

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CRYSTIELLE RIBAS

**ANÁLISE DE GARGALOS DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE BATERIAS
AUTOMOTIVAS: UM ESTUDO DE CASO**

FRANCISCO BELTRÃO

2025

CRYSTIELLE RIBAS

**ANÁLISE DE GARGALOS DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE BATERIAS
AUTOMOTIVAS: UM ESTUDO DE CASO**

Production bottleneck analysis in na automotive baterry industry: A case study

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Douglas da Costa Ferreira.

FRANCISCO BELTRÃO

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

CRYSTIELLE RIBAS

**ANÁLISE DE GARGALOS DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE BATERIAS
AUTOMOTIVAS: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: **26 de junho** de 2025

Douglas da Costa Ferreira

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão

Lindomar Subtil de Oliveira

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão

Maiquiel Schmidt de Oliveira

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão

FRANCISCO BELTRÃO

2025

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus que nunca me abandonou nessa caminhada tão importante, decisiva e difícil da minha vida. Segundamente a toda minha família e amigos, sem vocês nada disso seria possível, obrigada por não me deixarem desistir. Não menos importante, obrigada ao melhor orientador desse mundo por toda paciência e compreensão com as adversidades no meio do caminho.

Por fim obrigada a todos os professores que fizeram realmente a diferença nessa caminhada, a vida acadêmica não é só sobre aprender matérias, não é sobre a sala de aula, mas sim sobre o tipo de ser humano que queremos ser.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar os gargalos de produção em uma indústria de baterias automotivas situada na região sudoeste do Paraná, com foco específico na fabricação de placas utilizadas em baterias da linha leve. A pesquisa baseia-se na ausência de um fluxo contínuo entre os processos produtivos da empresa, que operam com diferentes jornadas e métodos, dificultando a identificação dos pontos de maior restrição produtiva. A metodologia adotada incluiu mapeamento dos processos, determinação do *lead time* de cada etapa, cálculo da demanda e da capacidade de produção, além da análise dos índices de ocupação de cada posto de trabalho. Identificaram-se como principais gargalos os processos de empastação e da masseira, ambos com 100% de ocupação. Esses setores foram apontados como limitantes da capacidade produtiva da empresa. Com base nessa análise, foi proposta a ampliação da capacidade da masseira, considerando que os processos anteriores possuem capacidade suficiente para atender a um aumento de demanda. A proposta envolve a aquisição de uma nova masseira ou a ampliação do tempo de operação da existente, como forma de aumentar a produção de placas e, conseqüentemente, o faturamento da empresa. Por fim, este trabalho destaca a importância da análise sistemática dos processos produtivos como ferramenta para aumento de eficiência industrial.

Palavras-chave: gargalo de produção; baterias automotivas; *lead time*; capacidade produtiva.

ABSTRACT

This study aims to identify and analyze production bottlenecks in an automotive battery manufacturing company located in the southwestern region of Paraná, with a specific focus on the production of plates used in light-duty vehicle batteries. The research is based on the absence of a continuous flow among the company's production processes, which operate under different schedules and methods, making it difficult to identify the points of greatest production constraint. The adopted methodology included process mapping, determination of the lead time for each stage, calculation of demand and production capacity, as well as analysis of the occupancy rates of each workstation. The main bottlenecks identified were the paste mixing and plate pasting processes, both operating at 100% capacity. These sectors were identified as limiting factors of the company's productive capacity. Based on this analysis, an expansion of the paste mixer's capacity was proposed, considering that the previous processes already have sufficient capacity to meet increased demand. The proposal involves acquiring a new paste mixer or extending the operating time of the existing one, as a way to increase plate production and, consequently, the company's revenue. Finally, this study highlights the importance of systematic analysis of production processes as a tool for enhancing industrial efficiency.

Keywords: production bottleneck; automotive batteries; lead time; production capacity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma simplificado do processo de produção de placas para baterias	26
Figura 2 – Triturador de sucata e tanque de separação	27
Figura 3 – Forno de fundição	27
Figura 4 – Painéis de refino	Erro! Indicador não definido.
Figura 5 – Fundidora de grades	29
Figura 6 – Moinho de chumbo mole	30
Figura 7 – Masseur	30
Figura 8 – Processo de empastação	31
Figura 9 – Sala de cura	32
Figura 10 – Quebra de placa	32
Figura 11 – Envelopamento	33
Figura 12 – Fluxograma do forno de fundição	33
Figura 13 – Fluxograma da placa de refino de chumbo duro e mole	35
Figura 14 – Fluxograma da fundição de grades positivas	36
Figura 15 – Fluxograma da fundição de grades negativas	37
Figura 16 – Fluxograma do moinho	38
Figura 17 – Fluxograma da masseira	39
Figura 18 – Fluxograma da empastação de placas positivas	40
Figura 19 – Fluxograma da empastação de placas negativas	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Entradas e saídas do forno de fundição	34
Tabela 2 – Entradas e saídas da panela de refino de chumbo duro.....	35
Tabela 3 – Entradas e saídas da panela de refino de chumbo mole	35
Tabela 4 – Entrada e saída da fundição de grades positivas	36
Tabela 5 – Entrada e saída da fundição de grades negativas.....	37
Tabela 6 – Balanço do moinho	38
Tabela 7 – Entradas e saídas da masseira	39
Tabela 8 – Entrada e saída da empastação de placas positivas	40
Tabela 9 – Entrada e saída da empastação de placas negativas	41
Tabela 10 – Lead time de cada processo	41
Tabela 11 – Índices ocupacionais de cada processo.....	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Problema	14
1.2	Justificativa	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1	O mercado e a indústria de baterias automotivas	17
3.2	Lead time da cadeia produtiva de baterias automotivas	19
3.3	Principais gargalos do setor de produção de bateria automotivas .	20
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	22
4.1	Local da pesquisa	22
4.2	Participantes da pesquisa	22
4.3	Coleta de dados	22
4.3.1	Mapeamento dos processos	23
4.3.2	Determinação do <i>lead time</i> dos processos e verificação da demanda de cada processo	23
4.3.3	Cálculos da ocupação dos processos de produção	23
4.3.4	Identificação dos gargalos	24
4.4	Análise de dados	24
4.5	Proposição de medidas mitigadoras	24
5	ESTUDO DE CASO	25
5.1	Apresentação da empresa	25
5.2	Layout atual	25
5.3	Ciclo de produção	26
5.3.1	Triturador de sucata, tanque de separação e forno de fundição	26
5.3.2	Painéis de refino e fundição de grades	28
<u>5.3.2.1</u>	<u>Chumbo mole</u>	<u>28</u>
<u>5.3.2.2</u>	<u>Chumbo duro</u>	<u>29</u>
5.3.3	Moinho e masseira.....	29
5.3.4	Empastação e sala de cura	31
5.3.5	Quebra de placa e envelopamento	32
5.4	Capacidade de produção e rendimento	33

5.4.1	Forno de fundição SUMÁRIO	33
5.4.2	Panela de refino de chumbo duro e mole.....	34
5.4.3	Fundição de grades positivas e negativas	35
5.4.4	Moinho	37
5.4.5	Masseira	38
5.4.6	Empastação de placas positivas e negativas	39
5.5	Lead Time dos Processos	41
5.6	Identificação dos gargalos	42
5.7	Proposta de melhoria de gargalos	43
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

A análise de gargalos de produção desempenha um papel importante na identificação e resolução de obstáculos que limitam a eficiência e o desempenho das indústrias. Neste contexto, o presente trabalho de conclusão de curso irá estudar os gargalos de produção em uma indústria de baterias automotivas.

As baterias automotivas fornecem a energia necessária para o funcionamento dos veículos, seja na ignição de veículos a combustão, no funcionamento dos controles elétricos, ou seja, como fonte de energia de motores para veículos elétricos e híbridos. A evolução dessas baterias ao longo dos anos tem sido marcada por avanços tecnológicos significativos, que buscaram aumentar sua eficiência, capacidade de armazenamento e vida útil.

No entanto, apesar desses avanços, as indústrias de baterias automotivas enfrentam desafios na produção em larga escala. A demanda crescente por veículos elétricos, impulsionada por preocupações ambientais e políticas de incentivo, tem pressionado as empresas do setor a otimizar seus processos produtivos e identificar e superar gargalos que limitam a capacidade de fabricação.

O estado da arte na análise de gargalos de produção envolve a aplicação de métodos e técnicas avançadas, como simulação computacional, otimização de processos e análise de dados em tempo real. Essas abordagens permitem uma compreensão mais aprofundada das operações de produção, identificando gargalos, pontos de estrangulamento e ineficiências que afetam a produtividade.

Além disso, o estado da arte inclui a implementação de soluções baseadas em tecnologias emergentes, como Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*), Inteligência Artificial (IA – *Artificial Intelligence*) e automação, que visam melhorar a eficiência, a qualidade e a flexibilidade da produção.

No contexto atual, em que a transição para a mobilidade elétrica está ganhando impulso em todo o mundo, as indústrias de baterias automotivas enfrentam desafios únicos. A necessidade de produzir baterias de alta qualidade em grande escala, a um custo competitivo e com prazos reduzidos, exige uma análise detalhada dos gargalos de produção presentes nos processos fabris.

Portanto, a presente pesquisa busca contribuir para a compreensão dos gargalos de produção em uma indústria de baterias automotivas, por meio da análise do tempo de processamento de cada etapa de fabricação, da capacidade de produção

dessas etapas e da demanda de cada uma delas. Após sua identificação, foram propostas soluções para os gargalos de produção; sendo assim, espera-se que este trabalho possa contribuir para que a empresa do estudo de caso possa direcionar seus esforços de maneira assertiva quanto aos investimentos em aumento de capacidade no futuro.

1.1 Problema

Como identificar os gargalos de produção em uma indústria? Essa pergunta não é simples de ser respondida. Gargalo é o processo mais ocupado perante os demais, ou seja, qualquer atraso no gargalo resulta em um atraso geral na produção. Apesar da explicação ser simples, saber qual é o processo mais ocupado não é simples assim, porque é necessário avaliar cada processo para que aquele mais ocupado seja identificado.

Então a pergunta de pesquisa é: Qual é o gargalo de produção da empresa do estudo de caso e como diminuir sua ocupação?

Além disso, um dos objetivos desse trabalho de conclusão é fazer propostas de melhoria do gargalo, após ser identificado. Então outra pergunta de pesquisa é: Como diminuir a ocupação do gargalo, após identificado?

1.2 Justificativa

Após uma visita preliminar na empresa do estudo de caso, a gestora forneceu todos os dados de produção necessários para os balanços além de explicar como funcionava o dia a dia e os processos dentro da mesma, então foi observado que nem todas as etapas de fabricação trabalham em fluxo contínuo, ou seja, algumas etapas trabalham por bateladas, operando 3 dias da semana (como é o caso do forno de fundição), enquanto outras trabalham 5 dias da semana (moldagem) e algumas em fluxo contínuo (como é o caso do teste de tensão). Dessa forma, é difícil identificar quais dos processos são mais ocupados e difícil definir onde investir.

A empresa já sinalizou a intenção de investir no forno de fundição, mas não existe um estudo de gargalos para determinar se esse seria o investimento mais adequado (considerando volume de produção exclusivamente). Dessa forma, esse estudo vem em um momento muito importante para a empresa do estudo de caso, que poderá ter dados necessários para análise de investimentos em aumento de

capacidade de produção.

Do ponto de vista acadêmico, esse TCC pode ser uma fonte importante de informações para os demais estudantes que queiram se aprofundar sobre o tema de identificação de gargalos de produção em processos industriais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o gargalo de produção atual de uma indústria de baterias automotivas da região do sudoeste do Paraná e propor soluções para reduzir ou eliminar esse gargalo.

2.2 Objetivos específicos

1. Identificar os processos por meio da elaboração de um fluxograma do processo realizado na empresa.
2. Fazer o balanço de massa para verificar a capacidade real de produção de cada posto de trabalho.
3. Determinar o *lead time* (tempo transcorrido) de cada processo de produção.
4. Fazer o levantamento da demanda para o cálculo do índice de ocupação de cada processo.
5. Identificar qual o gargalo da empresa.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 O mercado e a indústria de baterias automotivas

Uma bateria é um dispositivo de armazenamento de energia que converte energia química em energia elétrica e vice-versa, tipicamente por meio de uma reação de oxirredução. É composta por um anodo, o polo negativo onde ocorre a oxidação, e um catodo, o polo positivo onde ocorre a redução. A transferência de elétrons ocorre do anodo para o catodo, gerando energia elétrica (Castro; Barros; Veiga, 2013).

As baterias recarregáveis, também conhecidas como baterias secundárias, são amplamente utilizadas em uma variedade de dispositivos portáteis, como celulares, telefones sem fio, laptops e câmeras, além de serem empregadas em automóveis. Em veículos convencionais, a bateria tem a função de alimentar os sistemas elétricos e eletrônicos e é recarregada por um gerador acionado pelo próprio motor de combustão que movimenta o veículo. A tecnologia mais comum em automóveis é a bateria de chumbo-ácido (PbA), embora veículos elétricos e híbridos geralmente utilizem outras tecnologias (Castro; Barros; Veiga, 2013).

Ao longo dos últimos anos, tem havido um aumento significativo na demanda por veículos elétricos e híbridos, impulsionado por preocupações ambientais, políticas de incentivo e avanços tecnológicos. Esse crescimento tem impulsionado a necessidade de uma produção em larga escala de baterias automotivas de alta qualidade (Pereira, 2019).

Tal atividade envolve uma série de etapas complexas, desde a fabricação dos componentes até a montagem final. Os principais componentes das baterias incluem células, módulos e sistemas de gerenciamento de energia. Cada etapa do processo de produção requer precisão e qualidade para garantir o desempenho adequado e a confiabilidade das baterias. Assim, a fabricação das células de bateria é uma etapa crítica, onde são combinados materiais como o lítio, cobalto, níquel e grafite. A qualidade desses materiais e os processos de fabricação são responsáveis por garantir a vida útil, a eficiência energética e a segurança das baterias (Tramontini *et al.*, 2022).

Além disso, a indústria de produção de baterias automotivas enfrenta desafios relacionados à cadeia de suprimentos. A disponibilidade de matérias-primas, como o lítio e o cobalto, pode ser uma preocupação, uma vez que a demanda por esses

materiais está em constante crescimento. Garantir uma cadeia de suprimentos estável e sustentável é um desafio para evitar interrupções na produção (Machado, 2011).

A automação desempenha um papel cada vez mais importante na indústria e neste caso não é diferente, principalmente pelo fato de que além das baterias para veículos de combustão interna, a transição para o desenvolvimento de modelos híbridos e elétricos passa a demandar de tecnologias avançadas, como robótica e sistemas de visão computacional, permite melhorias na eficiência, precisão e velocidade dos processos produtivos. A automação também pode contribuir para a redução de erros e o aumento da segurança nas linhas de produção e seu aumento (Daudt, 2018).

De acordo com Castro, Barros e Veiga (2013, p. 444):

<Ainda que nos veículos híbridos e elétricos a bateria exerça uma função primordial, ela, em geral, é diferente das utilizadas tradicionalmente. Como as baterias passam a ser responsáveis por outras funções, como o próprio funcionamento do motor, a necessidade de energia é cada vez maior, criando uma barreira para a tecnologia tradicional (bateria de chumbo-ácido), presente nos veículos atuais, em que o Brasil dispõe de grande parque industrial. Tal barreira decorre do volume e, sobretudo, do peso dessas baterias, que não seriam compatíveis com um veículo elétrico, embora haja algum espaço para aplicações em alguns tipos de híbridos. Surgem, então, como provável tecnologia dominante, as baterias de íon-lítio, mais leves e com maior densidade energética.=

Defeitos ou falhas nas baterias podem ter consequências graves, incluindo incêndios ou até mesmo acidentes. Portanto, é necessário implementar rigorosos padrões de controle de qualidade e realizar testes abrangentes em todas as etapas do processo de produção (Castro; Barros, Veiga, 2013).

A sustentabilidade ambiental também é um aspecto importante pois a extração de matérias-primas, como o lítio e o cobalto, deve ser feita de forma responsável, considerando os impactos ambientais. Além disso, o desenvolvimento de baterias mais eficientes e recicláveis contribui para a redução do impacto ambiental ao longo de todo o ciclo de vida dos veículos elétricos (Leal, 2020).

Incentivos governamentais, como subsídios e políticas de suporte, podem promover investimentos em pesquisa e desenvolvimento, bem como a instalação de fábricas de produção. Parcerias entre montadoras de veículos, empresas de baterias e universidades também podem impulsionar a inovação e a troca de conhecimento (Leal, 2020).

Essa indústria é altamente competitiva sendo que diversas empresas estão buscando desenvolver tecnologias avançadas e estratégias de produção eficientes para ganhar participação de mercado. A busca por soluções que aumentem a capacidade produtiva, reduza os custos e melhorem a qualidade é constante nesse setor. E a internacionalização desta é uma tendência em ascensão. Países ao redor do mundo estão buscando atrair investimentos e estabelecer fábricas de produção para se tornarem líderes nesse setor em crescimento. Essa competição global exige que as empresas estejam constantemente inovando e melhorando suas operações (Fernandes *et al.*, 2011).

A segurança no armazenamento e no transporte das baterias também é um aspecto crítico para a indústria. Devido às características químicas das baterias, é necessário seguir regulamentações rigorosas para garantir a proteção contra incêndios e outros acidentes durante o armazenamento e o transporte das baterias. Bem como a manutenção e o serviço pós-venda das baterias automotivas também são áreas de importância crescente. À medida que mais veículos elétricos são vendidos, é essencial garantir que os proprietários tenham acesso a serviços de manutenção e reparo de qualidade. A criação de uma infraestrutura de serviço abrangente e a formação de profissionais especializados são desafios que a indústria precisa enfrentar (Fernandes *et al.*, 2011).

3.2 Lead time da cadeia produtiva de baterias automotivas

O *lead time* pode ser definido como o tempo necessário para concluir todo o processo de produção, desde a aquisição de matérias-primas até a entrega final do produto (Nasser, 2021). Os fabricantes de baterias precisam garantir que sejam capazes de produzir e entregar as baterias dentro dos prazos estabelecidos, a fim de atender às expectativas dos fabricantes de veículos e dos consumidores.

Minimizar o *lead time* envolve uma coordenação eficaz entre os fornecedores de matérias-primas, as fábricas de produção e os distribuidores. É importante ter uma visão clara e integrada de toda a cadeia, desde a obtenção dos materiais até a entrega do produto final, para identificar e resolver possíveis gargalos que possam aumentar o *lead time* (Nasser, 2021).

Um dos principais desafios na redução desse aspecto ora abordado é a disponibilidade de matérias-primas. A obtenção de metais como lítio, cobalto e níquel, que são utilizados na fabricação das células das baterias, pode ser limitada devido à

demanda global crescente. Isso exige uma gestão eficiente da cadeia de suprimentos, incluindo a busca de novos fornecedores, a diversificação das fontes de matérias-primas e a implementação de estratégias de estoque adequadas (Silva *et al.*, 2007).

Além disso, a automação e a otimização dos processos produtivos são características que influenciam no *lead time*. A introdução de tecnologias avançadas, como a robótica e a inteligência artificial, pode acelerar as etapas de produção, melhorar a precisão e reduzir os erros. A implementação de sistemas de gestão da produção eficientes também desempenha um papel importante na redução do tempo necessário para a produção das baterias automotivas (Ferreira, 2019).

A colaboração e a comunicação efetiva entre os diferentes participantes da cadeia produtiva podem reduzir o *lead time*. Isso inclui o compartilhamento de informações e a adoção de práticas de colaboração, como o just-in-time, onde as entregas de materiais são sincronizadas com as necessidades da produção. A integração dos sistemas de informação entre os fornecedores, fabricantes e distribuidores também pode melhorar a visibilidade e a transparência ao longo da cadeia produtiva (Ferreira, 2019).

Reduzir o *lead time* na cadeia produtiva permite uma resposta mais rápida às demandas do mercado, reduz os custos de armazenagem e estoque, melhora a competitividade das empresas e aumenta a satisfação dos clientes. Além disso, uma redução no lead time permite uma maior flexibilidade e adaptabilidade às mudanças nas preferências dos consumidores (Cruz, 2017).

O mesmo conceito aplicado à cadeia produtiva é aquele relacionado ao *lead time* de processo, ou seja, é o tempo de início até o fim de um processo. Para medir a medição é necessário: a listagem do material a ser utilizado, verificar a quantidade de matéria prima a ser colocada no processo, cronometrar o tempo de operação de cada uma das etapas e anotar a quantidade de produto ao final de cada um dos processos (Coutinho, 2019).

3.3 Principais gargalos do setor de produção de bateria automotivas

Os principais gargalos do setor de produção de baterias automotivas advem alguns fatores como: a disponibilidade de matérias-primas, onde a produção de baterias automotivas depende de matérias-primas como lítio, cobalto, níquel e grafite; a disponibilidade e o custo desses materiais podem ser afetados por questões como a demanda global, a geopolítica e a sustentabilidade ambiental. Restrições na oferta

dessas matérias-primas podem causar atrasos na produção e aumentar os custos (Soares, 2022).

Possuir uma cadeia de suprimentos complexa, com diversos fornecedores e etapas de produção. Gerenciar essa cadeia de suprimentos de forma eficiente é um desafio, especialmente quando se trata de coordenar as entregas de componentes e materiais em sincronia com a produção. A falta de sincronização entre os fornecedores pode levar a atrasos e interrupções na produção (Moreira; Santângelo, 2019). Além disso, apresenta uma capacidade produtiva limitada, uma vez que a demanda por baterias está crescendo rapidamente, entretanto, sua capacidade produtiva não acompanhou o ritmo atual. A construção de novas fábricas e a expansão da capacidade produtiva exigem investimentos significativos em infraestrutura e tecnologia. A falta de capacidade produtiva pode resultar em atrasos na entrega das baterias e dificuldades em atender à demanda do mercado (Araújo, 2013).

Por fim, as tecnologias envolvendo a produção de baterias estão em constante evolução, com novas tecnologias avançadas e processos inovadores. No entanto, a rápida evolução das tecnologias de baterias e a necessidade de se adaptar a novas especificações e requisitos podem criar desafios os fabricantes. A implementação de tecnologias emergentes, como baterias de estado sólido, pode exigir mudanças significativas nas linhas de produção existentes, o que demanda tempo e recursos (Araújo, 2013).

Existe uma infinidade de motivos que geram gargalos nos processos, sendo que os principais: falta de matéria-prima, com uma gestão incorreta da chegada de matéria-prima, comprometer o início da produção; capacidade produtiva, na necessidade de se ter conhecimento da capacidade máxima de produção, com certa quantidade de matéria em determinado período de tempo; e parada de máquinas, envolvendo desde a manutenção, falta de material ou até mesmo falta de operador, causando parada de produção (Sestrem, 2021).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa seguiu uma abordagem qualitativa, quantitativa, exploratória e aplicada. Foram utilizadas técnicas de coleta de dados, como entrevistas com funcionários-chave da empresa para o entendimento de cada um dos processos de forma detalhada, observação direta dos processos de produção, análise de documentos e registros internos, e revisão da literatura existente sobre o assunto.

4.1 Local da pesquisa

A pesquisa foi conduzida nas instalações de uma indústria localizada na região sudoeste do Paraná, onde foram realizadas as observações e entrevistas necessárias com os funcionários a título de entendimento dos processos e com a gestora da empresa para obtenção dos dados necessários. Isso permitiu um entendimento aprofundado dos processos de produção e dos gargalos enfrentados pela empresa.

4.2 Participantes da pesquisa

Os participantes foram selecionados com base em sua experiência e conhecimento dos processos de produção de baterias automotivas da empresa objeto de estudo. Isso pode incluir gerentes de produção, supervisores, operadores de linha e outros profissionais envolvidos diretamente nas atividades relacionadas à produção de baterias.

4.3 Coleta de dados

Foram utilizadas diferentes técnicas de coleta de dados, como entrevistas individuais, observação direta e análise de documentos. As entrevistas foram conduzidas no chão de fábrica, com os operários, acompanhando o dia a dia de cada processo. Os dados coletados foram registrados e documentados para análise posterior. Na etapa de coleta de dados foram realizados: mapeamento dos processos, determinação do *Lead Time* dos processos, verificação da demanda de cada processo, cálculos da ocupação dos processos de produção e identificação dos gargalos.

4.3.1 Mapeamento dos processos

O mapeamento de processos com fluxograma é uma ferramenta essencial para analisar e entender os processos existentes em uma empresa. Seu objetivo é identificar o estado atual do fluxo de tarefas e determinar se ele está alinhado com os objetivos do negócio e o planejamento estratégico definido pela alta gestão.

<O objetivo do mapeamento de processos com fluxograma é fazer a análise inicial de um processo ou dos processos em uma empresa, para definir o estado atual do fluxo de tarefas e entender se estão de acordo com os objetivos do negócio e o planejamento estratégico definido pela alta gestão.= (Veyrat, 2016).

Para descrever o processo produtivo e montar o fluxograma de produção, é necessário realizar um levantamento detalhado das etapas envolvidas na produção das baterias automotivas. Isso envolve identificar desde a aquisição das matérias-primas até a entrega final do produto acabado. Cada etapa do processo deve ser mapeada e representada graficamente no fluxograma, indicando a sequência das atividades, as decisões tomadas e as interações entre os diferentes setores e recursos envolvidos.

4.3.2 Determinação do *lead time* dos processos e verificação da demanda de cada processo

Com o fluxograma de produção estabelecido, o próximo passo é determinar o *lead time* de cada processo. O *lead time* é o tempo necessário para completar uma etapa do processo, desde o início até o término. Existem diferentes métodos para definir o *lead time*, como medição direta, análise de dados históricos ou simulações. Escolher o método mais apropriado dependerá das características do processo e dos recursos disponíveis.

Com base no planejamento de produção da empresa, será determinada a demanda de cada um dos processos a ser calculado o *lead time*.

4.3.3 Cálculos da ocupação dos processos de produção

Uma vez determinado o *lead time* de cada processo de produção e com os dados de demanda de cada posto de trabalho é possível calcular quais postos de trabalho estão sobrecarregados ou subutilizados, auxiliando na tomada de decisões

relacionadas ao dimensionamento da mão de obra.

4.3.4 Identificação dos gargalos

Após o levantamento atual da ocupação dos postos de trabalho é importante identificar o gargalo, ou seja, o ponto de estrangulamento no processo de produção. O gargalo pode estar relacionado à capacidade produtiva, à falta de recursos adequados ou a problemas na ocupação dos postos de trabalho. É fundamental identificar a origem do gargalo para direcionar as ações corretivas de forma eficaz.

4.4 Análise de dados

A análise de dados foi realizada em quatro passos:

1. Estabelecer o tempo de processamento (*lead time*) de cada processo;
2. Com o *lead time* estabelecido, analisar a capacidade de cada processo, considerando as paradas;
3. Coletar os dados de demanda de cada processo;
4. Dividir a capacidade pela demanda a fim de estabelecer a ocupação de cada processo.

4.5 Proposição de medidas mitigadoras

Para eliminar ou reduzir o impacto do gargalo na produção, é necessário propor ações específicas. Isso pode envolver a realocação de recursos, a otimização do fluxo de trabalho, o investimento em novas tecnologias ou a redefinição das prioridades de produção. É importante considerar o impacto das ações propostas em outras partes do processo para evitar transferir o gargalo de um setor para outro.

Com base nos resultados da análise dos dados, serão propostas medidas mitigadoras para lidar com os gargalos identificados. Essas medidas podem incluir melhorias nos processos de produção, realocação de recursos, implementação de novas tecnologias, treinamento da equipe e revisão das políticas e procedimentos internos. A viabilidade e eficácia dessas medidas serão avaliadas considerando os recursos disponíveis e os objetivos estratégicos da empresa de baterias.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 Apresentação da empresa

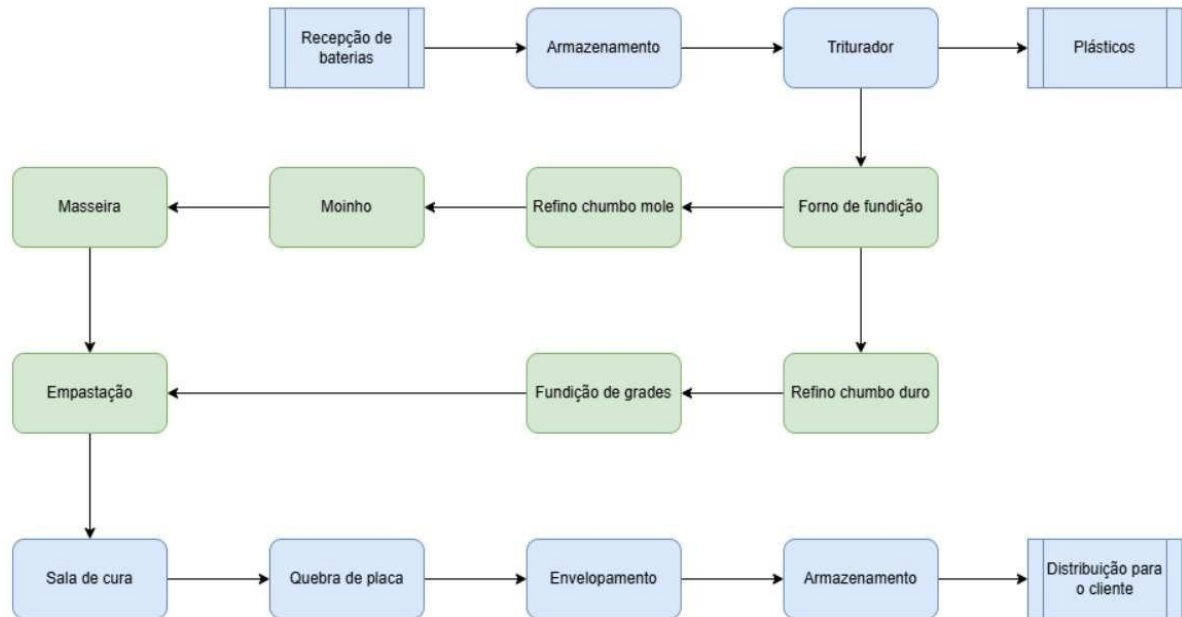
A empresa utiliza a metodologia reversa, também conhecida como manufatura reversa ou logística reversa, para produzir grades a partir de baterias já utilizadas. A metodologia reversa é o processo de reaproveitamento da matéria prima de produtos descartados, com o objetivo de produzir novos bens de consumo. As baterias dessa matéria prima são oriundas de baterias descartadas, produzindo assim baterias chamadas de segunda linha, atendendo aos padrões de qualidade e desempenho esperados, com isso contribuindo para a sustentabilidade, já que reduz o descarte de materiais e a demanda por recursos naturais diminuindo o impacto ambiental.

Para este trabalho foram coletados dados, fornecidos pela empresa, durante o período de 3 meses, a sequência de processos em análise se iniciam no forno de fundição e estendendo-se até a empastação, sendo possível fazer o balanço do processo, em cada uma das etapas. O objeto do estudo em questão é a produção de placas para linha leve usadas para montagem de baterias de carros em outras empresas, representando aproximadamente 80% de sua receita.

5.2 Layout atual

Inicialmente realizou-se o levantamento do fluxo de processos de produção para a elaboração do layout atual processos de produção da empresa, sendo representado pelo fluxograma simplificado, na figura 1.

Figura 1 – Fluxograma simplificado do processo de produção de placas para baterias



Fonte: Autoria própria (2025)

5.3 Ciclo de produção

5.3.1 Triturador de sucata, tanque de separação e forno de fundição

Após serem recebidas, as baterias são armazenadas para então entrarem em fase de manufatura reversa. A primeira etapa de produção é a trituração. Na trituração de sucata é utilizada carcaça de bateria usada que em seguida é despejada diretamente em um tanque de água para a separação do chumbo, que será reutilizado no processo para a fabricação das grades, outros metais, que serão utilizados no forno de fundição de metais para serem utilizados nos processos e do plástico, que é destinado para uma empresa que produz a caixa da bateria automotiva a partir deste material. A Figura 2 apresenta os equipamentos de trituração e separação da sucata.

Figura 2 – Triturador de sucata e tanque de separação



Fonte: Autoria própria (2024)

Após o triturador, o próximo processo é o forno de fundição. O forno de fundição (Figura 3) é o processo em que ocorre a fundição do metal proveniente da sucata, previamente triturada, juntamente com a escória, cinzas e lodo proveniente do tratamento de efluentes líquidos. O material é adicionado ao forno que, quando aquecido, irá fundir os metais. O processo ocorre num espaço de tempo de 3 a 4 horas, gerando então a matéria-prima que será purificada nas painéis de refino. O descarregamento do chumbo fundido é feito através da boca do forno, utilizando um carrinho de material refratário para seu transporte, com auxílio do operador responsável, em seguida o carrinho é conduzido por um cabo de aço até as lingoteiras <formas=, para que esfrie. Após esfriar é feita uma análise para verificar a pureza do chumbo e fazer os ajustes necessários nos próximos processos.

Figura 3 – Forno de fundição



Fonte: Autoria própria (2024)

Posteriormente, o forno opera por mais 2 horas até extração da escória, material que contém resíduos provenientes do processo da sucata, a qual será

destinada a uma caçamba e levada pelo órgão responsável por seu descarte correto. A chama que aquece o forno é constituída por óleo de xisto, limalha de ferro e carvão vegetal em pó e a temperatura de operação aproximadamente 900°C.

5.3.2 Painelas de refino e fundição de grades

As painelas de refino, apresentadas na Figura 4, têm como objetivo produzir a matéria-prima com alta porcentagem de pureza em chumbo para a fabricação das placas. Este processo é dividido em duas etapas: uma em painela de refino de chumbo mole e outra em chumbo duro, com temperaturas de operação de aproximadamente 450 °C. O que a empresa chama de chumbo mole é usado na fabricação de pó de chumbo que será utilizado para a confecção da massa de empastação da placa e o chumbo duro é utilizado na confecção das grades de chumbo.

Figura 4 – Painelas de refino



Fonte: Relatório estrutural (2016)

5.3.2.1 Chumbo mole

A painela de chumbo mole é usada no processo de empastação. A matéria-prima utilizada nesta painela é proveniente do forno de fundição e o chumbo produzido nesse processo deve atingir uma pureza de 99,97 para verificação desta uma análise laboratorial é feita no local por um funcionário responsável. Dessa maneira, o processo necessita que sejam adicionados produtos como: maravalha, enxofre, sal comum, salitre, soda e cal. Quando atingida a pureza do lote é dado início ao processo automático de resfriamento e elaboração das pelotas, para que sejam encaminhadas a próxima etapa, ou seja a masseira.

5.3.2.2 Chumbo duro

O chumbo duro é usado no processo da produção da liga que será utilizada para a fundição das grades. A matéria-prima também é proveniente do forno de fundição, porém o parâmetro de pureza em chumbo é um pouco inferior pois são ligas de chumbo e selênio, sendo necessário a adição de produtos como maravalha, enxofre, soda cáustica 98%, carvão, arsênio, selênio, estanho e antimônio.

Quando atingidos os parâmetros referentes a porcentagem de chumbo e selênio necessários é dado início ao processo automático de acondicionamento em lingoteiras, que serão encaminhadas para a fundição de grades.

O processo de fundição de grades, indicado na Figura 5, é a etapa onde acontece a confecção de grades utilizando os lingotes de chumbo duro. Para seu correto funcionamento, o processo se divide em duas etapas. A primeira etapa é aquela onde o lingote é adicionado manualmente na parte superior da panela fundidora e aquecido até seu derretimento. Já na segunda etapa, a fundidora despeja automaticamente a quantidade correta de material em moldes de sistema pneumático, com auxílio manual da retirada das peças, que serão acondicionadas em paletes, seguindo para a etapa de empastação.

Figura 5 – Fundidora de grades



Fonte: Relatório estrutural (2016)

5.3.3 Moinho e masseira

O moinho de chumbo mole, observado na Figura 6, tem por finalidade

transformar as pelotas vindas do refino de chumbo mole em pó, além de fazer a moagem desta matéria-prima ele transporta o pó de chumbo para o preparo da massa, que irá empastar a grade de chumbo das baterias.

Figura 6 – Moinho de chumbo mole



Fonte: Autoria própria (2024)

Visando a elaboração de uma pasta do pó de chumbo gerado pelo moinho, a masseira (Figura 7) utiliza, além do pó, outros produtos e regulação de temperatura, para atingir o percentual de chumbo livre desejado, sendo assim posteriormente a pasta é encaminhada para o processo de empastação de grades.

Figura 7 – Masseira

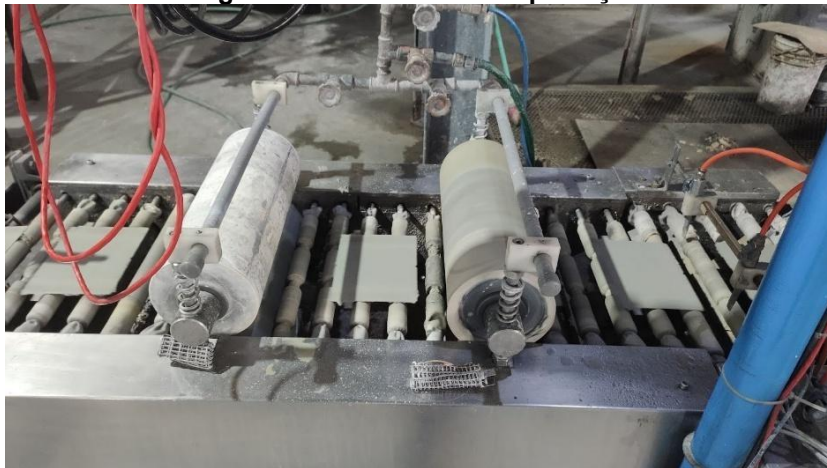


Fonte: Relatório estrutural (2016)

5.3.4 Empastação e sala de cura

O processo de empastação, apresentado na Figura 8, é um sistema integrado de operação onde, inicialmente, as grades são colocadas manualmente na esteira e conduzidas automaticamente para a junção com a massa, caracterizando a etapa como empastação dupla de placas, pois a massa adere às duas superfícies da grade, aumentando a vida útil do produto. Após as grades serem empastadas, elas seguem automaticamente para a estufa de pré-secagem, onde será reduzida a umidade inicial das placas que posteriormente serão acondicionadas na sala de cura. Ao fim do processo de pré secagem, as placas são acondicionadas em cavaletes manualmente e movidas para o próximo processo.

Figura 8 – Processo de empastação



Fonte: Autoria própria (2024)

As placas retiradas da estufa e armazenadas em cavaletes são estocadas em salas de cura durante 48 horas. Tais salas, identificadas pela Figura 9, são responsáveis por manter a uniformidade, padrão de chumbo livre e umidade. Durante o processo de cura, estruturas cristalinas de sulfato de chumbo são formadas, aumentando a eficiência e vida útil do produto.

Figura 9 – Sala de cura

Fonte: Relatório estrutural (2016)

5.3.5 Quebra de placa e envelopamento

Os últimos processos são denominados quebra de placa, Figura 10, e envelopamento, Figura 11. Neste primeiro, é realizada a quebra de placas ao meio, de forma manual, seleção e classificação em positivas e negativas.

Em seguida, as placas partidas e selecionadas são colocadas em paletes e levadas para a alimentação da envelopadeira, que efetua o processo de maneira automática, sendo necessário o acompanhamento apenas na retirada das placas embaladas, dispondo-as de 100 em 100 unidades em caixas de madeira, finalizando assim o processo.

Figura 10 – Quebra de placa

Fonte: Relatório estrutural (2016)

Figura 11 – Envolvimento



Fonte: Autoria própria (2024)

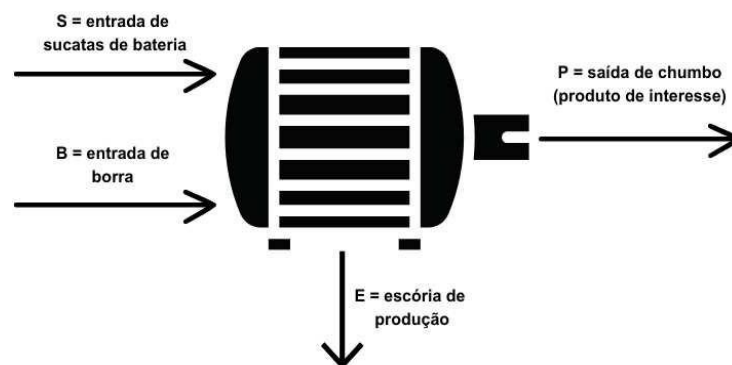
5.4 Capacidade de produção e rendimento

As informações relativas à produção, entradas e saídas de cada processo foram disponibilizadas pela gestora da empresa. Com base nesses dados realizaram-se balanços de massa ao longo de três meses, cujos resultados foram apresentados separadamente em tabelas específicas para cada processo.

5.4.1 Forno de fundição

Para a determinação de produto gerado no forno de fundição é necessária a soma da entrada de sucata de baterias (S) e a entrada de borra (B), já incluso a quantidade de cinza e lodo. Na saída tem-se a pesagem e registro da quantidade de chumbo gerado (P) e da escória de produção (E), que será destinada ao descarte, processo indicado pela Figura 12.

Figura 12 – Fluxograma do forno de fundição



Fonte: Autoria própria (2024)

As equações de rendimento estão ligadas a pureza do chumbo, ou seja, quanto maior o rendimento mais puro é o chumbo, estas equações servem de base para o acompanhamento da qualidade do produto no forno de fundição e painéis de refino de chumbo duro e mole. Além dos registros numéricos de entradas e saídas, calculou-se o rendimento do processo de acordo com a Equação 1.

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{Saída de chumbo}}{(\text{Entrada de sucata de bateria})+(\text{Entrada de borra})} * 100\% \quad (1)$$

Desta forma, a Tabela 1 apresenta os valores de entradas e saídas dos meses de julho, agosto e setembro de 2024, bem como nos demais processos, valores fornecidos pela empresa.

Tabela 1 – Entradas e saídas do forno de fundição

	<i>Entrada S (kg)</i>	<i>Entrada B (kg)</i>	<i>Saída E (kg)</i>	<i>Saída P (kg)</i>	<i>Rendimento (%)</i>
<i>Julho/2024</i>	82.436,00	4.870,00	27.234,00	60.072,00	68,81
<i>Agosto/2024</i>	94.170,00	10.120,00	31.480,00	72.810,00	69,82
<i>Setembro/2024</i>	67.830,00	2.640,00	24.005,00	46.465,00	65,94

Fonte: Autoria própria (2024)

5.4.2 Painel de refino de chumbo duro e mole

As entradas do processo de refino de chumbo duro, voltado para a fabricação de grades, são: (F), que consiste no chumbo retirado do forno de fundição, e (PA), composta pelos produtos de ajuste de pureza. O chumbo purificado é obtido na saída (L) em formato de lingotes, e a borra gerada, que será reintroduzida no forno de fundição, é representada pela saída (B). O fluxograma deste processo encontra-se na Figura 13 e os valores de produção discriminados na Tabela 2.

Figura 13 – Fluxograma da panela de refino de chumbo duro e mole



Fonte: Autoria própria (2024)

Além dos registros numéricos de entradas e saídas, calculou-se o rendimento do processo de acordo com a Equação 2.

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{Saída do chumbo purificado}}{(\text{Entrada de chumbo}) + (\text{Entrada de produtos para ajuste de pureza})} * 100\% \quad (2)$$

Os resultados finais foram apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Entradas e saídas da panela de refino de chumbo duro

	Entrada F (kg)	Entrada PA (kg)	Saída B (kg)	Saída L (kg)	Rendimento (%)
Julho/2024	11.682,00	99,68	1.333,68	10.448,00	88,68
Agosto/2024	14.533,00	64,00	744,00	13.853,00	94,90
Setembro/2024	11.714,00	54,80	812,00	10.902,00	92,63

Fonte: Autoria própria (2024)

Por ver, os resultados para a panela de chumbo mole foram apresentados na Tabela 3, onde o rendimento foi calculado com base na Equação 2.

Tabela 3 – Entradas e saídas da panela de refino de chumbo mole

	Entrada F (kg)	Entrada PA (kg)	Saída B (kg)	Saída L (kg)	Rendimento (%)
Julho/2024	45.794,00	331,00	6.141,00	39.984,00	86,69
Agosto/2024	53.099,00	344,50	7.652,50	45.791,00	85,68
Setembro/2024	34.415,00	255,00	5024,00	29.646,00	85,51

Fonte: Autoria própria (2024)

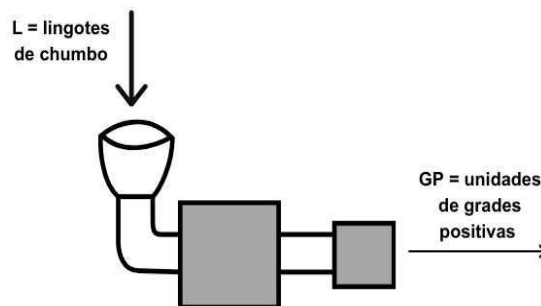
5.4.3 Fundição de grades positivas e negativas

Concluída a etapa de refino do chumbo duro, os lingotes de chumbo, são

direcionados ao processo de fundição das grades. Na montagem de uma bateria automotiva são usadas grades com carga positivas e grades com carga negativa. Nessa fase, os lingotes são colocados na fundidora, de forma manual um a um, e a máquina que procede com a modelagem automática das grades. O peso das grades varia conforme sua tipologia: grades positivas 0,044 kg de chumbo por unidade de grade e negativas 0,034 kg de chumbo por unidade de grade. Neste processo não há perdas todo chumbo que entra sai.

A Figura 14 ilustra a corrente de entrada de chumbo L, representada pelos lingotes, e a corrente de saída GP, composta pelas grades destinadas à confecção da placa positiva.

Figura 14 – Fluxograma da fundição de grades positivas



Fonte: Autoria própria (2024)

Os resultados obtidos no balanço para o processo de fundição de grades positivas são apresentados na Tabela 4.

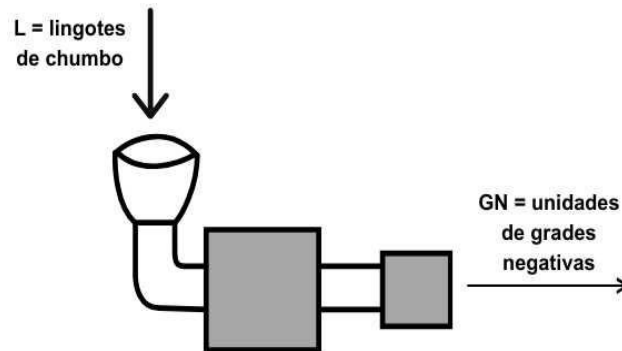
Tabela 4 – Entrada e saída da fundição de grades positivas

	<i>Entrada L (kg)</i>	<i>Saída GP (unid.)</i>
<i>Julho/2024</i>	7.026,82	159.700
<i>Agosto/2024</i>	8.167,77	185.631
<i>Setembro/2024</i>	6.537,32	148.575

Fonte: Autoria própria (2024)

A Figura 15 representa a corrente de entrada de chumbo (L), composta pelos lingotes, e a corrente de saída (GN), formada pelas grades destinadas à fabricação da placa negativa.

Figura 15 – Fluxograma da fundição de grades negativas



Fonte: Autoria própria (2024)

No processo de fundição de grades negativas, obteve-se a Tabela 5.

Tabela 5 – Entrada e saída da fundição de grades negativas

	Entrada L (kg)	Saída GN (unid.)
Julho/2024	3.421,68	100.638
Agosto/2024	5.684,88	167.202
Setembro/2024	4.364,45	128.366

Fonte: Autoria própria (2024)

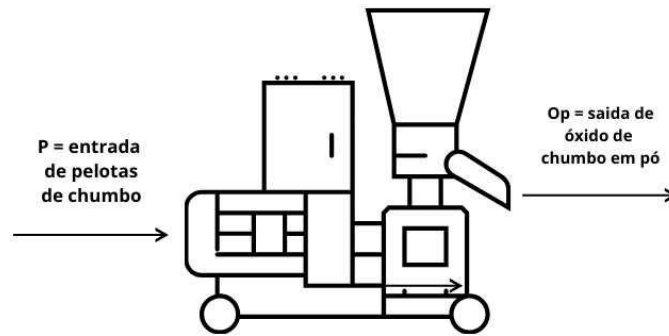
5.4.4 Moinho

A produção de óxido de chumbo (PbO) é realizada a partir das pelotas originadas do refino mole, que são introduzidas no moinho para moagem. Após a moagem, o pó obtido é armazenado por até dois dias, proporcionando tempo suficiente para resfriamento e finalização da cura, antes de ser encaminhado à masseira.

Para controle de qualidade e verificação de chumbo livre, uma análise é feita a cada batelada em laboratório pelo funcionário responsável do processo. Recolhe-se uma amostra de 10 gramas de pó em um *Becker*, onde mistura-se 150 mL de ácido acético e 1500 mL de água, levados ao fogo a 300°C até a solução ficar translúcida, formando a pelota de chumbo livre, que é prensada e pesada, em seguida multiplica-se o valor pesado em 10 para transformar em porcentagem, os parâmetros devem estar entre 25 a 32% , segundo parâmetros da empresa.

A Figura 16 indica como funciona a entrada de pelotas de chumbo P e a saída do pó de chumbo Op.

Figura 16 – Fluxograma do moinho



Fonte: Autoria própria (2024)

A Tabela 6 indica a entrada de pelotas e a produção de Óxido de chumbo em pó produzida pelo processo, pois a massa do oxigênio que se combina com o chumbo durante a oxidação é adicionada à massa inicial do chumbo, logo teremos um peso maior na saída do processo do que na entrada.

Tabela 6 – Balanço do moinho

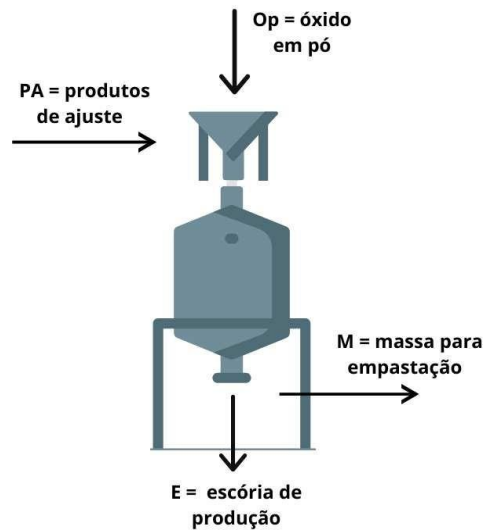
	<i>Entrada P (kg)</i>	<i>Saída Op (kg)</i>
<i>Julho/2024</i>	39.600,00	41.849,00
<i>Agosto/2024</i>	45.791,00	48.392,00
<i>Setembro/2024</i>	29.646,00	31.330,00

Fonte: Autoria própria (2024)

5.4.5 Masseur

A produção da massa é composta por duas entradas: uma contendo óxido em pó Op, proveniente do moinho, e outra com os produtos de ajuste PA. O processo resulta na massa M, pronta para a empastação das grades, e na escória de produção, que é destinada ao descarte. Este fluxo está representado na Figura 17.

Figura 17 – Fluxograma da masseira



Fonte: Autoria própria (2024)

Os resultados de entrada e saída de material para a masseira foram apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Entradas e saídas da masseira

	<i>Entrada Op (kg)</i>	<i>Entrada PA (kg)</i>	<i>Saída E (kg)</i>	<i>Saída M (kg)</i>
<i>Julho/2024</i>	14.631,17	1.664,51	49,62	16.246,06
<i>Agosto/2024</i>	22.227,03	2.453,22	70,92	24.609,34
<i>Setembro/2024</i>	14.295,07	1.592,16	40,10	15.847,13

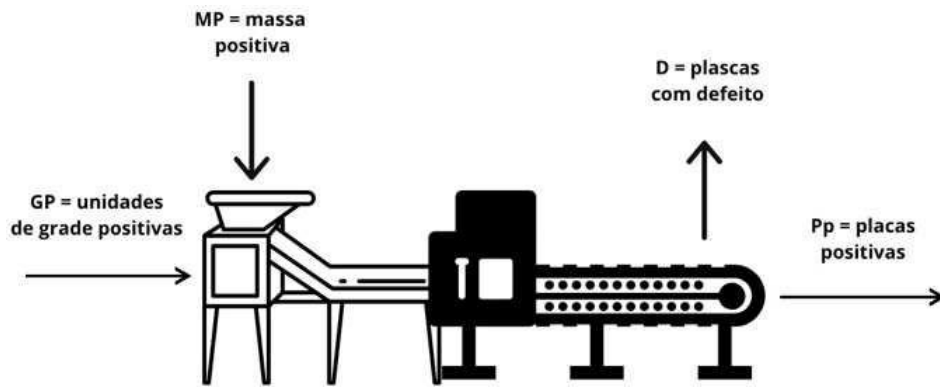
Fonte: Autoria própria (2024)

5.4.6 Empastação de placas positivas e negativas

A empastação consiste na integração da grade com a massa, originando o produto final conhecido como placa. A massa total da placa depende de sua classificação: placas positivas utilizam, por unidade de grade, 0,044 kg de chumbo e 0,079 kg de massa; placas negativas, por sua vez, requerem 0,034 kg de chumbo e 0,083 kg de massa. Este processo é realizado pelo mesmo equipamento, ajustando somente as entradas, das placas pelo operador e da massa pelo painel de controle.

A Figura 18 ilustra as entradas do processo (grades positivas - GP e massa para placas positivas - MP) e as saídas (placas com defeito - D e placas positivas - Pp).

Figura 18 – Fluxograma da empastação de placas positivas



Fonte: Autoria própria (2024)

Os resultados obtidos do processo de empastação de placas positivas são apresentados na Tabela 8.

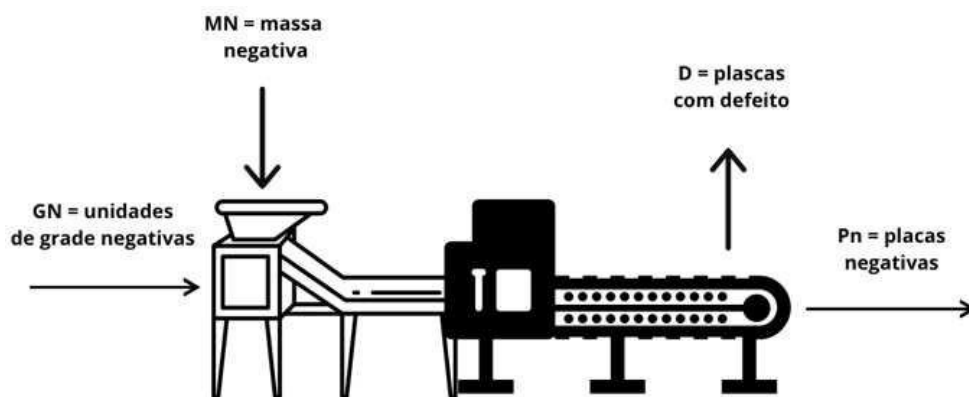
Tabela 8 – Entrada e saída da empastação de placas positivas

	Entrada GP (unid.)	Entrada MP (kg)	Saída D (unid.)	Saída Pp (unid.)
Julho/2024	131.014	10.350,11	200	130.814
Agosto/2024	160.863	12.708,18	300	160.563
Setembro/2024	103.271	8.158,41	150	103.121

Fonte: Autoria própria (2024)

A Figura 19 ilustra as entradas do processo (grades negativas - GN e massa para placas negativas - MN) e as saídas (placas com defeito - D e placas negativas - Pn).

Figura 19 – Fluxograma da empastação de placas negativas



Fonte: Autoria própria (2024)

No processo de empastação de placas negativas, as entradas e saídas foram apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Entrada e saída da empastação de placas negativas

	<i>Entrada GN (unid.)</i>	<i>Entrada MN (kg)</i>	<i>Saída D (unid.)</i>	<i>Saída Pn (unid.)</i>
<i>Julho/2024</i>	71.436	5.929,19	210	71.226
<i>Agosto/2024</i>	143.989	11.951,09	316	143.673
<i>Setembro/2024</i>	92.963	7.715,93	185	92.778

Fonte: Autoria própria (2024)

5.5 Lead Time dos Processos

Cada um dos processos possui um tempo para seu processamento, conhecido na literatura como Lead Time.

Foi feito uma média dos 3 meses em questão e apresentou um total de 18 dias trabalhados por mês, para a produção das placas que constituem o objeto do presente estudo.

O lead time de cada processo é apresuntado na Tabela 10 a seguir em relação ao tempo operacional de cada processo.

Tabela 10 – Lead time de cada processo

<i>Processo</i>	<i>Dias de funcionamento no mês</i>	<i>Horas trabalhadas por dia</i>	<i>Total de horas trabalhadas no mês</i>
<i>Forno de fundição</i>	16	8:00	128
<i>Panela de refino chumbo duro</i>	2	6:00	12
<i>Panela de refino chumbo mole</i>	9	6:00	54
<i>Fundição de Grades positivas e negativas</i>	16	6:00	96
<i>Moinho</i>	10	8:00	80
<i>Masseira</i>	18	6:30	117
<i>Empastação positiva e negativa</i>	18	6:00	108

Fonte: Autoria própria (2025)

5.6 Identificação dos gargalos

Considerando a capacidade de cada processo de acordo com seu rendimento, o lead time de cada processo e, levando-se em consideração a demanda da fábrica, foram determinados os índices de ocupação de cada processo. Lembrando que o objeto do estudo são a produção de placas para linha leve usadas para montagem de baterias de carros em outras empresas, que representam 80% da renda desta empresa.

Para cálculo da capacidade real foi feita uma média utilizando os dados de saída dos 3 meses estudados para cada um dos processos. Os dados de Demanda foram fornecidos pela empresa conforme a média de vendas das placas dos 3 meses de estudo. Por fim o Índice de ocupação pode ser calculado através da Equação 3.

$$\text{Índice de ocupação de cada processo (\%)} = \frac{\text{Demanda}}{\text{Capacidade real}} * 100\% \quad (3)$$

Conforme a Tabela 11 temos os seguintes resultados para a ocupação de cada processo.

Tabela 11 – Índices ocupacionais de cada processo

<i>Processo</i>	<i>Capacidade Real (kg/mês)</i>	<i>Demanda (kg/mês)</i>	<i>Índice de ocupação do processo (%)</i>
<i>Forno de fundição</i>	59782,33	30635,15	51,24
<i>Panela de refino chumbo duro</i>	11734,33	10734,31	91,48
<i>Fundição de grades positivas</i>	7243,97	6243,97	86,20
<i>Fundição de grades negativas</i>	4490,34	3990,34	88,86
<i>Panela de refino chumbo mole</i>	38473,67	18900,84	49,13
<i>Moinho</i>	40523,67	18900,84	46,64
<i>Masseira</i>	18900,84	18900,84	100
<i>Empastação placas positivas</i>	16201,07	16201,07	100
<i>Empastação placas negativas</i>	12027,13333	12027,13	100

Fonte: Autoria própria (2024)

Dessa maneira, podemos observar que os processos mais ocupados são a masseira e empastação, determinando assim nossos principais gargalos de produção. Lembrando que a empastação depende 100% do processo de produção de massa pois estão ligados.

5.7 Proposta de melhoria de gargalos

Com o objetivo de aumentar a produção do produto final (placas positivas e negativas), observa-se que a implantação de uma nova masseira se configura como uma proposta viável e pertinente a ser considerada. A empresa já possui capacidade instalada suficiente para ampliar a produção de grades, sendo possível atingir esse aumento mediante a extensão da jornada de refino de chumbo duro por um ou dois dias, o que resultaria em maior volume de fundição. Adicionalmente, destaca-se que o chumbo em pó, matéria-prima essencial para a formulação da massa, é produzido em abundância pelo moinho. Dessa forma, com a disponibilidade tanto de grades para empastação quanto de matéria-prima para a preparação da massa, a restrição atual recai sobre a capacidade da masseira. Assim, faz-se necessário ampliar as horas de operação do equipamento existente ou, preferencialmente, considerar a instalação de uma nova masseira para atender à demanda produtiva crescente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado permitiu através da aplicação das metodologias sugeridas como balanço de massa, determinação do lead time cálculo do índice de ocupação dos processos identificar os pontos de maior estrangulamento da cadeia de produção.

Os resultados obtidos demonstraram que os processos da maseira e da empastação operam com 100% de ocupação, configurando-se como os principais gargalos da produção. Essa descoberta é estratégica, pois a eficiência e a capacidade desses setores impactam diretamente a produtividade final da empresa. Através da análise do índice de ocupação, confirmou-se que, apesar de haver capacidade ociosa em etapas anteriores do processo, a limitação imposta por esses dois setores compromete a ampliação da produção e, conseqüentemente, o aumento de faturamento.

Com base nessas constatações, este estudo propôs medidas mitigadoras viáveis, como a ampliação da jornada de operação da maseira existente ou, preferencialmente, a aquisição de uma nova unidade. A proposta se mostrou tecnicamente justificável, considerando que tanto a matéria-prima em pó (produzida pelo moinho) quanto as grades para empastação já estão disponíveis em volumes compatíveis com um possível aumento de produção. Ou seja, a capacidade instalada da planta comporta a expansão sem exigir investimentos generalizados em todas as etapas do processo.

Além de atender aos objetivos específicos do trabalho – como a identificação dos processos críticos, o cálculo do lead time e o mapeamento da capacidade real de produção – a pesquisa contribui de maneira prática para a tomada de decisão da empresa analisada, entregando dados concretos e confiáveis que podem nortear futuros investimentos em aumento de capacidade.

Por fim, ainda que o estudo tenha focado em uma parte do processo produtivo e não tenha abrangido 100% da produção da empresa, ele fornece uma base sólida para análises futuras, reforçando a importância de abordagens sistemáticas para a identificação e resolução de gargalos. A continuidade dessa linha de pesquisa poderá incorporar novas tecnologias, como simulações computacionais e automação industrial, ampliando ainda mais os ganhos de produtividade e competitividade para o setor.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Walderik Severo de. **Análise do fluxo de material para armazenagem e movimentação em um processo de fabricação de baterias automotivas**. 2013. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.
- CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro de; BARROS, Daniel Chiari; VEIGA, Suzana Gonzaga da. Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 37, p. 443-496, mar. 2013.
- CRUZ, Felipe Novaes. **Redução do lead time para emissão dos certificados de calibração de uma empresa prestadora de serviços e equipamentos**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- DAUDT, Gabriel Marino; WILLCOX, Luiz Daniel. **Indústria automotiva**. São Paulo: Atlas, 2018.
- FERNANDES, Josely Dantas *et al.* Estudo de impactos ambientais em solos: o caso da reciclagem de baterias automotivas usadas, tipo chumbo-ácido. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 45-62, 2011.
- FERREIRA, Adrianus de Queiroz. **Panorama da indústria de baterias automotivas: tecnologias da transição para eletrificação**. 2019. Monografia (Especialização em Engenharia Automotiva) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.
- LEAL, Luiza Masseno de Pinho Santiago. **O processo de transição energética e a introdução da mobilidade elétrica: um estudo de caso de Portugal**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.
- LTDA, Urio Industrial Baterias. **Relatório estrutural**. Marmeleiro, PR. Urio Industrial Baterias, 2016.
- MACHADO, I. A demanda mundial de minerais críticos. **Brasil Mineral**, São Paulo, v. 28, p. 58-75, 2011.
- MOREIRA, Elisa Danielewicz; SANTÂNGELO, Caio César Ferrari. Logística reversa: um estudo em relação ao retorno/descarte e sustentabilidade de baterias automotivas da empresa Erbs Comércio de Acumuladores Ltda. In: SEMANA CIENTÍFICA E DE EXTENSÃO DO CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS, 7., 2019, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Centro Universitário FEI, 2019. v. 7, n. 1.
- NASSER, Mario. **O método de gestão Lean Manufacturing e a Indústria 4.0**. São Paulo: Saraiva, 2021.

PEREIRA, Cesar Augusto *et al.* **Marketing e sustentabilidade: um estudo de viabilidade para a utilização de fontes alternativas de energia para o transporte rodoviário de passageiros.** Curitiba: Appris, 2019.

SILVA, Graça Maria Meireles de Carvalho *et al.* **Metais e Ligas Metálicas: Uma abordagem experimental no secundário.** São Paulo: Edusp, 2007.

SOARES, Morgane Lara Cunha. **Dinâmica da indústria de baterias automotivas atuante no Brasil nos anos 2000: um estudo da performance, estrutura de mercado, ameaças e tendências tecnológicas.** 2015. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

TRAMONTIN, Anselmo Gomes *et al.* **Ações de produção do conhecimento e transferência de tecnologia relacionadas com veículos elétricos: estudo no campus Ponta Grossa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.** 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2022.

VEYRAT, Pierre. Mapeamento de processos e fluxograma pode ajudar a empresa? **Venki**, 2016. Disponível em: <https://www.venki.com.br/blog/mapeamento-de-processos-e-fluxograma/>. Acesso em: 30 maio 2025.

COUTINHO, Thiago. O que é lead time? Saiba seu significado e como calcular. **Voitto**, 2019. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/lead-time>. Acesso em: 30 maio 2025.

SESTREM, Thatiana. Gargalos de produção: o que são, como identificá-los e resolvê-los. **QualyTeam**, 2021. Disponível em: <https://qualyteam.com/pb/blog/gargalos-de-producao/>. Acesso em: 30 maio 2025.