

Análise de layout e armazenagem via diagrama de espaguete em linha de montagem automotiva: Estudo do sequenciamento de chicotes

Antonia Ramos Gueiros Ribeiro

antoniagueiros@gmail.com
UERJ - FAT

Isabelle da Silva Aristeu

isabellebelle21@hotmail.com
UERJ - FAT

Thais de Souza Monteiro

thaisdesouzamonteiro@hotmail.com
UERJ - FAT

Thaina Caldeira de Macedo

thainamacedo2204@gmail.com
UERJ - FAT

Davidson de Almeida Santos

prof.davidson.santos@gmail.com
UERJ - FAT

Resumo: Este artigo analisa o arranjo físico em uma operação de montagem automotiva na região sul fluminense, com foco na aplicação do diagrama de espaguete para mapear fluxos de materiais e operadores. O estudo destaca a importância de um layout eficiente para garantir produtividade, segurança e ergonomia no ambiente fabril, além de reduzir desperdícios relacionados à movimentação. O objetivo central é demonstrar como o diagrama de espaguete pode ser utilizado para identificar gargalos na armazenagem e no sequenciamento de chicotes elétricos na linha de produção, bem como propor melhorias na disposição dos componentes e do layout. A análise permitiu propor intervenções que reduziram em aproximadamente 46% os deslocamentos dos operadores e otimizaram o uso do espaço na borda de linha. Entre os principais impactos práticos estão o aumento da eficiência operacional, a diminuição do risco de erros de montagem e a melhoria das condições ergonômicas nos postos de trabalho. O trabalho reforça a utilidade do diagrama de espaguete como ferramenta simples e eficaz para diagnosticar e otimizar layouts industriais. O artigo está organizado em cinco seções: fundamentação teórica, metodologia, análise dos dados coletados, discussão dos resultados e considerações finais.

Palavras Chave: Diagrama espaguete - indústria automotiva - Fluxo de materiais - Logística interna - Arranjo físico

1. INTRODUÇÃO

A introdução da linha de montagem por Henry Ford, em 1913, revolucionou a produção industrial ao permitir que as partes de um veículo fossem montadas em sequência conforme ele se deslocava ao longo da linha (Aloee, 2024). Esse sistema, baseado em etapas padronizadas e especializadas, viabilizou altos volumes de produção e custos reduzidos (Ohno, 1997). Em contrapartida, um layout inadequado pode gerar atrasos, custos excessivos e aumento de erros operacionais (Gouvea, 2024).

O arranjo físico, portanto, configura-se como um elemento crítico para a eficiência, a segurança e a ergonomia em ambientes industriais (Tompkins et al., 2013). No setor automotivo, onde a complexidade das operações e a diversidade de componentes são elevadas, a gestão adequada do layout contribui para minimizar desperdícios de movimentação, melhorar o fluxo de materiais e garantir condições adequadas de trabalho (Gennaro et al., 2019; Dul; Weerdmeester, 2004). Como ressaltam Menezes e Costa (2021), a aplicação de ferramentas para diagnóstico do arranjo físico, como o diagrama de espaguete, permite identificar gargalos operacionais e propor melhorias que impactam positivamente a produtividade.

No caso estudado, a crescente diversidade de part-numbers, as restrições de espaço e a variabilidade da programação de produção geraram gargalos significativos no sequenciamento e armazenagem de chicotes elétricos na linha de montagem. Os operadores percorriam, em média, 13,7 metros por veículo para acessar os materiais, resultando em atrasos de aproximadamente 15 horas semanais, além de maior sobrecarga física e riscos ergonômicos.

Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo reduzir os deslocamentos dos operadores por meio do redesenho do layout e da reorganização do sequenciamento dos chicotes, utilizando o diagrama de espaguete como principal ferramenta de análise. Essa técnica, já comprovada como eficaz para mapear e otimizar fluxos de materiais e operadores (Santos et al., 2022; Pereira et al., 2020), permite reduzir movimentações desnecessárias, melhorar a organização do espaço e aperfeiçoar as condições ergonômicas dos postos de trabalho.

Além de proporcionar melhorias operacionais, o estudo reforça a importância de integrar princípios de ergonomia e gestão enxuta para aumentar a competitividade e a sustentabilidade das operações (Almeida; Vieira, 2019; Silva; Rodrigues, 2022). Por fim, este artigo está organizado em cinco seções: a Seção 2 apresenta o referencial teórico, abordando conceitos relacionados ao layout industrial, movimentação de materiais e ergonomia; a Seção 3 descreve a metodologia empregada, incluindo a aplicação prática do diagrama de espaguete; a Seção 4 expõe e analisa os dados coletados, discutindo os resultados obtidos; e a Seção 5 traz as considerações finais, destacando as contribuições do estudo e possíveis desdobramentos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção aborda os conceitos essenciais para embasar o estudo do arranjo físico e do sequenciamento de chicotes elétricos na linha de montagem automotiva. Os tópicos estão organizados em cinco eixos principais: arranjo físico (layout) e eficiência produtiva, armazenagem e movimentação de materiais, ergonomia e segurança no layout, ferramentas de análise e melhoria, e integração dos conceitos, buscando contextualizar teoricamente os elementos fundamentais do trabalho.

2.1 ARRANJO FÍSICO (LAYOUT) E ARMAZENAGEM

O arranjo físico, ou layout industrial, refere-se à disposição de máquinas, equipamentos, materiais e pessoas no ambiente produtivo, com o objetivo de facilitar o fluxo de materiais e de informações e maximizar a eficiência operacional (Tompkins et al., 2013). Desse modo, na indústria automotiva, predominam os layouts por produto, também conhecidos como linha de

montagem, devido à alta padronização e ao elevado volume de produção (Neumann; Scalice, 2015). Além do layout por produto, existem outras configurações como o layout por processo, celular e posicional, cuja escolha depende de fatores como o volume de produção, a variedade de itens e a complexidade da montagem (Slack et al., 2018).

Nesse âmbito, o layout por processo ou funcional reúne os equipamentos e processos que têm a mesma funcionalidade em setores específicos (Cunha, 2017). Ou seja, o produto deve se movimentar dentro do processo produtivo, e como exemplo, tem-se esse tipo de layout em bancos, hospitais e mercados, no qual o cliente é direcionado ao setor específico para a sua necessidade (Lean Blog by Terzoni, 2019). De acordo com Penna (2023), o layout celular é caracterizado pela alocação de diferentes tipos de máquinas em uma mesma localidade, de forma a permitir a produção completa do produto. Logo, esse tipo de layout é usado quando os produtos demandam rapidez e flexibilidade de produção, como por exemplo em indústrias de móveis, brinquedos ou utensílios domésticos (Ejeq, 2023). Não menos importante, o layout por posição fixa ou posicional é utilizado quando os materiais transformados são ou muito grandes ou muito delicados (Piazzarollo et al., 2008). Isto é, diferente de outros produtos, a movimentação desse objeto afetaria a produção, como por exemplo a fabricação de navios, aeronaves, entre outros itens de grande porte (Ejeq, 2022).

Dentro dessa lógica, a armazenagem eficiente é fundamental para manter a fluidez da produção, assim como definir um arranjo físico apropriado, especialmente quando há grande diversidade de componentes, como no caso dos chicotes elétricos. Assim, o acúmulo desordenado de materiais pode causar saturação do espaço, dificultar a visualização e o acesso aos componentes e gerar deslocamentos excessivos (Corrêa; Corrêa, 2017). Além disso, a movimentação interna ineficiente contribui para o aumento do tempo de ciclo e o risco de erros na montagem, sobretudo quando há grande número de *part-numbers* e práticas de reaproveitamento, como no uso dos KLT's (Sigla para Kleinladungsträger - do alemão, “pequenos contentores de carga”), são caixas plásticas padronizadas utilizadas para armazenar e transportar peças na indústria) (Costa; Costa, 2016).

Entre as soluções teóricas, destacam-se os sistemas de abastecimento contínuo, como o *Just-in-Time* e o uso de ferramentas de padronização visual para melhorar o controle e a organização do estoque. Com base nisso, o *Just-in-Time*, que pode ser traduzido para português como “no momento certo”, consiste em controlar o estoque, aumentar a eficiência, cortar custos, diminuir o desperdício, além de estar centrado sob a ótica de que tudo ocorre no seu devido tempo, nem antes, nem depois (Ohno, 1997).

2.2 ERGONOMIA E SEGURANÇA NO LAYOUT

O projeto do layout ainda deve considerar os princípios ergonômicos para garantir condições seguras e confortáveis de trabalho, reduzindo esforços repetitivos e deslocamentos desnecessários (Stephens; Meyers, 2013). Isso porque a ergonomia leva em consideração vários fatores relevantes, bem como as complexas interações entre o ser humano e outros humanos, o meio ambiente, ferramentas, produtos, equipamentos e tecnologia. Vale ressaltar que o meio ambiente, neste caso, é o ambiente em que o ser humano está inserido, ou seja, o chão de fábrica. Sendo assim, a ausência da ergonomia no ambiente de trabalho pode resultar em sobrecarga física, fadiga e aumento do risco de lesões osteomusculares (Dul; Weerdmeester, 2004).

Mais adiante, segundo Diniz, Lima e Simões (2024), a ergonomia e segurança, quando juntas, promovem a melhoria das condições de trabalho. Partindo dessa verdade, a ergonomia como parte da segurança possibilita que o trabalho seja bem dimensionado, otimizando sua eficácia, e prevenindo acidentes, incidentes e doenças ocupacionais (Andrade et al., 2013).

Assim, a abordagem ergonômica tem como campo de atuação principal o trabalhador em

situação de trabalho ou, mais precisamente, a atividade de trabalho que esse trabalhador desenvolve. (Diniz; Lima; Simões, 2024). Logo, a integração do layout com a ergonomia e segurança também deve envolver aspectos como a menor distância possível que um trabalhador deve percorrer a fim de alcançar os materiais e completar uma tarefa, uma vez que maiores deslocamentos podem provocar o desgaste físico desse trabalhador, que no caso do estudo é de 13,7 metros para que o operador alcance os chicotes elétricos de cada veículo que passa pela linha de montagem.

2.3 FERRAMENTAS DE ANÁLISE E MELHORIA

Entre as ferramentas utilizadas para a análise e melhoria do layout produtivo, destaca-se o diagrama de espaguete, que tem se mostrado uma técnica simples, visual e bastante eficaz para mapear os fluxos de materiais e operadores, identificando trajetos desnecessários e oportunidades de redução de desperdícios (Santos et al., 2022). Essa ferramenta, típica do sistema lean, consiste no registro gráfico dos deslocamentos em um mapa do local, criando uma representação que lembra os fios de um espaguete, de onde deriva seu nome (Macedo, 2021). Ela permite não apenas visualizar rotas ineficientes, mas também quantificar a distância percorrida e, a partir daí, propor alterações no layout que minimizem movimentos que não agregam valor.

Segundo Labone (s.d.), o diagrama de espaguete auxilia as equipes a compreenderem melhor os fluxos internos, destacando os pontos onde ocorrem cruzamentos, congestionamentos e percursos excessivos, que muitas vezes são negligenciados nas análises convencionais. Em indústrias automotivas, como observado por Novais et al. (2021), sua aplicação revelou percursos redundantes dos operadores que, após a reconfiguração do layout, resultaram em redução significativa dos tempos de ciclo e melhoria das condições ergonômicas.

Além do diagrama de espaguete, outras ferramentas têm papel relevante na análise de layouts. O balanceamento de linha, por exemplo, busca distribuir uniformemente as tarefas entre os postos de trabalho, de forma a reduzir gargalos e maximizar a eficiência (Womack; Jones, 2004; Oliveira et al., 2017). Quando bem executado, o balanceamento contribui para a melhor utilização dos recursos disponíveis, otimiza tempos, mão de obra e equipamentos, e reduz os custos de produção (Gonçalves, 2022).

Estudos recentes destacam também o uso combinado de diagramas de espaguete e cronometrias para mensurar tempos e distâncias percorridas, fornecendo uma base objetiva para as propostas de melhoria (Pereira et al., 2020). Essa prática permite validar não apenas a eficiência dos deslocamentos, mas também avaliar impactos na fadiga dos trabalhadores e na segurança do ambiente produtivo (Dul; Weerdmeester, 2004).

Outra ferramenta complementar é o Value Stream Mapping (VSM) ou mapa do fluxo de valor, que ajuda a identificar os processos que agregam e os que não agregam valor ao produto, fornecendo uma visão mais ampla para decisões sobre layout (Rother; Shook, 2003). A combinação do diagrama de espaguete com o VSM oferece uma análise integrada do fluxo físico e do fluxo de informações, essencial para operações complexas como as da indústria automotiva (Almeida; Vieira, 2019).

O uso de técnicas de simulação computacional para testar virtualmente diferentes configurações de layout tem ganhado espaço, pois possibilita avaliar cenários antes da implementação física, evitando custos elevados e interrupções na produção (Penna, 2023). Simuladores modernos permitem incorporar variáveis ergonômicas, tempos de operação e interações entre setores, ampliando a precisão das análises.

Além disso, abordagens multicritério, como o método AHP (Analytic Hierarchy Process), têm sido utilizadas para selecionar a configuração de layout mais adequada ao contexto específico, considerando critérios como custo, flexibilidade, ergonomia e produtividade (Almeida; Vieira,

2019). Essa visão mais abrangente se mostra especialmente importante em operações com alta variabilidade de produtos e restrições de espaço (Menezes; Costa, 2021).

No âmbito prático, a implementação dessas ferramentas requer não apenas conhecimento técnico, mas também engajamento das equipes envolvidas. É essencial que os operadores participem da coleta de dados e da validação das propostas, pois são eles que vivenciam as dificuldades do layout atual e podem contribuir com sugestões valiosas (Silva; Rodrigues, 2022). Essa participação aumenta a aceitação das mudanças e potencializa os resultados.

Os benefícios do uso sistemático dessas ferramentas são amplos. Em termos quantitativos, pode-se observar reduções no tempo de ciclo, nos custos operacionais e na distância percorrida pelos operadores (Pereira et al., 2020). Em termos qualitativos, melhora-se a comunicação entre os postos, reduz-se o risco de acidentes e promove-se um ambiente mais ergonômico e organizado (Dul; Weerdmeester, 2004). Em um caso apresentado por Santos et al. (2022), a aplicação do diagrama de espaguete em uma indústria de autopeças resultou em redução de 40% nos deslocamentos e em ganhos de 15% na produtividade.

Outro aspecto a ser considerado é a sustentabilidade. Um layout mais eficiente contribui para a redução do consumo de energia, menor uso de embalagens e menor necessidade de movimentação de equipamentos de transporte interno, alinhando-se aos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) da ONU (ONU, 2015). Essa visão integrada amplia o alcance das melhorias e reforça a responsabilidade socioambiental da organização.

No entanto, é importante reconhecer que essas ferramentas possuem limitações. O diagrama de espaguete, por exemplo, é uma representação estática, que reflete a situação no momento da observação e pode não capturar variabilidades sazonais ou mudanças na demanda. Por isso, recomenda-se sua aplicação periódica, para que os diagnósticos reflitam a realidade operacional (Macedo, 2021).

Em conclusão, a aplicação combinada de ferramentas como o diagrama de espaguete, o balanceamento de linha, o VPM, técnicas de simulação e métodos multicritério oferece uma abordagem robusta para a análise e melhoria do layout. Essa abordagem multidimensional possibilita que as decisões sejam baseadas em dados objetivos, levando em conta aspectos técnicos, econômicos, ergonômicos e ambientais, conforme defendido por Almeida e Vieira (2019) e Silva e Rodrigues (2022).

Para organizações que pretendem manter-se competitivas em um mercado cada vez mais exigente, o domínio dessas ferramentas e sua integração ao planejamento estratégico são fatores determinantes para a obtenção de vantagem competitiva (Womack; Jones, 2004; Ohno, 1997). Assim, ao utilizar essas metodologias com rigor e consistência, as empresas não apenas otimizam seus processos, mas também criam um ambiente de trabalho mais seguro, produtivo e sustentável.

3. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi estruturada nas seguintes etapas: abordagem, coletar os dados e analisar os dados conforme representado na figura 1.



Figura 1: Fluxograma da pesquisa
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

3.1 ABORDAGEM

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza qualitativa e descritiva, com características de pesquisa-ação, uma vez que envolveu a intervenção direta no layout da linha de montagem da empresa analisada. O foco esteve na reorganização do sequenciamento e da armazenagem de chicotes elétricos, buscando reduzir deslocamentos e otimizar o uso do espaço. As principais ferramentas utilizadas foram o Diagrama de Espaguete, aplicado para mapear os fluxos e identificar trajetos excessivos, e a cronometragem de tempos, para medir o impacto das movimentações no ciclo produtivo.

3.2 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio de observação direta no ambiente produtivo, com apoio de desenho técnico da planta e medições utilizando trena a laser, de forma a garantir precisão nas informações obtidas. Durante as visitas técnicas, foram registradas informações sobre o arranjo físico existente, os fluxos dos operadores e a disposição dos chicotes na borda de linha. Além disso, foram documentados aspectos relacionados ao uso do espaço, como a saturação das prateleiras e a organização dos contentores (KLTs). Entre as variáveis analisadas destacam-se a distância percorrida pelos operadores por veículo, o tempo médio de acesso aos chicotes e a ocupação das prateleiras. Esses dados foram complementados por registros fornecidos pela própria empresa e por medições realizadas durante as atividades de montagem, garantindo a representatividade das informações coletadas para a análise do layout e das propostas de melhoria.

3.3 ANÁLISE

Os dados coletados foram tabulados e analisados no Microsoft Excel, utilizado para a construção dos diagramas de fluxo e para o cálculo das métricas comparativas antes e depois da intervenção. Outra ferramenta de apoio, foi a impressão da planta em folha A3 para a elaboração dos esquemas de layout e do diagrama de espaguete, após desenhar as movimentações in loco passamos as anotações para Power Point com intuito de melhorar a visualização. A análise dos resultados buscou validar os ganhos propostos por meio da comparação com benchmarks setoriais disponíveis na literatura e em estudos de caso da indústria automotiva.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados desta pesquisa são apresentados a partir da análise do cenário inicial, das propostas de melhoria no arranjo físico e do impacto esperado com a implementação do novo layout e sequenciamento dos chicotes elétricos. A discussão dos dados busca evidenciar como as ações sugeridas contribuem para a redução de deslocamentos, o uso mais racional do espaço e o aprimoramento das condições ergonômicas na linha de montagem. A seguir, são detalhados os principais achados e projeções relacionados ao estudo.

4.1 DADOS PRÉ-INTERVENÇÃO

O levantamento inicial evidenciou diversos desafios no sequenciamento e na armazenagem dos chicotes elétricos na linha de montagem. A operação contava com 49 *part-numbers* diferentes, o que sobrecarregou a borda de linha e dificultava a visualização e o acesso aos materiais. Esse cenário resultava em deslocamentos médios de 13,7 metros por veículo para coleta dos chicotes, contribuindo para o aumento do tempo de ciclo e ampliando o risco de erros na montagem. Além disso, as prateleiras se encontravam saturadas, o que exigia o reaproveitamento constante de contentores tipo KLTs para garantir o abastecimento e provocava interferências nas áreas de outros postos de trabalho. A figura 2 representa o layout atual.

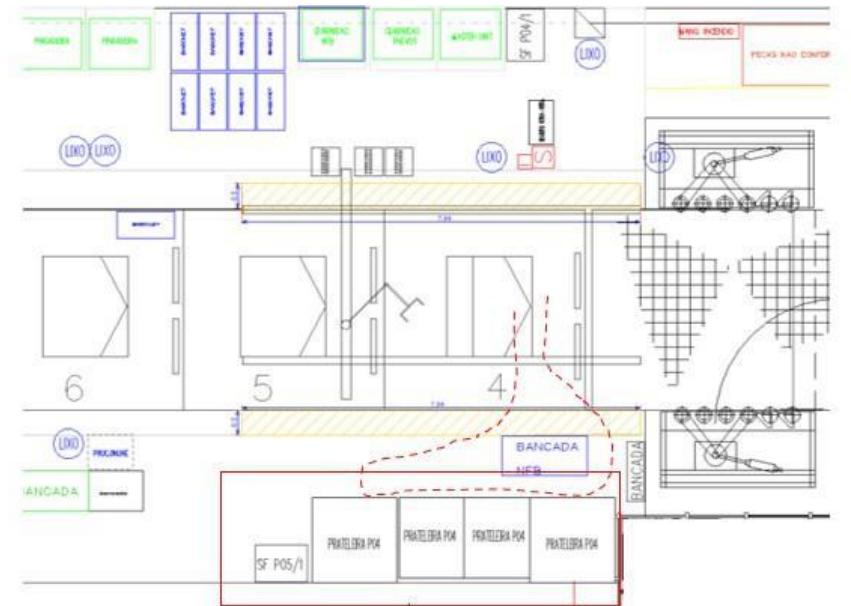


Figura 2: Layout antigo (situação problema)

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

4.2 PROPOSTA DE REDESIGN

A proposta de redesign apresentada neste estudo decorre de uma análise detalhada do cenário atual do layout da linha de montagem automotiva, especificamente voltada ao sequenciamento e à armazenagem dos chicotes elétricos. O diagnóstico evidenciou que a disposição dos materiais e dos contentores na borda de linha resultava em percursos excessivos dos operadores, sobrecarga física, saturação do espaço disponível e riscos ergonômicos, fatores esses que comprometiam a eficiência operacional e a segurança no trabalho.

Para mitigar essas questões, propôs-se uma solução baseada em princípios de lean manufacturing, com suporte em ferramentas como o diagrama de espaguete e no conceito de arranjo físico por produto com elementos de layout celular, visando não apenas reduzir os deslocamentos, mas também racionalizar o uso do espaço e melhorar a ergonomia no ambiente fabril (Womack; Jones, 2004).

O redesenho do layout foi orientado por alguns princípios fundamentais. Primeiro, buscou-se manter o conceito de fluxo contínuo, em que os materiais são organizados de forma a seguir a sequência lógica da montagem, evitando cruzamentos e trajetos desnecessários (Slack et al., 2018). Segundo, priorizou-se a visibilidade e acessibilidade, para que os chicotes estivessem dispostos de forma clara e facilmente acessíveis pelos operadores, reduzindo a necessidade de deslocamentos e movimentos de alcance potencialmente prejudiciais (Dul; Weerdmeester, 2004). Por fim, foi considerada a possibilidade de futuras expansões ou variações na demanda, garantindo certa flexibilidade ao arranjo físico (Tompkins et al., 2013).

Esses princípios são corroborados por estudos como o de Almeida e Vieira (2019), que destacam a necessidade de integrar critérios técnicos, ergonômicos e estratégicos na definição do layout, bem como por Penna (2023), que aponta a importância de simulações e diagnósticos baseados em dados reais para orientar as decisões.

A proposta envolveu a realocação do posto de montagem dos chicotes para uma área mais próxima aos pontos de consumo, especificamente entre os postos 06 e 09 da linha de produção. Essa mudança permitiu reduzir a distância média percorrida pelos operadores de 13,7 metros para 7,4 metros por veículo, representando uma redução aproximada de 46% nos deslocamentos.

Para isso, o novo fluxo passou a utilizar baskets, que são contentores reutilizáveis adequados para o agrupamento e transporte sequenciado de materiais até os postos de montagem. A entrega foi organizada para ocorrer no posto 06, enquanto a retirada foi programada para o ponto PE2, criando um circuito claro e contínuo para os chicotes. Essa reorganização está alinhada às recomendações de Santos et al. (2022), que demonstraram a eficácia dos baskets para facilitar a movimentação e reduzir tempos de abastecimento em linhas de montagem.

Além disso, foram removidas quatro prateleiras do antigo local da borda de linha, liberando espaço para a operação e transferindo-as para o chamado Mercado Trim 01, uma área dedicada à armazenagem intermediária. Essa medida contribuiu para reduzir a saturação do espaço na borda de linha e facilitou a circulação de operadores e equipamentos.

Outras ações complementares incluíram:

- O cadastramento das informações para entrega via PBV, sistema que orienta o operador por comandos de voz, promovendo maior acuracidade no sequenciamento e maior eficiência na separação dos componentes (Pereira et al., 2020).
- Ajustes no layout do Mercado Trim para absorver a nova demanda de armazenagem, redistribuindo os part-numbers de forma a facilitar o acesso aos chicotes mais demandados e reduzir o tempo de picking.

Essa abordagem procurou atender às diretrizes da montadora, assegurando que o novo layout estivesse em conformidade com os padrões de qualidade e segurança da empresa e com os requisitos de rastreabilidade dos componentes.

A decisão de adotar um arranjo baseado no conceito de fluxo contínuo com elementos celulares está amparada em extensa literatura. Estudos como os de Silva e Rodrigues (2022) e de Menezes e Costa (2021) evidenciam que a reconfiguração do layout segundo a lógica do lean pode gerar reduções expressivas nos tempos de ciclo, nos deslocamentos dos operadores e na taxa de erros, além de ganhos em ergonomia e satisfação dos trabalhadores.

O uso do diagrama de espaguete como ferramenta principal para o diagnóstico e a validação da melhoria é consistente com práticas descritas em casos reais, como os relatados por Santos et al. (2022), nos quais a ferramenta permitiu visualizar fluxos complexos e identificar pontos críticos que não eram evidentes a partir de análises apenas numéricas. O balanceamento entre a alocação dos chicotes no mercado e a reorganização da borda de linha com baskets contribuiu para reduzir o número de movimentos e facilitar a inspeção visual dos materiais, em consonância com as recomendações de Rother e Shook (2003).

Ainda, a utilização do PBV para orientar a separação de componentes está alinhada com as tendências atuais de automação leve e assistência digital ao operador, promovendo maior precisão e menor necessidade de conferências manuais, conforme demonstrado por Novais et al. (2021).

Os benefícios esperados da implementação da proposta são múltiplos e abrangem dimensões operacionais, ergonômicas e estratégicas. No plano operacional, a redução dos deslocamentos em quase metade deverá contribuir para a diminuição do tempo de ciclo por unidade, aumento da produtividade e maior regularidade no fluxo da produção. A melhor organização da borda de linha e do mercado deverá facilitar o controle de inventário, reduzindo a incidência de perdas e melhorando a rastreabilidade dos componentes.

Do ponto de vista ergonômico, a diminuição das distâncias percorridas, a melhor acessibilidade aos chicotes e a liberação de espaço para movimentação livre tendem a reduzir a fadiga dos operadores e o risco de lesões osteomusculares, como defendido por Dul e Weerdmeester (2004).

Estrategicamente, a maior flexibilidade do novo layout possibilita a adaptação a mudanças na demanda e a introdução de novos modelos de veículos, o que é crucial em um ambiente

competitivo e dinâmico como o do setor automotivo (Almeida; Vieira, 2019).

Apesar das vantagens, a implementação do novo layout também apresenta desafios que devem ser gerenciados. A necessidade de treinamento dos operadores para se adaptarem ao novo fluxo, o ajuste dos sistemas de informação para refletir a nova configuração e a coordenação entre as áreas de logística, produção e qualidade são pontos críticos para o sucesso do projeto (Tompkins et al., 2013).

Além disso, é importante realizar monitoramento contínuo dos indicadores de desempenho após a mudança para assegurar que os ganhos projetados se concretizem e para identificar possíveis ajustes finos. Nesse sentido, recomenda-se a aplicação periódica do diagrama de espaguete e de auditorias ergonômicas para garantir a sustentabilidade das melhorias.

O redesenho do layout também abre possibilidades para evoluções futuras, como a adoção de sistemas de abastecimento just-in-time mais sofisticados, a implementação de tecnologias de rastreamento por RFID para os chicotes e a integração com sistemas de produção inteligentes (Indústria 4.0). Estudos como o de Ohno (1997) e Rother e Shook (2003) destacam que a melhoria contínua deve ser encarada como um processo incremental e sistemático, em que cada avanço abre espaço para novas oportunidades.

Outros desdobramentos possíveis incluem o aprofundamento do uso de simulações digitais para validar cenários alternativos de layout, a adoção de análises multicritério para balancear objetivos conflitantes e a extensão das melhorias para outras áreas da planta, como os setores de montagem final ou de inspeção (Penna, 2023).

A proposta de redesign apresentada neste estudo se caracteriza por integrar aspectos técnicos, ergonômicos e estratégicos, resultando em um layout mais enxuto, seguro e flexível. O uso sistemático de ferramentas consagradas da engenharia de produção e a participação ativa dos operadores no diagnóstico e validação das melhorias reforçam a robustez da solução.

Em síntese, a reorganização do sequenciamento e da armazenagem dos chicotes, com suporte no diagrama de espaguete e em conceitos lean, proporciona não apenas ganhos imediatos, como também estabelece bases sólidas para a melhoria contínua da operação, alinhando-se às melhores práticas descritas na literatura e às demandas de um mercado cada vez mais competitivo e exigente.

4.3 RESULTADOS ESPERADOS

Com a adoção da proposta, o deslocamento médio dos operadores foi projetado para 7,4 metros por veículo, representando uma redução de aproximadamente 46% em relação à condição inicial. Essa alteração traz ganhos significativos para a eficiência operacional, contribuindo ainda para a melhoria das condições ergonômicas no posto de trabalho. Além disso, espera-se uma melhor organização do espaço na borda de linha, com a redução das interferências em outros postos e maior visibilidade do processo produtivo.

Na equação abaixo, ilustra como foi calculado a porcentagem de redução de deslocamento após a mudança do layout com a proposta.

$$\text{Redução Deslocamento (\%)} = \frac{13,7 \text{ m/veículos} - 7,4 \text{ m/veículos}}{13,7 \text{ m/veículos}} \times 100 = 45,98\%$$

Após as modificações, aplicamos novamente o diagrama de espaguete para ilustrar o novo layout e as novas movimentações, conforme ilustrado na Figura 3 os chicotes foram alocados em outro ponto da linha, trazendo uma mudança significativa no percurso além de liberar um grande pedaço que pode ser melhor aproveitado no futuro.

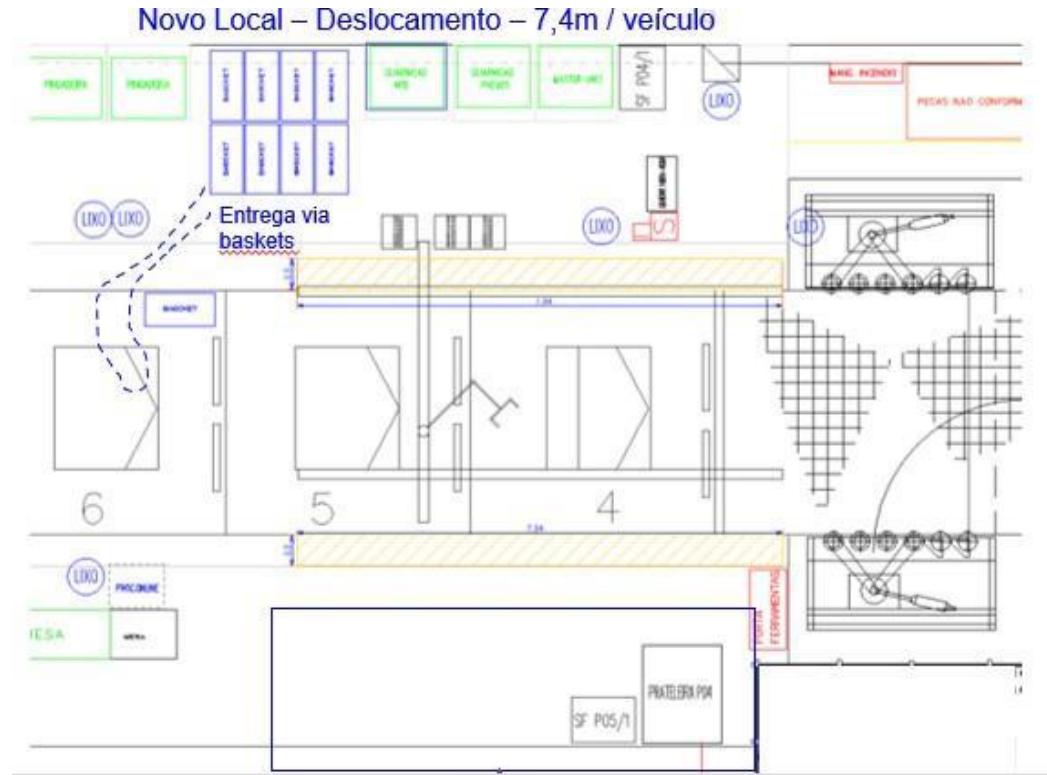


Figura 3: Layout novo
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE ESTUDOS FUTUROS

O presente estudo teve como objetivo analisar e propor melhorias no arranjo físico e no sequenciamento de chicotes elétricos em uma linha de montagem automotiva, com foco na redução de deslocamentos dos operadores, otimização do uso do espaço e aprimoramento das condições ergonômicas. Utilizando o diagrama de espaguete como principal ferramenta diagnóstica, foi possível mapear os fluxos de operadores e materiais, identificar gargalos operacionais e propor um redesenho do layout fundamentado em princípios do lean manufacturing e em práticas de ergonomia industrial.

A proposta implementada, que incluiu a realocação do posto de montagem dos chicotes, a adoção de baskets para entrega e retirada dos materiais, a utilização do PBV para o sequenciamento e a reorganização do mercado de armazenagem, resultou em uma redução estimada de 46% nos deslocamentos médios dos operadores, passando de 13,7 metros para 7,4 metros por veículo. Além dos ganhos em eficiência operacional, a intervenção proporcionou maior visibilidade e acessibilidade dos componentes, melhor organização do espaço fabril e melhoria das condições ergonômicas dos trabalhadores.

Os resultados obtidos reforçam a importância do uso de ferramentas visuais como o diagrama de espaguete e do envolvimento das equipes na identificação de problemas e validação de soluções. O estudo também evidenciou que a integração entre técnicas lean, princípios ergonômicos e soluções tecnológicas, como o PBV, pode gerar impactos significativos tanto em produtividade quanto na qualidade de vida no trabalho.

Abaixo são apresentadas algumas propostas para estudos futuros:

- Apesar dos avanços alcançados, a pesquisa apresenta algumas limitações. A análise contemplou apenas um turno de operação e não avaliou a longo prazo os impactos da mudança sobre

indicadores de qualidade, produtividade e satisfação dos trabalhadores. Portanto, como sugestões para estudos futuros, destacam-se:

- Acompanhar, por um período mais prolongado, a evolução dos indicadores operacionais e ergonômicos para validar a sustentabilidade dos resultados obtidos.
- Ampliar a análise para outros turnos e para diferentes linhas de montagem, verificando a aplicabilidade das soluções propostas em outros contextos.
- Investigar a viabilidade de incorporar tecnologias de rastreamento, como RFID, para aprimorar a rastreabilidade dos chicotes e reduzir ainda mais os tempos de resposta.
- Realizar simulações digitais para testar cenários alternativos de layout e otimizar a flexibilidade do sistema para mudanças futuras.
- Explorar métodos multicritério de decisão para balancear aspectos econômicos, ergonômicos, ambientais e estratégicos na definição do layout.

Essas recomendações ampliam as possibilidades de pesquisa e prática, contribuindo para o contínuo aprimoramento da eficiência e da sustentabilidade dos processos produtivos na indústria automotiva.

REFERÊNCIAS

- ABERGO.** O que é ergonomia. Associação Brasileira de Ergonomia e Fatores Humanos, [s.d.]. Disponível em: <https://www.abergo.org.br/o-que-%C3%A9-ergonomia>. Acesso em: 2 jul. 2025.
- ALMEIDA, J. S.; VIEIRA, A. P.** Avaliação multicritério para seleção de layout em uma indústria de autopeças. *Anais do SIMPEP*, Bauru, 2019.
- ALOEE.** Linha de montagem: conceito e evolução ao longo dos anos. Aloee, 25 jan. 2024. Disponível em: <https://www.aloee.it/blog/linha-de-montagem-conceito-evolucao>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- ANDRADE, B. B. et al.** A ergonomia como fator chave para a segurança do trabalho. [S.I.], 2013. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1GngNIUCvWO-gI933XfmbJEicF9mGJoY1/view?pli=1>. Acesso em: 2 jul. 2025.
- ARAÚJO, M. Q. C. D.** Aplicação do balanceamento de linha em uma empresa montadora de automóveis. 2024. Repositório Institucional da UFPB. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/33891/1/MATHEUS.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2025.
- BIANCHET, F. S. et al.** Implementação de ferramentas da filosofia Lean em uma linha de peito de frango in natura. *ADM.MADE*, v. 24, n. 1, p. 55-74, 2020. Disponível em: <https://mestradoedoutoradoestacio.periodicoscientificos.com.br/index.php/admmade/article/view/7842>. Acesso em: 4 jul. 2025.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A.** *Administração da Produção e Operações: Manufatura e Serviços – Uma Abordagem Estratégica*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- COUTINHO, T.** Você sabe o que é layout de produção? Entenda tudo sobre esse tema neste artigo! Vitto, 15 jun. 2025. Disponível em: <https://vitto.com.br/blog/artigo/layout>. Acesso em: 30 jun. 2025.
- CUNHA, B. M. B.** Um estudo comparativo sobre os efeitos da gestão e planejamento de layout entre duas pequenas empresas de confecção na cidade de Apucarana. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Têxtil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2017. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5743/1/AP_COENT_2017_1_04.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.
- DINIZ, E. P. H.; LIMA, F. P. A.; SIMÕES, R. R.** A contribuição da Ergonomia para a segurança no trabalho. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, São Paulo, v. 49, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbso/a/cFbC6VkbhgmS5qwThkXX5Zm/>. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-6369/01923pt2024v49edcinq15>. Acesso em: 2 jul. 2025.
- DUL, J.; WEERDMEESTER, B.** *Ergonomia prática*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.
- EJEP.** Quais são os tipos de layout de produção? Qual é o ideal? 6 out. 2022. Disponível em: <https://ejep.com.br/2022/10/06/tipos-de-layout-de-producao/>. Acesso em: 1 jul. 2025.
- EJEQ.** Tipos de layout industrial: quais suas variações e como construí-lo. 3 out. 2023. Disponível em: <https://ejeq.com.br/tipos-de-layout-industrial/>. Acesso em: 30 jun. 2025.
- EPR CONSULTORIA.** Tipos de layout: conheça 4 modelos de layout para uma empresa. Disponível em: <https://eprconsultoria.com.br/tipos-de-layout/>. Acesso em: 1 jul. 2025.
- EQUIPE TOTVS.** Just in time: como a metodologia pode auxiliar na produtividade? TOTVS, 11 jul. 2022. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/just-in-time/>. Acesso em: 29 jun. 2025.

- GENNARO, C. K. et al.** Proposta de alteração de layout para melhoria no fluxo de produção de uma indústria automotiva. *Revista Gestão Industrial*, v. 15, n. 1, 2019.
- GERHARDT, M. P.** Sistemática para aplicação de procedimentos de balanceamento em linhas de montagem multi-modelos. 2005. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5825/000521002.pdf?sequence=1>. Acesso em: 4 jul. 2025.
- GONÇALVES, E.** Balanceamento de linha: estudo aplicado em uma indústria que atua nos segmentos de automóveis e mineração. 2022. Repositório Institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (RIUT). Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/34053/1/balanceamentoestudoaplicadoindustria.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2025.
- GOUVEA, M.** Layout fabril: indicadores e variações na montagem de placas. PRODUZA inteligência em manufatura, 26 set. 2024. Disponível em: <https://produza.ind.br/tecnologia/layout-fabril/>. Acesso em: 30 jun. 2025.
- LABONE.** Diagrama de espaguete: saiba tudo sobre essa ferramenta Lean. [S.I.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.laboneconsultoria.com.br/diagrama-de-espaguete/>. Acesso em: 4 jul. 2025.
- LEAN BLOG BY TERZONI.** Layout de produção: entendendo o que são e os mais comuns nas indústrias. 7 mar. 2019. Disponível em: <https://terzoni.com.br/leanblog/layout-de-producao/>. Acesso em: 30 jun. 2025.
- MACÊDO, E. D. J.** Otimização do processo de fabricação de um produto por meio da aplicação da ferramenta diagrama de espaguete em uma empresa de produtos para diagnóstico *in vitro*. 2021. Disponível em: <https://repositorio-api.animaeducacao.com.br>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- MACEDO, E. D. J.** Otimização do processo de fabricação de um produto por meio da aplicação da ferramenta diagrama de espaguete em uma empresa de produtos para diagnóstico *in vitro*. 2021. Disponível em: https://repositorio-api.animaeducacao.com.br/server/api/core/bitstreams/fa861a08_4c4b-4351-9288-aa3b2da9d0fe/content. Acesso em: 4 jul. 2025.
- MENEZES, L. M.; COSTA, R. S.** Aplicação da matriz produto-processo para análise de layout em uma indústria têxtil. *Anais do ENEGEP*, Foz do Iguaçu, 2021.
- NALLUSAMY, S.** Productivity Enhancement in a Small Scale Manufacturing Unit through Proposed Line Balancing and Cellular Layout. *International Journal of Perforability Engineering*, v. 12, n. 6, p. 523-534, 2016.
- NEUMANN, C.; SCALICE, R. K.** Projeto de Fábrica e Layout. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- NOVAIS, L. F. S. et al.** Uso do diagrama de espaguete no setor de armazenagem de matérias-primas em uma indústria do ramo alimentício em Goiânia-GO. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/1197>. DOI: 10.14488/enegep2021_tn_sto_354_1820_42681. Acesso em: 29 jun. 2025.
- OHNO, T.** *O Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Larga Escala*. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- OLIVEIRA, I. M. D. et al.** Balanceamento de linha e arranjo físico: estudo de caso em uma linha de produção de cabines para máquinas de construção. *EXACTA*, v. 15, n. 1, p. 101-110, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5585/exactaep.v15n1.6697>. Acesso em: 4 jul. 2025.
- ONU.** *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Nações Unidas, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- PAIXÃO, L. L.; NOGUEIRA, R. J. C. C.** Cost Deployment: um estudo abordando a contribuição da ferramenta estratégica na gestão dos custos de perdas em uma empresa do Polo Industrial de Manaus. *REVISTA FOCO*, v. 17, n. 7, p. e5651, 2024.
- PENNA, V. M.** Planejamento de layout celular e avaliação da mudança proposta com uso de simulação computacional. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- PEREIRA, D. T. et al.** Redução de desperdícios em linha de produção: estudo de caso com layout celular. *Anais do SEGET*, Rio de Janeiro, 2020.
- PIAZZAROLLO, M. G. et al.** Estudo de um layout por processo na indústria moveleira: um estudo de caso. 2008. Disponível em: <https://saepro.ufv.br/wp-content/uploads/2015/06/2008-17.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2025.
- ROTHER, M.; SHOOK, J.** *Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar desperdícios*. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.
- SANTOS, E. et al.** Otimização de um Layout Recorrendo ao Diagrama de Spaghetti. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 42., 2022, Foz do Iguaçu. *Anais....* Foz do Iguaçu: ABEPRO, 2022.
- SILVA, R. P.; RODRIGUES, M. C.** Implementação de layout em U em uma indústria metalúrgica: um estudo de caso. *Anais do ENEGEP*, Foz do Iguaçu, 2022.
- SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R.** *Administração da Produção*. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.
- STEPHENS, M. P.; MEYERS, F. E.** *Manufacturing Facilities Design and Material Handling*. West Lafayette: Purdue University Press, 2013.
- TOMPKINS, J. A. et al.** *Planejamento de Instalações*. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T.** *A mentalidade enxuta nas empresas*. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.