


CHUMBO NAS RODAS AUTOMOTIVAS: ENTRE O EQUILÍBRIO MECÂNICO E O DESEQUILÍBRIO AMBIENTAL

LEAD IN AUTOMOTIVE WHEELS: BETWEEN MECHANICAL BALANCE AND ENVIRONMENTAL IMBALANCE

PLOMO EN LAS RUEDAS DE AUTOMÓVILES: ENTRE EL EQUILIBRIO MECÁNICO Y EL DESEQUILIBRIO AMBIENTAL

 <https://doi.org/10.56238/arev7n9-228>

Data de submissão: 24/08/2025

Data de publicação: 24/09/2025

Marielle de Souza

Graduanda em Engenharia Química

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Ponta Grossa

E-mail: souzam.2004@alunos.utfpr.edu.br

Caio Souza Marins

Graduado em Engenharia Química

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Ponta Grossa

E-mail: caiom@alunos.utfpr.edu.br

Lucas Andre Eidt

Graduado em Engenharia Química

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Ponta Grossa

E-mail: lucasaeidt@gmail.com

Gabriel Angelo Santos

Graduado em Engenharia Química

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Ponta Grossa

E-mail: gabrielangelosantos@alunos.utfpr.edu.br

Luciano Fernandes

Instituição: Departamento de Química (DAQUI), Universidade Tecnológica Federal do

Paraná - Campus Ponta Grossa

E-mail: lfernandes@utfpr.edu.br

André Hekermann Buss

Instituição: Departamento Engenharia Mecânica (DAMEC), Universidade Tecnológica

Federal do Paraná - Campus Ponta Grossa

E-mail: ahbuss@utfpr.edu.br

RESUMO

O que equilibra um carro pode desequilibrar o planeta. O chumbo, amplamente usado no balanceamento automotivo, permanece como um vilão silencioso: tóxico, persistente e capaz de comprometer tanto a saúde humana quanto o meio ambiente. Este estudo combina uma revisão sistemática, baseada na metodologia Methodi Ordinatio, e uma pesquisa de campo em oficinas de Ponta Grossa (PR) para expor a realidade desse problema oculto. Os resultados revelam que, apesar

da existência de alternativas mais seguras, o chumbo ainda predomina, muitas vezes descartado de forma inadequada. A pesquisa não apenas denuncia os riscos, mas aponta caminhos para uma transição sustentável, evidenciando a necessidade urgente de políticas públicas, inovação e mudança cultural no setor automotivo. Mais do que um alerta, este trabalho é um convite à ação por um futuro equilibrado entre mobilidade e sustentabilidade.

Palavras-chave: Chumbo. Balanceamento Automotivo. Toxicidade.

ABSTRACT

What balances a car can unbalance the planet. Lead, widely used in automotive balancing, remains a silent villain: toxic, persistent, and capable of compromising both human health and the environment. This study combines a systematic review, based on the Methodi Ordinatio methodology, and field research in workshops in Ponta Grossa, Paraná, to expose the reality of this hidden problem. The results reveal that, despite the existence of safer alternatives, lead remains prevalent, often disposed of improperly. The research not only highlights the risks but also points to paths for a sustainable transition, highlighting the urgent need for public policies, innovation, and cultural change in the automotive sector. More than a warning, this work is a call to action for a future balanced between mobility and sustainability.

Keywords: Lead. Automotive Balancing. Toxicity.

RESUMEN

Lo que equilibra un coche puede desequilibrar el planeta. El plomo, ampliamente utilizado en el equilibrado de automóviles, sigue siendo un villano silencioso: tóxico, persistente y capaz de comprometer tanto la salud humana como el medio ambiente. Este estudio combina una revisión sistemática, basada en la metodología Methodi Ordinatio, e investigación de campo en talleres en Ponta Grossa, Paraná, para exponer la realidad de este problema oculto. Los resultados revelan que, a pesar de la existencia de alternativas más seguras, el plomo sigue siendo prevalente y a menudo se desecha de forma inadecuada. La investigación no solo destaca los riesgos, sino que también señala caminos para una transición sostenible, destacando la urgente necesidad de políticas públicas, innovación y cambio cultural en el sector automotriz. Más que una advertencia, este trabajo es un llamado a la acción para un futuro equilibrado entre movilidad y sostenibilidad.

Palabras clave: Plomo. Equilibrado Automotriz. Toxicidad.

1 INTRODUÇÃO

Diante da crescente preocupação com a preservação dos recursos naturais, torna-se cada vez mais fundamental buscar soluções que sejam tanto sustentáveis quanto inovadoras. O conceito de desenvolvimento sustentável, introduzido pelo Relatório Brundtland, elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED, 1987) ressalta a importância de atender às necessidades atuais sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazerem suas próprias demandas. Essa proposta serve de base para a Agenda 2030 da ONU, lançada em 2015, que estabeleceu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Dentre eles, o ODS 12 dedica-se ao consumo e à produção responsáveis. Nesse contexto, a meta 12.4 reforça a necessidade de assegurar uma gestão ambientalmente adequada de produtos químicos e resíduos ao longo de todo o seu ciclo de vida, com o objetivo de reduzir significativamente a liberação de substâncias no solo, na água e no ar, minimizando seus impactos negativos à saúde humana e ao meio ambiente.

O chumbo é amplamente reconhecido como um dos metais mais perigosos para o meio ambiente, devido à sua capacidade de se acumular no solo e nos organismos vivos. Essa bioacumulação representa uma ameaça significativa à saúde humana, podendo provocar alterações neurológicas, disfunções renais e distúrbios no desenvolvimento infantil (ARAUJO et al., 2019). Mesmo em doses mínimas, a exposição ao chumbo tem provocado efeitos devastadores no desenvolvimento cerebral infantil, resultando em dificuldades de aprendizado, alterações comportamentais e déficits cognitivos. Em adultos, essa exposição pode causar complicações cardiovasculares, renais e outros problemas de saúde (RAJ; DAS, 2023). Conforme apontam estudos recentes sobre a bioacumulação de chumbo em adultos (COLLIN et al., 2022), esse metal, ao ser absorvido pelo organismo, se deposita em tecidos como ossos e cérebro, atuando como uma neurotoxina de longa duração. Por não poder ser naturalmente eliminado, o chumbo se acumula progressivamente, provocando efeitos tóxicos contínuos e representando uma séria ameaça à saúde humana e ao meio ambiente.. Estudos de (SHVACHIY et al. 2025) indicam que, mesmo em situações de exposição intermitente, o chumbo pode agravar doenças neurodegenerativas, como Parkinson e demência. Os autores também evidenciam alterações comportamentais, déficits de memória e danos neuronais, demonstrando uma relação direta entre a exposição a toxinas ambientais e o desenvolvimento de distúrbios neurológicos.

A indústria automotiva, responsável pela produção em massa de veículos em escala global, gera uma demanda significativa por componentes e tecnologias associadas à manutenção e ao desempenho dos automóveis. Considerando que cada carro possui, em média, quatro rodas, a aplicação de sistemas de balanceamento torna-se essencial. Nesse contexto, uma das utilizações do chumbo é justamente no balanceamento automotivo, onde desempenha a função de equilibrar o peso das rodas, prevenindo

vibrações indesejadas, prolongando a vida útil dos pneus e contribuindo para a segurança e o desempenho do veículo (JACYNA; SEMENOV, 2020).

No entanto, o descarte inadequado desses contrapesos, especialmente quando dispersos nas vias públicas, evidencia a necessidade de buscar alternativas mais sustentáveis. Materiais derivados de resinas, especialmente os biodegradáveis e de origem renovável, emergem como opções promissoras para substituir o uso do chumbo, promovendo a redução do impacto ambiental ao longo de toda a cadeia de vida do produto (KORONIS et al., 2013). A adoção de materiais renováveis e biodegradáveis também reforça os princípios da economia circular (GEISSDOERFER et al., 2017). Para que esses materiais sejam viáveis econômica e tecnicamente, é fundamental que apresentem boas propriedades mecânicas, como resistência ao desgaste e durabilidade, além de se manterem competitivos em relação ao custo do chumbo.

Este estudo tem como objetivo compreender, por meio de uma revisão bibliográfica sistemática e de uma pesquisa de campo realizada na cidade de Ponta Grossa (PR), o panorama atual acerca dos impactos ambientais decorrentes do uso de chumbo em balanceamentos automotivos. Busca-se analisar as práticas adotadas para o descarte desses materiais, identificar possíveis riscos à saúde pública e ao meio ambiente, além de avaliar alternativas sustentáveis viáveis para substituição do chumbo. Dessa forma, espera-se contribuir para o desenvolvimento de políticas e estratégias que promovam a redução dos impactos negativos relacionados a esse metal pesado, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade e da economia circular.

O uso persistente de chumbo em aplicações automotivas, especialmente na equilibragem de rodas, apresenta uma ameaça séria ao meio ambiente e à saúde pública, muitas vezes negligenciada. Apesar de seu alto grau de toxicidade e resistência à decomposição, o chumbo continua sendo amplamente utilizado, aumentando o risco de contaminação do solo, da água e do ar, particularmente em regiões urbanas com grande fluxo de veículos, como Ponta Grossa (PR). A ausência de alternativas tecnológicas amplamente acessíveis, aliada ao descarte inadequado dos contrapesos de chumbo, intensifica a exposição da população a esse contaminante, agravando problemas neurológicos, renais e outros distúrbios de saúde já estabelecidos por estudos científicos. Este estudo se faz imprescindível para evidenciar a magnitude do problema, alertar para os riscos do uso contínuo de chumbo e promover a adoção emergente de medidas sustentáveis, políticas públicas eficazes e tecnologias alternativas que possam minimizar esses impactos.

2 METODOLOGIA

2.1 METODOLOGIA ORDINATIO

A revisão sistemática é uma forma bem estruturada e cuidadosa de buscar, selecionar e juntar informações importantes com precisão. Neste trabalho, optamos por essa abordagem para consolidar o que já sabemos sobre os impactos ambientais do chumbo na indústria automotiva e também para explorar alternativas que ajudam a promover a sustentabilidade. Para isso, usamos a metodologia Methodi Ordinatio, criada por (PAGANI et al. 2015), que organiza os artigos com base em critérios como a relevância do jornal, o ano de publicação e a quantidade de citações, usando o índice InOrdinatio para ordenar os resultados.

$$\text{InOrditatio} = (\text{FI}/1000) + \alpha \cdot (2024 - \text{Ano Publicação}) + \beta \cdot \text{Citação}$$

Onde:

FI: Fator de impacto da revista onde o artigo foi publicado. AnoPublicação: Ano de publicação do artigo.

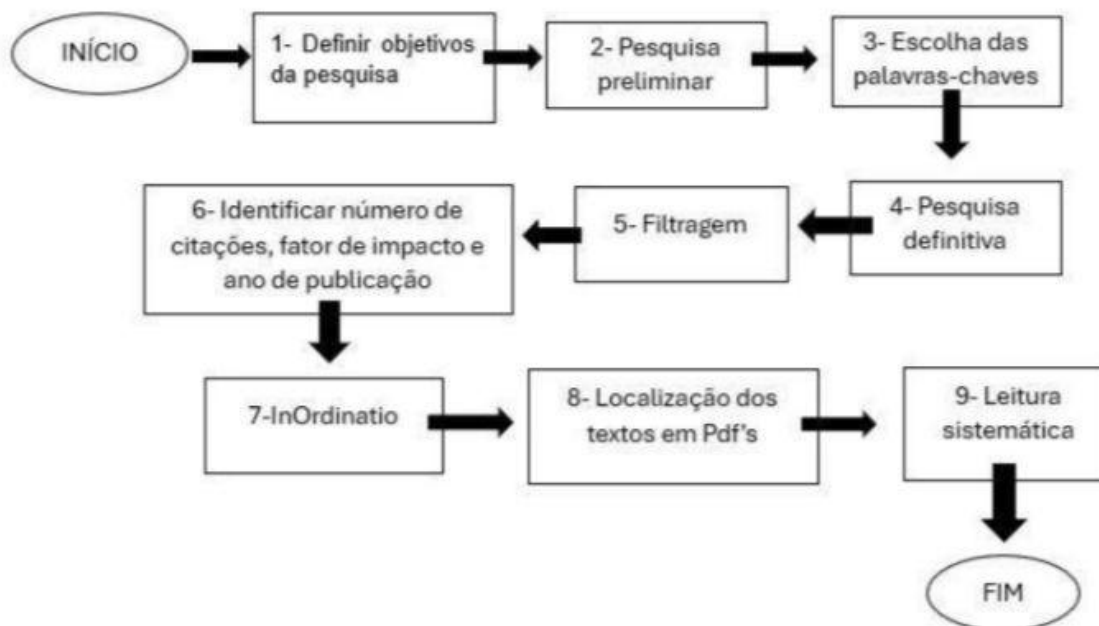
Citações: Número de citações do artigo.

α e β : Pesos ajustáveis conforme os objetivos do estudo.

Para este trabalho, Adotaram-se $\alpha = 1$ e $\beta = 1$, os valores padrões da metodologia.

A metodologia Ordinatio de forma ampla é organizada em nove etapas principais, conforme a imagem abaixo:

Figura 1 - Fluxograma das Etapas do Processo de Revisão Sistemática



Fonte: Adaptado de (PAGANI et al., 2015)

A seguir apresentamos a definição e desenvolvimento de cada etapa para o presente trabalho de revisão sistemática:

2.1.1 Etapa 1: Estabelecendo a Intenção de Pesquisa

Nesta fase, a revisão sistemática teve como objetivo compreender o panorama atual dos estudos referentes ao impacto ambiental e social do chumbo no contexto do balanceamento automotivo. A análise considerou as contribuições acadêmicas, avaliou alternativas existentes e sugeriu possíveis direções para futuras investigações.

2.1.2 Etapa 2: Pesquisa Preliminar nas Bases de Dados

Para realizar esta etapa, foram selecionadas as bases de dados Scopus, ScienceDirect e Web of Science. Essas bases foram escolhidas devido à sua abrangência e relevância na indexação de publicações científicas de alta qualidade, garantindo acesso a estudos significativos nas áreas de interesse.

2.1.3 Etapa 3: Levantamento de Dados Brutos

Nesta etapa, foram definidos e aplicados os descritores de pesquisa relevantes ao tema, com a finalidade de identificar a frequência de publicações relacionadas. Os resultados obtidos a partir das combinações entre os termos evidenciam o volume expressivo de estudos sobre “Toxicidade” e “Pb”,

enquanto as associações mais específicas, como “Pb AND Wheel Balancing” e “Toxicity AND Wheel Balancing”, apresentaram baixa incidência, sinalizando uma lacuna ainda pouco explorada na literatura científica.

Os dados quantitativos obtidos nessa etapa estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultado Preliminar da Pesquisa Bruta

Palavras Chaves	Scopus	Science Direct	Web of Science	Total
Pb	78.841	401.157	183.870	663.868
Toxicity	96.591	289.822	630.587	1.017.000
Wheel Balancing	59	430	151	640
Pb AND Toxicity	5.843	21.689	3.217	30.749
Pb AND Wheel Balancing	1	17	1	19
Toxicity AND Wheel Balancing	0	5	0	5

Fonte: Autoria Própria (2025)

2.1.4 Etapa 4: Pesquisa Definitiva nas Bases de Dados e uso dos softwares de gerenciamento de referências

Foram conduzidas buscas detalhadas nas bases de dados Scopus, ScienceDirect e Web of Science, fortalecendo a fase inicial de coleta de dados. Os artigos foram posteriormente exportados para os softwares JabRef e Mendeley Reference, ferramentas que facilitaram a eliminação de duplicatas e a organização sistemática das referências, contribuindo para a otimização do gerenciamento e da análise nas etapas subsequentes.

2.1.5 Etapa 5: Procedimentos de Filtragem

Após o levantamento inicial dos dados nas bases Scopus, Science Direct e Web of Science, foi realizada uma etapa de filtragem com o objetivo de refinar os resultados obtidos. Nesse processo, primeiramente foram eliminados trabalhos duplicados entre as bases, assim como aqueles que não estavam diretamente relacionados ao tema de pesquisa. Em seguida, os artigos remanescentes foram organizados em planilhas do Excel, possibilitando a análise de elementos como número de citações, fator de impacto (JCR) e ano de publicação.

Esse processo de filtragem permitiu reduzir significativamente o número de registros, gerando uma tabela mais objetiva e representativa dos estudos relevantes, que servirá de base para a aplicação do método InOrdinatio (PAGANI et al., 2015).

Tabela 2 - Resultado da Pesquisa Após Filtragem

Palavras Chaves	Scopus	Science Direct	Web of Science	Total
Pb	12	8	10	30
Toxicity	14	9	5	28

Wheel Balancing	8	4	3	15
Pb AND Toxicity	5	4	2	11
Pb AND Wheel Balancing	0	1	0	1
Toxicity AND Wheel Balancing	0	0	0	0

Fonte: Autoria Própria (2025)

2.1.6 Etapa 6: Identificação do Fator de Impacto, Ano de Publicação e Número de Citações

Nesta etapa, foram analisados manualmente o fator de impacto, o ano de publicação e o número de citações de todos os 85 artigos selecionados após a filtragem conforme mostra a Tabela 2. Essas informações foram levantadas individualmente nas bases científicas e nos periódicos correspondentes, sendo posteriormente organizadas em planilha no Google Sheets. Essa estrutura possibilitou a criação de uma base de dados consolidada para aplicação do índice InOrdinatio.

2.1.7 Etapa 7: Aplicação do Índice InOrdinatio e Seleção por Ano de Publicação

Com os dados organizados, aplicou-se o índice InOrdinatio para mensurar a relevância dos 85 artigos, considerando o fator de impacto, número de citações e ano de publicação. Os artigos foram então classificados em ordem decrescente de relevância. Em seguida, aplicou-se o recorte temporal, restringindo a seleção aos trabalhos publicados entre 2020 e 2025. Como resultado, foram selecionados 33 artigos finais, dispostos em tabela que destaca aqueles com maior índice de InOrdinatio.

2.1.8 Etapa 8: Leitura Sistemática e Análise Crítica dos Artigos

A leitura integral dos 33 artigos priorizados permitiu uma análise detalhada de suas metodologias, resultados e conclusões. Foram avaliadas as abordagens utilizadas, a coerência dos achados e suas contribuições tanto teóricas quanto práticas. As informações extraídas foram sistematizadas em planilha online, o que facilitou a comparação dos aspectos mais relevantes de cada estudo.

2.2 METODOLOGIA DA PESQUISA DE CAMPO

A presente análise detalhada revelou falhas consideráveis nas pesquisas existentes sobre a utilização de chumbo para equilibrar rodas de veículos, com ênfase nas rotinas regionais e locais. Embora os perigos do chumbo para a saúde sejam bem conhecidos, a forma como ele é administrada na América Latina, incluindo o Brasil, permanece obscura, já que as condições financeiras e as leis são diferentes das dos países ricos. Isso levou à realização de uma pesquisa em Ponta Grossa (PR) para entender melhor como o chumbo é usado nas oficinas mecânicas da cidade.

Ademais, quase não existem estudos práticos sobre opções viáveis ao chumbo disponíveis no mercado, seus efeitos duradouros e o setor de balanceamento de rodas, o que demonstra a importância de uma perspectiva mais prática. Desse modo, a investigação de campo deste estudo foi elaborada para verificar e enriquecer as informações teóricas, unindo ideias a dados concretos do cotidiano das oficinas mecânicas. O estudo foi conduzido em fases estruturadas para assegurar precisão e eficácia na coleta e interpretação das informações sobre o uso do chumbo nesses estabelecimentos.

2.2.1 Etapa: Preparação do Formulário

Um dia antes da primeira visita, foi elaborado um formulário com perguntas diretas para a coleta de dados. O formulário foi desenvolvido com foco na objetividade e clareza, contendo questões que buscavam identificar as seguintes informações:

- Nome do empreendimento
- Quantidade média de chumbo recebida mensalmente
- Utilização de alternativas ao chumbo no balanceamento
- Métodos de destinação dos resíduos de chumbo usados.

2.2.2 Etapa: Realização das Visitas

As visitas aos centros automotivos foram realizadas em duas datas distintas, 26 de outubro e 2 de novembro. As datas foram selecionadas de acordo com a disponibilidade dos responsáveis pelos estabelecimentos e pensando em um contexto onde os responsáveis estariam presentes, garantindo que o responsável da pesquisa de campo pudesse alcançar o maior número possível de centros e obter uma amostra representativa das práticas relacionadas ao uso do chumbo no balanceamento automotivo.

2.2.3 Etapa: Abordagem aos Centros

No início da visita o objetivo da pesquisa foi apresentado diretamente aos responsáveis pelos centros automotivos. Se explicou sobre o impacto ambiental do uso de chumbo e a importância do estudo para avaliar alternativas menos prejudiciais ao meio ambiente. A abordagem teve como objetivo ser conduzida da forma mais clara e direta possível, para criar um ambiente de confiança que facilitasse a colaboração e a disponibilidade para responder ao formulário.

2.2.4 Etapa: Entrega do Formulário

Após a abordagem inicial, os formulários foram entregues aos responsáveis pelos centros automotivos para preenchimento em um formulário online onde não era diretamente o responsável que

precisava responder naquele momento. Os participantes foram devidamente orientados sobre o preenchimento correto e receberam a garantia de que o responsável da pesquisa estaria disponível para esclarecer quaisquer dúvidas relacionadas às perguntas, tanto durante a visita quanto posteriormente.

2.2.5 Etapa: Estabelecimento do Prazo

Para garantir a organização e o retorno dentro do tempo necessário, foi estipulado um prazo máximo de 20 de dezembro para a devolução dos formulários preenchidos. Essa data foi comunicada de forma clara aos responsáveis dos centros automotivos, proporcionando um período adequado para que as respostas fossem preparadas e devolvidas com qualidade.

2.2.6 Etapa: Recebimento dos Formulários

Ao final do prazo estabelecido, foram recebidas respostas de 19 centros automotivos, representando um retorno significativo para a pesquisa. Os formulários devolvidos foram organizados e catalogados para facilitar as etapas subsequentes de tratamento e análise dos dados coletados.

2.2.7 Etapa: Análise dos Dados

Depois que todos os dados foram coletados, organizamos todos esses dados e realizamos uma avaliação minuciosa. A análise incluiu uma investigação dos padrões e tendências do uso dos balanceamentos com chumbo e das práticas de descarte desses componentes, bem como a adoção de alternativas ao chumbo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O USO DO CHUMBO E SEUS IMPACTOS

O chumbo é um metal pesado que possui ampla utilização em diferentes setores industriais, devido à sua alta densidade, maleabilidade e custo acessível (NEEDLEMAN, 2004). Entretanto, é fundamental reconhecer que o chumbo é um elemento altamente tóxico, capaz de causar impactos ambientais severos e representar riscos consideráveis à saúde humana. Como um poluente persistente, ele contamina solos, corpos d'água e a atmosfera, além de possuir uma notável capacidade de bioacumulação, afetando negativamente a fauna, a flora e os ecossistemas ao redor do mundo EPA (2019).

De acordo com dados da ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), uma agência norte-americana vinculada ao CDC responsável pela avaliação dos riscos à saúde relacionados a substâncias tóxicas, a exposição ao chumbo pode levar a danos neurológicos, cardiovasculares e

renais graves, chegando, em alguns casos, a ser fatal. Mesmo em concentrações relativamente baixas, o chumbo apresenta riscos relevantes, sobretudo para as crianças, que são particularmente vulneráveis aos seus efeitos neurotóxicos OMS (2019). Estudos indicam que aproximadamente 12 toneladas de chumbo são liberadas anualmente no meio ambiente, principalmente devido ao uso de contrapesos automotivos (AUCOTT; CALDARELLI, 2012), sendo a sua dispersão predominantemente observada em áreas urbanas de intenso tráfego (KIM et al., 2018)

3.2 BALANCEAMENTO AUTOMOTIVO E OS CONTRAPESOS DE CHUMBO

A calibragem das rodas é uma prática indispensável para manter o carro em boas condições, assegurando que ele ande de forma estável, que os pneus não se gastem de maneira desigual e que seja mais fácil de dirigir (ZACARIAS, 2021). Essa correção é feita adicionando pequenos pesos nas rodas, geralmente feitos de chumbo por causa das suas características (BRUNNO et al., 2018).

Acontece que esses pesos podem se desprender com o uso e acabar nas ruas, onde são desgastados pelos carros, quebrando-se em pedaços que poluem o meio ambiente (FRAZER; VAN DER TOUW, 2014). Essa poluição faz com que as pessoas fiquem expostas ao metal por um longo período, afetando tanto quem trabalha com isso quanto a população em geral.

3.3 REGULAMENTAÇÕES E TRANSIÇÃO PARA MATERIAIS SUSTENTÁVEIS

A preocupação cada vez maior com os efeitos nocivos do chumbo resultou no desenvolvimento de normas em diferentes regiões do globo. A União Europeia, através da sua Diretiva 2000/53/EC, e nações como os EUA e o Canadá já instituíram limites ou vedações ao uso de chumbo em automóveis. No Brasil, a Resolução CONAMA nº 420/2009 determina padrões para a gestão da poluição do solo por elementos químicos, e a Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde estipula os níveis máximos de chumbo permitidos na água para consumo.

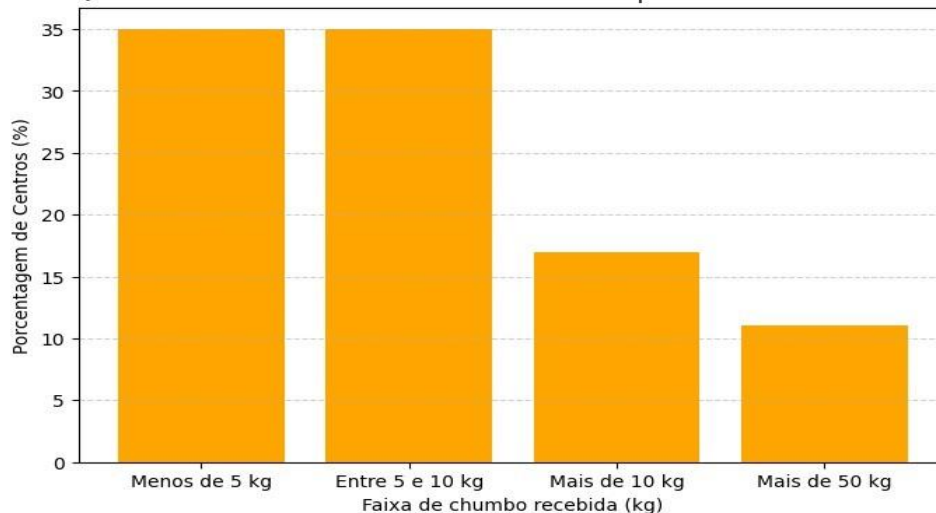
Contudo, mesmo com esses progressos, a aplicação de chumbo em balanceadores de rodas ainda se mantém em vários lugares, o que evidencia a urgência de expandir a discussão técnica e acadêmica acerca de opções factíveis e ecologicamente corretas.

4 PESQUISA DE CAMPO E RESULTADOS

A análise dos dados coletados durante a pesquisa de campo foi desenvolvida com base nas etapas mencionadas no item 2.2 . A partir das respostas de 19 centros automotivos, foram gerados gráficos que ilustram as principais tendências relacionadas ao uso do chumbo no balanceamento

automotivo, abordando práticas de gestão, descarte e impacto ambiental. O próximo gráfico nos mostra a quantidade de chumbo recebida mensalmente pelos centros automotivos analisados.

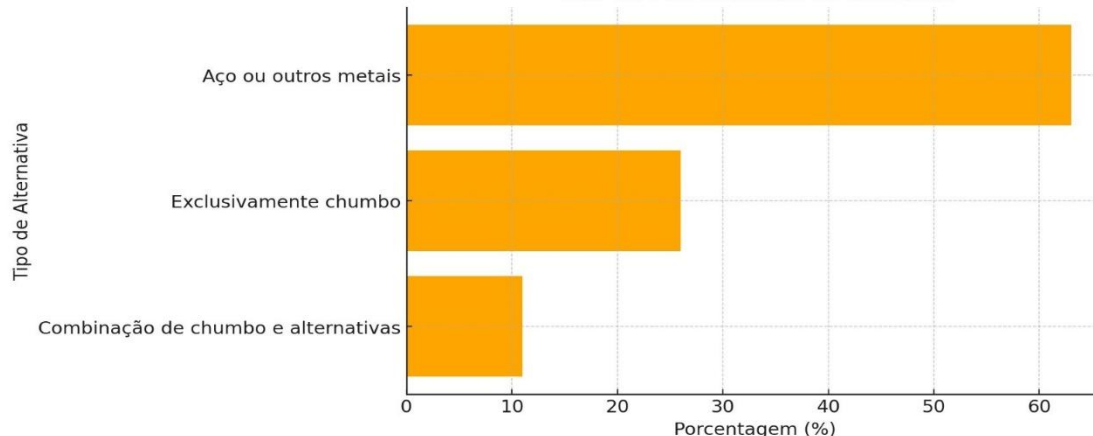
Gráfico 1 – Quantidade de Chumbo Recebida Mensalmente pelos Centros Automotivos
Quantidade de Chumbo Recebida Mensalmente pelos Centros Automotivos



Fonte: Autoria Própria (2024)

O estudo mostrou que grande parte das oficinas avaliadas compra de 5 a 10 kg de chumbo todo mês, enquanto um grupo menor (11,1%) adquire mais de 50 kg por mês. Esses números mostram o quanto as atividades nas cidades contribuem para o uso de chumbo, mesmo que cada oficina pareça usar pouco. Porém, não saber detalhes sobre os vendedores impede que se avalie a influência das vendas na diminuição do uso desse material. Entre os vendedores questionados, um disse que vende de 50 a 100 kg por mês, e outro afirmou vender aproximadamente 5 mil kg. O próximo gráfico ilustra a distribuição do uso de alternativas ao chumbo pelos centros automotivos analisados.

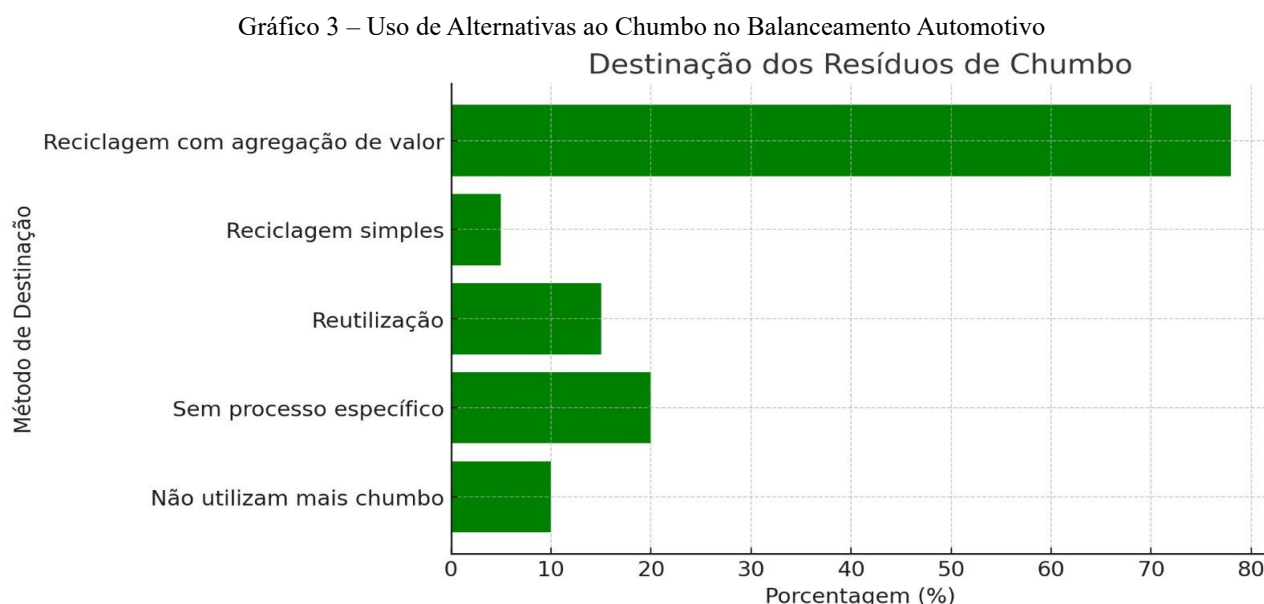
Gráfico 2 – Uso de Alternativas ao Chumbo no Balanceamento Automotivo
Uso de Alternativas ao Chumbo



Fonte: Autoria Própria (2024)

A crescente preocupação com os efeitos nocivos do chumbo para o meio ambiente e para a saúde das pessoas tem impulsionado a procura por soluções alternativas no balanceamento de rodas de veículos. Uma pesquisa revelou que quase dois terços das oficinas, precisamente 63,2%, já utilizam materiais menos prejudiciais, a exemplo do aço. Entretanto, cerca de um quarto delas, correspondendo a 26,3%, ainda não mudaram suas práticas, o que demonstra as dificuldades do ramo em se tornar mais amigo da natureza.

O gráfico abaixo representa os métodos de destinação dos resíduos de chumbo utilizados pelos centros automotivos.



Os resultados da pesquisa indicaram que aproximadamente quatro em cada cinco oficinas mecânicas encaminham seus descartes para organizações especializadas em reciclagem e descarte adequado. Contudo, uma parcela de 20% ainda carece de um sistema estabelecido, representando um possível perigo de poluição do meio ambiente. Embora a prática de destinação apropriada seja comum, a ausência de programação em algumas situações demonstra a urgência de informar sobre as vantagens financeiras e ecológicas da reciclagem de chumbo. O estudo revelou que o chumbo continua sendo bastante usado em balanceamentos de veículos em Ponta Grossa, PR. A análise destaca a importância de integrar aspectos técnicos, econômicos e ambientais para diminuir a dependência do chumbo no setor automotivo.

5 CONCLUSÃO

O uso do chumbo no balanceamento automotivo ainda é predominante nas oficinas da cidade de Ponta Grossa (PR), conforme demonstrado pela pesquisa de campo realizada neste estudo. Apesar dos avanços científicos e da existência de alternativas mais seguras e sustentáveis, a adoção dessas soluções enfrenta barreiras relacionadas a custos, falta de conhecimento técnico e resistência à mudança. Para que essa transição ocorra de forma efetiva, é imprescindível o engajamento conjunto da comunidade científica, do setor produtivo e dos órgãos públicos.

Este trabalho destaca a importância de ampliar investigações de campo semelhantes em âmbito nacional e internacional, de modo a compreender as especificidades regionais e culturais que influenciam o uso do chumbo no balanceamento automotivo. Essa ampliação permitirá a construção de estratégias mais eficazes e contextualizadas, além de fomentar o desenvolvimento de políticas públicas e práticas sustentáveis que possam ser implementadas de forma consistente em diferentes realidades.

Mais do que identificar o problema, esta pesquisa evidencia a necessidade urgente de repensar nossos hábitos e tecnologias sob a ótica da sustentabilidade. Incentivar estudos futuros voltados à busca por alternativas ambientalmente responsáveis é fundamental para promover uma mudança duradoura, que contribua para a preservação da saúde pública e do meio ambiente. Espera-se que os dados aqui apresentados sirvam como base para reflexões, ações conscientes e investigações aprofundadas, fortalecendo o compromisso coletivo com um futuro mais seguro, equilibrado e sustentável.

REFERÊNCIAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). Toxicological Profile for Lead. ATSDR, Atlanta, 2020. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2025.

ARAÚJO, L.A.; LUPEPSA, L.; MAGATÃO, A.C.; OLIVEIRA, J.A.S.; CONTE, H. Processos Biotecnológicos na Remoção de Metais Pesados. *Revista Saber Científico*, Porto Velho, v. 8, n. 2, p. 135-145, 2019.

AUCOTT, M.; CALDARELLI, A. Estimation of lead release from wheel weights in New Jersey. *Environmental Engineering Science*, New Jersey, v. 29, n. 8, p. 769-781, 2012.

BRASIL. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Ministério da Saúde, Brasília, 2004. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_518_2004.pdf. Acesso em: 22 ago. 2025.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, 2009. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-acrs.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2025.

BRUNNO, J. F.; SCHAEFER, J. L.; MORAES, J.; CLAVIJO, M. L. T.; NARA, E. O. B.; KIPPER, L. M. Um estudo utilizando Value Stream Mapping para identificar desperdícios baseados nos modelos Lean e Green em um centro automotivo. *Produto & Produção*, v. 19, n. 1, p. 71-84, 2018.

CANADA. Canadian Environmental Protection Act. Government of Canada, Ottawa, 1999. Disponível em: <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/acts/c-15.31/>. Acesso em: 22 ago. 2025.

COLLIN, M.S. Bioacumulação de chumbo (Pb) e seus efeitos no ser humano. *Journal of Hazardous Materials Advances*, v. 6, p. 100108, 2022.

EUROPEAN UNION. Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council on end-of-life vehicles. Official Journal of the European Communities, Bruxelas, 2000. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32000L0053>. Acesso em: 22 ago. 2025.

FRAZER, L.; VAN DER TOUW, D. Environmental impact of lead wheel weights. *Journal of Environmental Studies*, v. 42, p. 1045-1055, 2014.

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N.M.P.; HULTINK, E.J. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, v. 143, p. 757–768, 2017.

JACYNA, M.; SEMENOV, I. Models of vehicle service system supply under information uncertainty. *Eksplotacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, v. 22, n. 4, p. 619-627, 2020.

KIM, K.; et al. Source identification and implications of heavy metals in urban roads for the coastal pollution in a beach town, Busan, Korea. *Marine Pollution Bulletin*, Busan, v. 127, p. 681–691, 2018.

KORONIS, G.; SILVA, A.; FONTUL, M. Green composites: a review of adequate materials for automotive applications. *Composites Part B: Engineering*, v. 44, n. 4, p. 120–127, 2013.

NEEDLEMAN, Herbert L. Lead poisoning. *Annual Review of Medicine*, Palo Alto, v. 55, p. 209-222, jan. 2004.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: uma metodologia proposta para selecionar e classificar artigos científicos relevantes. *Transinformação*, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 19–32, 2015.

RAJ, K.; DAS, S. Lead pollution: Impact on environment and human health. *Science of the Total Environment*, v. 856, p. 158532, 2023.

SHVACHIY, L.; AMARO-LEAL, Â.; MACHADO, F.; ROCHA, I.; GERALDES, V.; OUTEIRO, T.F. Lead as an environmental toxicant in models of synucleinopathies. *Chemosphere*, v. 380, p. 144477, 2025.

UNITED NATIONS. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations, Nova York, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2025.

UNITED STATES. Clean Air Act. United States Environmental Protection Agency, Washington, 1970/atualizações posteriores. Disponível em: <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview>. Acesso em: 22 ago. 2025.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, Oxford, 1987. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Exposure to lead: a major public health concern. WHO, Genebra, 6 jul. 2019. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240037632>. Acesso em: 22 ago. 2025.

ZACARIAS, F. S. Desenvolvimento de uma Modelagem Experimental para Estimativa da Vida Útil de um Pneu. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2021.