

OTIMIZAÇÃO DO BALANCEAMENTO DE LINHA DE PRODUÇÃO: UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Autores

Michelly de Paula Cristino da Silva¹

Nelson Tavares Matias²

Resumo

Este artigo teve como objetivo apresentar uma proposta de otimização do balanceamento de uma linha de produção em uma indústria automobilística, com a finalidade de garantir que a empresa se mantenha competitiva no mercado e garantir a sua eficiência operacional. A pesquisa foi caracterizada como aplicada quanto à sua natureza, descritiva em relação ao objetivo e, quanto aos procedimentos, como um estudo de caso utilizando o método heurístico. A análise foi conduzida em uma linha de montagem mista de uma indústria localizada na região Sudeste. Inicialmente, realizou-se uma avaliação do estado atual da linha de produção, identificando ineficiências e gargalos. Os dados foram coletados por meio da cronometragem das atividades realizadas nas estações de trabalho. Em seguida, foi proposta uma otimização de forma heurística do balanceamento da linha, permitindo uma redistribuição mais equilibrada das tarefas, eliminando desperdícios e aumentando a capacidade produtiva. O modelo heurístico demonstrou ser uma possível solução eficaz para problemas de balanceamento de linha, oferecendo uma abordagem prática e eficiente. A pesquisa concluiu que a aplicação de técnicas de otimização heurística pode trazer benefícios significativos, para a indústria automobilística, melhorando a eficiência operacional e reduzindo custos.

Palavras-chave: Método heurístico. Redistribuição das atividades. Cronoanálise.

OPTIMIZATION OF PRODUCTION LINE BALANCING: A CASE STUDY IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Abstract:

This article aimed to present a proposal for optimizing the balancing of a production line in an automotive industry to ensure the company remains competitive in the market and maintains its operational efficiency. The research was characterized as applied in nature, descriptive in relation to its objective, and, regarding procedures, as a case study using the heuristic method. The analysis was conducted on a mixed assembly line of an industry located in the Southeast region. Initially, an evaluation of the current state of the production line was carried out, identifying inefficiencies and bottlenecks. Data were collected through time studies of the activities performed at the workstations. Subsequently, a heuristic optimization of the line balancing was proposed, allowing for a more balanced redistribution of tasks, eliminating waste, and increasing production capacity. The heuristic model proved to be a potentially effective solution for complex line balancing problems, offering a practical and efficient approach. The research concluded that the application of heuristic optimization techniques can bring significant benefits to the automotive industry, improving operational efficiency and reducing costs.

Keywords: Heuristic method. Redistribution of activities. Chronoanalysis.

¹ Graduada em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro – UERJ. Email: michelly.silva@discentes.fat.uerj.br

² Pós-Doutorado pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP e docente na Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UERJ. Email: nelson.matias@fat.uerj.com

INTRODUÇÃO

Com a crescente competitividade entre as empresas e um consumidor cada vez mais crítico quanto ao custo e à qualidade dos produtos, torna-se essencial, para as organizações, reduzir os custos de fabricação. A diminuição dos custos é uma das principais estratégias para aumentar a lucratividade e garantir a sobrevivência das organizações no mercado, uma vez que o consumidor é o principal responsável por determinar o preço de venda dos produtos. Nesse contexto, a aplicação de técnicas de produção enxuta se revela fundamental (Pansonato, 2020).

A produção enxuta (ou *Lean Manufacturing*) reforça a ideia da redução do custo de fabricação ao enfatizar a importância da eficiência operacional e da eliminação de desperdícios, de acordo com Fonseca (2019). Um aspecto crucial para alcançar essa eficiência é o balanceamento da linha de produção. Essa prática proporciona melhor equilíbrio de carga de trabalho entre os trabalhadores e os equipamentos e introduz um fluxo mais uniforme de produção (Lira, 2022).

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar se há oportunidade de melhoria no balanceamento do posto, com o intuito de aumentar a capacidade produtiva em uma indústria automobilística. Os objetivos específicos são: apresentar o levantamento do referencial teórico sobre balanceamento de linha; analisar a situação atual do balanceamento de linha de produção; identificar áreas de melhoria, oportunidades para otimização; propor técnicas de balanceamento de linha de produção e avaliar os resultados e suas implicações para a redução de custos e aumento da eficiência.

A análise deste artigo é realizada em uma indústria automobilística da região Sudeste. A escolha se justifica pela necessidade de aumentar a capacidade de produção para atender à crescente demanda do mercado. Propõe-se uma otimização do balanceamento em uma linha de montagem mista, utilizando abordagens heurísticas por meio da cronoanálise.

A estrutura deste artigo está organizada da seguinte forma: na segunda seção será apresentado o referencial teórico sobre linha de montagem, balanceamento de linha de produção e *Lean Manufacturing*; na terceira, será apresentada a metodologia utilizada na pesquisa; na quarta, serão apresentados os resultados e discussões; e, por fim, na quinta seção, serão apresentadas as conclusões.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta o referencial teórico que sustenta o estudo de caso sobre balanceamento de linha, abordando conceitos essenciais como linha de montagem, balanceamento de linha de produção e *Lean Manufacturing*. O escopo deste referencial teórico

está delimitado aos princípios e técnicas que impactam diretamente a eficiência e a produtividade em ambientes de manufatura. A justificativa para a inclusão desses conceitos reside na necessidade de compreender como o balanceamento de linha pode otimizar processos e reduzir desperdícios. Com base nesses conceitos, formula-se a hipótese de que a aplicação eficaz do balanceamento de linha, aliada a práticas de *Lean Manufacturing*, pode resultar em ganhos significativos de eficiência operacional e competitividade industrial.

2.1 Linha de montagem

A linha de montagem é um sistema de produção em que os componentes de um produto são montados em uma sequência de estações de trabalho, ou seja, o recurso em transformação caminha de uma operação à outra, percorrendo equipamentos colocados próximos uns dos outros (Fontana, 2024). O método de produção é amplamente utilizado em diversas indústrias, especialmente na automobilística, devido à sua eficiência e à sua capacidade de produzir grandes volumes de produtos de forma contínua (Seixas, 2020).

Reginato *et al.* (2016) afirmam que existem três tipos principais de linhas de montagem: unimodelo, multimodelo e mista. O autor também aponta que as linhas de montagem que produzem produtos idênticos são chamadas de linha unimodelo; quando existem diferenças nos produtos, surge a linha multimodelo; já a linha mista é aplicada quando há similaridade dos processos produtivos e não existe *setup* para ajuste do processo (Reginato *et al.*, 2016). O *setup* refere-se ao tempo decorrido na troca do processo da produção de um lote até a produção da primeira peça boa do próximo lote (Neumann, 2015). De acordo com Neumann (2015), a linha de montagem tem como característica fluxo suave, simples, lógico e direto; altas taxas de produção e uso mais efetivo da mão de obra e dá oportunidade para especialização de equipamento. Corrêa (2022) aponta que, é necessário haver um balanceamento de linha de produção para a alocação de tarefas nas estações de trabalho para que haja um ritmo cadenciado em sua execução, para que dessa forma o tempo ocioso seja minimizado, e o trabalho flua de uma estação para outra.

2.2 Balanceamento de linha de produção

De acordo com Lira (2022), o balanceamento de linha de produção consiste em determinar o número ideal de trabalhadores a serem designados para um posto de trabalho e, em seguida, alocar tarefas ou elementos de trabalho a cada um desses operadores a fim de alcançar a maior eficiência possível na operação. Além disso, aplica-se apenas a processos em linha que

realizam montagem ou a atividades que possam ser agrupadas (krajewski; Malhotra; Ritzman, 2017).

O balanceamento de linha se preocupa com os postos gargalos, para tratar isso ele cria estações de trabalho com cargas distribuídas o mais uniformemente possível, de modo que a capacidade utilizada para o gargalo não seja muito maior que a das outras estações de trabalho da linha (krajewski; Malhotra; Ritzman, 2017). Para Slack *et al.* (2023), gargalo é a parte mais sobrecarregada de um processo, ocorre porque a carga de trabalho colocada é maior do que a capacidade de lidar com ela. Pode ser identificado a partir dos seguintes sintomas: antes de um gargalo há sempre uma fila; após o gargalo, verificam-se estágios do processo que esperam para serem utilizados, ou seja, que possuem capacidade ociosa (Lira, 2022).

Segundo Lira (2022), as etapas para fazer um balanceamento de linha são:

- Organização das informações requeridas;
- Cálculo do tempo *takt*;
- Determinação do número ótimo de trabalhadores;
- Cálculo da Eficiência Potencial Total (EPT);
- Balanceamento de linha;
- Cálculo da Eficiência Real (ER).

A seguir serão apresentados os passos para realizar o balanceamento de linha.

2.2.1 Organização das informações requeridas

Nesta etapa, deve ser realizado o levantamento e a organização das descrições e tempos dos elementos de trabalho, diagrama de precedência, volume a ser produzido (demanda), tempo total disponível para produção, somatório do tempo das tarefas (Lira, 2022).

Os tempos dos elementos de trabalho podem ser obtidos por meio do método de cronometragem; comumente são utilizados cronômetros e filmadoras (Tálamo, 2022). O estudo de tempo pode ser utilizado para determinar a quantidade de trabalho produzida por um operador treinado na tarefa e atuando em um ritmo normal de trabalho, efetivamente utilizando o tempo quando o trabalho não está restrito a limitações de processo (Lira, 2022).

A meta do balanceamento de linha é obter estações de trabalho com cargas de trabalho bem equilibradas. Deve-se começar separando a atividade em elementos de trabalho, que são as menores unidades de trabalho que podem ser executadas independentemente. Posteriormente, obtém o tempo padrão para cada elemento e identifica os elementos de trabalho, chamados predecessores imediatos, que devem ser feitos antes que o elemento seguinte possa começar

(Krajewski; Malhotra; Ritzman, 2017).

A maioria das linhas deve satisfazer alguns requisitos de precedência tecnológica, isto é, certos elementos de trabalho devem ser executados antes de o seguinte começar. Entretanto, muitas delas também levam em conta alguma autonomia e mais de uma sequência de operações (Krajewski; Malhotra; Ritzman, 2017).

Para a construção de um diagrama de precedência, utiliza-se a rede de atividades no nó (*activity-on-node*; AON), pelo qual os nós representam as atividades e os arcos representam as relações de precedência entre elas. Mais especificamente, os elementos de trabalho são indicados por nós ou círculos, e o tempo requerido para executar o trabalho é mostrado abaixo de cada círculo. As setas ou arcos partem dos predecessores imediatos e conduzem ao elemento de trabalho seguinte. Algumas convenções de diagramação devem ser adotadas para redes AON. Nos casos de múltiplas atividades sem predecessores, é usual mostrá-las, emanando de um nó comum chamado início. Para múltiplas atividades sem sucessores, o usual é mostrá-las ligadas a um nó chamado fim (Krajewski; Malhotra; Ritzman, 2017).

2.2.2 Cálculo do tempo *takt*

O tempo *takt* fornece a uma organização o tempo de produção por peça para responder à demanda do cliente. Sincronizar a produção com a demanda garante entregas pontuais e previne a formação de estoques indesejados ou atrasos nas entregas aos clientes (Lira, 2022). Pode ser obtido pela fórmula (a):

$$\text{Tempo takt} = \frac{\text{Tempo de produção disponível}}{\text{Demanda}} \quad (a)$$

2.2.3 Determinação do número ótimo de trabalhadores

O número ótimo de operadores será o maior número entre a contagem do número de tarefas cujo tempo é superior à metade do tempo *takt* e a fórmula (b) (Lira, 2022):

$$\text{Número de operadores} = \frac{\sum \text{Tempo das tarefas}}{\text{Tempo takt}} \quad (b)$$

2.2.4 Cálculo da Eficiência Potencial Total (EPT)

A Eficiência Potencial Total (EPT) pode ser calculada a partir da fórmula (c) (Lira, 2022):

$$EPT = \frac{\sum \text{Tempo das tarefas}}{(\text{Tempo takt}) \times (\text{Número ótimo de operadores})} \quad (c)$$

2.2.5 Balanceamento de linha

Nesta etapa, a partir dos tempos evidenciados das tarefas, estas deverão ser agrupadas e alocadas para cada posto de trabalho (Lira, 2022). Existem diversas soluções possíveis para o

balanceamento de linhas de montagem. O objetivo principal é agrupar os elementos de trabalho em estações de modo a minimizar o número de estações necessárias, respeitando as precedências, e a soma dos tempos das tarefas agrupadas por posto de trabalho não pode ser superior ao tempo *takt* (Lélis, 2018). Para isso, podem ser utilizados tanto modelos matemáticos (pesquisa operacional e simulação) quanto modelos heurísticos, de acordo com o nível de complexidade e aleatoriedade como apresentado pelo Quadro 1.

Quadro 1 - Modelos a serem usados em balanceamento de linha

COMPLEXIDADE DO PROBLEMA	Alta	Heurísticas e Meta-heurísticas	Simulação
	Baixa	Otimização (Pesquisa Operacional)	Processos Estocásticos
		Baixa	Alta
		NÍVEL DE ALEATORIEDADE	

Fonte: Lira (2022)

Abensur (2018, p. 162) afirma que a “A heurística é um procedimento para resolver problemas por meio de uma abordagem intuitiva, em geral racional, na qual a estrutura do problema possa ser interpretada e explorada de modo a obter uma solução razoável”. Segundo Lira (2022), embora os métodos heurísticos não ofereçam soluções ótimas, eles são capazes de gerar resultados satisfatórios. A autora também afirma que, a partir de pequenas melhorias na linha de produção, é possível alcançar um balanceamento mais eficiente (Lira, 2022).

Existem diversas técnicas heurísticas que podem ser empregadas para a alocação de tarefas. Entre elas, destacam-se: a priorização da tarefa de maior duração, a seleção da tarefa de menor duração, a escolha da tarefa com o maior número de tarefas subsequentes, a preferência pela tarefa com o menor número de tarefas subsequentes e o método do peso posicional (Lira, 2022).

Segundo Lira (2022), a técnica da tarefa de mais longa duração visa alocar as tarefas mais difíceis primeiro; já a abordagem da tarefa de mais curta duração dá preferência à alocação de postos de trabalho que engloba as tarefas mais curtas; a técnica da tarefa com maior número de tarefas subsequentes escolhe primeiro a candidata com maior número de tarefas subsequentes, enquanto a técnica da tarefa com menor número de tarefas subsequentes seleciona primeiro a candidata com menor número de tarefas subsequentes; por fim, o método do peso posicional é

determinado pela posição no diagrama de precedência, calculado a partir da soma de todos os tempos das operações subsequentes.

2.2.6. Cálculo da Eficiência Real (ER)

A partir do número real de operadores, resultante do balanceamento de linha, pode-se calcular a Eficiência Real (ER) pela fórmula (d):

$$ER = \frac{\Sigma \text{Tempo das tarefas}}{(\text{Tempo takt}) \times (\text{Número real de operadores})} \quad (d)$$

Se a ER for igual à EPT significa que foi encontrado o melhor balanceamento para uma determinada velocidade de linha, caso contrário mais análises são necessárias para um melhor balanceamento (Lira, 2022). Outra forma de calcular a eficiência do balanceamento é dividindo o número teórico pelo número real de operadores (Fontana, 2024).

2.2.7. Outras considerações

Antunes (2011) destaca que, sob uma perspectiva operacional, o tempo disponível para produção não coincide necessariamente com a duração do expediente devido a paradas programadas, como manutenção preventiva dos equipamentos e pausas por razões ergonômicas. Ritzman (2004) complementa essa visão, enfatizando a necessidade de avaliar outras quatro interações na produção: ritmo, fatores comportamentais, variedade de modelos fabricados e variações nos tempos de ciclo, para garantir que a produção seja não apenas eficiente, mas também eficaz.

O ritmo de produção deve estar alinhado com o tempo *takt* para atender à demanda sem causar superprodução ou atrasos, conforme apontado por Albertin e Pontes (2016) e Lélis (2018). Além disso, tarefas repetitivas podem levar a efeitos colaterais graves em termos de aborrecimento dos operários e de absentismo, conforme observado por Neumann (2015). Os trabalhadores geralmente preferem linhas de produção com reservas de estoque para evitar um ritmo mecânico constante, o que pode aumentar a produtividade, conforme destacado por Krajewski, Malhotra e Ritzman (2017).

A produção de diferentes modelos em uma linha de produção permite atingir altos volumes e variedade, mas complica a programação e exige comunicação eficaz, como mencionado por Lélis (2018). O autor também aponta, que o tempo de ciclo de uma linha de produção pode variar consideravelmente, e às vezes pode ser mais eficiente adotar um tempo de ciclo diferente da taxa de produção desejada, compensando com horas extras ou turnos adicionais.

Para abordar o balanceamento de linha, pode ser realizada a Análise do Valor Agregado (AVA). Conforme destacado por Albertin e Pontes (2016), a AVA permite identificar quais atividades em um sistema produtivo são necessárias para atender aos requisitos e às expectativas dos clientes, gerando valor. As atividades são classificadas em atividades com Valor Real Agregado (VRA), essenciais para produzir resultados, e atividades Sem Valor Agregado (SVA), que não contribuem significativamente para os resultados finais (Albertin; Pontes, 2016). Slack *et al.* (2023) enfatizam que a produção enxuta visa minimizar as atividades SVA para otimizar processo, conforme será abordado a seguir.

2.3 Lean Manufacturing

O *Lean Manufacturing* surgiu na década de 90 por um estudo feito sobre as indústrias automobilísticas que foi realizado pelos pesquisadores do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) no qual evidenciaram o Sistema Toyota de Produção (também conhecido como produção *Just-in-Time* ou produção enxuta). Um dos elementos fundamentais deste sistema é a sincronização da produção com base no tempo *takt*, entre as empresas integrantes da cadeia produtiva (Tálamo, 2022). A metodologia *Lean* visa reduzir desperdícios, eliminando atividades SVA dentro de todo o processo da empresa. Por meio desta metodologia que diversas organizações conseguiram aumentar a sua eficiência produtiva (Werkema, 2012).

Segundo Ohno (2019, p. 22), para fazer a análise total do desperdício deve-se considerar dois pontos:

1. O aumento da eficiência só faz sentido quando está associado à redução de custos. Para obter isso, deve-se produzir apenas aquilo que necessita usando um mínimo de mão-de-obra;
2. Observe a eficiência de cada operador e de cada linha. Observe então os operadores como um grupo, e depois a eficiência de todas as linhas. A eficiência deve ser melhorada em cada estágio e, ao mesmo tempo, para a fábrica, como um todo.

Além disso, Ohno (2019) aponta que a verdadeira melhoria na eficiência surge quando se produz com zero desperdício e leva a percentagem de trabalho para 100%. Desperdício, também chamado como muda, refere-se a qualquer atividade que o cliente não vai querer pagar por ineficiência do processo (Pansonato, 2020). São apresentados oito tipos de desperdícios: produzir produtos defeituosos (retrabalho), superprodução, excesso de estoques, processamento desnecessário, movimento desnecessário (de pessoas), transporte desnecessário (de mercadorias), tempo de espera e má utilização do pessoal (desperdício de criatividade). O Quadro 2 apresenta os tipos de desperdícios que podem ser eliminados durante a análise do

balanceamento de linha.

Quadro 2 - Oito tipos de desperdícios que devem ser eliminados no balanceamento de linha

Desperdício	Recomendações
Superprodução	Evitar a produção excessiva, garantindo que cada estação produza apenas o necessário.
Excesso de estoque	Reduzir a necessidade de estoque, para que cada estação produza apenas o que a próxima estação pode processar imediatamente.
Transporte desnecessário	Minimizar o transporte desnecessário, as estações devem ser organizadas de forma eficiente.
Espera	Reduzir o tempo de espera entre as estações, garantindo que cada estação esteja sempre ocupada.
Processamento desnecessário	Identificar e eliminar etapas desnecessárias no processo.
Defeitos	Incluir etapas de inspeção e controle de qualidade, reduzindo defeitos.
Má utilização do pessoal	Identificar e utilizar melhor as habilidades dos trabalhadores, garantindo que todos estejam envolvidos de forma eficiente.
Movimento desnecessário	Evitar movimentos que não agregam valor ao produto final. Isso pode incluir caminhadas excessivas, busca de ferramentas ou materiais, e movimentos repetitivos que poderiam ser evitados com uma melhor organização do espaço de trabalho.

Fonte: adaptado de Werkema (2012) e Pansonato (2020).

Segundo Ohno (2019), há duas formas de melhorar a eficiência: aumentar a quantidade produzida ou reduzir o número de trabalhadores. O objetivo, como mencionado na introdução, é a redução do custo. Portanto, um aumento na eficiência deve ser alcançado por meio de um método consistente com este objetivo.

3 METODOLOGIA

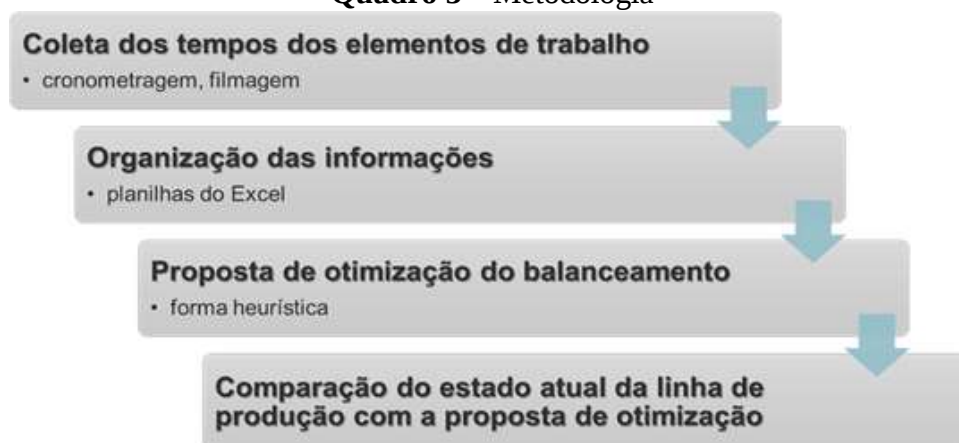
Este trabalho foi classificado quanto à natureza como pesquisa aplicada, pois objetiva encontrar soluções às necessidades apresentadas na realidade, ou seja, estabelecer ordem e controle na natureza (Leão, 2016). Quanto aos objetivos, foi classificado como pesquisa descritiva, pois visou ao levantamento de dados e ao uso da observação como método para a análise das características que se relacionam com o processo de balanceamento de linha de produção (Marcelino, 2020; Jung, 2004). Quanto aos procedimentos, foi classificado como estudo de caso, pois trata de um procedimento de pesquisa que investiga um fenômeno dentro de seu contexto real (Marcelino, 2020; Jung, 2004).

O método adotado neste projeto foi o heurístico, devido ao nível de aleatoriedade e complexidade da linha de produção. Segundo Pereira (1980), essa abordagem baseia-se na utilização do conhecimento construído a partir de experiências acumuladas, reestruturadas, racionalizadas comprovadas pela comunidade científica, ao longo da atividade de investigação.

Este estudo de caso foi conduzido em uma indústria automobilística, teve como objetivo

analisar e propor uma otimização para o balanceamento da linha de produção, com o intuito de aumentar a capacidade produtiva. A metodologia proposta foi dividida em quatro etapas, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Metodologia



Fonte: elaborado pelos autores (2024)

A metodologia proposta começou com a coleta de dados sobre o estado atual da linha de produção. Isso incluiu a observação direta por meio de visitas à linha de produção para entender o fluxo de trabalho e identificar possíveis gargalos. Além disso, foi utilizado o método de cronometragem para registrar o tempo de cada atividade realizada na linha de produção, utilizando filmadora e cronômetro digital para garantir a precisão dos dados.

Os dados coletados foram organizados e analisados utilizando planilhas no Excel. Esta etapa incluiu a tabulação dos tempos de cada atividade em planilhas, incluindo cálculos de tempo *takt* e da taxa de ocupação. Além disso, foram criados gráficos e tabelas para facilitar a compreensão dos dados.

Com base na análise dos dados, foi desenvolvida uma proposta de otimização do balanceamento da linha de produção utilizando uma abordagem heurística, conforme a técnica da tarefa com maior número de tarefas subsequentes para priorizar as tarefas a serem realocadas. A proposta inclui a redistribuição de tarefas entre os postos de trabalho para equilibrar a carga de trabalho, respeitando a precedência das atividades. Além disso, foi realizada a identificação e eliminação de atividades que não agregam valor, seguindo os princípios da produção enxuta, a fim de aumentar a eficiência operacional e reduzir desperdícios.

Por fim, foi realizada uma análise comparativa entre o estado atual da linha de produção e a proposta de otimização. Esta etapa inclui a comparação de desempenho, destacando melhorias em termos de tempo ocioso, utilização de recursos e eficiência geral.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

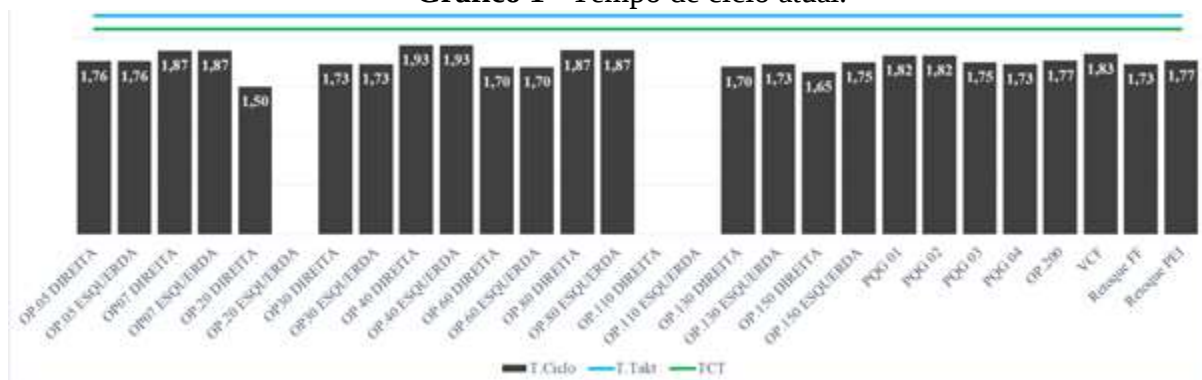
O estudo de caso foi conduzido em uma indústria automobilística, localizada na região Sudeste, uma região reconhecida por sua significativa contribuição para o setor automotivo brasileiro. A empresa em questão opera uma linha de produção mista, capaz de fabricar cinco diferentes modelos de veículos.

Atualmente, a linha de produção funciona com uma demanda de 27 veículos por hora, resultando em uma produção total de 224 veículos por turno, em um turno de 8 horas e 20 minutos. A linha possui um tempo *takt* de 2,22 minutos, que representa o intervalo de tempo necessário para completar a produção de um veículo e atender à demanda.

A linha de produção é composta por 28 postos de trabalho, dos quais 25 estão ativos e 3 inativos, cada um com o objetivo de manter uma taxa de ocupação de 95%. No entanto, durante visitas ao chão de fábrica, observou-se ociosidade em vários postos de trabalho, indicando uma ineficiência no balanceamento da linha.

Para otimizar o balanceamento da linha e melhorar a utilização dos recursos, foi realizada uma análise em cada posto de trabalho. Filmadoras foram instaladas nos postos para gravar a execução das atividades e, posteriormente, foram anotadas as descrições de cada elemento de trabalho. Feito isso, foi coletado o tempo de ciclo de cada posto de trabalho com o cronômetro digital. O tempo de ciclo dos elementos de trabalho foram, então, divididos em duas categorias: com valor agregado e sem valor agregado. O Gráfico 1 mostra o resultado do tempo de ciclo em cada posto.

Gráfico 1 - Tempo de ciclo atual.



Fonte: elaborado pelos autores (2024)

O Gráfico 1 mostra o tempo de ciclo em cada posto, o tempo *takt* da linha de 2,22 min e o *Target Cycle Time* (TCT) de 2,09 min. A partir disso, observou-se que o tempo de ciclo, em cada estação de trabalho, está abaixo do tempo *takt* e do TCT, indicando capacidade não utilizada na linha de produção. O TCT é determinado pelo tempo *takt* multiplicado pela disponibilidade da

linha. Considerando que a linha não está disponível 100% do tempo, devido a paradas programadas, sua disponibilidade é de apenas 94%.

A taxa de ocupação é calculada pela divisão do tempo de ciclo real pelo TCT. O Gráfico 2 ilustra os percentuais da eficiência operacional em cada posto de trabalho.

Gráfico 2 - Taxa de ocupação atual.



Fonte: elaborado pelos autores (2024)

Observa-se, por meio do Gráfico 2, que todos os postos de trabalho possuem uma taxa de ocupação abaixo da meta estabelecida de 95%. A taxa de ocupação geral da linha de produção, calculada pela média das taxas individuais de cada posto, é de 85,77%, ficando 9,23% abaixo da meta estipulada.

Os resultados obtidos, por meio da análise dos gráficos 1 e 2, indicam que há uma distribuição desigual da carga de trabalho entre as estações, com algumas estações operando abaixo de sua capacidade máxima. Isso sugere a necessidade de um rebalanceamento da linha para melhorar a eficiência operacional.

Diante desses resultados, foi realizado um estudo para aumentar a capacidade de produção da linha. A proposta é elevar a produção de 27 para 29 veículos por hora, o que contribuirá para uma melhor utilização dos recursos e uma maior eficiência operacional. Essa mudança não apenas aumentará a produção, mas também ajudará a equilibrar melhor a carga de trabalho entre as estações, reduzindo a ociosidade e melhorando a eficiência geral da linha de produção.

Para alcançar esse objetivo, foi realizada a redistribuição das atividades, respeitando a precedência delas, a fim de otimizar o fluxo de trabalho e garantir que cada estação opere de maneira mais eficiente. Utilizou-se o método heurístico para identificar as melhores combinações de tarefas e tempos, permitindo ajustes rápidos e eficazes no balanceamento da linha. Esse método reuniu profissionais da área de produção que, com a suas experiências, contribuíram para identificar as melhores combinações de tarefas e tempos, para otimizar o processo. O Quadro 4 ilustra a localização atual das atividades na linha de produção e apresenta uma proposta para a sua redistribuição. As alterações realizadas nos postos estão evidenciadas em azul.

Quadro 4 - Proposta de redistribuição das atividades

(Continua)

Descrição das atividades	Atual	Proposta
2º Controle Putre AR e Seat Bucle Box	OP 40 D/E	OP 40 D/E
Montagem Epiglage e torque Putre Ar e Seat Bucke Box	OP 05 D/E	OP 05 D/E
(ACICLICA) Buscar imãs no posto VCF	PQG 3/ 4	PQG 3/ 4
(ACICLICA) Retrabalho solda laser	OP 200	OP 200
(ACICLICA) Verificação dos torques das dobradiças AR	OP 07 D/E	OP 07 D/E
(ACICLICA) Verificação dos torques das dobradiças AV	OP 30 D/E	OP 30 D/E
(REGULAMENTAÇÃO) Conferência do Número Vis	OP 20D	OP 60 D
2º Controle Dobradiça Porta AV /AR	OP 40 D/E	OP 40 D/E
2º Controle Dobradiça do Capot e Renfort Sup Capot	OP 40 D/E	OP 40 D/E
2º Controle Putre AR e Seat Bucle Box	OP 40 D/E	OP 40 D/E
2º Controle Suporte do Cinto e Liason	OP 40 D/E	OP 40 D/E
Ajustar Paralama	OP 80 D/E	OP 80 D/E
Ajustar Volet	OP 130 E	OP 130 E
Ajuste de Geometria Porta AR	OP 40 D/E	OP 07 D/E
Ajuste de Geometria Porta AV	OP 40 D/E	OP 30 D/E
Aparafusar e ajustar paralama	OP 130 D	OP 110 D/E
Aplicar mastic pre moldado suporte cinto	OP 05 D/E	OP 05 D/E
Arrebitar e epiglar parafuso no suporte AILE AV D INF	OP 05 D/E	OP 40 D
Arrebitar e epiglar parafuso no suporte AILE AV D SUP	OP 05 D/E	OP 40 D
Aspiração	OP 20D	Eliminar
Batonar anomalias	VCF	VCF
Bracket e epiglar 5 parafusos	OP 60 D/E	OP 60 D/E
conferir carimbo no dossiê e guardar o dossiê	VCF	VCF
Controle altura de portas	VCF	VCF
Controle aspecto coluna do para-brisa e arco do teto	PQG 3 e 4	PQG 3 e 4
Controle de aspecto capot	PQG 3	PQG 3
Controle de aspecto do externo do volet	PQG 4	PQG 4
Controle de aspecto do inteno do volet	PQG 4	PQG 4
Controle de aspecto do paralama	PQG 3 e 4	PQG 3 e 4
Controle de aspecto entrada de porta dianteira	PQG 1/ 2	PQG 1/ 2
Controle de aspecto entrada de porta traseira	PQG 1/ 2	PQG 1/ 2
Controle de aspecto externo e interno da porta dianteiro	PQG 1/ 2	PQG 1/ 2
Controle de aspecto externo e interno da porta traseira	PQG 1/ 2	PQG 1/ 2
Controle de aspecto painel lateral	PQG 3/ 4	PQG 3/ 4
Controle de aspecto teto	PQG 3/ 4	PQG 3/ 4
Controle de estanqueidade das portas	VCF	VCF
Controle de geometria capot	OP 150 D/E	OP 150 D/E
Controle estanqueidade do volet	VCF	VCF
Deslocamento Carroceria	OP 05 e 30 D/E	Eliminar

Quadro 4 - Proposta de redistribuição das atividades

(Conclusão)

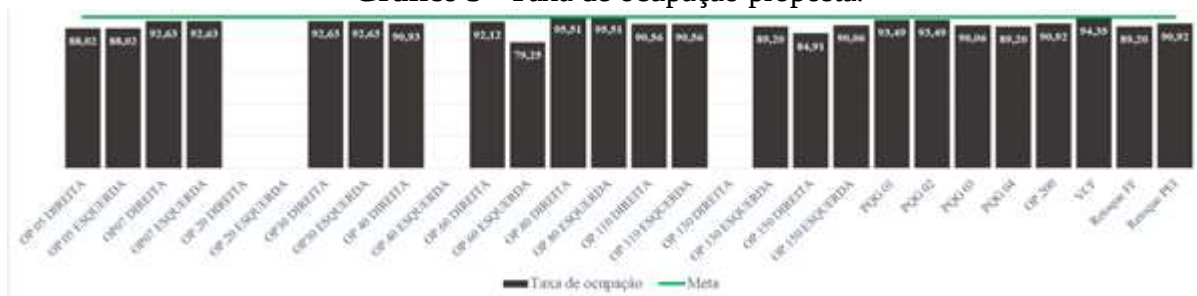
Epiglage da articulador do Capot	OP 05 D/E	OP 05 D/E
Epiglage Liason e Suporte do Cinto	OP 05 D/E	OP 05 D/E
Fixação do Reforço	OP 60 D/E	OP 60D/E
Inclusao Tubeto	OP 60 D/E	OP 60 D/E
Inspecionar solda laser do teto	PQG 3/ 4	PQG 3/ 4
Liberar Carroceria	OP 80 e 60 D/E 130 E	OP 80 e 130 D/E
Liberar carroceria (PQG)	PQG 1/2/3/4	PQG 1/2/3/4
Liberar carroceria D VCF	VCF	VCF
Liberar carroceria E VCF	VCF	VCF
Montabilidade plaquete	OP 150 D/ E	OP 150 D/E
Montagem da Facade Inferior	OP 07 D/E	OP 110 D/E
Montagem da Facade Superior	OP 30 D/E	OP 110 D/E
Montagem do Volet	OP 130 E	OP 130 E
Montagem dos Brackets	OP 20 D	OP 110 D/E
Montagem Porta AR	OP 07 D/E	OP 07 D/E
Montagem Porta AV	OP 30 D/E	OP 30 D/E
Posicionar aputre	OP 130 D/E	OP 110 D/E
Posicionar dispositivo de conformação inferior e superior do paralama e efetuar torque	OP 80 D/E	OP 80 D/E
Posicionar dispositivo e montagem do capot na carroceria	OP 150 E	OP 150 E
Posicionar dispositivo e montagem do capot na carroceria (Lado Direito)	OP 150 D	OP 150 D
Posicionar imãs nas portas	PQG 3/ 4	PQG 3/ 4
Posicionar paralama	OP 60 D/E	OP 60 D/E
Posicionar Plaquete	OP 60 D/E	OP 60 D/E
Preparar paralama	OP 60 D/E	OP 60 D/E
Realizar retoque e liberar carroceria	OP 200	OP 200
Realizar segundo controle de porcas e parafusos do Capot	OP 200	OP 200
Retirada de carroceria para retrabalho fora de fluxo	RETOQUE FF	RETOQUE FF
Retirar imãs e posicionar travas nas portas lado direito	VCF	VCF
Retirar imãs e posicionar travas nas portas lado esquerdo	VCF	VCF
Retorno de carroceria para fluxo	RETOQUE FF	RETOQUE FF
Torque do articulador do Capot	OP 30 D/E	OP 07 D/E
Torque Liason e Suporte do Cinto	OP 07 D	OP 05 D/E
Troca de lado da linha	OP 20 e 130 D	Eliminar
Verificar defeitos lançados e retrabalhar se necessário	RETOQUE PEI	RETOQUE PEI
Visualizar os pontos na TV e retrabalhar lado direito	VCF	VCF
Visualizar os pontos na TV e retrabalhar lado esquerdo	VCF	VCF

Fonte: elaborado pelos autores (2024)

Conforme apresentado no Quadro 4, propôs-se uma redistribuição das atividades na linha de produção. Esta proposta resulta na eliminação de um posto de trabalho e na redução de um operador. O Gráfico 3 ilustra os percentuais de eficiência operacional após a proposta de

rebalanceamento da linha, indicando que a média geral da taxa de ocupação será de 90,70%. Essa proposta apresenta um aumento de 4,93% em relação à taxa de ocupação anterior de 85,77%, ela ainda está abaixo da meta estabelecida de 95%.

Gráfico 3 - Taxa de ocupação proposta.



Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Com a nova proposta, a taxa de ocupação será melhor distribuída, permitindo uma utilização mais eficiente dos recursos e reduzindo o tempo de atividades sem valor agregado. Além disso, o Gráfico 4 também demonstra como o tempo de ciclo em cada posto será afetado pela redistribuição proposta, visando a um fluxo de trabalho mais equilibrado e produtivo.

Gráfico 4 - Tempo de ciclo proposta.



Fonte: elaborado pelos autores (2024)

Para atender a cadência de 29 veículos por hora, o tempo *takt* será de 2,07 min e o TCT de 1,94 min. Conforme ilustrado no Gráfico 4, o tempo de ciclo de cada posto permanece dentro do limite estabelecido pelo TCT. O Quadro 5 evidencia os resultados e benefícios obtidos com a proposta de otimização do balanceamento da linha de produção.

Quadro 5 - Resultados obtidos com a redistribuição das atividades.

Resultados obtidos

	Atual	Proposta
Qtd. de veículos produzidos por hora	27	29
Média da taxa de ocupação	85,77%	90,70%
Postos ativos	25	24

Fonte: elaborado pelos autores (2024)

A implementação dessas mudanças é esperada para trazer benefícios significativos para a linha de produção, reforçando a competitividade e a capacidade de resposta às demandas do mercado.

CONCLUSÃO

Este artigo buscou analisar e propor melhorias no balanceamento de linha em uma indústria automobilística, com o objetivo geral de identificar oportunidades de otimização para atender a demanda crescente do mercado. Para alcançar esse objetivo, foram estabelecidos objetivos específicos que incluíram a revisão do referencial teórico sobre balanceamento de linha, a análise da situação atual da linha de produção, a identificação de áreas de melhoria e a proposta de técnicas de balanceamento.

Por meio de uma abordagem fundamentada em referencial teórico sobre balanceamento de linha, utilizou-se a técnica heurística da tarefa com maior número de tarefas subsequentes para a redistribuição das atividades. Aliada aos princípios do *lean manufacturing* para mitigar atividades sem valor agregado. Os resultados alcançados incluem um aumento na capacidade produtiva de 27 para 29 veículos por hora, além da redução de um posto de trabalho e de um operador. Esses resultados demonstram o potencial da proposta para o aumento da eficiência operacional.

É importante destacar que, embora os resultados sejam promissores, este trabalho apresenta uma proposta teórica, o que constitui uma limitação e, ao mesmo tempo, uma oportunidade para futuras aplicações práticas. A implementação efetiva das técnicas propostas em um ambiente real de produção poderá validar e aprimorar ainda mais os benefícios aqui identificados.

Por fim, espera-se que este estudo tenha contribuído para o avanço do conhecimento na área de balanceamento de linha e *lean manufacturing*, oferecendo *insights* valiosos para a indústria automobilística. Os resultados obtidos abrem caminho para pesquisas futuras que possam explorar a aplicação prática das técnicas propostas, bem como a adaptação dessas metodologias a outros contextos industriais.

REFERÊNCIAS

ABENSUR, Eder O. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia de produção**. São Paulo: Editora Blucher, 2018. E-book. pág.162. ISBN 9788521212010. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521212010/>. Acesso em: 13 jun. 2025.

ALBERTIN, Marcos Ronaldo; PONTES, Heráclito Lopes Jaguaribe. **Gestão de processos e técnicas de produção enxuta**. Curitiba: Intersaberes, 2016. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 4 out. 2024.

ANTUNES, Junico. **Sistemas de produção**. Porto Alegre: Bookman, 2011. E-book. pág.148. ISBN 9788577802494. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788577802494/>. Acesso em: 13 jun. 2025.

FONSECA, Renato; CUNHA, Samantha. **Produção enxuta na indústria da construção brasileira**. Brasília: Confederação Nacional da Indústria, 2019. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/>. Acesso em: 17 nov. 2024

FONTANA, Marcele Elisa. **Fundamentos da gestão da produção e operações**: estratégias para o sucesso empresarial. Rio de Janeiro, RJ: Freitas Bastos, 2024. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 5 set. 2024.

JUNG, Carlos Fernando. **Metodologia científica**: ênfase em pesquisa tecnológica. 4. ed. rev. e ampl. 2004. Disponível em: <http://www.jung.pro.br>. Acesso em: 4 nov. 2024.

KRAJEWSKI, Lee J.; MALHOTRA, Manoj K.; RITZMAN, Larry P. **Administração de produção e operações**. 11. ed. São Paulo: Pearson, 2017. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 5 set. 2024.

LEÃO, Lourdes Meireles. **Metodologia do estudo e pesquisa**: facilitando a vida dos estudantes, professores e pesquisadores. São Paulo: Vozes, 2016. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 4 nov. 2024.

LÉLIS, Eliacy Cavalcanti (org.). **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2018. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 7 nov. 2024.

LIRA, Elisa Granha. **Estudo de tempos e movimentos**: uma abordagem Lean para aumentar a eficiência de processos físicos e digitais. Belo Horizonte: Ed. da Autora, 2022. Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/ESTUDO_DE_TEMPOS_E_MOVIMENTOS_UM_A_ABORDA/INEDEAAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=0. Acesso em: 28 out. 2024

MARCELINO, Carla Andréia Alves da Silva. **Metodologia de pesquisa**. São Paulo: Contentus, 2020. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 13 nov. 2024.

NEUMANN, Clóvis. **Projeto de Fábrica e Layout**. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2015. E- book. pág.408. ISBN 9788595154452. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595154452/>. Acesso em: 13 jun. 2025.

OHNO, Taiichi. **O sistema de produção Toyota**: além da produção em larga escala. São Paulo: Productivity, 2019.

PANSONATO, Roberto. **Lean manufacturing**. São Paulo: Contentus, 2020. E-book. Disponível

em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 4 out. 2024.

PEREIRA, Waldecyr C. de Araújo. **O método heurístico em pesquisa**. Brasília. 1980

REGINATO, Gustavo; ANZANELLO, Michel J.; KAHMANN, Alessandro; SCHMIDT, L. Ph. H. Balanceamento de linha de montagem mista em cenários com distintos mix de produtos. **Gestão & Produção**, v. 23, n. 2, abr. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-530X1874-14>. Acesso em: 10 out. 2024.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pearson, 2004. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 6 nov. 2024.

SEIXAS, Emerson da Silva. **Administração da produção e serviços**. Curitiba: Intersaberes, 2020. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 6 nov. 2024.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; BURGESS, Nicola. **Administração da Produção**. 10. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2023. E-book. pág.201. ISBN 9786559775187. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559775187/>. Acesso em: 14 jun. 2025.

TÁLAMO, Roberto. **Engenharia de métodos: o estudo de tempos e movimentos**. 2. ed. Curitiba: Intersaberes, 2022. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 12 nov. 2024.

WERKEMA, Cristina. **Criando a cultura Lean Seis Sigma**. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2012.