colocar a bobina no desbobinador;	Ajudante	3 min	K
Realizar a passagem do substrato pelo tambor central;	Operador	15 min	L
Realizar ajuste do registro das engrenagens do cilindro porta clichê e do tambor central;	Operador	90 min	M
Iniciar produção da amostra para aprovação;	Operador	5 min	N
Levar a amostra para a casa de tinta avaliar configurações da cor com espectrofotômetro;	Operador	3 min	O
Comparar a imagem de desenhos e textos da amostra com a prova digital/amostra padrão;	Operador	3 min	P
Se necessário realizar ajuste no encaixe entre cores e ou na tinta;	Operador e Ajudante	10 min	Q

Fonte: A autora (2025).

Devido aos cuidados em utilizar dados sigilosos da empresa, os tempos apresentados na Tabela 1, não são reais, porém expressão a realidade do processo da empresa para efeitos matemáticos.

Ao avaliar a sequência de atividades realizadas pelo operador e ajudante, em paralelo, considerando o tempo de realização e os pré requisitos de cada atividade, observa-se pontos de ociosidade, onde um espera que o outro conclua alguma atividade para dar seguimento a sua sequência de atividades. É possível realizar essa análise através do Diagrama de Rede do Método do Caminho Crítico, ilustrado na Figura 4, onde as atividades de responsabilidade do ajudante estão representadas pela cor azul, as atividades do operador representada pela cor roxa e as atividades que precisam ser realizadas pelos dois juntos estão representadas pela cor verde.

Figura 4 – Diagrama de Rede antes da aplicação das estratégias da TRF

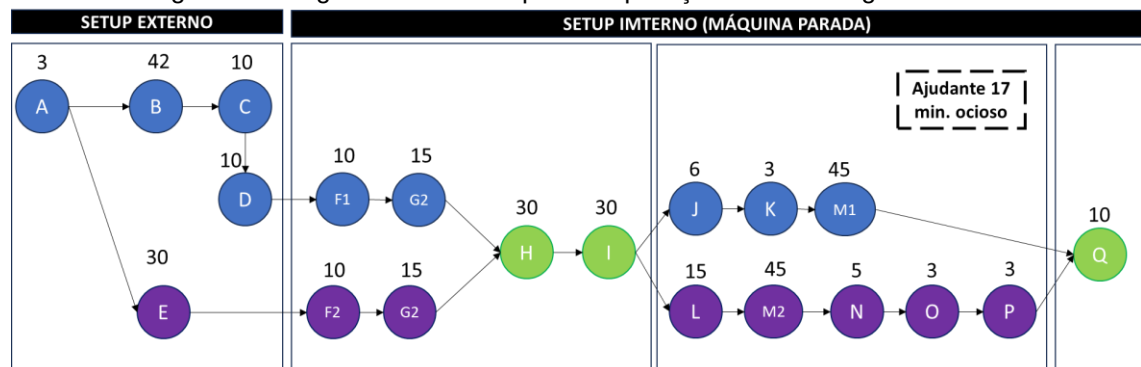


Fonte: A autora (2025).

Pelo Diagrama é possível constatar um nível alto de ociosidade tanto do ajudante como do operador, porém em momentos diferentes. Para o *setup* interno, onde tem-se a perda por máquina parada, de acordo com o Diagrama os *setup's* tem uma duração média de 3,93h.

A Figura 5 ilustra o Diagrama de Rede do Método do Caminho Crítico após as melhorias com a aplicação das estratégias da TRF.

Figura 5 – Diagrama de Rede após da aplicação das estratégias da TRF



Fonte: A autora (2025).

Na Figura 5, observa-se a conversão da atividade D de *setup* interno em *setup* externo. Já a redução da ociosidade, foi graças a realização em paralelo, pelo operador e ajudante, das atividades F, G e M, essa estrutura foi possível porque tais atividades são feitas diretamente no conjunto impressor do equipamento, como a impressora possui seis grupos impressores, o operador fica responsável por realizar a atividade em três conjuntos e o ajudante realiza a mesma atividade nos outros três conjuntos simultaneamente.

No cenário pós aplicação das estratégias da TRF o *setup* interno possui uma duração média de 2,76h, ou seja, uma redução de 30% no tempo de *setup*. Considerando que em um dia sejam realizados um média de quatros *setup*, tem-se, ao dia, um ganho seis 6h com a máquina disponível para produção.

4.3 IMPACTO DOS SETE DESPERDÍCIOS DA PRODUÇÃO NAS ESTRATÉGIAS DA TRF

Para relacionar a metodologia dos sete desperdícios com a TRF, é preciso alterar sua ótica. Isso porque os sete desperdícios da produção estão voltados para o fluxo do produto no processo, mas, como o objeto de estudo nessa pesquisa é a operação do *setup*, será necessário redireciona-los para focar no fluxo das atividades realizadas durante o processo de *setup*.

Dessa forma, os conceitos de cada um dos sete desperdícios foram adaptados para auxiliar a identificação e classificação dos desperdícios quanto a realização do *setup*:

- Super produção: Estarão relacionados ao adiantamento excessivo de atividades do *setup*. Com as mudanças na demanda a fila de pedidos programada pode sofrer alterações e o que foi adiantado ter que ser retrabalhado para um novo item que entrou na fila com urgência;
- Espera: Existência de ociosidade durante a sequência de atividades. Ou seja, atividades sem pré requisito, ou com pré requisito atendido, mas que só podem ser iniciadas mediante a conclusão de outra atividade devido o limite de recursos;
- Transporte: Transportes de acessórios e componentes que configuram o equipamento para a produção do próximo item. Além das matérias primas que compõe o produto, a troca de moldes e engrenagens são responsáveis pela caracterização do produto, ou seja, o *setup*. Muitas vezes o transporte dessas peças, de onde são armazenadas até o maquinário, pode ser uma grande fonte de desperdício;
- Processamento: Relacionados a forma com que as atividades são executadas, os passos dos procedimentos padrões, etapas que não agregam valor, entre outros;

- Estoque: Desperdícios atrelados ao armazenamento dos acessórios e matéria primas componentes dos produtos;
- Movimentação: O deslocamento do operador para realizar cada atividade do *setup*;
- Defeitos: Trata-se das anomalias ocorridas durante a realização do *setup*, erros operacionais, acessórios danificados, entre outras. A ocorrência de boa parte dessas anomalias acarretam em retrabalho;

Entendido os conceitos adaptados, é possível identificar as fontes de desperdícios da empresa para que possam ser reduzidos, ou até eliminados.

4.4 IDENTIFICAÇÃO DE DESPERDÍCIOS

O *setup* no setor de impressão, da empresa em questão, já é organizado da seguinte forma: A equipe é composta por um operador, um ajudante, uma pessoa responsável pela casa de tinta, o colorista, e um colador de clichê. O responsável pela casa de tinta recebe a fila de produção e antecipa a produção que foi planejada para as próximas 24h e mais duas ordens de produção subsequentes, para que se necessário antecipar uma ordem produção ou alguma ordem não consiga ser produzida, ainda haja tinta disponível para evitar a parada no equipamento. O colador de clichê também age de maneira parecida, ele observa quais são os diâmetros dos cilindros porta clichê estão planejados na fila de produção e inicia a colagem dos clichês, o ponto crítico nessa função é quando existe uma mudança na fila de produção de pedidos que utilizam o cilindro de mesmo diâmetro e nesse caso o colador terá que descolar o clichê já colado para colar outro clichê. Quanto o operador e o ajudante, a distribuição de suas atividades já foi apresentada pela Figura 5.

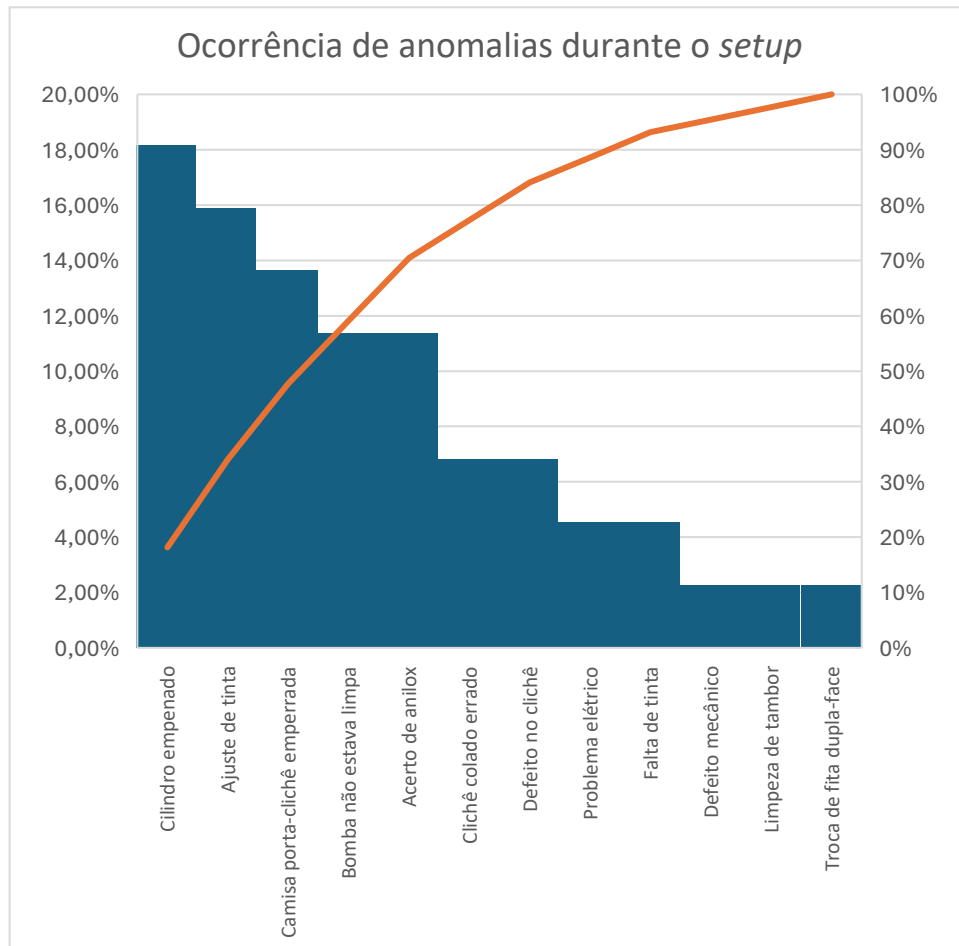
É orientado ao operador e ajudante que assim que um *setup* seja finalizado, já se inicie o *setup* externo do próximo pedido, mesmo que a produção atual tenha uma previsão de termino mais tardia. Como fila de produção desse setor sofre alterações devido as mudanças e urgências na demanda, ocorre do operador e ajudante refazerem o *setup* externo para um outro produto que não estava planejado na fila de produção acarretando desperdícios com retrabalho de todos da equipe do *setup*.

Além disso, a empresa enxerga algumas anomalias que ocorrem durante a realização do *setup*, como por exemplo um clichê colado fora do alinhamento, a identificação de cilindros empenados apenas no momento que são colocados em

máquina, tintas com muita variação quando comparadas com o padrão Pantone, entre outras.

Na Figura 6 pode-se verificar um Diagrama de Pareto, quanto a ocorrência de anomalias durante a realização do *setup*:

Figura 6 – Diagrama de Pareto das ocorrências de anomalia durante o *setup*



Fonte: A autora (2025).

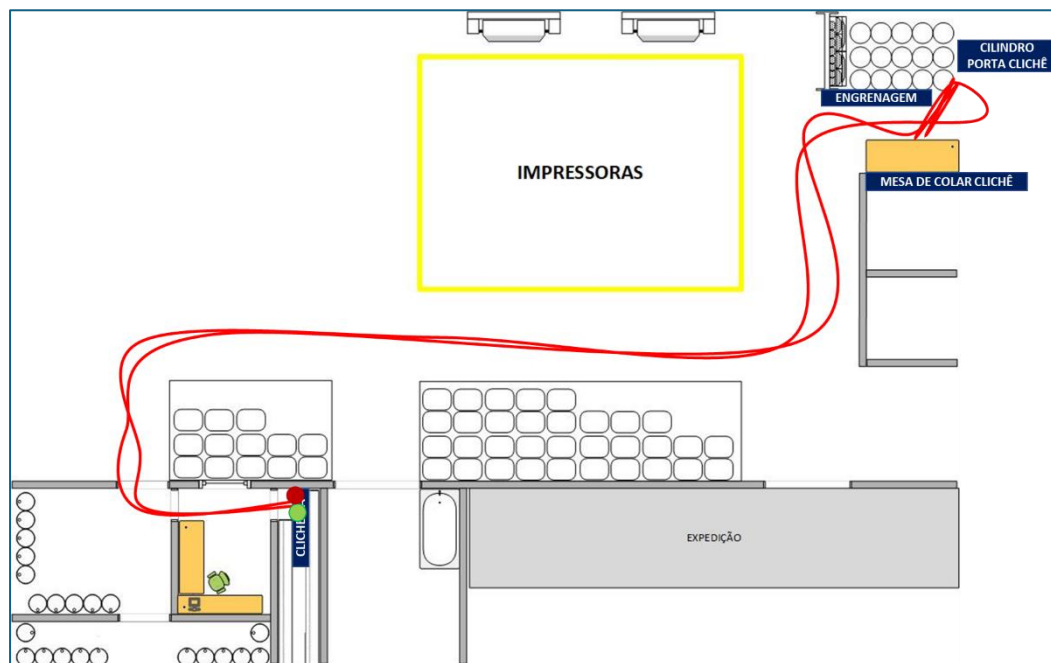
No Diagrama de Pareto, observa-se que as anomalias com maior impacto são: Cilindro empenado, Ajuste de tinta, Camisa Porta Clichê emperrada, Bomba de tinta não estava limpa, Acerto de anilox e Clichê colado errado. As consequências dessas anomalias são retrabalho e acréscimo no tempo para conclusão do *setup*.

Outro ponto crítico do setor é o layout, disposição dos equipamentos e disposição dos recursos. Na casa de tinta estão os estoques das tintas disponíveis para produção e o depósito de clichês. Já os cilindros porta clichê, as engrenagens e a mesa de suporte para colagem do clichê ficam em outro local. Os componentes que ficam mais próximo do equipamento são os anilox, porém o local onde é feito a

lavagem desse componente também é distante do equipamento e para transportar o anilox até esse local são necessárias duas pessoas. Ainda sobre o layout, outra identificação de desperdícios está na disposição do estoque intermediário de substrato, o sentido em que as bobinas são estocadas limita o acesso, o que dificulta na localização e retirada das bobinas que serão utilizadas para o próximo pedido.

Nas Figuras 7, 8, 9 e 10, através do Diagrama Spaghetti, pode-se ver o deslocamento dos colaboradores durante o *setup*, colorista, colador de clichê, operador e ajudante respectivamente, onde o início do deslocamento está representado por um ponto verde e o final do deslocamento pelo ponto marrom.

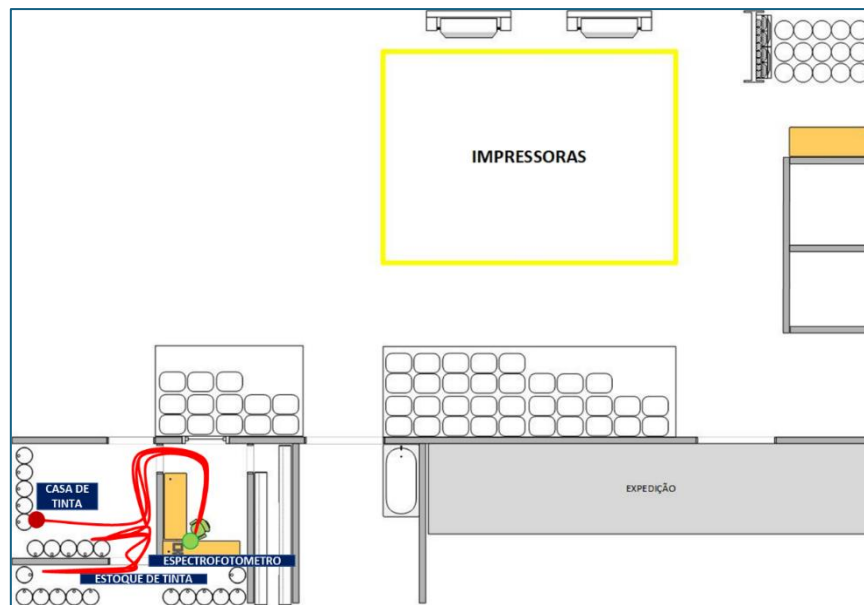
Figura 7 – Diagrama Spaghetti do colador



Fonte: A autora (2025).

Através da Figura 7, podemos observar que o colador precisa realizar um grande deslocamento da clicheria, onde armazena os clichês, até seu posto de trabalho onde os clichês são colados. Em um turno do seu trabalho, o colador realiza esse deslocamento umas dez vezes, em média.

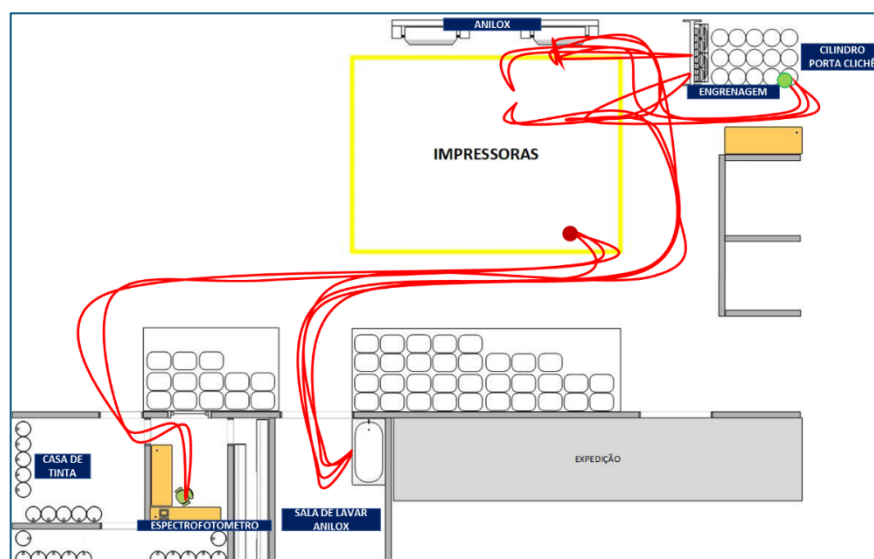
Figura 8 – Diagrama Spaghetti do colorista



Fonte: A autora (2025).

Para o colorista o deslocamento é bem menor, porém existe uma parede entre o batedor de tinta e o espectrofotômetro, aparelho utilizado para garantir o padrão de tonalidade das tintas, por isso o colorista precisa ficar se deslocando de uma sala para outra. Como os ajustes de tinta são minuciosos, o colorista fica em um deslocamento repetitivo de pegar amostra de tinta levar para aprovar, vê qual ajuste precisa ser feito voltar pro batedor, corrigir, pegar a amostra e levar pra conferir se o ajuste foi eficiente. Esse processo se repete no turno inúmeras vezes.

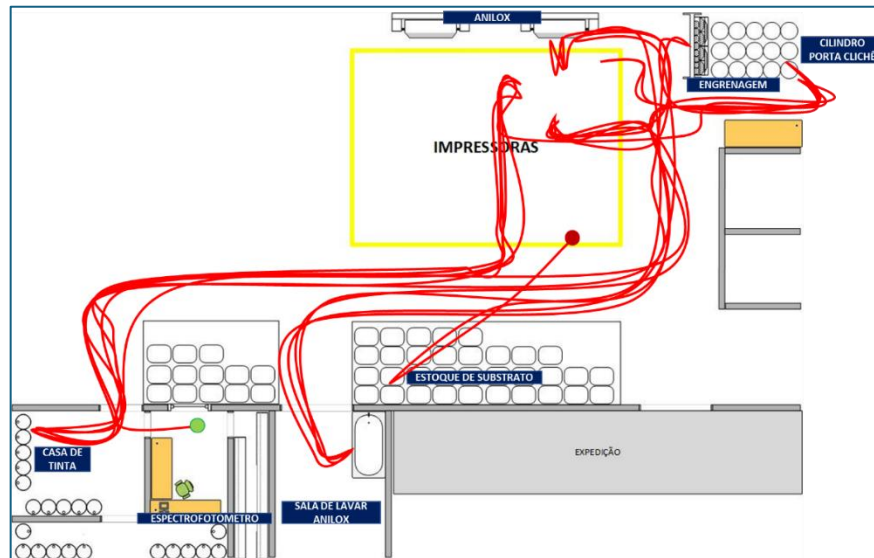
Figura 9 – Diagrama Spaghetti do operador



Fonte: A autora (2025).

O operador se desloca por quase todo o setor. Além de se movimentar ao redor de toda a máquina precisando levar acessórios para o equipamento e ajustar os dois lados da máquina, ele ainda se desloca até a casa de tinta para aprovação da impressão e na sala de lavar anilox, para limpar alguns acessórios como anilox e bombas de tinta.

Figura 10 – Diagrama Spaghetti do ajudante



Fonte: A autora (2025).

O ajudante é, da equipe, o colaborador que tem maior deslocamento, isso porque além de preparar alguns acessórios que serão utilizados para a produção do próximo pedido, ele ainda é responsável por levar quase todos esses acessórios até a máquina. Então durante o setup, o ajudante atua principalmente como transporte para os acessórios.

4.5 ELIMINAÇÃO DOS DESPERDÍCIOS

Após identificados os desperdícios no processo do *setup*, uma equipe com integrantes multisetoriais da empresa, se reuniram para definir ações que poderiam reduzir ou até eliminar tais desperdícios.

Na Tabela 2, pode-se observar cada desperdício identificado, em qual dos sete desperdícios ele se encaixaria e qual a ação corretiva para elimina-los ou reduzi-los.

Tabela 2 – Ações corretivas para eliminação ou redução dos desperdícios identificados

Desperdício	Tipo de desperdício	Ação corretiva
Identificação de cilindros empanados apenas quando colocados em máquina	Defeito	Recuperação dos cilindros empenados; Rotina de inspeção nos cilindros para identificar danos mais leves e evitar que eles piorem;
Ajuste de tinta	Defeito	Reduzir o parâmetro de variação da tonalidade da tinta, delta E; Implantação de teste de qualidade mais rigorosos no momento de recebimento das tintas;
Camisas porta clichê emperradas	Defeito	Recuperação das camisas danificadas; Rotina de inspeção nas camisas para identificar danos mais leves e evitar que eles piorem;
Bomba de Tinta suja	Defeito	Rotina de limpeza das bombas de tinta, com frequência e responsável, além do acompanhamento de cumprimento;
Acerto de anilox	Defeito	Configuração padrão para anilox de acordo com a tintas;
Defeito no clichê	Defeito	Construção do fluxo dos clichês pós produção, para que eles sejam inspecionados antes de serem armazenados de volta, caso seja identificado algum dano acionar a regravação para que esteja pronta antes da próxima produção;
Clichê colado errado	Defeito	Conferência de recebimento de clichê mais rigorosa, quanto aos pontos guias; Identificação e correção de linhas guias danificadas;
Bobinas dispostas de forma vertical o que dificultava a retirada delas para o processo, já que as primeiras bobinas estariam no canto das paredes e as ultimas bobinas	Estoque	Disponibilizar as bobinas horizontalmente dessa forma as primeiras bobinas estarão em uma extremidade lateral da ilha de bobinas e as ultimas bobinas estariam na outra extremidade lateral da ilha
Rearranjo do layout	Movimentação	Reestrutura a disposição das máquinas, casa de tinta e clicheria, para que os componentes e acessórios do equipamento fiquem mais próximos e o deslocamento da operação com essas peças seja reduzido;
Análise de cada micro atividade do <i>setup</i>	Processamento	Revisão dos Procedimentos Operacionais Padrão, Treinamento para operação e acompanhamento para o cumprimento dos POP's;
Ajuste fino	Processamento	Definir parâmetros de máquina e fazer marcações que indique o encaixe das engrenagens;
Antecipação excessiva dos <i>setup's</i> externos, produção de tinta e colagem de clichê	Super Produção	Antecipar apenas os <i>setup's</i> externos dos pedidos que estão programados para o turno; Travar a fila de produção em 24h, ou seja, a fila programada para o dia não pode sofrer alteração;
Iniciar o <i>setup</i> externo do próximo pedido assim que finalizar o anterior	Super Produção	Iniciar o <i>setup</i> externo aproximadamente 1:40h antes do horário previsto para concluir a ordem de produção atual
Carrinhos danificados, não ergonômicos e desfuncionais	Transporte	Aquisição e readequação dos carrinhos de transportes apropriados para o processo;

Fonte: A autora (2025).

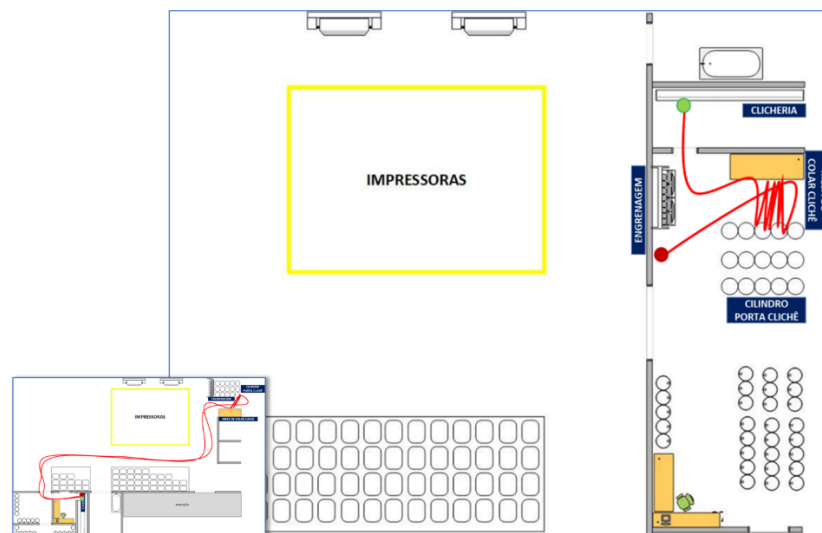
Através da Tabela 2, observa-se que a maioria das ações não exige grandes investimentos, apenas uma reorganização no processo. Além disso, as ações que

requerem aquisição de acessórios danificados também estão atreladas a inspeções de rotina para garantir a vida útil de tais acessórios, conforme as orientações do fabricante.

Dentre as ações para eliminar os desperdícios, a ação que ganha maior destaque visual é o rearranjo do layout, como essa ação também tem grande relevância para a simulação computacional, sua execução será mais aprofundada.

Nas Figuras 11, 12, 13 e 14 estão apresentados os Diagramas Spaghetti com o layout proposto para o colador, colorista, operador e ajudante respectivamente.

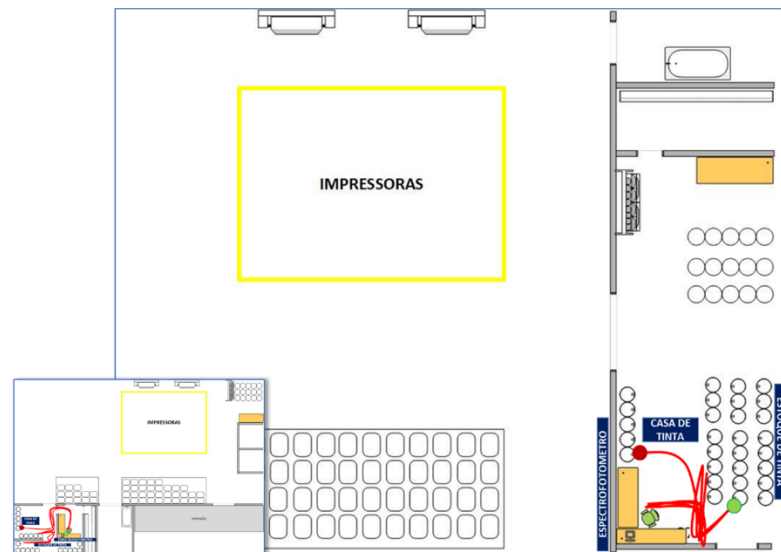
Figura 11 – Diagrama Spaghetti do colador no novo layout



Fonte: A autora (2025).

A principal mudança para o colador que a sala onde os clichês são armazenados está bem próxima da mesa onde a colagem do clichê é feita. Além disso a área do seu posto de trabalho está mais espaçosa e os cilindros porta clichê melhor dispostos. A esquerda da Figura 11 está a miniatura com o deslocamento do colador antes da mudança de layout para nível de comparação.

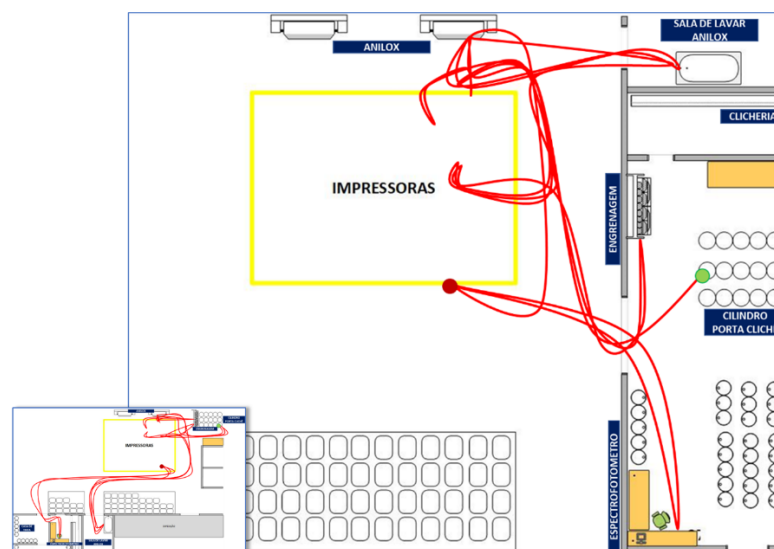
Figura 12 – Diagrama Spaghetti do colorista no novo layout



Fonte: A autora (2025).

Nesse novo layout o colorista tem um espaço mais aberto que facilita sua movimentação, além disso o espectrofotômetro está ao lado da balança, então enquanto ele está manipulando a tinta sua movimentação é mínima. Após essa melhoria a movimentação do colorista será, em resumo para pegar a tinta e colocar na balança, e retirar a tinta da balança e colocar na área de tintas disponíveis para produção. A diferença do deslocamento pode ser comparada pela miniatura a esquerda da Figura 12.

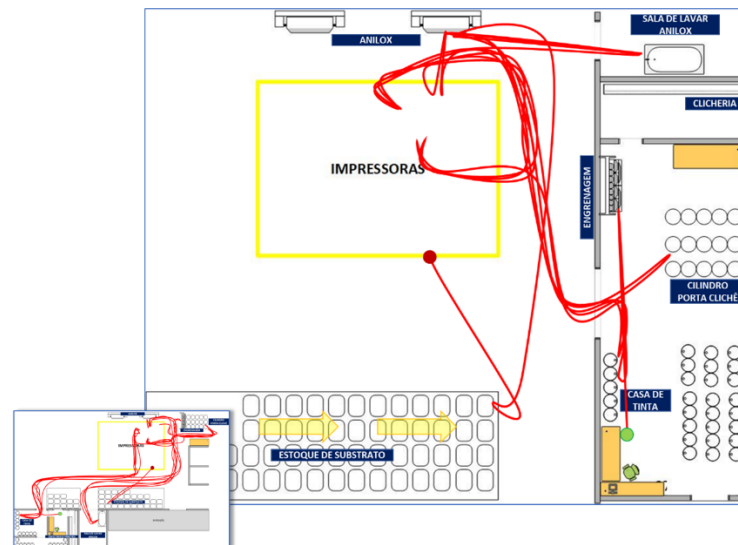
Figura 13 – Diagrama Spaghetti do operador no novo layout



Fonte: A autora (2025).

O deslocamento do operador ainda fica ao redor da máquina, porém com mais espaço para transportar os acessórios. O operador é responsável pelo transporte dos cilindros porta clichê até o equipamento, e todos esses acessórios estão bem próximos da impressora. A nível de comparação, a miniatura a esquerda da Figura 13, mostra o deslocamento do operador antes da mudança.

Figura 14 – Diagrama Spaghetti do ajudante no novo layout



Fonte: A autora (2025).

O ajudante, continua se deslocando para levar os acessórios até a impressora, porém como agora esses acessórios estão mais próximo ao equipamento o trajeto do ajudante foi reduzido. Além disso na Figura 14 também temos o destaque da disposição das bobinas em sentido horizontal na ilha o que favorece bastante na movimentação do ajudante ao retirar esse material do local no qual é armazenado. A miniatura a esquerda da Figura 14, ajuda na comparação do deslocamento pós mudança.

Com os dados do processo, desperdícios identificados e ações corretivas propostas, a validação do ganho em aplicar essas ações será dada através de comparativos entre cenários simulados computacionalmente.

5 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE CRÍTICA

Para validar a proposta de eliminação de desperdícios com o objetivo de reduzir tempo de *setup*, utilizou-se o artifício da simulação computacional.

O *software* escolhido pra essa simulação foi o FlexSim, que além de fornecer indicadores de produtividade, também fornece indicadores de tempo e deslocamento. Usualmente o FlexSim é usado para construir modelos de produção, simulando o fluxo do produto através de processadores, combinadores, separadores, transporte, operação e outros ícones presentes em um sistema produtivo e/ou logístico. Dessa forma o *software* possui um parâmetro, “*setup*”, vinculada aos equipamentos simulados. Nesse parâmetro, é definido o tempo de *setup* realizado antes de iniciar o processamento do equipamento, além disso, também é possível indicar a necessidade da intervenção do operador para essa atividade.

Apesar dessa pesquisa tratar de *setup*, não será utilizada essa função. Isso porque sua eficiência é maior quando o foco do modelo simulado é o processamento de produtos. Visto que o objetivo é expressar a realização do *setup* como um processo, vamos readequar o conceito de alguns parâmetros do *software* para que possam expressar melhor as ações de melhoria sugeridas na seção anterior.

Os processadores foram utilizados para preparar os acessórios da impressora, ou seja, montagem da engrenagem, montagem de cilindro, lavagem de anilox, colagem do clichê no cilindro e diluição das tintas. Para os acessórios que são necessários a montagem, foi utilizado combinador na versão “*Join*”, ou seja, juntando as duas peças em uma só.

A impressora está representada por um combinador. Onde aguarda-se a chegada dos acessórios, representado por componentes gerados por outros processadores, para dar início a sua produção, que para esse modelo, trata-se da substituição dos acessórios no maquinário e ajustes do *setup*. O resultado processado também está em formato “*Join*”, partindo do pressuposto de que o produto final é a soma da interferência dos acessórios no substrato a ser impresso, por isso, representa a amostra padrão que é levada para aprovação e se aprovada valida a finalização do *setup*.

Outra adequação está relacionada a quantidade de insumos disponíveis nas filas (“*Queue*”), que estão representando o espaço no qual esses insumos são armazenados. Os modelos comuns rodam o processo por diversas vezes no

simulador para avaliar indicadores de produtividade e gargalos na linha, por isso geralmente os insumos são disponíveis atendendo algum tipo de distribuição. Porém como nosso objetivo é simular um processo de *setup* e essa não é uma atividade continua no processo produtivo, todos os insumos serão representados apenas com 1 unidade disponível nas filas, de modo que o simulador só irá rodar o processo apenas uma vez e indicará o tempo de execução ("*Run Time*") que representa a realização de um *setup*.

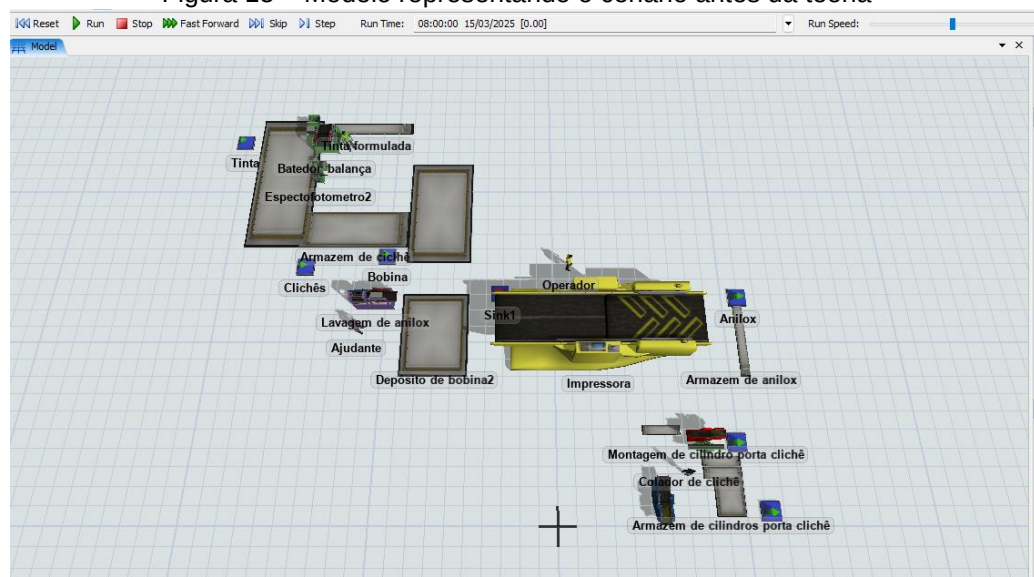
No modelo estão presentes as atividades relacionadas ao *setup* interno, visto que é o mais crítico por ter a perda por parada de máquina. Além dessas atividades, também estão presentes os micro processos de colagem de clichê e casa de tinta. Esses processos funcionam em paralelo com o processo principal do *setup*, mas possuem muita influência sobre o tempo de realização do *setup*, por isso, também serão simulados. Vale destacar que os processadores de todas as atividades necessitam do operador durante sua execução.

Em relação a disposição dos ícones, foi utilizado dimensões reais em metros para a parametrização e os dados de tempo em minutos, com valores que expressam a realidade.

O primeiro modelo a ser construído foi o que representa o processo anterior a qualquer melhoria. O objetivo de simular esse cenário é validar a proximidade do modelo com a realidade e gerar dados para compara os resultados pós melhoria.

A Figura 15 apresenta a simulação desse cenário.

Figura 15 – Modelo representando o cenário antes da teoria

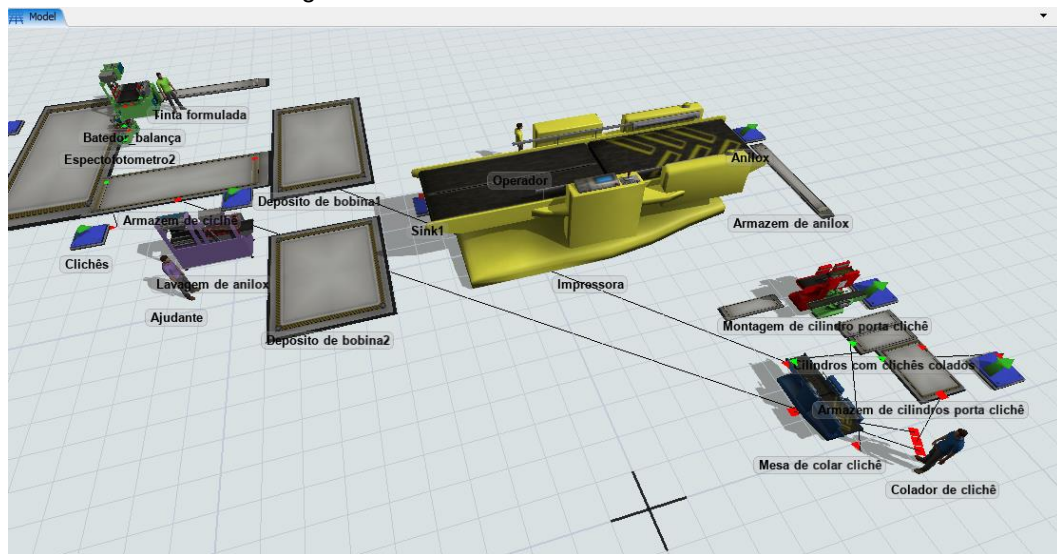


Fonte: A autora (2025).

Nesse cenário temos os processos colagem do clichê, montagem de engrenagem, montagem do cilindro porta clichê, lavagem de anilox, diluição de tinta, aprovação pelo espectrofotômetro e a impressora.

Para a melhor visualização da demanda de cada integrante da equipe, as próximas figuras irão mostrar o modelo do mesmo cenário, porém apresentando as conexões separadas para cada integrante da equipe.

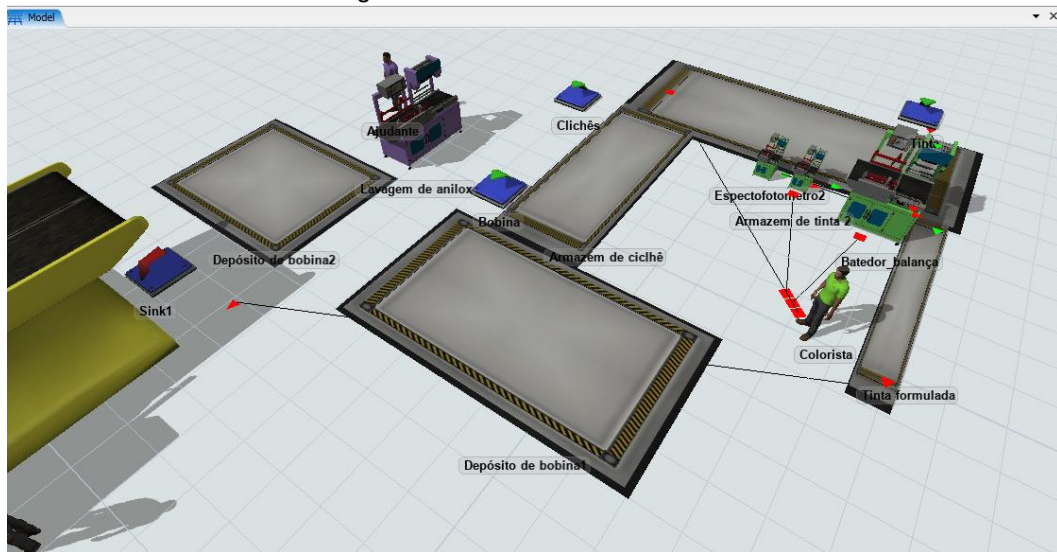
Figura 16 – Conexões do Colador de clichê



Fonte: A autora (2025).

Observa-se na Figura 16 que o Colador de clichê não possui conexões em quantidade elevada e a sua atuação é quase toda concentrada em uma área. Porém seu processo requer um grande deslocamento para pegar o clichê que será colado e leva-lo até a mesa de colagem, ou seja, um deslocamento que não agrega valor ao processo.

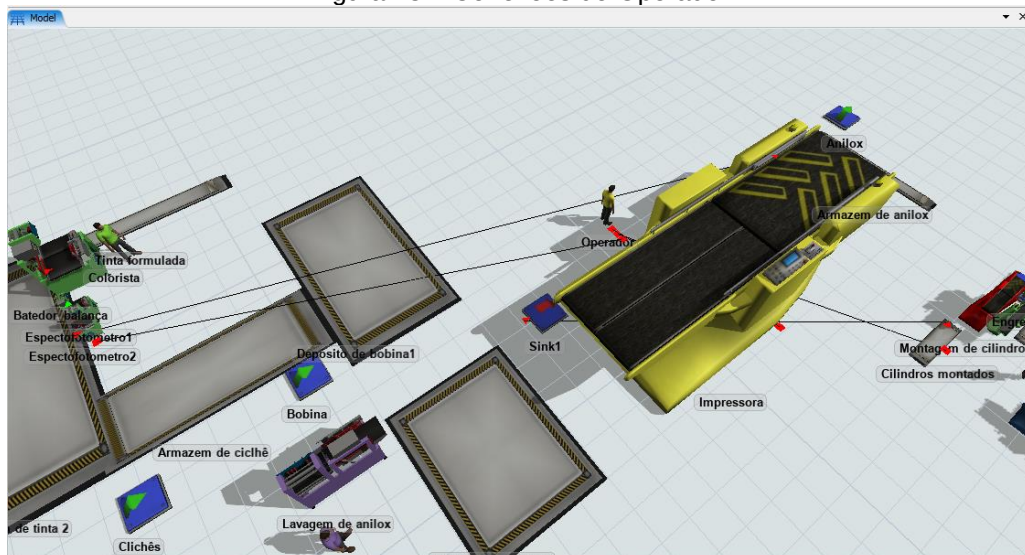
Figura 17 – Conexões do Colorista



Fonte: A autora (2025).

O colador é o integrante com menor deslocamento visto que sua atuação se restringe a casa de tinta, como visto na Figura 17. A problemática desse integrante é o espaço insuficiente para manusear os toneis de tinta e ainda estocar as tintas manipuladas para produção.

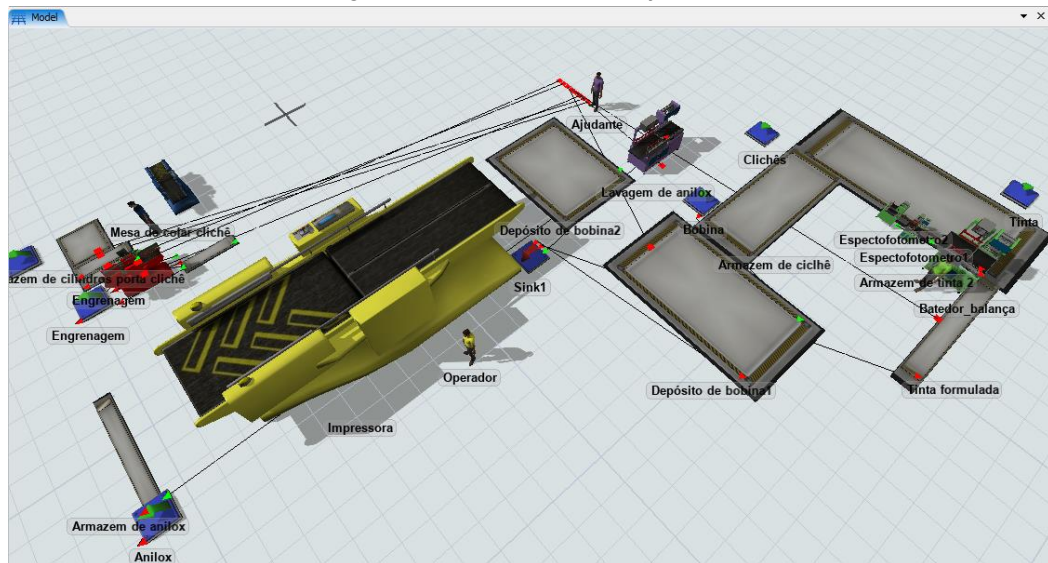
Figura 18 – Conexões do Operador



Fonte: A autora (2025).

O operador tem uma das quantidades de conexões mais baixas, como mostrado da Figura 18. Porém, é exigido dele a atuação na impressora durante seu processamento, o que significa uma ocupação alta, visto que a impressora é um dos equipamentos com maior processamento.

Figura 19 – Conexões do Ajudante

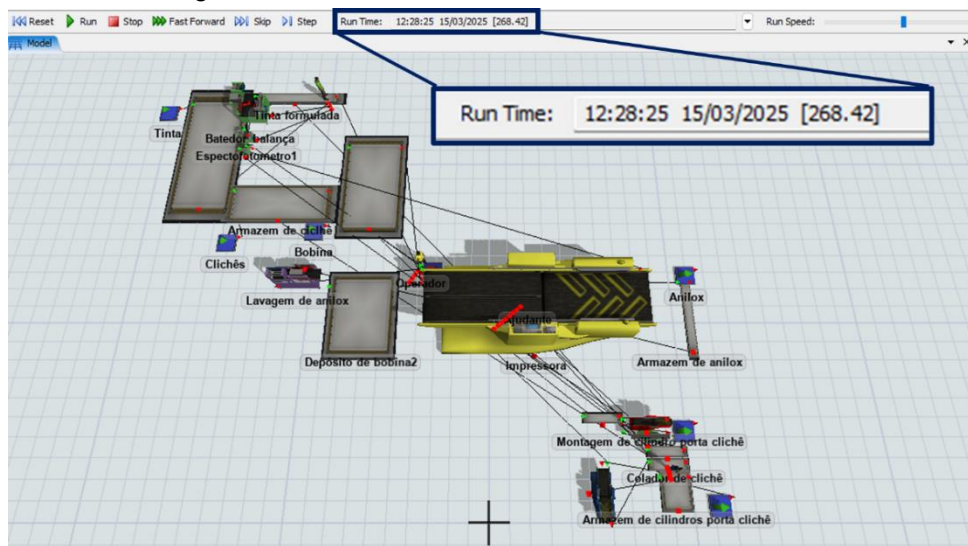


Fonte: A autora (2025).

O ajudante é o integrante com maior deslocamento, ele percorre praticamente todo o perímetro do setor, como pode ser visto na Figura 19. Isso se dá, porque além de ser responsável por alguns processos de montagem, também é responsável por levar insumos e acessórios até a impressora.

O tempo de setup, conforme a simulação desse cenário, foi de 268, 24 minutos, como pode ser visto na Figura 20. Multiplicando esse tempo pela quantidade média de setup programados ao dia, tem-se uma perda de mais de 17h com máquina parada. Convertendo essa perda em dinheiro, considerando a produtividade e valor médio do produto, tem-se uma perda de oportunidade de R\$ 6.358,00 ao dia.

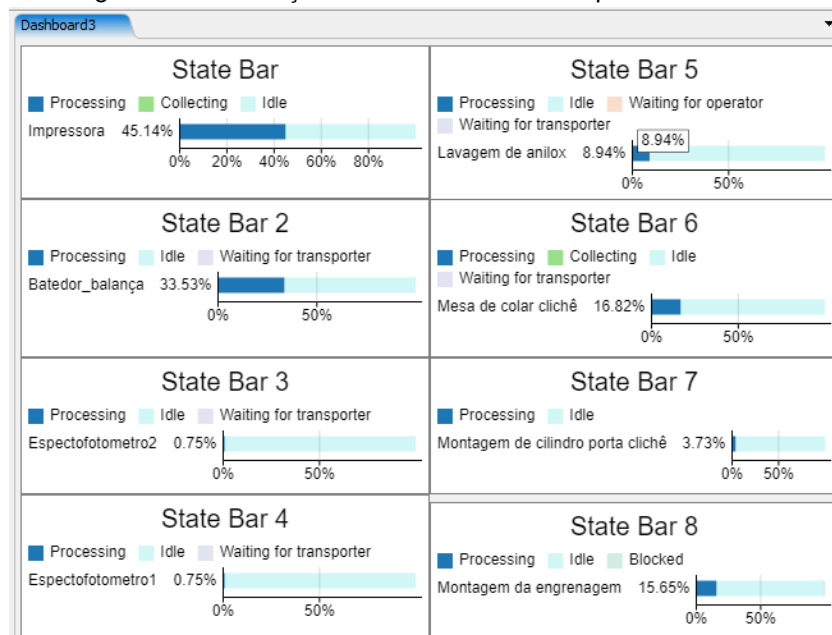
Figura 20 – Run Time do cenário anterior as melhorias



Fonte: A autora (2025).

A nível de análise com os demais cenários, outros indicadores considerados na simulação desse cenário foram de Utilização x Ociosidade das Máquinas, Utilização x Ociosidade dos Operadores e Deslocamento dos Operadores, como apresentado respectivamente nas Figuras 21, 22 e 23.

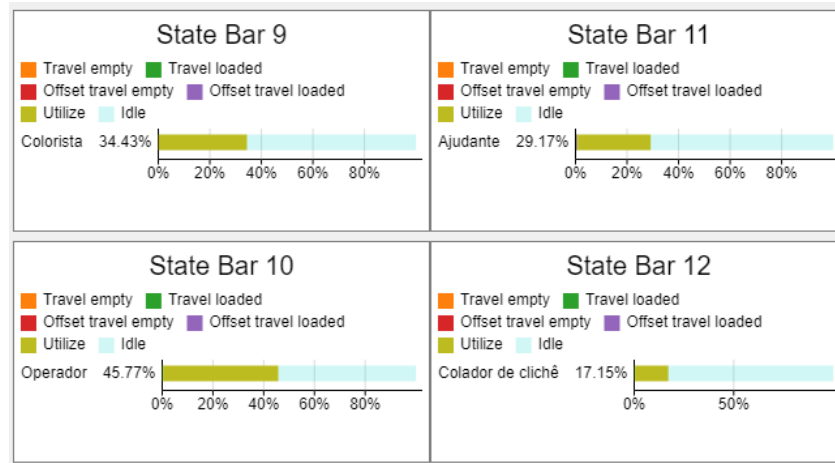
Figura 21 – Utilização x Ociosidade das Máquinas cenário 1



Fonte: A autora (2025).

Na figura 21, é apresentado um gráfico de barras para cada processador usado no modelo. As barras em azul escuro mostram o tempo percentual que o equipamento atua em relação ao *Run Time* do processo, já a barra em azul claro mostra o tempo percentual que o equipamento passa ocioso. A partir desse documento vemos que a Impressora é o equipamento com maior tempo de processamento e consequentemente o gargalo.

Figura 22 – Utilização x Ociosidade dos Operadores cenário 1

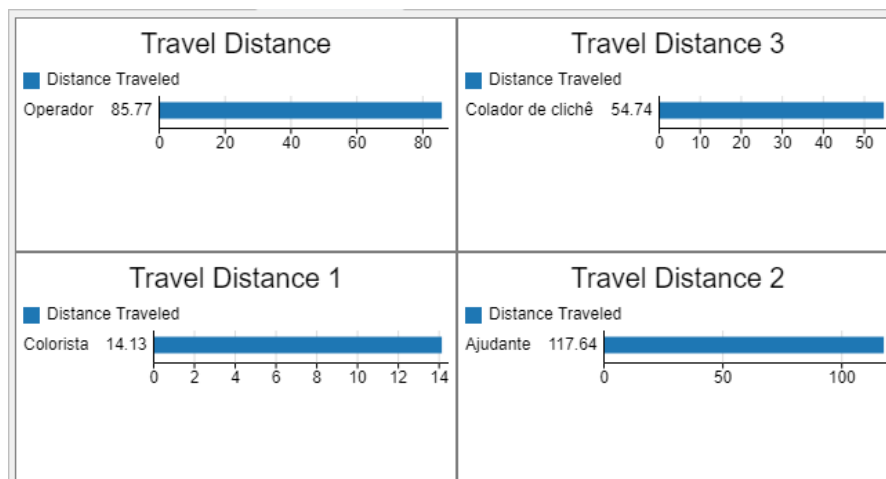


Fonte: A autora (2025).

A Figura 22, retrata o indicador de ocupação e ociosidade de cada integrante da equipe, onde a barra em amarelo indica a ocupação e a barra em azul claro a ociosidade.

Apesar de o ajudante ter uma quantidade maior de atividades de sua responsabilidade, na Figura 22 vê-se que o operador tem a maior ocupação. Esse resultado é devido a necessidade de estar presente durante todo o processamento da impressora.

Figura 23 – Deslocamento dos operadores em Metros cenário 1



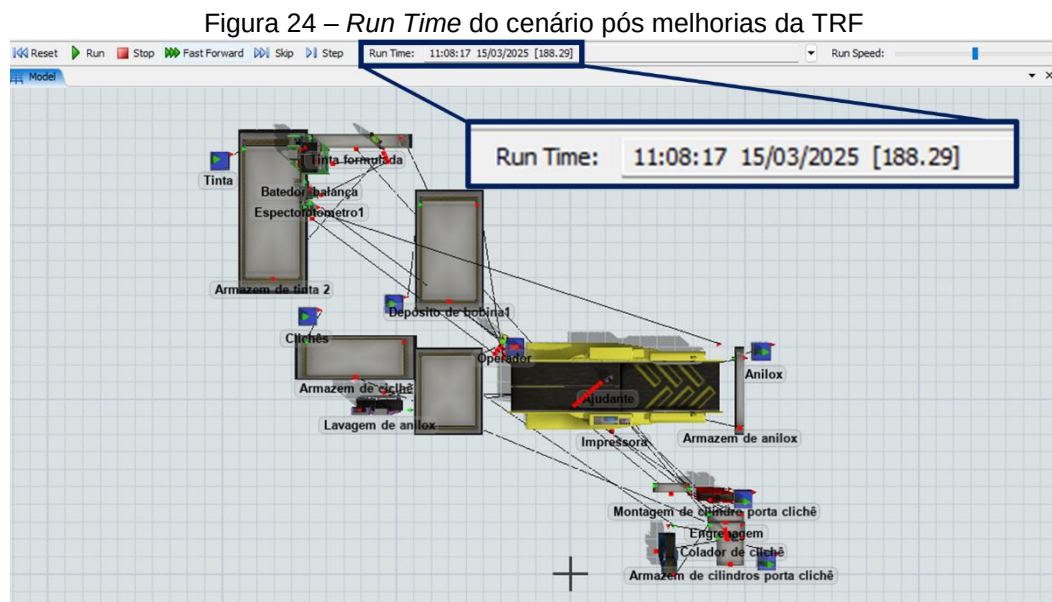
Fonte: A autora (2025).

O indicador de Deslocamento do Operador, apresentado pela Figura 23, confirma que o integrante que mais se desloca é o ajudante. Todo esse deslocamento

além de não agregar valor ao processo também pode causar sintomas de fadiga e até provocar problemas ergonômicos.

O segundo cenário a ser simulado foi acrescido das melhorias provenientes da aplicação das estratégias da TRF. Essas melhorias alteraram alguns *inputs* relacionados a atividades que antes eram feitas ou pelo operador, ou pelo ajudante, e pós melhoria passaram a ser realizadas pelos dois integrantes em paralelo. Além disso, também houve a retirada do processamento de montagem de engrenagem e a verificação da configuração de cargas dos anilox que passaram a ser *setup* externo.

O resultado da simulação desse cenário pode ser visto na Figura 24.

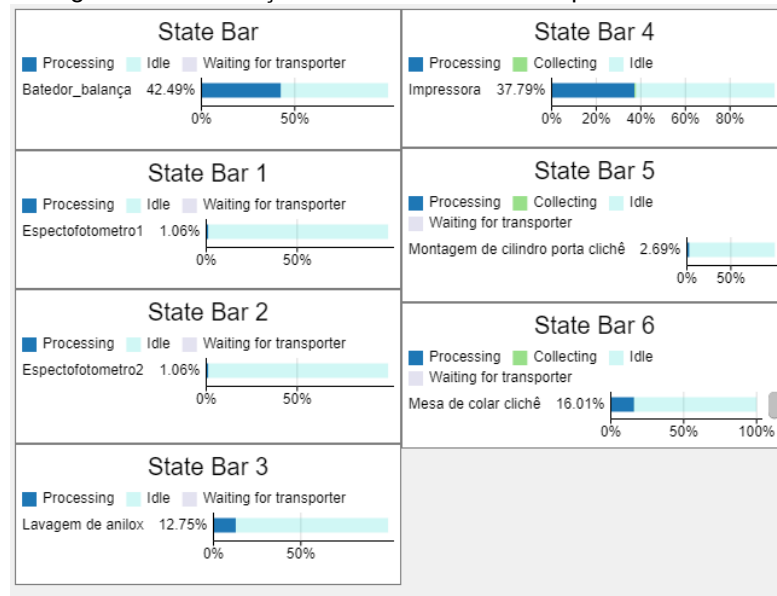


Fonte: A autora (2025).

Esse cenário retornou um tempo de *setup* de 188,29 minutos, significando uma redução de 28,5% no tempo de *setup* quando comparado ao primeiro cenário. Essa redução expressa um ganho de oportunidade no valor de R\$1664,00 ao dia.

Os resultados dos demais indicadores para esse cenário estão exposto a seguir.

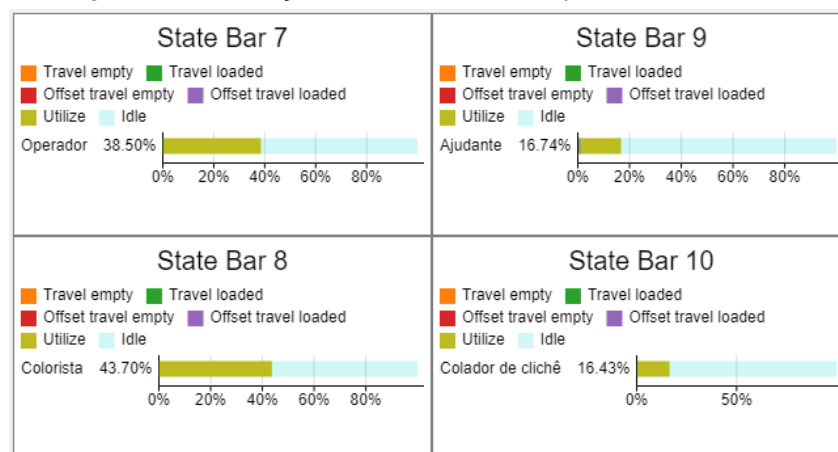
Figura 25 – Utilização x Ociosidade das Máquinas cenário 2



Fonte: A autora (2025).

Quanto ao tempo de processamento e ociosidade, a Figura 25 evidencia as melhorias feitas no processo de impressão com a adoção de atividades em paralelo, dessa forma mostra o processo da diluição da Tinta no batedor como o novo gargalo do processo.

Figura 26 – Utilização x Ociosidade dos Operadores cenário 2

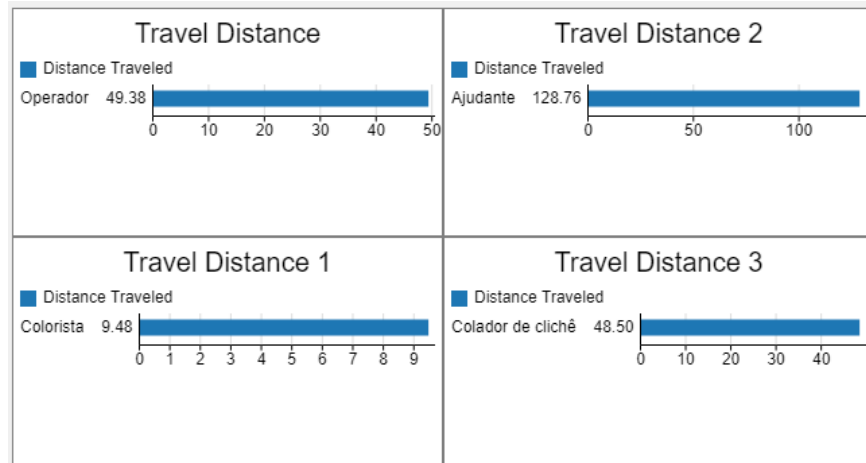


Fonte: A autora (2025).

A Figura 26 traz duas diferenças mais significativas quanto a ocupação e ociosidade da operação. O colorista agora é o integrante com maior ocupação, justamente pela redução de processamento na impressão e maior evidência do tempo de processamento no batedor de tinta. O outro integrante que teve sua ocupação reduzida foi o ajudante, essa variação foi causada pela saída do processo de

montagem de engrenagens no modelo, que passou a ser uma atividade de *setup* externo.

Figura 27 – Deslocamento dos operadores em Metros cenário 2



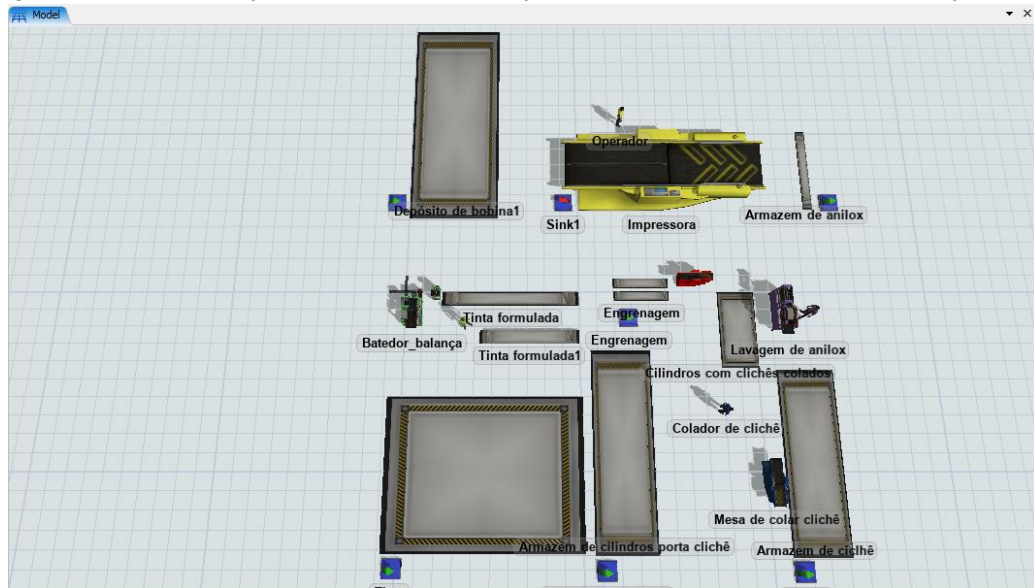
Fonte: A autora (2025).

Em relação ao deslocamento da equipe, nesse cenário todos os integrantes reduziram seu deslocamento, exceto o ajudante que teve um aumento nos metros percorridos, como visto na Figura 27. O aumento é proporcional as atividades realizadas em paralelo com o operador, como o ajudante já desempenhava um grande deslocamento, qualquer atividade acrescida a ele, mesmo que não aumente significativamente sua ocupação, mas aumenta seu deslocamento.

O terceiro cenário a ser simulado expressa as melhorias ao processo advindas da aplicação das estratégias da TRF em conjunto com a redução dos sete desperdícios.

Esse cenário traz uma notável diferença em seu visual devido a rearranjo do layout. No simulador, a nova disposição dos equipamentos também cumpriu as dimensões reais propostas para o novo espaço, essa melhoria pode ser conferida na Figura 28.

Figura 28 – Modelo representando o cenário pós melhorias da TRF e os sete desperdícios

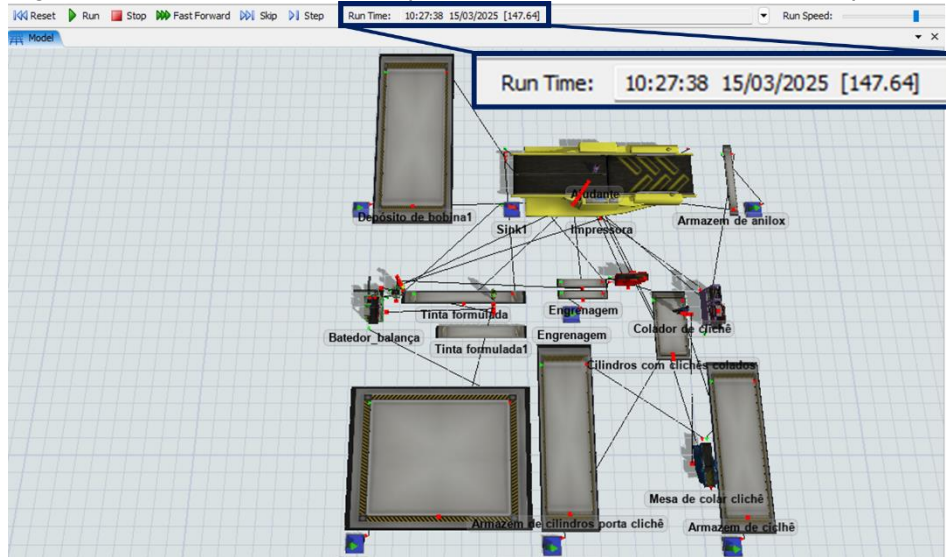


Fonte: A autora (2025).

É possível observar que todos os processos estão mais próximos, porém com espaços para armazenagem e fluxo de movimentação maior.

O impacto dessas melhorias no tempo de *setup* está apresentado pelo o *Run Time* na Figura 29.

Figura 28 – *Run Time* do cenário pós melhorias da TRF e dos sete desperdícios

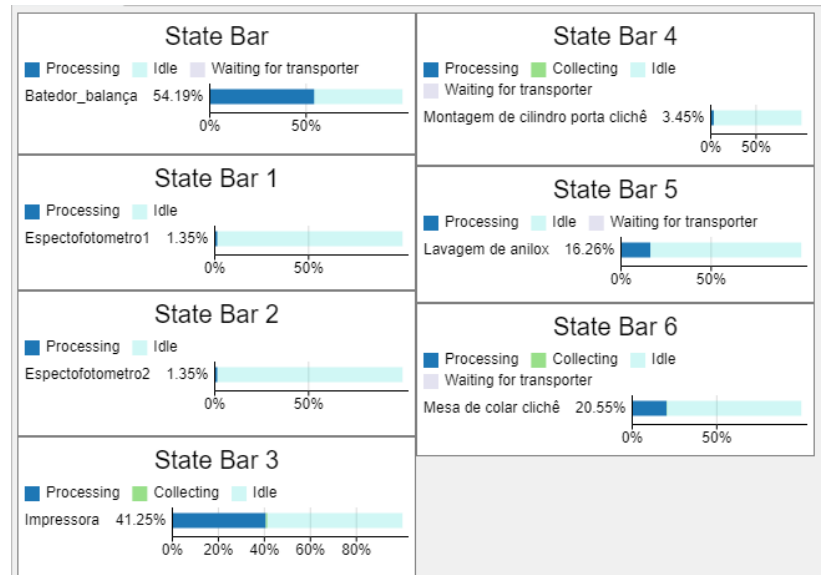


Fonte: A autora (2025).

A redução no *Run Time* é de 21,57% quando comparado com o cenário 2 e de 43,87% quando comparado com o cenário 1. Monetariamente, esse novo tempo de *setup* simulado, expressa um ganho de oportunidade de R\$2.676,84,00 ao dia.

Para uma melhor análise das melhorias dos sete desperdícios que foram simuladas as Figuras 29, 30 e 31 trazem os resultados dos demais indicadores.

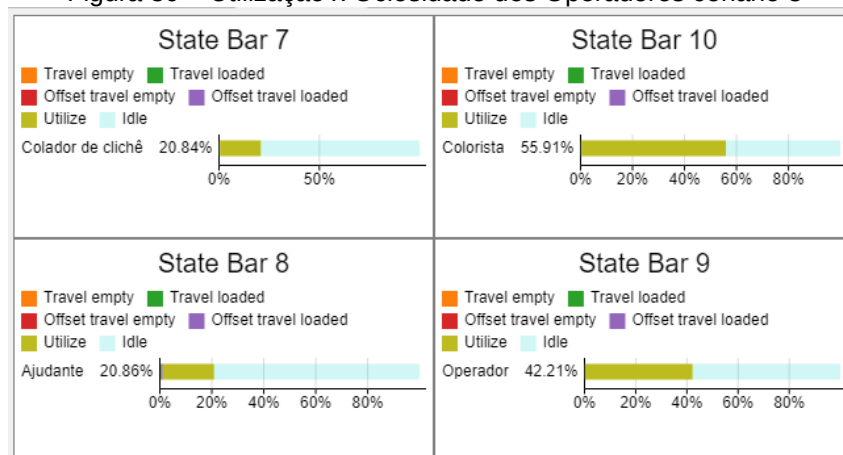
Figura 29 – Utilização x Ociosidade das Máquinas cenário 3



Fonte: A autora (2025).

Na Figura 29, observa-se mais uma elevação percentual no tempo de processamento do batedor com a diluição das tintas. A casa de tinta foi o processo com menor sugestões de melhoria quanto ao desperdício, e à medida que outros processos foram otimizados, o batedor ficou mais evidenciado como gargalo.

Figura 30 – Utilização x Ociosidade dos Operadores cenário 3

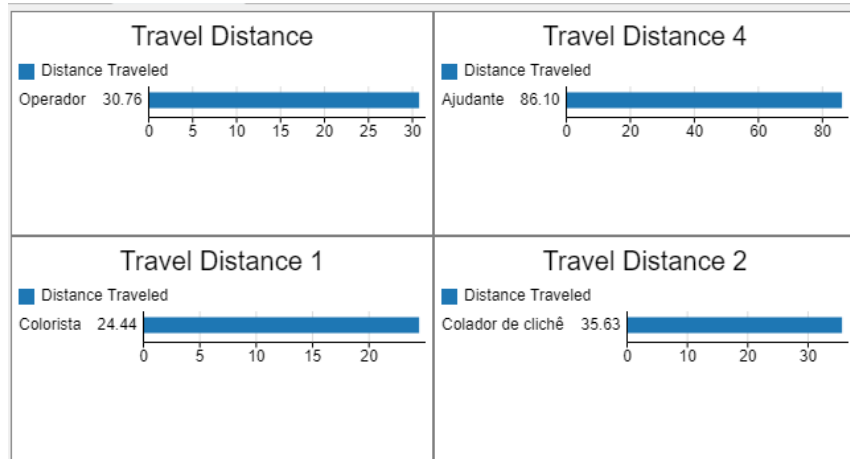


Fonte: A autora (2025).

O gargalo no batedor também refletiu no indicador de ocupação do colorista como visto na Figura 30. Para os outros integrantes houve um pequeno aumento

proporcional para todos, essa variação foi consequência de uma distribuição das atividades mais otimizada. Vale destacar que aumento de ocupação não é um indicador ruim se o operador estiver agregando valor ao processo.

Figura 31 – Deslocamento dos operadores em Metros cenário 3



Fonte: A autora (2025).

Para concluir as análises da simulação, o indicador de deslocamento da equipe retratará a melhoria do rearranjo físico com o objetivo de reduzir o desperdício por movimentação. Na Figura 31, validamos o alcance desse objetivo já que o ajudante, o integrante com maior deslocamento, teve uma redução de 33,13% em metros percorridos quando comparado com o cenário 2. O operador e colador de clichê também tiveram uma redução significativa nos metros percorridos, apenas o colorista, que como teve a casa de tinta ampliada, aumentou um pouco seu deslocamento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visto a grande aderência do STP no ramo industrial e a busca contínua para redução de estoque, consequentemente o aumento da flexibilidade nos processos produtivos, o presente trabalho buscou alinhar a aplicação de duas metodologias, as oito estratégias da TRF e os sete desperdícios da produção, para maximizar os resultados quanto a redução no tempo de *setup*. Este trabalho utilizou do setor de impressão de uma empresa de embalagens plásticas, para pilotar um passo a passo que auxilie as empresas a aplicar o método apresentado e contribuir para sua melhoria contínua.

Apesar das metodologias das estratégias da TRF e os sete desperdícios da produção terem recebido maior destaque neste trabalho, outras ferramentas também contribuíram para o resultado, principalmente para identificação de desperdícios. Diagrama de Pareto, Diagrama de Rede do Método do Caminho Crítico, Procedimentos Operacionais Padrões e outras ferramentas do *Lean Manufacturing*, foram fundamentais para tornar a pesquisa mais didática e os resultados mais satisfatórios.

Em relação ao impacto dos sete desperdícios no tempo de *setup* e no sucesso da implantação do método da TRF, os objetivos propostos no trabalho foram atendidos satisfatoriamente. A adição da metodologia dos sete desperdícios da produção às estratégias da TRF quase dobrou a redução no tempo de *setup*. Esse resultado permitirá a empresa um aumento na flexibilidade da produção e até outros benefícios relacionados a produtividade. A escolha de utilizar a simulação computacional teve o propósito de tornar o método utilizado na pesquisa mais acessível para replicações.

A complexidade do modelo simulado implica na proximidade dos resultados com a realidade. Por se tratar de um estudo piloto, para o simulador foram utilizados valores determinísticos o que dispensou a realização de uma análise de sensibilidade. Mas como próximos passos, ao abranger outros setores e processos produtivos para aplicação do método apreendido nesse trabalho, recomenda-se completar a análise com valores estatísticos, que atendam algum tipo de distribuição, sendo assim será necessário a análise de sensibilidade. Além disso, detalhar as micro atividades do processo e adicionar outros ícones infraestruturais, como paredes e faixas de passagem no simulador, retornará outputs mais lapidados e realísticos.

Em vista da incomum aplicação conjunta, das metodologias propostas por esse trabalho, conclui que o presente, será de grande contribuição para estudos futuros que busquem lapidar as metodologias do *Lean Manufacturing*, com o propósito de sua melhoria contínua.

REFERÊNCIAS

ANTUNES JR., J. A. V.; RODRIGUES, L. H. A teoria das restrições como balizadora das ações visando a troca rápida de ferramentas. **Production**, v. 3, p. 73-85, 1993.

ANTUNES, J. A. V. A lógica das perdas nos Sistemas de Produção: uma análise crítica. **Anais do XIX ENANPAD**, João Pessoa, [sn], v. 1, p. 357-371, 1995.

ATTAJER, A.; DARMOUL, S.; CHAABANE, S.; RIANE, F.; SALLEZ, Y. *Benchmarking simulation software capabilities against distributed control requirements: FlexSim vs AnyLogic*. In: **Service Oriented, Holonic and Multi-Agent Manufacturing Systems for Industry of the Future: Proceedings of SOHOMA 2020**. Springer International Publishing, 2021. p. 520-531

BALLÉ, F.; BALLÉ, M. **A mina de ouro**: uma transformação lean em romance. Bookman, 2000.

BAMAKAN, S. M. H.; DEHGHANIMOHAMMADABADI, M. A weighted Monte Carlo simulation approach to risk assessment of information security management system. **International Journal of Enterprise Information Systems (IJEIS)**, v. 11, n. 4, p. 63-78, 2015.

BANKS, J.; JOHN S. CARSON, I. I. **Discrete Event System Simulation**. Londres, England: Prentice-Hall, 1983.

BARBOSA, D. C. **Aplicação do sistema toyota de produção numa empresa de serviços de transporte e gestão de valores**. 2021. Curso de Especialização em Gestão de Negócios, UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais.

CAPTERRA. **Tudo sobre Software de Simulação**. 2023. Disponível em: <https://www.capterra.com.br/directory/30607/simulation/software>. Acesso em: 02 fev. 2025.

CARFI, T.; DILSINHO. **Infinitamente Mais**. [S.l.]: Som Livre, 2021. Disponível em: <https://open.spotify.com/track/56Dnb2DiKv5NMfUdNi4cEK>. Acesso em: 30 mar. 2025.

CURRY, B.; MOUTINHO, L. Using computer simulations in management education. **Management Education and Development**, v. 23, n. 2, p. 155-167, 1992.

CRESWELL, J. W. **Investigação Qualitativa e Projeto de Pesquisa**: Escolhendo entre Cinco Abordagens. 3. ed. Penso Editora, 2014.

DILLON, A. P. **A study of the Toyota production system**: From an Industrial Engineering Viewpoint. Routledge, 2019.

DUPLÁK, J.; YEROMINA, M.; DUPLÁKOVÁ, D.; MIKULÁŠKO, S.; KAŠČÁK, R. Exploring the Potential of FlexSim 3D Simulation for Robotic Workstation Analysis. **SAR Journal**, v. 7, n. 4, p. 303-309, 2024.

ESSS. **Descubra como a simulação computacional pode ajudar o seu negócio a crescer**. 2022. Disponível em: <https://www.esss.com/blog/descubra-como-a-simulacao-computacional-pode-ajudar-o-seu-negocio-a-crescer/>. Acesso em: 02 fev. 2025.

FALCONI, V. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. 9. ed. Nova Lima: Falconi Editora, 2013.

FLEXOTOTAL. **Aula 04 - partes de um equipamento flexo tradicional**. 2021. Disponível em: <https://flexografiatotal.blogspot.com/2021/11/aula-04-partes-de-um-equipamento-flexo.html>. Acesso em: 02 fev. 2025.

FLEXSIM. **FlexSim Software Products**, Inc. Disponível em: <https://www.flexsim.com/>. Acesso em: 9 fev. 2025.

FOGLIATTO, F. S.; FAGUNDES, P. R. M. Troca rápida de ferramentas: proposta metodológica e estudo de caso. **Gestão & Produção**, v. 10, p. 163-181, 2003.

FREIRES, V. M.; SANTOS, G. G.; NERY, C. L. P.; OLIVEIRA, M. A.; VERONEZE, G. M. Aplicação de SMED com suporte se simulação computacional para redução de tempo de setup de uma máquina rebobinadeira. **Revista Produção Online**, v. 23, n. 1, p. 4876-4876, 2023.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Estudo de caso**. São Paulo: Atlas, 2009.

GUPTA, S.; JAIN, S. K. A literature review of lean manufacturing. **International Journal of Management Science and Engineering Management**, v. 8, n. 4, p. 241-249, 2013.

HAMBY, D. M. A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 32, n. 2, p. 135-154, 1994.

HOLLOCKS, B. A well-kept secret? Simulation in manufacturing industry reviewed. **Or Insight**, v. 5, n. 4, p. 12-17, 1992.

IYER, A; SESHADRI, S; VASHER, R. **Toyota supply chain management: a strategic approach to the principles of Toyota's renowned system**. 1. ed., United States of America: McGraw-Hill, 2009.

JLES. **5 Benefícios da Simulação Computacional para o seu Negócio**. 2020. Disponível em: <https://jles.com.br/2020/12/08/simulacao-computacional/>. Acesso em: 02 fev. 2025.

KRENCZYK, D.; KEMPA, W. M.; KALINOWSKI, K.; GRABOWIK, C.; PAPROCKA, I. Production planning and scheduling with material handling using modelling and simulation. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, 2017. p. 09015.

LEON, J. F.; MARONE, P.; PEYMAN, M.; LI, Y.; CALVET, L.; DEGHANIMOHAMMADABADI, M.; JUAN, A. A. A Tutorial on Combining Flexsim with Python for Developing Discrete-Event Simheuristics. In: **2022 WINTER SIMULATION CONFERENCE (WSC)**. IEEE, 2022. p. 1386-1400.

LIKER, J. K. **O modelo Toyota**: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Bookman Editora, 2021.

MACIEL, A. C.; MONTEVECHI, J. A. B.; PEREIRA, T. F. Análise da alteração de leiaute em uma linha de manufatura de um componente automotivo através da simulação a eventos discretos. **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP)**, Salvador, Bahia, 2013.

MEIRELES, F.; SILVA, D.; CORREA, F. Simulações de Monte Carlo no ensino de Ciência Política. **Revista Brasileira de Ciência Política**, p. 223-254, 2017.

MONDEN, Yasuhiro. Sistema Toyota de produção. São Paulo: **IMAM**, v. 141, 1984.

MOREIRA, M. P.; FERNANDES, F. C. F. Avaliação do mapeamento do fluxo de valor como ferramenta da produção enxuta por meio de um estudo de caso. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP)**, v. 21, 2001.

MOUTINHO, P. B. **Implantação da metodologia lean manufacturing na Soluções em Aço USIMINAS S.A.** 2021. Monografia (Especialização em Gestão Estratégica) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Santa Luzia, 2021.

NORDGREN, W. Flexsim simulation environment. In: CHICK, S. E.; SANCHEZ, P. J.; FERRIN, D.; MORRICE, D. J. (ed.). In: **PROCEEDINGS OF THE 2003 WINTER SIMULATION CONFERENCE**. v. 1 e 2, p. 197–200, 2003.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PARÉ, G. Investigating Information Systems with Positivist Case Research. **Communications of the Association for Information Systems**, 13(18),

PEGDEN, C. D.; SADOWSKI, R. P.; SHANNON, R. E. **Introduction to simulation using SIMAN**. McGraw-Hill, Inc., 1995

QUEIROZ NETTA, M. I. **Panorama sobre o uso de simulação na Engenharia de Produção**. 2024. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Amazonas, Itacoatiara, 2024.

SALTELLI, A.; TARANTOLA, S.; CAMPOLONGO, F.; RATTO, M. **Sensitivity Analysis in Practice: A Guide to Assessing Scientific Models**. John Wiley & Sons, 2008.

SANTOS, M. P. **Introdução à simulação discreta**. Rio de Janeiro: UERJ, 1999.

SARIMI, A. F.; NASIR, N.; RASHID, H.; AZIS, N. A. Development and simulation via flexsim for kitting trolley design of rear car seat assembly process. **Journal of Applied Engineering Design & Simulation (JAEDS)**, v. 3, n. 2, p. 27-37, 2023.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 1996

SILVA, D. A. **A importância da ferramenta de lean manufacturing como um diferencial na produção de uma indústria do segmento têxtil**. 2019. Artigo apresentado ao curso de graduação em Engenharia da Produção, UniCesumar – Centro Universitário de Maringá.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

THENARASU, M.; BALAJI, S. S.; SUMESH, A.; NARASSIMA, M. S., RAMESHKUMAR, K.; TIRKOLAE, E. B. Enhancing the productivity of mould shop using continuous improvement tools and simulation. **International Journal of Systems Science: Operations & Logistics**, v. 11, n. 1, p. 2425014, 2024.

TOWILL, D. R. Industrial engineering the Toyota production system. **Journal of Management History**, v. 16, n. 3, p. 327-345, 2010.

UCHOA FILHO, J. C. L.; ARAÚJO, R. N.; LUZ, I. B. da. Aplicação das ferramentas do sistema Toyota de produção: um estudo de caso em uma indústria de eletroeletrônico do Polo Industrial de Manaus. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, n. 000145, 22 nov. 2018.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Gulf Professional Publishing, 2004.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **The machine that changed the world: The story of lean production--Toyota's secret weapon in the global car wars that is now revolutionizing world industry**. [s.l.] Simon and Schuster, 2007

YIN, R. K. **Estudo de Caso-: Planejamento e métodos**. 5. Ed. Bookman editora, 2015.