



JONAS LIMA CARVALHO

**SEGREGAÇÃO E BENEFICIAMENTO DOS RESÍDUOS DE
VIDRO GERADOS PELA RECICLAGEM DE VEÍCULOS EM
FINAL DE VIDA ÚTIL**

LAVRAS – MG

2021

JONAS LIMA CARVALHO

**SEGREGAÇÃO E BENEFICIAMENTO DOS RESÍDUOS DE VIDRO GERADOS
PELA RECICLAGEM DE VEÍCULOS EM FINAL DE VIDA ÚTIL**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Mecânica, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Carlos Eduardo Castilla Alvarez

Orientador

LAVRAS – MG

2021

RESUMO

A indústria automobilística mundial tem crescido de forma exponencial, e com a maior produção de veículos, conseqüentemente maior é a quantidade de resíduos gerada, seja na fabricação dos mesmos, durante sua vida útil ou até mesmo após o fim da mesma. No Brasil, na maioria das vezes tanto os carros quanto os resíduos provindos dos mesmos são depositados de forma negligente no meio ambiente, o que resulta em danos irreparáveis ao mesmo. Para que estes danos sejam minimizados, na cidade de Lavras – MG existe uma empresa que processa os veículos em fim de vida útil, segregando os distintos materiais presentes nos mesmos e os encaminhando para o devido processo particular de reciclagem. Porém dentre tais materiais, alguns apresentam difícil beneficiamento, sendo ainda descartados em aterros sanitários, agredindo a natureza da mesma maneira. Estes são conhecidos como resíduos críticos. Devido a isto, o objetivo do atual trabalho foi identificar, classificar e propor um destino correto aos diferentes tipos de materiais gerados no processo de reciclagem veicular. Para que isso fosse realizado, a princípio identificou-se todos os procedimentos realizados durante o processamento de um veículo e os respectivos resíduos obtidos. A partir de então, mediu-se a quantidade média de cada tipo de material resultante do processamento dos veículos, sendo possível a identificação do resíduo mais crítico em questão. Foi realizada uma revisão bibliográfica, com o intuito de propor métodos de beneficiamento para cada resíduo crítico obtido, com foco maior no caso mais grave, que foi o vidro. Para o mais agudo dos casos, paralelamente à revisão bibliográfica foi elaborada uma proposição para possível aplicação do mais viável método de processamento do mesmo na empresa em estudo, cujo objetivo é a segregação entre o filme PVB e o vidro dos para-brisas laminados. Contatou-se a existência de empresas da região, que possam porventura comprar os resíduos obtidos a partir do processamento dos para-brisas, e com base nisso foram realizadas cotações de custos e preços para verificar qual destino seria mais viável aos resíduos. Encontrou-se uma empresa que compra os para-brisas “inteiros”, e outras duas que compram os resíduos que seriam obtidos a partir do processamento do vidro laminado. Com base nos cálculos de custo, concluiu-se que a princípio, a curto prazo, seria mais viável vender os para-brisas à empresa que os compra não processados. Para análise de qual medida tomar a longo prazo, deve-se realizar um estudo detalhado dos custos de implantação e manutenção do ferramental utilizado no processamento do vidro laminado, com o intuito de verificar a viabilidade financeira de tal.

Palavras-chave: Reaproveitamento. Reutilização. Ecologia. Poluição. Preservação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Veículo classificado como sucata	12
Figura 3.2 – Volkswagen Fusca 1300 ano 1973	14
Figura 3.3 – Jeep Compass ano 2018	15
Figura 3.4 – Estado de tensão do vidro temperado	22
Figura 3.5 – Ilustração da composição de um vidro laminado	23
Figura 4.1 – Fluxograma das etapas a serem realizadas	33
Figura 5.1 – Veículo aguardando em pátio o devido processamento	35
Figura 5.2 – Estação de descontaminação	36
Figura 5.3 – Centro de desmontagem	37
Figura 5.4 – Foto externa de um veículo já desmontado	37
Figura 5.5 – Foto interna de um veículo já desmontado	38
Figura 5.6 – Resíduos de ferro fundido separados em recipientes específicos	40
Figura 5.7 – Elementos filtrantes de papel separados em recipientes específicos	40
Figura 5.8 – Chicotes elétricos separados em recipientes específicos	41
Figura 5.9 – Registro fotográfico da pesagem dos principais resíduos de um automóvel Volkswagen Gol 1994 no fim de sua vida útil	42
Figura 5.10 – Interior da máquina trituradora	50
Figura 5.11 – Para-brisas utilizados. a) Para-brisa da marca Pilkington visto pelo lado interno. b) Para-brisa da marca Saint-Gobain Sekurit visto pelo lado externo	53
Figura 5.12 – Para-brisa no primeiro passe pela calandra	55
Figura 5.13 – Fragmentos de vidro removidos na segunda etapa	56
Figura 5.14 – Amostra de para-brisa a) Amostra inicial. b) Amostra após a segunda etapa	56
Figura 5.15 – Remoção dos fragmentos remanescentes	58
Figura 5.16 – Amostra de para-brisa a) Amostra lavada com a pisseta. b) Filme de PVB obtido após a terceira etapa	58
Figura 5.17 – Fragmentos de vidro removidos após a fragmentação dos para-brisas	59
Figura 5.18 – Fragmentos obtidos após a 2ª etapa	60
Figura 5.19 – Fragmentos obtidos após a lavagem com a pisseta	60
Figura 5.20 – Fragmentos obtidos após a remoção dos fragmentos remanescentes	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Materiais constituintes dos veículos nas décadas de 50, 60 e 70	16
Tabela 3.2 – Peso dos materiais constituintes dos automóveis	16
Tabela 4.1 – Planilha com informações sobre resíduos	34
Tabela 5.1 – Especificações dos resíduos provindos do processamento de um veículo . .	39
Tabela 5.2 – Planilha preenchida com informações sobre resíduos	42
Tabela 5.3 – Custos de destinação dos resíduos para cada empresa	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	OBJETIVOS	9
2.1	Objetivo Geral	9
2.2	Objetivos Específicos	9
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1	Marco teórico	11
3.1.1	Vida útil e reciclagem de veículos	11
3.1.2	Importância da reciclagem automotiva e seus benefícios ambientais	13
3.1.3	Materiais presentes em um automóvel	14
3.1.4	Legislação no Brasil e no mundo	16
3.1.5	Reciclagem dos resíduos	18
3.1.5.1	Metais	18
3.1.5.2	Plástico	18
3.1.5.3	Borrachas	19
3.1.5.4	Espumas, tecidos, carpetes e forrações	20
3.1.5.5	Vidros	20
3.1.5.5.1	Vidro temperado	21
3.1.5.5.2	Vidro Laminado	22
3.1.5.6	Baterias	23
3.1.5.7	Componentes elétricos e eletrônicos	24
3.1.5.8	Catalisador	25
3.1.5.9	Componentes pirotécnicos	25
3.1.5.10	Filtro de óleo	26
3.1.5.11	Lubrificantes	26
3.1.5.12	Combustíveis	27
3.1.5.13	Fluido hidráulico de freios	27
3.1.5.14	Fluido do ar condicionado	27
3.2	Estado da Arte	28
4	METODOLOGIA	33
5	RESULTADOS	35
5.1	Identificação dos procedimentos realizados no processamento veicular	35

5.2	Identificação de todos os resíduos gerados pelo processo	38
5.3	Coleta e registro de dados	41
5.4	Identificação dos resíduos de difícil beneficiamento	43
5.5	Proposta de métodos de reciclagem para os materiais de difícil beneficiamento	45
5.5.1	Plástico	45
5.5.2	Borracha	46
5.5.3	Poliuretano	47
5.5.4	Tecidos têxteis	48
5.5.4.1	Reciclagem mecânica	49
5.5.4.2	Reciclagem química	50
5.5.5	Incineração	51
5.6	Proposição de um método de beneficiamento ideal para o resíduo mais crítico (vidro)	52
5.6.1	Fragmentação	54
5.6.2	Ataque termoquímico	55
5.6.3	Remoção dos fragmentos remanescentes	57
5.6.4	Análise dos fragmentos	59
5.7	Solução particular para a CNR em estudo	61
6	CONCLUSÃO	65
7	TRABALHOS FUTUROS	67
	REFERÊNCIAS	68
	ANEXO A – Termo de compromisso com a CNR	72

1 INTRODUÇÃO

A indústria automobilística tem um papel central no desenvolvimento econômico e tecnológico do Brasil e do mundo. Em 2012, um marco histórico foi registrado, quando pela primeira vez, mais de 50% dos domicílios brasileiros possuíam um automóvel ou motocicleta (IPEA, 2013). Estudos recentes demonstram que o número de automóveis no Brasil cresceu de forma exacerbada, sendo que as regiões metropolitanas são responsáveis por 40% desse crescimento. Como consequência dessa nova realidade, o Brasil atualmente possui a maior frota de veículos automotivos da América Latina, a qual vem envelhecendo ao longo do tempo (OLIVEIRA, 2019).

A crescente quantidade de venda de automóveis aqueceu a economia, criou novos empregos, dentre outros incontáveis benefícios à sociedade. Por essa razão, o crescimento da indústria automobilística pode ser considerado um “boom” para o século XX. No entanto o aumento da frota veicular nas grandes cidades acarretou diversas complicações, como o impasse na mobilidade urbana, poluição atmosférica, poluição sonora, alterações climáticas e resíduos gerados pelos veículos (FOGLIATTI; FILIPPO; GOUDARD, 2004).

De acordo com o trabalho de Silva (2016), como todo bem material, o veículo também possui seu tempo de vida útil e mesmo após findado esse ciclo, ele continua a gerar resíduos. Como definição, entende-se que os veículos em fim de vida útil são genericamente classificados como os tais que não mais possuem condições para a circulação, seja por mau estado de conservação ou por outro motivo que o torna um resíduo sólido.

Em outras nações, a reciclagem automotiva já é realidade, e os resultados alcançados pelos países que implantaram a legislação da logística reversa veicular já apresentam diversos pontos positivos. Dentre eles, redução significativa da frota circulante envelhecida e dos desmanches ilegais, aumento da quantidade de matéria-prima reciclada, redução da poluição atmosférica e geração de empregos diretos e indiretos (PINTO, 2014).

De acordo com Wartha e Hausmann (2006, p.1), a administração do resíduo é uma das grandes preocupações dos ambientalistas e, a conscientização sobre como reaproveitá-lo, reciclando-o, é evidenciada a todo instante. As empresas vêm adotando melhorias no processo produtivo visando principalmente a redução de custo, sendo a reciclagem uma delas. Este processo evita desperdícios e reaproveita o material que antes era descartado.

Na mesma linha de raciocínio de Wartha e Hausmann, Castro (2012) retrata de forma detalhada e aprofundada a reciclagem de automóveis, descrevendo com clareza a importância do

mesmo na sociedade desde os primórdios dos meios de transporte. O automóvel é composto por diversos tipos de materiais distintos, os quais apresentam formas de reutilização e reciclagem diferentes. Alguns deles apresentam maiores dificuldades para o processo de reciclagem, sejam dificuldades físico/químicas do próprio procedimento ou de custo-benefício.

De acordo com Medina e Gomes (2003), mesmo que os automóveis mais modernos já sejam 95% recicláveis, esse percentual de reciclagem só ocorre na realidade quando há viabilidade técnica e econômica para tal. Palavras estas positivas, pois informam que o carro pode ser praticamente todo reaproveitado, apesar da mesma autora também informar que na atualidade o reaproveitamento do automóvel é de cerca de 75%. Os 20% que não são reaproveitados geralmente são enviados para aterros, prática esta que é extremamente agressiva ao meio ambiente.

Quanto maior for a quantidade de materiais reciclados, mais sustentáveis e rentáveis serão os processos de fabricação, pois a demanda energética para a produção de novos materiais será significativamente reduzida, visto que os materiais já “prontos” serão incorporados no processo (FIELD; CLARK, 1994). Logo, deve-se focar cada vez mais na questão da sustentabilidade e reciclagem de materiais, sempre buscando reciclar ao máximo todos os tipos de materiais possíveis. A partir de estudos e novas técnicas, tal porcentagem de materiais não reciclados pode diminuir drasticamente.

Conforme mencionado anteriormente, a reciclagem de veículos já é realidade em outros países, porém no Brasil esse cenário é um pouco diferente, visto que tal processo ainda está se iniciando em algumas empresas já existentes. Uma destas empresas é a CNR (Centro Nacional de Reciclagem Veicular), situada na cidade de Lavras - MG. Esta empresa realiza parte do processo de reciclagem automotiva, onde recebem os automóveis que se encontram no final da vida útil, os desmontam, separam e classificam todos os resíduos gerados e os encaminham para os respectivos destinos corretos, com a finalidade de serem reciclados.

Apesar de tudo, ainda existem alguns tipos de resíduos como vidro, poliuretano, borracha, tecidos, aos quais têm apresentado dificuldades para se encontrar destino sustentável. Conseqüentemente se acumulam no recinto, gerando além de custos para retirada, diversos outros problemas como poluição do recinto, proliferação de insetos e roedores, dentre outros.

A Universidade Federal de Lavras estabeleceu uma parceria de trabalho com tal empresa, para que os trabalhos sejam realizados em campo, na prática, facilitando bastante a pesquisa. O intuito do trabalho é de que estratégias viáveis e ecologicamente corretas sejam encontradas para que a reciclagem dos veículos e seus respectivos resíduos seja realizada, com

foco principalmente nos resíduos de mais difícil processamento, para que os mesmos não sejam apenas despejados em aterros, e sim segregados e devidamente reciclados, sempre visando menor dano ambiental possível.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Identificar, classificar e propor um destino correto aos diferentes tipos de materiais gerados no processo de reciclagem veicular.

2.2 Objetivos Específicos

1. Documentar as etapas realizadas durante o processamento de um veículo em fim de vida útil;
2. Identificar os diferentes tipos de materiais/resíduos gerados no processo de reciclagem veicular;
3. Selecionar os resíduos que apresentam difícil beneficiamento, ou que apresentem um determinado custo para sua disposição final;
4. Identificar o caso mais crítico entre os resíduos de difícil beneficiamento;
5. Proposição de um caminho rentável e sustentável para a disposição final destes, com foco na aplicabilidade do mais crítico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desde os primórdios da criação do automóvel, o mesmo tem transformado nitidamente a rotina e os costumes das pessoas que usufruem de tais veículos, facilitando muito na questão da mobilidade, que reflete positivamente em diversas outras áreas, inclusive aquecendo muito a economia do país. Porém, o automóvel e seus respectivos resíduos de fim de vida útil, geram graves e incalculáveis impactos ao meio ambiente, principalmente se descartado de maneira incorreta (CASTRO, 2012).

Ainda segundo Castro (2012), para que seja possível a compreensão da relação entre automóvel e meio ambiente, é preciso ter conhecimento das características gerais que envolvem o mesmo como um todo. Características como os materiais presentes em sua composição, sejam eles tóxicos ou não, a quantidade e qualidade dos resíduos gerados pelo mesmo, seja antes, durante ou depois de findada sua vida útil.

O “antes” citado acima se refere ao processo de produção, o “durante” se relaciona ao tempo de vida útil, e o “depois” diz respeito ao fim da vida útil do automóvel. Em todas estas etapas citadas, inúmeros resíduos de diferentes naturezas são constantemente gerados, os quais se não forem devidamente processados, causam graves impactos ambientais. É importante também ter a consciência sobre o exponencial crescimento do mercado automotivo no mundo, ciclos de vida cada vez menores e o desenvolvimento de novas tecnologias e materiais que o mesmo promove.

Diante deste cenário percebe-se que a indústria automobilística é uma das mais poluentes do mundo. E isso se deve não apenas ao fato de que esse setor produz um bem extremamente poluente, mas também porque os processos produtivos empregados utilizam materiais em grandes quantidades e diversidades (SOUZA, 2010, p.32). Em outros países, como por exemplo o Japão, há uma maior preocupação quanto a tal assunto, cabendo também ao Brasil se espelhar no exemplo desses países desenvolvidos (CARREIRA, 2019).

Esta capítulo tem por objetivo demonstrar principalmente a base e os fundamentos teóricos da pesquisa. Vale ressaltar o mesmo está dividido em duas partes, sendo o marco teórico e o estado da arte, respectivamente. A seguir serão explicitados com maior detalhamento os conceitos, temas e trabalhos já realizados na área, com grande importância relacionada ao quesito atualmente tratado.

3.1 Marco teórico

A reciclagem automotiva é um processo de enorme relevância e importância em diversos aspectos e setores, especialmente no âmbito ambiental, oferecendo o melhor destino possível para os distintos materiais e resíduos resultantes. São inúmeras as vantagens relacionadas à aplicação prática deste processo, tendo em vista que as empresas estão atualmente adotando tais conceitos como alternativa para melhorar a sustentabilidade do planeta e impulsionar avanços em aspectos sociais e econômicos. O marco teórico abordará principalmente assuntos relacionados à reciclagem de veículos e resíduos, destacando também a legislação no Brasil incumbida por tal tema em discussão.

3.1.1 Vida útil e reciclagem de veículos

Findada a vida útil de um automóvel, o mesmo se caracteriza por não apresentar mais condições para circulação em vias públicas e se torna um resíduo sólido, cujo descarte negligente acarreta em desprendimento de várias substâncias tóxicas à natureza. Não apenas as tóxicas, como também os outros resíduos se acumulam no meio, degradando o ambiente até sua completa decomposição, que pode levar mais de um século. Além disso, o automóvel nesta condição apresenta grandes chances de se tornar foco de propagação de doenças, visto que animais e insetos começam a habitar e se reproduzir no interior do mesmo (SILVA, 2016, p.34).

É possível encontrar algumas das classificações dos automóveis em fim de vida útil em algumas literaturas, porém não há ainda um consenso sobre tal. Abaixo encontram-se algumas delas.

Os veículos automotores classificados como sucatas são automóveis desmontados que não possuem mais partes essenciais para que possam exercer sua função original, tidos também como automóveis irrecuperáveis. Classificados como sucata, o automóvel não poderá voltar a circular, tornando-se obrigatória a baixa definitiva de retirada de circulação junto ao órgão de trânsito competente, além de ser vedada a reutilização de partes e peças, respeitados os procedimentos administrativos e a legislação ambiental (CONTRAN, 2016).

Segundo o Departamento Estadual de Trânsito de Minas Gerais (DETRAN/MG), para fins de leilão de veículos, sucata pode ser definida de duas maneiras:

1. Automóvel cujas partes poderão ser remontadas em outro veículo, não envolvendo numeração de placas e chassis em que esteja o Número de Identificação do Veículo (VIN);

2. Sucatas aproveitáveis com motor inservível, cujas partes poderão ser reutilizadas em um terceiro automóvel em funcionamento, exceto motor que contenha numeração. Sendo assim, necessariamente deve-se inutilizar placas e chassis que conste o VIN (DETRAN, 2017).

Na Figura 3.1, é possível visualizar um automóvel no fim de sua vida útil, classificado como sucata. Na ocasião, o veículo já se encontrava em processamento no centro de reciclagem veicular.

Figura 3.1 – Veículo classificado como sucata



Fonte: O autor

Na situação anteriormente descrita, ao fim da vida útil de um automóvel, o procedimento correto a ser tomado é a reciclagem do mesmo. Neste processo, o automóvel é completamente desmontado e seus fluidos drenados, onde posteriormente todos são enviados para empresas que possam reciclar tais materiais residuais. Desta maneira, o ciclo de vida e utilidade dos materiais se dá por completo, gerando inúmeras vantagens às partes envolvidas e principalmente ao meio ambiente. Os principais pontos positivos da reciclagem em relação ao ambiente são a economia de energia, a drástica redução da exploração da matéria prima e a consequente minguagem da poluição e degradação (NOGUEIRA, 2017, p.40).

Corroborando com o parágrafo anterior, entende-se que a reciclagem automotiva visa reutilizar materiais constituintes do automóvel em fim de vida útil, tornando-os matérias-primas em novos processos produtivos (NOGUEIRA; CASTRO; SILVA, 2016, p.79). A logística re-

versa se mostra de grande importância no processo da reciclagem, uma vez que oferece um reaproveitamento dos resíduos sólidos em outros ciclos produtivos.

O termo logística reversa define-se como o “retorno dos produtos, redução de recursos e custos, reciclagem, e ações para substituição de materiais, reutilização de materiais, disposição final dos resíduos, reaproveitamento, reparação e remanufatura de materiais” (STOCK, 2001).

3.1.2 Importância da reciclagem automotiva e seus benefícios ambientais

No ano de 2002, foi publicada uma pesquisa sobre a reciclagem de resíduos automotivos dentro do programa Tecnologia Ambiental e Meio Ambiente do CETEM (Centro de Tecnologia Mineral). O artigo retrata a forma em que as montadoras têm projetado seus produtos, visando menor impacto ambiental possível, para garantir a sustentabilidade e a competitividade do automóvel (MEDINA; GOMES, 2002). Nesse mesmo ano, também foi realizado outro estudo, cujos projetos e produtos advindos do mesmo teriam características atribuídas à reciclagem e ao meio ambiente.

Seguindo essa linha de pensamento, pode-se perceber que os novos modelos e indústrias têm sido concebidos com a visão ambiental desde o princípio. É possível afirmar que os quesitos ambientais se tornam cada vez mais presentes e estratégicos no planejamento da indústria (MEDINA; GOMES, 2002, p.7).

Neste sentido, entende-se pelas palavras de Naveiro et al. (2005, p.1) que um projeto orientado para a reciclagem (DFR, *Design for Recycling*), significa pensar desde a concepção inicial como o produto será reciclado ao fim de sua vida. Um dos modelos de maior destaque nesse quesito diz respeito ao Eco Design, que mantém toda atenção voltada para a utilização de tecnologias limpas na produção de um produto, assegurando maior racionalidade de materiais e matérias-primas nos ciclos produtivos.

Nos dias atuais, tal modelo de projeto já é aplicado nas mais vastas áreas industriais, em diversos setores de produção. Muitos dos produtos obtidos a partir dessa técnica podem ser fabricados de plásticos, que são os materiais que têm obtido os melhores resultados no aumento de sua reciclabilidade. De acordo com vários autores da modernidade, os plásticos são tidos como solução de engenharia para inúmeros casos, sem as restrições anteriormente destacadas em relação ao seu descarte final. Os mesmos podem ser biodegradáveis, recicláveis de diversas formas e formarem compósitos.

Sustentando ainda a ideia apresentada anteriormente, Naveiro et al. (2005, p.9) destacam que pelo estudo de caso realizado sobre eco concepção e reciclagem na Renault, pode-se constatar que os instrumentos e as práticas de eco design vêm se difundindo rapidamente nesse início de século, impulsionados tanto pela regulamentação ambiental como pela proteção à saúde. De acordo com os autores, vale salientar também que toda a rede de fornecedores da indústria automobilística utiliza-se das práticas do eco design, e que a presença dos plásticos reciclados nos automóveis já se configura uma tendência.

3.1.3 Materiais presentes em um automóvel

A quantidade de materiais diferentes que compõem um automóvel aumentou com o passar dos anos. Os primeiros veículos eram compostos praticamente de aço, borracha, vidro e um tecido/espuma na forração dos bancos. Com a evolução tecnológica, os carros ficaram mais sofisticados, passando a contar com mais recursos e tecnologias, conseqüentemente tendo em suas composições maior variedade de materiais (GENERAL MOTORS, 1999).

A Figura 3.2 ilustra um automóvel fabricado no ano de 1973, já a Figura 3.3 um automóvel fabricado no ano de 2018. Percebe-se uma notável diferença entre os mesmos, principalmente nas tecnologias envolvidas, opcionais oferecidos, e conseqüentemente os materiais que os constituem.

Figura 3.2 – Volkswagen Fusca 1300 ano 1973



Fonte: O autor

Figura 3.3 – Jeep Compass ano 2018



Fonte: O autor

Como resultado dos avanços tecnológicos, os veículos sofreram modificações significativas em seus tamanhos, modelos, e ficaram mais eficientes, tornando-se econômicos. Os fabricantes passaram a atentar mais à questão ambiental e ao uso de materiais mais leves e resistentes. Diversos materiais, peças e dispositivos eletrônicos compõem um carro, sendo de alta complexidade a quantificação das mesmas (MARQUES; MEIRELLES, 2006).

Percebe-se que ao se analisar os materiais que constituem os automóveis fabricados nas últimas décadas, a presença de alumínio e plásticos teve um aumento significativo com o passar dos anos. Isto se deve ao fato de que tais materiais são mais leves e apresentam alta tecnologia aplicada, aumentando consideravelmente a eficácia do automóvel. Consequentemente, o ferro e o aço tiveram suas proporções reduzidas (MARQUES; MEIRELLES, 2006).

Não é possível se ter o conhecimento médio das composições de cada carro ao fim de sua vida útil, devido a diversas variáveis externas. Porém, com o processamento de tais veículos é possível ter uma ideia da composição média dos mesmos, a partir da análise de resíduos. Através das tabelas abaixo, pode-se averiguar dados importantes sobre os materiais que compõem os automóveis em épocas diferentes.

Tabela 3.1 – Materiais constituintes dos veículos nas décadas de 50, 60 e 70

Material	Anos 50 (kg)	(%)	Anos 60 (kg)	(%)	Anos 70 (kg)	(%)
Aço	1.373	72	831	58	510	48
Zinco	25	1,3	10	0,7	15	1,4
Borracha	85	4,5	61	4,3	64	6
Vidro	54	2,8	38	2,6	31	2,9
Chumbo	23	1,2	15	1	11	1
Cobre	25	1,3	22	1,5	12	1,1
Fluidos	96	5	81	5,6	48	4,5
Ferro	220	12	207	14	150	14
Alumínio	0	0	68	4,7	77	7,2
Plástico	0	0	101	7	150	14
Peso Total (Kg)	1.901		1.434		1.070	

Fonte: Marques e Meirelles (2006, Adpatado)

Tabela 3.2 – Peso dos materiais constituintes dos automóveis

	VW Fusca 1979	(%)	Chevette 1980	(%)	Fiat 147 1981	(%)
Bateria	10	1,30%	10	1,20%	10	1,30%
Pneus	33,6	4,40%	33,6	3,90%	33,6	4,50%
Aço	515,6	67,30%	568,3	66,50%	457,6	61,20%
Ferro fundido	116,6	15,20%	147	17,20%	135,5	18,10%
Alumínio	36,4	4,80%	13	1,50%	19,5	2,60%
Tecido	2,5	0,30%	3,1	0,40%	2,4	0,30%
Espuma	7	0,90%	13	1,50%	8,8	1,20%
Vidros	19,9	2,60%	29,8	3,50%	26,2	3,50%
Lubrificantes	3	0,40%	3	0,40%	3,5	0,50%
Plástico	2	0,30%	10,1	1,20%	28,3	3,80%
Borracha	8,5	1,10%	14,1	1,70%	11,8	1,60%
Outros materiais	6,9	0,90%	6,5	0,80%	5,2	0,70%

Fonte: GENERAL MOTORS (1999, Adpatado)

A partir dos dados presentes nas Tabelas 3.1 e 3.2, pode-se averiguar que com o passar dos anos, realmente os materiais que compõem um carro variam de acordo com a proposta de sua determinada época.

3.1.4 Legislação no Brasil e no mundo

A legislação japonesa referente ao tema abordado é a mais eficaz, visto que as leis funcionam corretamente e são respeitadas. Pesquisas atuais demonstram que os japoneses con-

seguem, mediante uso da reciclagem, um reaproveitamento de até 95% dos veículos fora de circulação, enquanto que a maioria dos outros países que também adotam essa prática, reaproveitam até 70% dos materiais (BIANCHETTI, 2020).

Diferentemente de outros países, como os Estados Unidos e o próprio Japão, por exemplo, o Brasil lamentavelmente não possui uma legislação bem definida no que diz respeito ao controle dos resíduos sólidos. Nesse cenário, a falta de uma lei rígida no país acarreta diretamente em um aumento de veículos abandonados ou descartados incorretamente, os quais geram grandes prejuízos ao meio ambiente e à saúde da população.

Contudo, aparenta-se que tal questão tem ganhado mais notoriedade no Brasil. No ano de 2020, o CEFET - MG (Centro Federal de Educação), em parceria com a Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA) e a empresa japonesa Kaiho Sangyo, trouxeram a Belo Horizonte a primeira unidade piloto de reciclagem automotiva, conhecida como UPRA. Essa ação foi um incentivo à Lei 23.592/2020, criada no mesmo ano pelo governador de Minas Gerais, que dispõe sobre o Programa de Reciclagem de Resíduos Veiculares (PRRV). A lei pode ser um divisor de águas para a consolidação deste mercado em Belo Horizonte, Minas Gerais e até no Brasil, pois aqui não é uma realidade (BIANCHETTI, 2020).

As novidades são cada vez mais positivas, já que recentemente o senador brasileiro por Rondônia Confúcio Moura apresentou um projeto para a criação de uma política nacional de reciclagem de veículos usados. Este projeto pretende assegurar o controle, a preservação e a melhoria das condições do meio ambiente, por meio do tratamento dos resíduos sólidos e carcaças abandonadas de veículos ao término de sua vida útil. O senador também defende a ideia de que os importadores e fabricantes dos automóveis devem utilizar a logística reversa, incumbindo aos mesmos encaminhar os automóveis à reciclagem (MATTA, 2020).

Portanto, fica evidente que a criação de uma legislação no país a favor da reciclagem automotiva gerará diversas vantagens econômicas, ambientais e até mesmo sociais, além de evitar procedimentos ilegais quanto à destinação final dos veículos. Sendo assim, percebe-se que no Brasil, a adoção de prática semelhante seria sustentável não só do ponto de vista ambiental, mas econômico, pois democratizaria o acesso às peças automotivas, que poderiam ser adquiridas pelos consumidores a um custo menor (CARREIRA, 2019).

3.1.5 Reciclagem dos resíduos

Dentre os diversos tipos de resíduos provindos da reciclagem de um automóvel, o resíduo que apresenta maior porcentagem em reciclagem é o aço, provindo principalmente das carcaças automotivas. Este material em forma de sucata metálica é adicionado ao processo de fabricação de metais, obtendo-se inúmeras vantagens. Mas não apenas o aço possui um bom desempenho de reciclabilidade, como também outros resíduos que serão destacados a seguir. Os conceitos e informações apresentadas abaixo são ideias amplamente defendidas pelo autor Passos (2013), cujo trabalho enfatiza de maneira detalhada a reciclagem automotiva.

As sessões 3.1.5.1 a 3.1.5.14 (exceto 3.1.5.5.1 e 3.1.5.5.2) são autoria de Passos (2013), transcritas com suas próprias palavras ao presente trabalho. Estas informações foram aqui incorporadas devido à importância e relevância das mesmas ao contexto tratado.

3.1.5.1 Metais

Um veículo é constituído por metais ferrosos (ferro e aço) e metais não ferrosos (alumínio, cobre, magnésio, chumbo e níquel). Os metais ferrosos são facilmente separados dos outros materiais mediante a passagem por um campo magnético. Por outro lado, os metais não ferrosos são separados através de técnicas de triagens automáticas ou manuais.

A vantagem da utilização de metal nos automóveis, comparativamente a outros materiais, é que o metal pode ser reciclado indefinidamente com baixo custo e alta eficiência no processo, mantendo as mesmas características. Os metais ferrosos são fundidos em siderúrgicas, sendo posteriormente utilizados como matéria-prima para a fabricação de vigas em construções civis, por exemplo. Já os metais não ferrosos são fundidos em fundições, sendo posteriormente utilizados como matéria-prima para a fabricação de outros produtos relacionados.

A pintura, as massas de vedação e as placas asfálticas aplicadas à carroceria, apesar de serem contaminantes, são reciclados junto com o metal, visto que a separação desses componentes não é viável economicamente. Esses materiais são eliminados durante o processo de fundição, convertendo-se em cinzas.

3.1.5.2 Plástico

De acordo com Medina e Gomes (2003), os plásticos foram introduzidos nos carros nos anos 70 para tornar o carro mais leve e reduzir o consumo de combustível, e após 15 anos dobraram sua participação no peso dos veículos.

Na indústria automobilística, a crescente utilização de plásticos reduz o peso e aumenta a eficiência dos veículos. O principal método de reprocessamento desses plásticos, passa pela desmontagem e separação das peças e pela trituração do material separado. Hoje, tecnicamente todos os plásticos utilizados em automóveis são recicláveis, mas exigem uma marcação específica devido sua grande diversidade (MEDINA; GOMES, 2002).

Em um veículo podem ser encontrados até 56 diferentes tipos de plásticos, com diferenças de componentes, aditivos e corantes. Essa diversidade dificulta, e mesmo em alguns casos inviabiliza a reciclagem. Tecnologias de tratamento químico para descontaminação ainda necessitam ser desenvolvidas, enquanto a separação manual é muito cara, sendo inviável em grande escala. Plásticos reciclados, diferentemente dos metais, perdem sua pureza quando processados e normalmente são destinados a utilizações menos nobres que a produção automobilística.

3.1.5.3 Borrachas

Presente nos pneus, mangueiras, pedais, volante, vedações das portas e cavidades, coxins do motor e suspensão. Atualmente, a maioria das borrachas presentes em um automóvel não se apresenta em sua forma mais pura, pois contém malha de aço (pneus), almas de aço (mangueiras e guarnições) ou anéis de aço (coxins) que aumentam sua resistência estrutural.

O método de reciclagem das borrachas mais utilizado envolve a trituração. O resultado deste processo em forma de granulado de borracha pode ser utilizado em pisos sintéticos ou na composição do pavimento asfáltico. A adição da borracha no asfalto aumenta a sua vida útil, conferindo melhores propriedades de elasticidade para resistir às variações de temperatura, além de reduzir o ruído gerado pelo atrito dos pneus com o piso.

Outra forma muito comum da utilização da borracha é a valorização energética em fornos de siderúrgicas ou de cimento, devido às suas propriedades de queima semelhantes ao carvão e pouco inferiores ao petróleo. Esse processo requer instalação de equipamentos de controle de emissões, mas a diferença de preço em comparação com outros combustíveis tem se mostrado vantajosa em projetos de longo prazo.

Para diminuir os impactos ambientais causados por pneus inservíveis, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou em 26 de Agosto de 1999 a resolução número 258, obrigando as empresas nacionais e importadoras de pneus a recolher e dar destinação adequada aos mesmos no território nacional. Em 2010, o Brasil reciclou 311 mil toneladas de pneus, equivalente a 67 milhões de pneus de automóveis. Desse volume, 64% seguem para as

caldeiras da indústria de cimento e celulose, enquanto que os outros 36% são transformados em cimento ecológico, asfalto permeável e artefatos de borracha.

3.1.5.4 Espumas, tecidos, carpetes e forrações

Tecidos são utilizados nas forrações dos bancos e painéis de porta, locais em que normalmente os ocupantes têm contato contínuo com o veículo. Além de proporcionar conforto ao tato, também possuem uma função estética. Quando são removidos dos veículos em final de vida, podem ser reciclados, porém tem uma destinação menos nobre ao serem utilizados como matéria-prima para novos veículos.

As espumas garantem o conforto ao amortecer as imperfeições do piso, evitando transmiti-las aos passageiros. Tem em sua formulação o poliuretano e possuem baixo potencial de reciclagem, devido ao pequeno valor comercial atribuído a esse material. Os carpetes, além de servirem de acabamento estético na cabine e porta-malas, também desempenham a função de atenuar o ruído para os passageiros. O carpete tem em sua composição o nylon, podendo ser reciclado.

Tecidos, espumas, carpetes e algumas forrações antirruídos podem ser submetidos à reciclagem energética. O forro do teto, como os painéis das portas, são normalmente compostos por um substrato de espuma de poliuretano reforçado por camadas de fibra de vidro revestido de tecido. Lã de rocha e também lã de vidro são utilizados no isolamento acústico e térmico do motor e nas rotas dos tubos de escapamento. Entretanto, devido às suas propriedades físicas, tais materiais são de difícil reciclagem.

As fibras naturais têm apresentado um custo competitivo com as fibras em uso na indústria automotiva, como a fibra de vidro. Estas fibras possuem densidade menor, o que permite fabricar peças com menor peso e resistência mecânica. Por possibilitarem a reciclagem energética, podem também ser uma boa alternativa às fibras sintéticas quando as propriedades de isolamento térmico e resistência ao fogo assim o permitirem.

3.1.5.5 Vidros

Possuem em sua formulação cálcio, cal e sílica. Os vidros automotivos são temperados para evitar a formação de lâminas em caso de quebra, e para melhor proteger a integridade dos passageiros em eventuais colisões. O vidro traseiro inclui geralmente uma resistência metálica para desembaçar os vidros por aquecimento. Os automóveis modernos possuem vidros colados

à carroceria para melhorar as condições aerodinâmicas e reduzir ruídos causados pelo atrito com o ar deslocado no movimento do carro. Os vidros colados também conferem maior resistência estrutural ao veículo.

O vidro, depois de moído e separado das impurezas, pode ser utilizado como matéria-prima nas indústrias vidreiras e de cerâmica, conforme as características requeridas de coloração, granulometria e pureza. No Brasil, a legislação de trânsito requer que o Número do Chassi seja gravado nos vidros com ataque ácido, o que dificulta a reutilização em outro veículo, reduzindo os roubos dos automóveis.

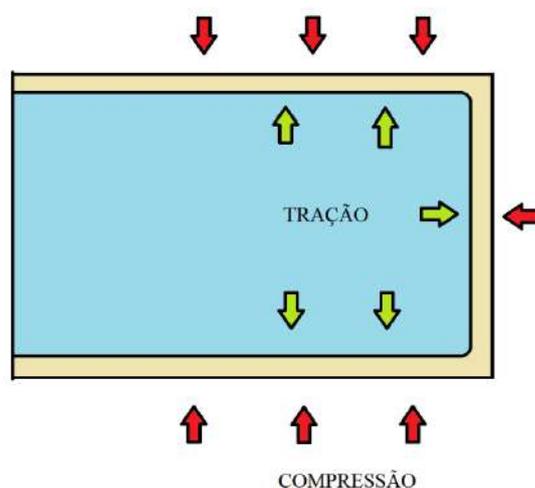
Nos Estados Unidos, a organização *Vehicle Recycling Partnership* (Parceria para Reciclagem de Veículos), patrocinou um estudo de reciclagem de para-brisas na região metropolitana de Detroit para avaliar a viabilidade econômica dessa atividade. O objetivo do projeto era reciclar os vidros danificados retirados dos veículos nas oficinas de reparo com um custo igual ou inferior aos custos de disposição em aterros. Entretanto, os custos de coleta e transporte se mostraram um forte impedimento econômico. Estudos concluíram que deveriam ser recolhidas na rota de coleta mais de três toneladas de vidro por hora, quantidade que as oficinas não poderiam fornecer.

Uma questão interessante a ser ressaltada sobre os vidros, um adendo à citação, é sobre a diferença entre os vidros temperados e os laminados. Nos dois tópicos a seguir, encontram-se as respectivas definições e distinções entre os mesmos.

3.1.5.5.1 Vidro temperado

A resistência do vidro pode ser aumentada pelo processo de têmpera, onde são introduzidas tensões de forma controlada no vidro. A superfície externa do vidro fica submetida a tensões de compressão enquanto o interior está submetido a tensões de tração. A Figura 3.4 ilustra o estado tensão do vidro temperado. Dessa forma, quando o vidro temperado sofre algum impacto que anule as tensões superficiais de compressão o vidro se quebra em pequenos fragmentos menos susceptíveis a causarem ferimentos (MAIA, 2003).

Figura 3.4 – Estado de tensão do vidro temperado



Fonte: O autor

3.1.5.5.2 Vidro Laminado

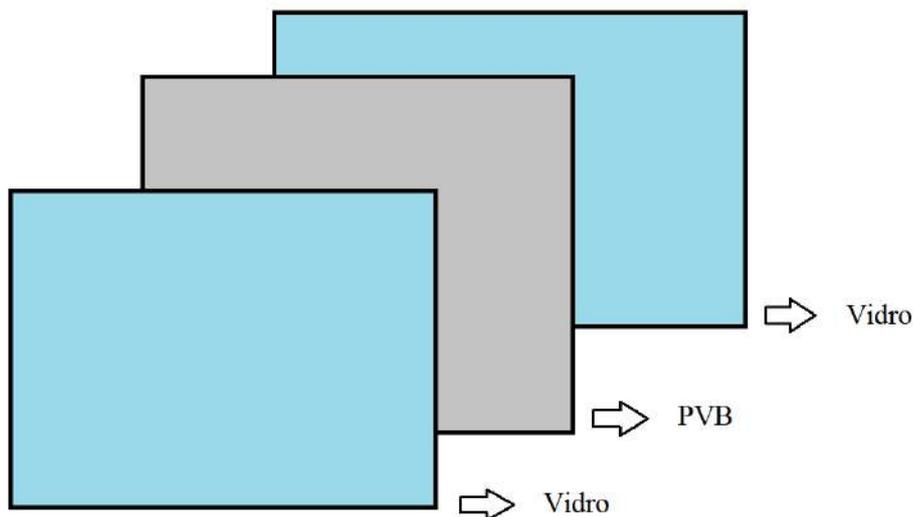
O vidro laminado pode ser definido como uma estrutura composta, constituída de duas camadas de vidro, compreendendo uma folha intermediária de polivinil butiral (PVB). O vidro utilizado na fabricação do vidro laminado é o vidro comum sendo que a camada de PVB que confere ao vidro a segurança, retendo os fragmentos de vidro quando ele se quebra (SHREVE; BRINK JR., 1997).

O PVB um é poliacetal e pode-se considerar que a sua síntese ocorre em três etapas. Na primeira etapa ocorre a polimerização do acetato de polivinila (PVAc). Na segunda etapa o PVAc passa por um processo de hidrólise, dando origem ao álcool polivinílico (PVA). E, por último, ocorre a condensação do PVA com o butiraldeído, na presença de um catalisador ácido, dando origem ao PVB. A reação de condensação do PVA é incompleta, restando assim grupos de hidroxilas (OH⁻) no PVB (CARROT et al., 2015; MORAIS, 2008; TUPY et al., 2014).

No entanto, o PVB não é utilizado em sua forma pura nos para-brisas e nos vidros laminados, mas na forma de filme. O filme de PVB é obtido a partir da extrusão do PVB puro com aditivo plastificante, que varia de acordo com o fabricante, a uma temperatura de 150°C. Os principais aditivos plastificantes utilizados nos filmes PVB são: tetraetilenoglicol diheptanoato, trietilenoglicol di-2-etilhexanoato, butil benzil ftalatos e dibutil sebacato (MORAIS, 2008). Existem diferentes formas de se obter o vidro laminado, porém a mais utilizada é por filme PVB.

A Figura 3.5 ilustra a composição do vidro laminado, sendo duas camadas de vidro e uma de filme PVB entre as mesmas.

Figura 3.5 – Ilustração da composição de um vidro laminado



Fonte: O autor

3.1.5.6 Baterias

São componentes destinados a armazenar energia elétrica para alimentar o motor de partida e os sistemas eletroeletrônicos. Normalmente, as baterias automotivas são constituídas de chumbo, plástico e líquido eletrólito, que pode ser uma solução de ácido sulfúrico. As baterias devem ser retiradas dos veículos em fim de vida útil por se tratar de um componente considerado corrosivo, e armazenado de forma adequada para não derramarem o líquido eletrólito.

O processo de reciclagem mais utilizado consiste na retirada do líquido eletrólito e trituração das baterias, para efetuar a separação dos seus componentes. O ácido sulfúrico deve ser neutralizado com soda cáustica ou utilizado na formulação do sulfato de sódio, que pode contribuir para a fabricação de vidro, detergente e outros produtos. O chumbo deve ser fundido no intuito de retirar as impurezas, sendo posteriormente utilizado na fabricação de novas baterias. Por fim, o plástico é processado por extrusão e então reutilizado.

Um carro elétrico é um veículo impulsionado por um motor elétrico, usando energia acumulada em baterias ou outros dispositivos de armazenamento, como capacitores. Enquanto um motor automotivo à explosão converte apenas 30% da energia gasta em movimento, um motor elétrico transforma quase 100% da energia que produz, com pouca geração de calor ou

ruídos. Isso indica uma maior utilização de veículos com motores elétricos no futuro (BARRETO, 2009).

Independentemente de qual fonte de energia vai abastecer eletricidade para o carro elétrico, seja hidroelétrica, termoelétrica, nuclear, eólica ou solar, este tipo de veículo tende a ser mais um complicador na logística reversa automotiva. As baterias para carros elétricos e híbridos são bem mais potentes e maiores, pesando até 250 quilogramas se comparadas às dos veículos com motor a combustão. De fabricação complexa, elas também podem ser a peça mais cara do veículo, especialmente considerando que em períodos de cerca de três anos, esse conjunto pesado de baterias deve ser disposta de forma sustentável.

Embora sejam unânimes em exaltar os benefícios ambientais dos carros elétricos, as fábricas de automóveis estão divididas quanto à melhor forma de descartar, reciclar ou reaproveitar as caras baterias que os alimentam.

3.1.5.7 Componentes elétricos e eletrônicos

Um circuito eletrônico é constituído de componentes eletrônicos como resistores, transistores, capacitores, indutores e diodos, interligados por fios ou trilhas em uma placa de circuito impresso, através do qual a corrente e sinais elétricos podem circular. Nos veículos automotores, esses circuitos executam diversas tarefas, com destaque para executar cálculos, amplificar sinais, transferir dados, enviar comandos e controlar funções. Além disso, tais circuitos são normalmente encapsulados em caixas de polímeros ou metais, para dar resistência mecânica e protegê-los de umidade, poeira e outros agentes externos.

Os componentes são soldados a uma placa isolante de fenolite, fibra de vidro ou polímero perfurado e com trilhas de cobre, prata, ouro ou outras ligas, com a função de interligar eletronicamente os componentes. Além destes materiais, os circuitos elétricos contêm cobre, estanho, gálio, paládio e outros metais raros de alto valor.

De acordo com Martins (2007), existem no Brasil poucas empresas no ramo de reciclagem de componentes eletrônicos, com tecnologia adequada e preocupação com a preservação ambiental. Por isso, a maior parte da sucata eletrônica é destinada aos aterros sanitários. Como esses componentes contêm elementos nocivos à saúde e ao meio ambiente, necessitam de um tratamento adequado desses resíduos.

Atualmente, somente uma pequena parcela das placas de circuito impresso passa por um processo de reciclagem. Elas são tipicamente colocadas em fundições de cobre, o que

oferece o risco de liberação de fumaças tóxicas nocivas ao meio ambiente. A maioria das placas são simplesmente incineradas ou jogadas em aterros sanitários, o que libera poluentes tóxicos, especialmente metais pesados e dioxinas, nas águas subterrâneas e na atmosfera (SIMONITE, 2007).

Alguns componentes eletrônicos possuem também mercúrio em sua composição, estando presente nos interruptores de iluminação, vidros com filamentos desembaçantes, telas de entretenimento e navegação, faróis de alta densidade, sensores de *airbag* e pré-tensionadores dos cintos de segurança. Por esta razão, em 11 de Agosto de 2006, nos Estados Unidos, a *Environment Protection Agency* (EPA) iniciou um programa nacional para recuperar de 80 a 90% de todo o mercúrio existente nos componentes automotivos de veículos em final de vida útil (EPA, 2006).

3.1.5.8 Catalisador

O catalisador ou conversor catalítico, presente nos veículos mais modernos, é um dispositivo usado para reduzir a toxicidade das emissões dos gases de escape de um motor de combustão interna, através de reações químicas com metais preciosos. Trabalha em conjunto com um sensor de oxigênio para regular a mistura de ar/combustível no motor.

É constituído de um corpo de aço envolvendo um bloco de cerâmica porosa recoberto por uma película ativa. Esta película é constituída por uma mistura de óxidos raros, pulverizada com pequenas quantidades de metais preciosos como platina, ródio e paládio. O catalisador é retirado dos veículos em final de vida devido ao alto valor dos metais nele presentes. O processo de reciclagem mais utilizado consiste na abertura do corpo de aço e na remoção do material cerâmico. Esse material cerâmico é submetido a um processo de depuração, que permite separar os metais preciosos.

3.1.5.9 Componentes pirotécnicos

Os detonadores dos *airbags* e os pré-tensionadores dos cintos de segurança, são dispositivos presentes nos sistemas de segurança passiva dos veículos modernos. Os *airbags* completam a função dos cintos de segurança, agindo conjunta e simultaneamente com o objetivo de reter o movimento dos ocupantes para frente.

A utilização destes sistemas começou a generalizar-se a partir da segunda metade da década de 90, mas no Brasil ainda tem uma baixa participação no mercado devido ao alto

custo desses acessórios e falta de uma cultura de segurança. O Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) instituiu a obrigatoriedade do airbag, juntamente com o sistema antitravamento de rodas, o *Anti Block System* (ABS). A implantação que ocorreu de forma gradual iniciou-se em 2010 com 8% dos veículos comercializados e foi concluída em 2014 de acordo com cronograma específico.

Os *airbags* são bolsas geralmente constituídas por um tecido de nylon ou de poliamida, que se inflam através de um gatilho pirotécnico acionado eletricamente em caso de impacto ou capotamento do veículo. Estes componentes devem ser retirados dos veículos e detonados para não colocar em risco a segurança das pessoas que realizam o desmonte. Sua eventual reutilização pode colocar risco a segurança dos ocupantes dos veículos que receberem esses componentes.

3.1.5.10 Filtro de óleo

Constituído de um corpo metálico e interior em papel. De acordo com a resolução do CONAMA, devem ser removidos dos veículos em final de vida por estarem contaminados com óleo lubrificante. Após o filtro ser removido do veículo, o óleo de seu interior deve ser retirado, normalmente por prensagem. O corpo metálico pode ser fragmentado, separado por atração magnética e encaminhado para reciclagem.

3.1.5.11 Lubrificantes

Os lubrificantes atuam nas partes móveis do veículo, diminuindo o atrito e auxiliando na dissipação do calor gerado na combustão do motor. Normalmente possui base mineral. Os mais modernos são de base sintética, que apesar de serem mais caros, reduzem a frequência das trocas desse lubrificante. Os lubrificantes devem ser retirados por serem tóxicos e inflamáveis sob algumas condições. Para retirar os lubrificantes remove-se o bujão do cárter, sendo o óleo escoado por gravidade para um recipiente adequado.

A partir de um decreto aprovado pelo CONAMA em Junho de 2005, ficam proibidos quaisquer descartes de óleo usados ou contaminados em solos, subsolos, nas águas interiores, no mar territorial, na zona econômica exclusiva e nos sistemas de esgoto ou evacuação de águas residuais.

A combustão ou a incineração de óleo lubrificante usado ou contaminado não são consideradas formas de reciclagem ou de destinação adequada. Lubrificantes são reutilizáveis após

passar por um tratamento de remoção da sujeira e umidade presentes. Após esse processo, os lubrificantes podem ser utilizados na valorização energética em fornos e caldeiras industriais ou utilizados na formulação de lubrificantes novos.

3.1.5.12 Combustíveis

Os veículos no Brasil são normalmente movidos à gasolina, gás liquefeito de petróleo, etanol ou diesel. Estes materiais devem ser obrigatoriamente removidos do veículo em final de vida por se tratarem de materiais considerados poluentes, tóxicos e inflamáveis. O tanque de combustível deve ser perfurado com ferramenta anti-faísca para evitar explosões ou chamas, sendo o combustível escoado por sucção ou por gravidade para um recipiente adequado.

Os reservatórios de gasolina para facilitar a partida a frio nos veículos movidos a álcool também devem ser esvaziados, bem como as linhas de distribuição de combustível. Após filtração/ decantação, a gasolina, GLP, etanol ou diesel podem ser reutilizados como combustível.

3.1.5.13 Fluido hidráulico de freios

Constituído por uma mistura de vários tipos de aditivos anti-congelantes, antioxidantes, inibidores de corrosão e reguladores do ponto de ebulição. É obrigatoriamente retirado do veículo em final de vida útil por se tratar de um componente tóxico, corrosivo e inflamável. O circuito do freio, composto de reservatório, tubulações, cilindros de compressão e expansão, é totalmente drenado para que o fluido seja removido acondicionado em recipientes adequados. A recuperação e posterior utilização são semelhantes ao processo dos óleos lubrificantes.

3.1.5.14 Fluido do ar condicionado

É possível encontrar dois tipos de fluidos térmicos no ar condicionado dos veículos, sendo o R12 e o R134a os mais utilizados. O R12 está praticamente extinto, pois foi proibido após 1994 por se tratar de um Cloro Flúor Carbono (CFC) que destrói a camada de ozônio. Já o R134a passou a ser utilizado em larga escala a partir de 1994. É importante mencionar que o CONAMA exige o recolhimento e destinação adequada a todo e qualquer CFC manuseado no país.

Este fluido é obrigatoriamente retirado dos veículos em fim de vida útil por se tratar de um componente considerado tóxico, nocivo e inflamável. Para isso, utiliza-se um equipamento específico que é ligado através de mangueiras às válvulas do circuito de ar condicionado do

automóvel. O fluido é então extraído por pressão e armazenado em cilindros. Os equipamentos de extração possuem sistema de filtragem e recuperação do fluido de ar condicionado. Desta forma, o R134a pode ser reutilizado para encher sistemas de ar condicionado em outros carros.

A partir da revisão bibliográfica realizada neste trabalho, é possível averiguar a quantidade e variedade de materiais presentes na constituição de um automóvel. Além disso, também pode-se verificar a maneira que cada um deles pode poluir ao meio ambiente, se não destinados da maneira correta. Por isso, trabalhos que propõem a disposição correta para cada um deles são de extrema importância.

3.2 Estado da Arte

Nogueira (2017) demonstra que o Brasil, com uma das maiores frotas de veículos do mundo, enfrenta um grande desafio ambiental por não apresentar um processo consistente e estruturado de reciclagem automotiva. O objetivo do autor é a análise da gestão de automóveis em fim de vida no Brasil e os entraves para sua destinação final de maneira adequada, sendo a reciclagem, uma opção sustentável. Como método, foram realizadas pesquisas de campo na cidade de Belo Horizonte e entrevistas com profissionais qualificados e conhecedores do tema em questão.

Os resultados apontam para uma lacuna entre órgãos públicos responsáveis pela gestão dos automóveis em final de vida e as organizações do setor automotivo, ausência de políticas públicas direcionadas para esse fim e de empresas com tecnologias adequadas para a reciclagem dos materiais provenientes desses automóveis. A logística reversa torna-se fundamental ao ciclo de vida desses automóveis, pois permite a reutilização de suas peças, a reciclagem de seus materiais e a retroalimentação à cadeia produtiva, contribuindo para a formação de um mercado de alto valor agregado para o meio ambiente e a sociedade (NOGUEIRA, 2017).

De semelhante maneira, no trabalho de Silva (2016), o autor afirma que a reciclagem de Veículos em Final de Vida (VfV) é recente no Brasil, enquanto em muitos países como Japão, Estados Unidos e alguns países da União Europeia, essa atividade é prática rotineira há mais de vinte anos. A pesquisa foi realizada através de revisão de literatura sobre os procedimentos legais, técnicos e administrativos relacionados ao tratamento de veículos em final de vida. O intuito foi ampliar o conhecimento sobre o complexo industrial automobilístico brasileiro, bem como elucidar aspectos legais e administrativos da reciclagem de veículos em fim de vida na

cidade de Belo Horizonte, no Brasil e no mundo, e também apresentar alternativas de tratamento de veículos em final de vida.

Silva (2016) constatou que o número de veículos no Brasil cresce consideravelmente, entretanto, a preocupação com a questão ambiental relacionada à reciclagem não é prioridade na pauta do governo federal. A estrutura e logística necessária para captação de um VFV, sua despoluição, separação de materiais, classificação e reciclagem constituem-se uma tarefa complexa e requer diferentes soluções. Diante da complexidade do processo, faz-se necessária a participação de vários setores da sociedade, governo e indústrias.

Já Passos (2013), em sua pesquisa, propôs a análise dos diversos materiais que compõem o veículo e o impacto do descarte no ambiente. Foram abordados aspectos relacionados ao projeto, fabricação e uso dos veículos automotores, correlacionando esses fatores com os impactos na reciclabilidade dos mesmos. Também foi alvo do estudo, as implicações da tributação, legislação e as principais barreiras que o processo encontra em nosso país e ainda, como outros países lidam com essa questão.

Realizada a pesquisa bibliográfica, o autor concluiu que no Brasil a reciclagem de veículos em final de vida, não é enfatizada como deveria. De forma análoga à Nogueira (2017), Passos (2013) atribui ao poder público, a necessidade de iniciativa de articulação entre os demais setores da sociedade para atuar incisivamente nessa questão. O autor estima que a situação tende a se agravar, se considerarmos que dentro de dez a vinte anos, o descarte de resíduos de veículos pode chegar a 4.000.000 de toneladas ao ano.

No ano de 2002, Medina e Gomes publicaram um estudo cujo tema abordado é a reciclagem de materiais automotivos. Neste trabalho, o foco foram os projetos de novos modelos de automóveis, nos quais as montadoras visam utilização de materiais com menor impacto ambiental, e consequentemente buscam maior competitividade no setor automobilístico. Os chamados carros verdes que devem sair de fábricas verdes, onde todo o ciclo de produção e de vida do produto é planejado e gerenciado de forma a evitar qualquer impacto ambiental (MEDINA; GOMES, 2002). Trata-se, portanto, de um planejamento estratégico sob a ótica da dimensão ambiental e seus impactos a longo prazo.

Todas as etapas de produção são criteriosamente planejadas e, segundo os autores, as mesmas peças, sistemas e materiais são utilizados por vários modelos, proporcionando viabilidade no processo de desmontagem e reciclagem. Os pesquisadores afirmam também que a questão ambiental deve ser considerada desde o princípio, através de um projeto criterioso para

propiciar economia e praticidade na recuperação dos materiais e peças do automóvel, permitindo assim, melhor reciclabilidade no futuro.

Um estudo realizado por Arora, Bakshi e Bhattacharjya (2019) sobre gestão sustentável de veículos em final de vida na Índia, alerta sobre o aumento da necessidade de matéria prima para fabricação de veículos. Verificou-se que, em um período compreendido entre o ano de 1997 e 2007, a necessidade de diferentes materiais como metais, plásticos, vidros, borracha e tecido, dobrou.

Os pesquisadores sugerem que a reutilização desses materiais, contribuiria significativamente para a redução de utilização de matérias-primas virgens e, conseqüentemente, a diminuição do grande volume de sucata de aço.

Arora, Bakshi e Bhattacharjya (2019), propõem também a necessidade de engajamento e de responsabilidade compartilhada entre os setores da sociedade, a fim de explorar o assunto em questão e desenvolver um modelo de negócios estruturado, visando a promoção da sustentabilidade na gestão de veículos em final de vida.

Em um estudo recente publicado em 2019, Ali, Wang e Alvarado (2019) afirmam que grande parte da produção de aço no mundo provém de práticas de reciclagem. Os pesquisadores alertam para o alto custo financeiro do processo de fundição durante todo o processo de reciclagem do aço.

Os autores argumentam que, a reutilização direta de materiais de aço sem fundição pode ser ambiental e economicamente vantajosa em relação à reciclagem (ALI; WANG; ALVARADO, 2019). A proposta consiste na utilização direta de chapas de metal obtidas na sucata da indústria automobilística, como exemplo, chapa usada na fabricação de carrocerias, na construção da parte exterior de edifícios.

Através de pesquisa empírica, constatou-se que, com a reutilização da sucata de chapa em detrimento da reciclagem convencional do mesmo material, obteve-se uma redução de custos de aproximadamente 40% e redução de 67% de consumo de energia.

O conceito testado promove uma simbiose industrial inovadora entre a indústria automobilística e a indústria de construção (ALI; WANG; ALVARADO, 2019), abrindo, portanto, novos caminhos para o aproveitamento de materiais originários de veículos em final de vida.

Em um estudo similar, se tratando também dos materiais utilizados na composição de um automóvel, Ortego et al. (2020) averiguou que um automóvel de passageiros demanda em sua fabricação aproximadamente 50 tipos de metais e outros materiais. De acordo com o autor,

no caso dos veículos totalmente elétricos a demanda por materiais é maior, em função dos mais variados dispositivos elétricos e eletrônicos, motores e baterias.

Os pesquisadores desenvolveram um estudo que define uma variável chamada Índice Estratégico de Metal, calculado para cada tipo de metal. De acordo com os pesquisadores, tal índice foi aplicado a 50 metais utilizados por diferentes tipos de motorizações de veículos.

Foi possível averiguar que os elementos mais estratégicos são Ni, Li e Co (usados em baterias), Nd e Dy (ímãs permanentes), Tb (iluminação e injetores de combustível), Sb, Bi e e B (ligas de aço, pinturas), Au e Ag (eletrônicos), In (telas) e Te (ligas de aço, eletrônicos) (ORTEGO et al., 2020).

Também no ramo dos materiais constituintes, Zhang et al. (2020) realizou um estudo que trata sobre o Paládio, material utilizado na produção de catalisadores automotivos. Segundo o próprio autor, mais da metade do paládio no mundo é usado para produzir tais catalisadores, o que conseqüentemente contribui para a escassez desse recurso. A partir disso, os autores propuseram uma metodologia que consiste na captura de sucata de cobre seguida por um processo de eletrodeposição para reciclar paládio

O processo tecnológico consiste principalmente em dois procedimentos: captura de sucata de cobre com a finalidade de enriquecimento de paládio e processo de eletrodeposição com a finalidade de separação e purificação do paládio (ZHANG et al., 2020).

Dos diversos pontos apresentados no trabalho, pode-se citar o desenvolvimento de um mecanismo para captura de paládio por sucata de cobre e o desenvolvimento de projetos otimizados, parâmetros e análises de produtos para orientar a reciclagem industrial. Este processo superou as carências do processo tradicional, devido à sua eficiência, baixo custo e reciclagem ecologicamente correta dos materiais em questão.

Se tratando da questão ambiental, Sato, Furubayashi e Nakata (2019), afirmaram que o setor de transporte é responsável por cerca de 25% do consumo total de energia e das emissões de CO₂ em todo o mundo. Tem-se conhecimento de que a melhoria da eficiência energética de veículos tem sido alvo de diversos estudos nas últimas décadas, porém tais pesquisas focam apenas na fase de produção, segundo os próprios autores. Pouco trabalho foi desenvolvido para compreender o valor do material dos veículos em final de vida.

Diante do exposto, os autores, desenvolveram um estudo de caso no mercado japonês com vistas a esclarecer como os materiais obtidos de veículos sucateados são usados, propondo

um método de análise para avaliar os seus benefícios, definindo os conceitos de redução de energia e CO₂.

O estudo demonstra sua relevância ao concluir que realizando os procedimentos adequados, a redução do consumo de energia e liberação de CO₂ seriam consideráveis. Seriam poupados 52,8 MJ de energia e 2,80 kg CO₂ por kg de veículo.

Da mesma forma que os autores do estudo citado anteriormente, os pesquisadores Karagoz, Aydin e Simic (2020) também afirmaram através de uma pesquisa, que a gestão de resíduos de veículos tem sido alvo de estudos nos últimos anos principalmente por motivos ambientais e econômicos. De acordo com os pesquisadores, a maior parte dos estudos foca apenas em uma pequena área de gestão de veículos em final de vida, como logística reversa, recuperação de infraestrutura, desmontagem, dentre outras.

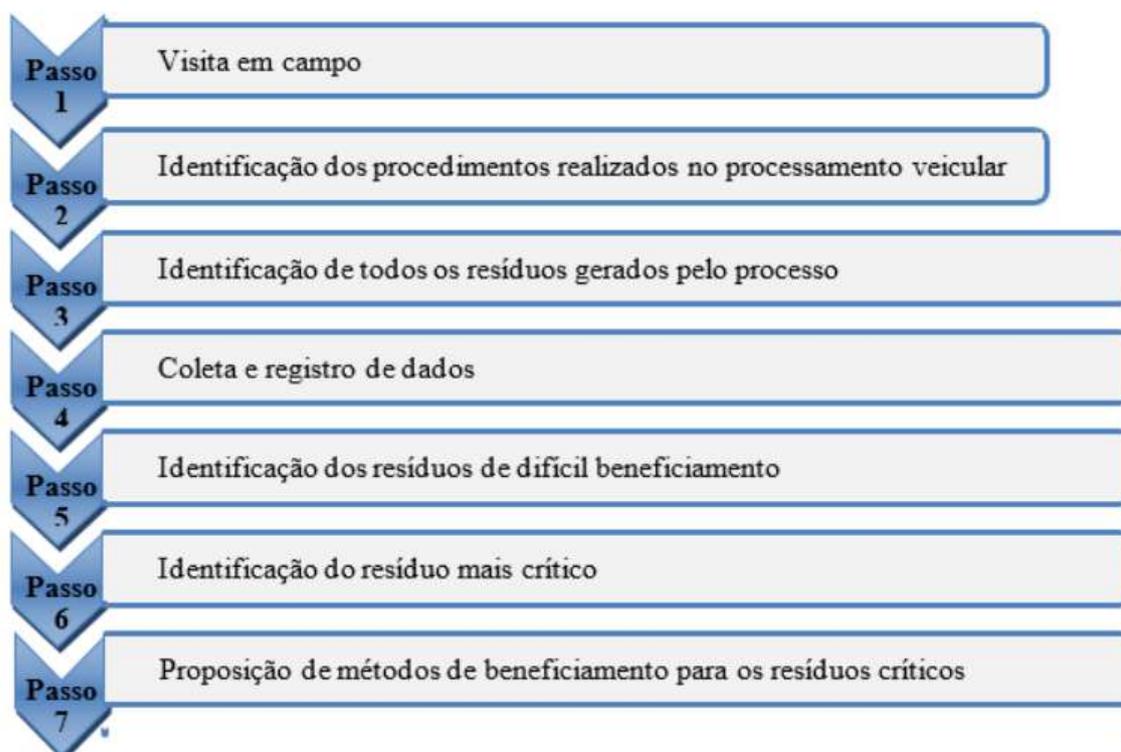
Os autores realizaram uma revisão bibliográfica a partir da análise de 232 estudos publicados no período 2000-2019. Tal revisão apresenta uma fonte valiosa de referências, percepções e oportunidades para pesquisadores aprofundarem seus conhecimentos na gestão de veículos em final de vida.

A partir da análise dos trabalhos acima apresentados, percebe-se que existem inúmeras maneiras de se reciclar diferentes resíduos provindos do processamento veicular. Cabe à pessoa que tiver a intenção de aplicar algum destes, analisar sua viabilidade na situação em particular.

4 METODOLOGIA

A pesquisa tem como foco os resíduos gerados a partir da reciclagem dos automóveis, entendidos por todo veículo automotor destinado ao transporte de passageiros. Para melhor compreensão das etapas a serem seguidas durante os trabalhos, foi construído um fluxograma, representado na Figura 4.1, o qual ilustra passo a passo a metodologia.

Figura 4.1 – Fluxograma das etapas a serem realizadas



Fonte: O autor (2020)

Visando o cumprimento dos objetivos propostos, serão realizadas as etapas pré-definidas e bem estruturadas relacionadas ao tema da reciclagem automotiva. Com a finalidade de verificar detalhadamente o funcionamento da empresa que processa os automóveis em fim de vida útil, foi visitado o local durante 5 dias consecutivos.

Segregados os resíduos, serão analisados quais os tipos são obtidos, a quantidade em volume ou massa (de acordo com o estado físico), e qual o destino dado a eles. Os dados obtidos serão todos colocados em uma planilha, ilustrada na Tabela 4.1, para fins de análise e comparação. Feito isto, é possível identificar os materiais que apresentam destinação mais difícil, e que apresentam baixo, nenhum lucro ou até despesas à empresa. Paralelamente ao processo, foi discutido com os responsáveis pela empresa sobre o tema como um todo, a respeito dos

resíduos em geral, quais empresas os compram, quais não são vendidos, o que especificamente é feito com eles, a fim de coletar o máximo de informações úteis possível.

Tabela 4.1 – Planilha com informações sobre resíduos

Resíduo	Volume / Peso	Destinação

Fonte: O autor (2020)

Preenchida a Tabela 4.1, foram analisados quais são os resíduos que não são vendidos para empresas terceiras, sendo enviados para aterros sanitários. Estes são denominados resíduos críticos, e a partir dos mesmos, identificou-se o caso mais grave. Feito isto, uma revisão bibliográfica foi realizada com base em revistas indexadas, dissertações de mestrado, teses de doutorado e trabalhos de conclusão de curso, com a finalidade de encontrar alternativas para se agregar valor aos resíduos críticos em questão.

Tem-se também o intuito de encontrar através desta pesquisa, uma solução viável para o beneficiamento do resíduo mais crítico. Especificamente para tal, pretende-se não somente encontrar o procedimento em si, mas também verificar a viabilidade de tal embasado em recursos reais disponíveis na região, analisando a viabilidade da aplicação em campo. Desta forma, encontrando um novo destino viável financeira e ecologicamente para o mesmo.

5 RESULTADOS

Durante o período de visita em campo, dentre várias informações coletadas, pôde-se conhecer detalhadamente os procedimentos realizados durante o processamento de um veículo em fim de vida útil e os resíduos gerados.

5.1 Identificação dos procedimentos realizados no processamento veicular

A princípio, o automóvel é recebido pela empresa e alocado no pátio, onde aguarda sua vez de ser desmontado, situação ilustrada na Figura 5.1.

Figura 5.1 – Veículo aguardando em pátio o devido processamento



Fonte: O autor

O primeiro passo do processamento do veículo é a drenagem de fluidos, que é realizada em uma estação de descontaminação. Os óleos lubrificantes e fluidos de arrefecimento drenados são direcionados a reservatórios separados e específicos para cada qual, onde são estocados até uma posterior coleta pela empresa que os recicla.

Figura 5.2 – Estação de descontaminação



Fonte: O autor

Na próxima etapa, a carcaça é transferida para o centro de desmontagem ilustrado na Figura 5.3, onde de fato ocorre a desintegração dos componentes por completo. Com maquinários e ferramentas específicas, os operários desmontam o restante do automóvel, os resíduos (partes) são separados entre si de acordo com sua composição e também estocados, até a respectiva coleta pela empresa que os recicla.

Figura 5.3 – Centro de desmontagem



Fonte: O autor

Feito isto, a carcaça do automóvel retorna ao pátio como pode ser visto nas Figuras 5.4 e 5.5, onde aguarda junto às demais a coleta realizada pela empresa que as recicla. O local do pátio onde as carcaças já desmontadas permanecem é separado do local onde os carros recém chegados ficam, tudo isto colaborando para a logística e otimização do funcionamento do todo.

Figura 5.4 – Foto externa de um veículo já desmontado



Fonte: O autor

Figura 5.5 – Foto interna de um veículo já desmontado



Fonte: O autor

5.2 Identificação de todos os resíduos gerados pelo processo

A partir da análise do processo como um todo, foi possível realizar a identificação dos principais resíduos obtidos no processo de reciclagem de um veículo. Os principais tipos de resíduos provenientes de um automóvel no processo de reciclagem e suas especificações são apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Especificações dos resíduos provindos do processamento de um veículo

RESÍDUO	ESPECIFICAÇÃO	ORIGEM
Fluidos	Óleo lubrificante	Motor e transmissão
	Combustível	Tanque/linha de combustível
	Gás refrigerante	Sistema de ar condicionado
	Fluido de arrefecimento	Sistema de arrefecimento
	Fluido de freio	Sistema/linha de freios
Borracha	Borracha com diferentes composições e propriedades	Pneus
		Vedações da carroceria na lataria
		Pneus
		Acabamentos internos
		Buchas de suspensão
		Acabamentos externos
		Mangueiras
Revestimentos		
Plástico	Plástico com diferentes composições e propriedades	Acabamentos internos
		Acabamentos externos
Vidro	Vidro temperado	Janelas laterais e traseira
	Vidro laminado	Para-brisas dianteiro
Metal	Alumínio	Rodas
	Cobre	Chicote elétrico
	Aço	Carroceria, peças de suspensão, motor, transmissão
	Metais Nobres	Eletrônicos
Poliuretano	Poliuretano com diferentes composições e propriedades	Estofamento
		Acabamentos internos
		Buchas de suspensão
Tecidos têxteis	Tecidos têxteis	Revestimentos internos do estofamento, forrações
Bateria	Fonte de energia elétrica	Parte elétrica do automóvel

Fonte: O autor

Entre os materiais agrupados em uma mesma classe, como citado acima, os mesmos podem apresentar algumas pequenas diferenças em suas composições, de acordo com a finalidade para o qual é utilizado. Porém, ainda assim permanecem num mesmo agrupamento. A seguir, pode-se visualizar as figuras que ilustram os resíduos provindos do automóvel já segregados por categorias, de acordo com sua composição. Sendo assim, cada qual aguarda a próxima etapa em um repartimento específico. Na Figura 5.6 estão apresentados os resíduos de ferro fundido, na Figura 5.7 os elementos filtrantes de papel e na Figura 5.8 os chicotes elétricos.

Figura 5.6 – Resíduos de ferro fundido separados em recipientes específicos



Fonte: O autor

Figura 5.7 – Elementos filtrantes de papel separados em recipientes específicos



Fonte: O autor

Figura 5.8 – Chicotes elétricos separados em recipientes específicos



Fonte: O autor

Os chicotes elétricos após serem segregados, passam por um processo de trituração onde o componente isolante é separado do elemento condutor através de vibrações em diferentes frequências. Feito isto, cada tipo de resíduo é encaminhado ao respectivo recipiente de armazenamento até posterior coleta para reciclagem.

5.3 Coleta e registro de dados

Identificados os resíduos, e os mesmos já fora do carro, foi possível realizar a medição de seus respectivos volumes/pesos. Os dados foram obtidos a partir da pesagem de resíduos sólidos em uma balança específica para tal, e os resíduos líquidos tiveram seu volume medido em recipientes próprios, com escala volumétrica. Na Figura 5.9, são ilustrados alguns dos processos de pesagem dos resíduos sólidos na balança. Para obtenção dos dados completos de determinadas categorias, foram realizadas mais de uma pesagem, devido à quantidade e disposição de resíduos no local.

Figura 5.9 – Registro fotográfico da pesagem dos principais resíduos de um automóvel Volkswagen Gol 1994 no fim de sua vida útil



Fonte: O autor

Coletados os dados e informações necessárias, preencheu-se a Tabela 5.2 citada na metodologia, com relação aos materiais identificados.

Tabela 5.2 – Planilha preenchida com informações sobre resíduos

Resíduo	Volume / Peso	Destinação
Fluido de freio	500 mL	Empresa terceira coleta
Fluido de arrefecimento coleta	5 L	Empresa terceira coleta
Fluido Lubrificante	5 L	Empresa terceira coleta
Combustíveis	Variável	Empresa terceira coleta
Borracha	95 kg	Aterro sanitário
Plástico	100 kg	Aterro sanitário
Vidro	35 kg	Aterro sanitário
Metal	550 kg	Empresa terceira coleta
Poliuretano	20 kg	Aterro sanitário
Tecidos têxteis	17 kg	Aterro sanitário
Bateria	13 kg	Empresa terceira coleta

Fonte: O autor

Uma observação importante a ser feita, é que os carros lá processados são de diferentes anos, modelos e marcas, além do estado de integridade que cada um se encontra ao serem processados. Devido a tal, a quantidade de cada material na composição dos mesmos varia consideravelmente.

5.4 Identificação dos resíduos de difícil beneficiamento

Realizados todos os procedimentos anteriores, pôde-se averiguar que os materiais que apresentam situação mais crítica no processo de descarte são os seguintes:

- Plástico;
- Borracha;
- Vidro;
- Poliuretano;
- Tecidos têxteis.

Obteve-se também a informação de que estes não possuem ainda destinação final adequada, e nem empresas que os adquirem com fins de reciclagem, devido a fatores financeiros e complexidade do processo de reciclagem. Até então, tais resíduos são descartados em aterros sanitários, e a própria CNR arca com os custos da remoção e transporte dos mesmos até o local de descarte. Além da questão financeira, é pertinente também a questão ecológica, visto que o descarte de resíduos em aterros sanitários é muito prejudicial ao meio ambiente.

De acordo com os dados obtidos e análise de caso no local, constatou-se que o resíduo mais crítico é o vidro. Diversos são os fatores que contribuem para tal constatação, dentre eles pode-se citar o problema de que o mesmo é o material que oferece maior risco físico aos funcionários que o manuseiam, além de ter um tempo indeterminado para se decompor no meio ambiente, de acordo com Mateus, Machado e Aguiar (2019). Paralelamente ao problema da saúde ocupacional e ambiental, tem-se também a limitação de ordem financeira. A empresa que coleta e transporta tais resíduos até o aterro sanitário, toma como base o peso dos mesmos para estipulação do preço do serviço de transporte. Sendo o vidro o material com maior densidade entre os demais, o mesmo acarretará em um acréscimo significativo no valor pago à empresa terceira. Além dos fatores citados anteriormente, o processamento do vidro se dá de maneira relativamente simples, cooperando de certa forma com a viabilização da aplicação do mesmo, tendo em vista os recursos disponíveis.

Considerando os valores médios do peso de vidro obtido a partir de cada veículo processado, pode-se estimar a quantidade em dinheiro que é gasta para deposição de tal resíduo em aterros sanitários. De acordo com pesquisas na região, o preço médio pago para ser depositar

uma tonelada de resíduo no aterro gira em torno de 160 reais. Logo, multiplicando-se o peso médio do vidro presente em um carro pelo número médio de carros processados em um dia, tem-se a quantidade de resíduos de vidro obtidos nesse intervalo de tempo. Logo multiplicando pela quantidade de dias contidos em um mês obtém-se a quantidade de vidros acumulados em um mês.

- 35 kg vidro por carro x 13 carros por dia = 455 kg vidro por dia.
- 455 kg x 5 dias x 4 semanas = 9100 kg por mês.

A carreta de propriedade da CNR tem capacidade de carga de 27 toneladas, logo para otimizar o transporte a mesma leva ao aterro os resíduos quando a capacidade máxima de carga for atingida, em média a cada três meses.

- 3 meses x 9100 kg = 27300 kg (aproximadamente 27 toneladas).
- 9,1 toneladas de vidro x R\$ 160 = R\$ 1456 por mês.
- R\$ 1456 x 3 meses = R\$ 4368,00.

Verifica-se que a despesa média para deposição dos resíduos no aterro a cada três meses gira em torno de R\$ 4368,00. Considerando-se o valor do transporte, que gira em torno de R\$ 400 (ida e volta), a despesa total para remoção dos resíduos da CNR a cada três meses gira em torno de R\$ 4768,00. Em valores mensais, custa em média R\$ 1589,33. Em termo de custo por tonelada de resíduo, basta dividir o valor pela quantidade em toneladas de resíduo obtido.

- R\$ 4768,00 / 27.3 ton = R\$ 174,65 / tonelada.

A partir dos dados obtidos, verifica-se que tais valores são custos para a empresa, ou seja, dinheiro “perdido”, despesas. Por esta razão, além da questão ambiental, faz-se necessário o beneficiamento de tais resíduos, para que estes custos sejam convertidos em retorno financeiro positivo à empresa.

Na Seção 5.5, consta uma revisão bibliográfica sobre possíveis formas de se beneficiar os resíduos críticos, exceto o vidro. Logo após, na Seção 5.6 é tratado com especificidade o beneficiamento do vidro, com maior detalhamento e proposição de aplicação, visto que é o tema foco do trabalho.

5.5 Proposta de métodos de reciclagem para os materiais de difícil beneficiamento

Os resíduos obtidos a partir do processamento de um veículo podem ser reciclados e reaproveitados de várias maneiras, e para diversas finalidades. Todas elas trazem benefícios ambientais, e são promissoras. Para seleção e aplicação dos mesmos, algumas variáveis devem ser analisadas, como a viabilidade financeira, a finalidade desejada, logística, disposição de recursos, dentre outras. Desta maneira, pode-se selecionar o melhor método para cada ocasião específica. Abaixo estão descritos possíveis caminhos a serem seguidos para cada resíduo, a partir de trabalhos já realizados na área.

5.5.1 Plástico

No trabalho de Fernandes e Domingues (2007), foram apresentadas alternativas para a reciclagem do polipropileno (PP). Neste trabalho, foram analisadas as propriedades mecânicas de misturas do polipropileno (PP) virgem e reciclado, visando a viabilidade das mesmas em relação à qualidade dos produtos. A pesquisa utilizou corpos de prova padrão, injetados com duas misturas de PP, sendo 30% reciclado e 70% virgem, 50% reciclado e 50% virgem e 100% reciclado, comparando-as com o material 100% virgem. Os ensaios de tração e de impacto foram utilizados no intuito de averiguar as propriedades mecânicas e a resistência dos corpos de acordo com as variadas quantidades de PP reciclados em suas composições, respectivamente.

Aludindo aos resultados obtidos, percebe-se que dentre as porcentagens de PP reciclado utilizadas, apenas o material com 30% do material reciclado se aproxima do valor de deformação adequado, ou seja, valor próximo ao dos 100% virgem. Acima de 30% pode-se perceber uma brusca diminuição desse valor, impossibilitando a sua utilização para esta aplicação. Além disso, os resultados expostos pelos autores demonstraram que a reciclagem do plástico, especialmente dos para-choques, torna-se mais fácil e possível principalmente pela presença do polipropileno, cujo material possui alta taxa de reciclabilidade.

Também pelo trabalho de Fortes (2008), foi possível se ter maior conhecimento sobre as cadeias de reciclagem e seus empecilhos, com ênfase aos principais materiais plásticos utilizados durante todo ciclo produtivo dos automóveis. Visando o alcance desse objetivo, a autora realizou pesquisas para identificar os principais recicladores de materiais plásticos. Foram realizadas também visitas e entrevistas com fornecedores desse tipo de material à indústria automobilística, e pesquisas nas montadoras da Renault e Ford do Brasil, no intuito de mensurar a quantidade dos materiais plásticos reciclados que são utilizados nessas empresas.

Quanto aos resultados, pôde-se verificar que os plásticos conseguem ser reciclados através de processos de separação de contaminantes como sujeiras, misturas e outros solventes. Entretanto, percebe-se que os custos para a separação e limpeza dos polímeros, na maioria das vezes, são maiores se comparados com os custos da aquisição de materiais virgens. Além disso, pode-se notar uma evidente dificuldade de acesso aos recicladores, demonstrando que o Brasil ainda possui outras barreiras que o impedem de alcançar resultados mais satisfatórios na reciclagem de peças plásticas automotivas.

O trabalho de Guerhardt et al. (2016) também merece destaque no assunto. O mesmo explicita evidências da produção mais limpa obtidas por meio da implementação da reciclagem de material plástico em uma linha de injeção de maçanetas veiculares. Por meio de um estudo de caso em uma autopeça renomada de São Paulo, os autores investigaram a melhoria resultante do processo na empresa estudada. Com a ferramenta de eco eficiência, a empresa conseguiu reciclar o “refugo” do plástico utilizado na injeção das maçanetas através de um moedor. Os resultados obtidos demonstraram que o plástico poderia ser novamente inserido no processo produtivo, proporcionando uma grande redução de materiais descartados e consequentemente gerando um valor de caixa anual positivo à organização.

5.5.2 Borracha

Um importante trabalho realizado na área é o de autoria de Jorge, Ferreira e Neto (2004). O objetivo do mesmo consistiu em analisar o traço ótimo para composição de resíduo de borracha derivada de pneus inservíveis, misturada a um aglomerante de origem vegetal, a resina poliuretana derivada do óleo de mamona. Analisou-se as durezas, o módulo de elasticidade e alongamento e resistência à compressão para duas diferentes proporções de mistura do composto borracha x resina PU, e compararam-se os resultados com a borracha de pneu em uso.

Os resultados do trabalho indicaram que há uma baixa capacidade dos compostos resistirem a grandes tensões de compressão, rompendo com deformações próximas a 50% das dimensões iniciais dos corpos de prova. O módulo de elasticidade à compressão obtida foi maior no caso do composto borracha x resina PU em relação ao material retirado de um pneu em uso. Aliado a isso, os resultados obtidos indicam um grande potencial para a utilização deste composto de borracha x resina poliuretana derivada de óleo vegetal em várias aplicações na construção civil, podendo representar uma alternativa viável para a reutilização de borracha proveniente da moagem de pneus inservíveis.

Outra importante bibliografia é a de Pais, Pereira e Minhoto (2008). O objetivo geral deste trabalho se resumiu em apresentar um estudo acerca do desempenho da reciclagem de pneus usados na reabilitação de pavimentos. Realizou-se uma análise de duas misturas diferentes de betume modificado utilizadas nos pavimentos, sendo uma delas composta por borracha de pneus reciclada. Como resultado, foi possível observar que a borracha depois de ser granulada, pode modificar intensamente as misturas de betume, criando assim um composto com melhor desempenho em termos de resistência à fadiga, se comparado ao composto convencional. Desta forma, se mostrando uma viável alternativa para reciclagem da borracha.

O estudo de Wimmers et al. (2016), também oferece uma grande contribuição para o tema abordado. O objetivo deste trabalho foi demonstrar o uso de compostos para produção de solados de borracha, empregando como matéria prima o pó de pneu automotivo. Os autores utilizaram como metodologia o levantamento bibliográfico e um estudo de caso em uma empresa do setor calçadista da cidade de Franca, aplicando análises qualitativas e quantitativas em solados produzidos com reuso do pó de pneu, em substituição à borracha sintética. Os resultados indicaram que o pó do pneu, proveniente da moagem e trituração de fragmentos do mesmo, possibilitou à empresa estudada um ganho de competitividade, custos financeiros reduzidos e fabricação de novos produtos.

5.5.3 Poliuretano

No trabalho realizado por Mark e Kamprath (2004), o objetivo dos autores foi aprofundar nos processos de reciclagem do poliuretano, suas etapas e detalhes. Realizou-se testes físicos, químicos e visuais com uma grande quantidade de espuma de poliuretano advindas de almofadas automotivas, cerca de 10 toneladas. Foram definidos três esquemas para reciclagem do poliuretano, os quais podem ser obtidos a partir da desmontagem dos assentos automotivos, da reciclagem da própria matéria prima e da lavagem de resíduos obtidos por meio de trituradores de automóveis, respectivamente.

Ao fim da pesquisa, pôde-se observar que a qualidade do poliuretano obtido a partir do triturador de veículos depende diretamente do método de separação e pós-processamento do mesmo. O material de melhor qualidade pode ser obtido pela desmontagem das almofadas dos automóveis, seguida por uma boa lavagem, dentre outros fatores. Averiguou-se também que a reciclagem do poliuretano derivado do estofamento automotivo pode contribuir com o meio

ambiente de diversas formas, principalmente pela reutilização do material, redução da poluição e economia de energia no processo de produção.

Já o trabalho de Rosa e Guedes (2003), teve por objetivo estudar o desenvolvimento do processo de reciclagem mecânica do poliuretano automotivo, a fim de transformar uma grande quantidade de lixo industrial em polímeros reciclados. Esse processo foi realizado levando-se em consideração o efeito da temperatura durante o processamento e as diferentes proporções de cada resíduo utilizado na mistura. Os produtos obtidos demonstraram características distintas quanto à capacidade de resistência à tração, resistência à abrasão e determinação da dureza, sendo posteriormente estudados para avaliar a viabilidade dos mesmos em possíveis aplicações. Os resultados obtidos mostraram que foi possível reciclar o material e obter novos compósitos com características adequadas para aplicação em pisos de academia e pistas de atletismo. Alternativa esta muito interessante, visto que colabora diretamente com a prática de esportes, imprescindível para bem-estar, saúde física e mental.

Também a pesquisa de Alimena (2009), teve por objetivo estudar comparativamente a condutividade térmica de espumas rígidas de poliuretano recicladas quimicamente e mecanicamente de resíduo industrial. Na reciclagem química, os resíduos de espuma rígida de PU sofreram uma reação de glicólise para formar uma mistura de polióis (poliol bruto), que foi utilizada na obtenção da espuma reciclada com 2 e 5% de poliol bruto na sua formulação. Já na reciclagem mecânica, os resíduos de espuma rígida foram micronizados e agregados em 2 e 5% ao poliol comercial. Vale salientar que a reciclagem química das espumas PUR produziu uma mistura bruta de polióis cujas características se assemelham totalmente com a do poliol virgem.

Os resultados destacados pelo autor se baseiam nas análises de densidade do núcleo, resistência à compressão e condutividade térmica dos materiais, este último sendo o ponto chave do trabalho. Os valores da condutividade térmica das espumas recicladas (0,021 W/m.k) são similares ao da espuma comercial (0,022 W/m.k), indicando que as espumas obtidas através das reciclagens apresentam bom desempenho também como material isolante. Sendo assim, essa se mostra uma alternativa interessante para a reciclagem do material.

5.5.4 Tecidos têxteis

Sobre este tema, é de grande importância o trabalho de Wartha e Haussmann (2006). O objetivo geral da obra foi analisar as relações de custos-benefício da reciclagem na indústria de confecção Dudalina S/A, situada na cidade de Blumenau-SC. Visando a consecução de

tal objetivo, as autoras identificaram os diversos resíduos gerados pela empresa, assim como analisaram os procedimentos realizados na reciclagem de cada um desses resíduos. Parte dos tecidos, principal material utilizado, são revendidos a coletores que os transformam em estopas, também é enviada a outras empresas para trabalhos artesanais ou são doados a entidades sem fins lucrativos para fabricação de novos produtos como colchas, aventais, dentre outros.

Como resultado observou-se, que os benefícios da utilização da reciclagem de resíduos superam os custos iniciais de investimento na área, oferecendo à organização lucros não-operacionais resultantes dessa prática. Além disso, a reciclagem também permitiu uma conscientização humana no município de Blumenau, incentivando o trabalho da limpeza como ação fundamental na preservação do meio ambiente, questões muito pertinentes na atualidade.

Destaca-se também o trabalho de Castro et al. (2018), onde os autores realizaram um estudo na cidade de Jaraguá, sobre o número de empresas do setor têxtil que adotam práticas sustentáveis em suas atividades. A metodologia empregada refere-se ao uso de materiais bibliográficos como livros, sites institucionais e normas técnicas. Os resultados demonstraram uma crescente preocupação das organizações nesse quesito, apoiadas em grande parte pelo projeto “Moda Útil”. Esse projeto redefiniu a política ambiental das empresas do setor, as quais passaram a desenvolver alternativas para reutilização e reciclagem dos materiais. Como consequência, os consumidores também mudaram sua postura e incentivaram o projeto, passando a exigir cada vez mais produtos e serviços que agregam valores em ações sustentáveis.

Outro trabalho analisado é o de Amaral et al. (2018). No mesmo, foi apresentado, dentre outros fatores, como são realizados os principais processos de reciclagem de tecidos. Assim como o poliuretano, os tecidos têxteis são compostos de fibras sintéticas, e podem ser reciclados tanto mecânica como quimicamente. Ambas as formas são explicitadas no trabalho, configurando o objetivo principal da obra. Os resultados obtidos com a pesquisa demonstram a possibilidade de criação de novos materiais ou reutilização dos mesmos em outros processos produtivos. Este trabalho explicita mais uma vez as diversas possibilidades de métodos de reciclagem para um mesmo material, e também as diversas possíveis finalidades.

5.5.4.1 Reciclagem mecânica

No processo de reciclagem mecânica, primeiramente os tecidos são cortados e triturados pela máquina trituradora, a qual é formada por rolos com agulhas em suas superfícies. As agulhas têm a função de rasgar e triturar o tecido. O número de rolos e agulhas varia de acordo

com estágios e capacidade de processamento da máquina. Quanto mais estágios, maior será a qualidade da fibra reciclada obtida.

Figura 5.10 – Interior da máquina trituradora



Fonte: Adami Têxtil (2014)

De acordo com a composição dos retalhos processados, as fibras moídas podem voltar à indústria como mantas, estofamento, tecidos geotêxteis e enchimentos, ou podem também voltar ao processo de fiação. Ou seja, o processo de reciclagem mecânica de têxteis é muito amplo e abrangente, contando com diversas variáveis determinantes. É um processo relativamente simples e eficaz, reaproveitando resíduos que seriam descartados incorretamente. Com isso, são agregados diversos benefícios da reciclagem como economia de energia no processo de produção, redução de custos, dentre outros.

5.5.4.2 Reciclagem química

Como mencionado anteriormente, as fibras sintéticas também podem ser recicladas quimicamente, sendo este um procedimento mais complexo. Dentre as variações existentes, as mais comuns são poliéster, acrílico, poliamida/nylon, polipropileno e elastano, porém somente o poliéster, poliamida e elastano podem ser reciclados quimicamente.

Existem três diferentes patentes brasileiras de processos de regeneração química de fibras sintéticas. A mais antiga trata da recuperação do poliéster sólido, cujo processo consiste em moagem, secagem, limpeza e reuso do poliéster sólido como uma matéria-prima nos processos de fusão e extrusão. Tais processos ocorrem a uma temperatura de 295 °C, e a partir de tal, são obtidos fios e filamentos têxteis.

Já a segunda patente trata da separação da poliamida e elastano, cuja atividade se dá inicialmente de acordo com a cor e qualidade do fio. As sobras de tecido são colocadas dentro de um tanque de aço inoxidável com ácido fórmico e posteriormente tal conteúdo passa por um filtro, que retém a parte sólida em forma de spandex de espuma leve, e então a espuma é lavada para remover qualquer resíduo de poliamida. O líquido restante é aquecido em um condensador a 50°C, gerando a separação do ácido fórmico, o qual passa para a fase gasosa. Finalmente, a poliamida depositada no condensador em forma de uma fina massa pode ser reusada na indústria têxtil ou na indústria química de plásticos.

A terceira e mais recente patente trata da reciclagem da poliamida, com intuito de obter um estado de pureza que permite a reutilização do resíduo na forma virgem. Durante o processo, a dissolução da fibra ocorre sem modificação da estrutura molecular da poliamida pura.

5.5.5 Incineração

A princípio uma forma aparentemente viável de se beneficiar tais resíduos, exceto o vidro, condizendo com a realidade local, é a incineração controlada. Nas proximidades da cidade de Lavras – MG existe uma indústria cimenteira que realiza tal procedimento, a qual recebe os resíduos necessariamente triturados e os incinera em seu forno, servindo de combustível para obtenção de seus produtos finais.

Corroborando com essa linha de pensamento, Filho (2008) afirma que o processo de incineração controlada dos resíduos sólidos traz bons resultados, especialmente considerando o fator energético. Além disso, o autor ainda explica que o aproveitamento de tais resíduos como fonte energética reduz a quantidade física desses materiais que em sua maioria são enviados para aterros sanitários.

Em um estudo de caso realizado em 2008 na cidade de Bauru – SP, os resultados obtidos demonstraram que a incineração controlada, utilizando-se os métodos e ferramentas corretas, é uma boa alternativa em relação ao tratamento dos resíduos. O objetivo deste estudo se resumiu em avaliar a viabilidade energética, econômica e ambiental da incineração controlada no município citado. Foram utilizados materiais bibliográficos e o software COMBUS, que permite analisar o processo de combustão e a quantidade de energia gerada por cada resíduo, dentre três possíveis alternativas explicitadas abaixo.

As alternativas citadas, em ordem cronológica, são: calcular a energia gerada com a totalidade da incineração dos resíduos; calcular a energia gerada com a incineração, tomando

como base a segregação dos materiais, em relação à sua eficiência energética; e calcular a energia gerada pela incineração retirando-se os materiais recicláveis. Diante destes experimentos, foi possível concluir que a energia obtida pela incineração controlada dos resíduos sólidos em Bauru seria suficiente para atender aproximadamente 26.800, 19.980 e 8.560 residências respectivamente, seguindo as alternativas 1, 2 e 3 (FILHO, 2008).

5.6 Proposição de um método de beneficiamento ideal para o resíduo mais crítico (vidro)

O trabalho de Vargas e Wiebeck (2007) teve como objetivo apresentar uma alternativa para a reciclagem de vidros laminados, com possibilidades para aplicações práticas. Na respectiva pesquisa foram utilizados resíduos de vidro de duas granulometrias diferentes, malha 200 e 325 mesh, na formulação de vernizes baseados num oligômero uretano-acrilado e usado para pintura e proteção de pisos de madeira. Vale ressaltar que os vernizes foram curados por meio de radiação ultravioleta.

Por fim, os resultados obtidos explicitam que a resistência à abrasão do verniz com a adição de vidro fino foi significativamente otimizada. Percebe-se também que esta é uma ótima opção para reciclagem dos vidros, visto que os produtos obtidos a partir de tal processo apresentam melhores propriedades quando comparados aos encontrados no mercado. Além de tal fato, é um método sustentável, reaproveitando resíduos de outro processo de reciclagem.

A pesquisa de Simões et al. (2013) também merece atenção. O objetivo da mesma é caracterizar o resíduo de vidro laminado de para-brisas moído em granulometria inferior a 75 μm , visando confirmar a viabilidade técnica do material para substituição do cimento em concretos e argamassas. O resíduo de vidro laminado utilizado foi cedido por uma usina de reciclagem localizada em São Paulo, sendo que este material passou por um processamento através de moagens. Após essa etapa, o resíduo então foi enviado ao Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, onde foi homogeneizado, seco em estufa por 24 horas e depois moído em um moinho.

Os resultados obtidos com os testes físicos e químicos realizados demonstraram que as características apresentadas pelo resíduo estudado se equipararam às do cimento, indicando o potencial de utilização deste material como um substituto nas construções civis.

Com o intuito de se aplicar de um método de processamento do vidro na CNR em estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os mesmos, sendo a metodologia descrita por Gomes (2018) a mais viável encontrada para possível aplicação. O objetivo de Gomes (2018) foi

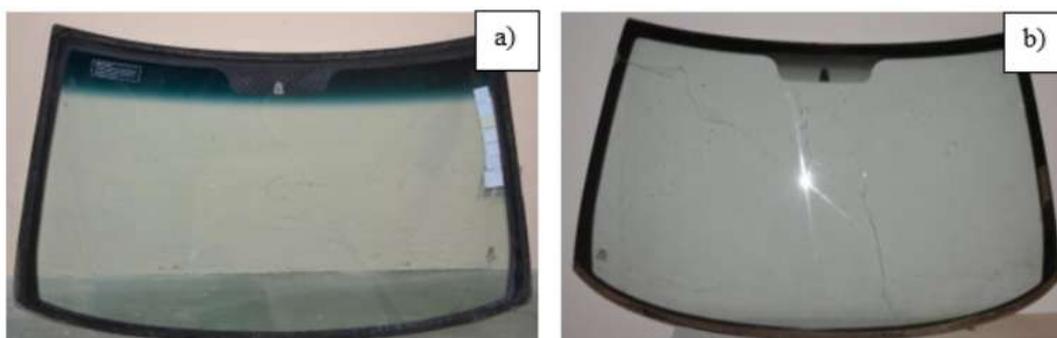
desenvolver um processo para separação completa entre o filme PVB e o vidro de para-brisas, para posterior reciclagem dos mesmos. O intuito do atual trabalho é propor a implantação de tal metodologia na empresa estudada, com possíveis adaptações para tal.

Os para-brisas dos carros atuais são compostos por vidros laminados, e tanto o vidro quanto o PVB são recicláveis. Porém, para que sejam 100% reciclados, os mesmos precisam ser completamente segregados entre si. Segundo Gomes (2018), o método mais utilizado de separação entre o PVB e o vidro é o método da trituração, no entanto, esse processo não permite reciclar 100% dos materiais, uma vez que parte dos cacos de vidro gerados durante a trituração ficam aderidos ao PVB, gerando um resíduo com cerca de 30% da massa inicial do para-brisa. A principal dificuldade para reciclar para-brisas e vidros laminados é a separação entre o filme e o vidro, uma vez que a reciclagem do vidro e do PVB já estão estabelecidas.

Os para-brisas são obtidos como resíduos do processamento de um veículo em final de vida, logo na CNR estudada os mesmos são encontrados em abundância. Tendo em vista que a composição física do vidro laminado é a mesma para todos os para-brisas compostos por tal, os mesmos se diferenciam praticamente só em questões dimensionais, para distintos modelos de carro. De acordo com Gomes (2018), algumas diferenças nas composições químicas do vidro e do filme PVB podem existir entre para-brisas de diferentes fabricantes, o que influenciaria apenas na questão da força de adesão entre o vidro e o filme. No entanto, os mesmos podem ser tratados de forma genérica e semelhante.

No trabalho citado, o autor utilizou como corpos de prova para-brisas de Fiat Palio, um carro popular e bem presente nos centros de processamento veicular. A Figura 5.11 ilustra os para-brisas utilizados como corpos de prova no experimento de Gomes (2018).

Figura 5.11 – Para-brisas utilizados. a) Para-brisa da marca Pilkington visto pelo lado interno. b) Para-brisa da marca Saint-Gobain Sekurit visto pelo lado externo



Fonte: (GOMES, 2018)

A partir de experimentos, Gomes constatou que para que o vidro seja plenamente segregado do filme PVB, três etapas básicas devem ser cumpridas:

- Fragmentação mecânica;
- Ataque termoquímico;
- Remoção dos fragmentos remanescentes.

Dentro destas etapas, o autor também testou diferentes maneiras de se processar os resíduos, e ao final pôde concluir quais foram as mais eficazes. As etapas citadas se encontram detalhadamente explicadas nos tópicos a seguir.

5.6.1 Fragmentação

Este processo tem como propósito a redução do para-brisas em partes menores, a fragmentação do mesmo. De acordo com Gomes (2018), após realizados os diversos procedimentos experimentais, pôde-se averiguar que a calandragem automática se mostrou o melhor processo para conformação mecânica. Isto se deve ao fato de que os tamanhos dos fragmentos foram mais homogêneos e menores, além de apresentar o menor tempo de operação dentre os demais.

Durante esta etapa, cada para-brisa passou pela calandra três vezes. No primeiro passe, o autor relata que a distância entre os rolos foi a menor possível, para admitir a curvatura do para-brisa. O primeiro passe praticamente “elimina” a curvatura do para-brisa, aproximando-o de uma forma plana. Com o para-brisa “plano”, foi possível reduzir a distância entre os rolos nos passes seguintes. A Figura 5.12 mostra o para-brisa passando pela calandra durante o primeiro passe.

Figura 5.12 – Para-brisa no primeiro passe pela calandra



Fonte: (GOMES, 2018)

Percebe-se que este método de fragmentação de para-brisas é viável para se aplicar na CNR, visto que instalação de uma calandra na planta ocupa relativamente pouco espaço, e a fragmentação se trata de um processo extremamente simples, apesar de delicado. Além disso, é possível se encontrar calandras automáticas disponíveis para venda no mercado com certa facilidade, único ferramental necessário para realização deste procedimento.

5.6.2 Ataque termoquímico

O procedimento de ataque termoquímico tem por objetivo a remoção dos fragmentos de vidro remanescentes no filme PVB, através de ação termoquímica. Realizados os devidos processos experimentais, o autor constatou que o para-brisa deve ser submerso em uma solução de NaOH com concentração de 0,125mol/L por 60 minutos. No experimento de Gomes, a temperatura inicial tomada por referência foi de 100°C, citada por Tupy et al (2014). Porém, de acordo com o arranjo do experimento essa temperatura não foi atingida, alcançando apenas 60° C. Entretanto, o processo se mostrou também eficaz a esta temperatura.

Durante esta etapa, o autor pôde averiguar que a maior parte dos fragmentos de vidro se desprenderam do filme. Gomes também pôde verificar que quanto menor o tamanho dos

fragmentos, mais fácil estes se desprendem do PVB. Apesar disso, foi possível remover também fragmentos com tamanho variando entre 50 a 20mm, como mostrado na Figura 5.13.

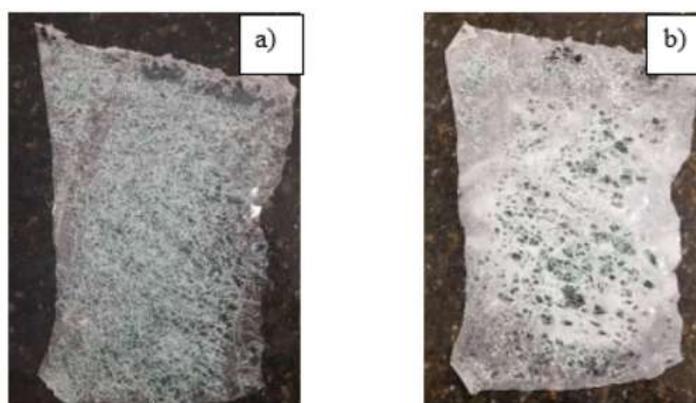
Figura 5.13 – Fragmentos de vidro removidos na segunda etapa



Fonte: (GOMES, 2018)

Esta conclusão se divergiu do resultado obtido por Tupy et al. (2014), onde os pesquisadores afirmam que fragmentos maiores que 7mm são irremovíveis e precisam ser quebrados em tamanhos menores para sua respectiva remoção. Na Figura 5.14, é possível visualizar o estado do para-brisas antes e depois do ataque termoquímico.

Figura 5.14 – Amostra de para-brisa a) Amostra inicial. b) Amostra após a segunda etapa



Fonte: (GOMES, 2018)

Uma observação importante a ser feita é que, de acordo com o próprio autor, os resultados dos processos podem variar ligeiramente de acordo com o fabricante do para-brisas. Neste

caso, a possível variação é na perda de massa de cada para-brisas, ou seja, quantidade de fragmentos de vidro que se desprendem do filme PVB. Isto se deve ao fato de não se conhecer a composição química do vidro e do filme de PVB de cada para-brisa, logo pode-se deduzir que a diferença entre os resultados obtidos provavelmente está relacionada à diferença da força de adesão de cada um, como citado anteriormente. A força de adesão é influenciada diretamente pela composição química dos componentes, logo diferentes fabricantes podem apresentar composições químicas distintas e conseqüentemente, forças de adesão não correspondentes entre si.

Gomes faz uma importante e válida citação com relação à temperatura do processo, na questão da remoção de fragmentos. De acordo com Tupy et al. (2014) o aumento de temperatura intensifica o processo de difusão e a velocidade do processo, ou seja, o processo ocorrerá mais rápido e mais fragmentos se desprenderão do filme.

É notável que esta etapa também é aplicável à CNR, pois demanda apenas um tanque para submergir as amostras na solução de NaOH, também conhecida como soda cáustica. Paralelo a isto, envolve também o ferramental necessário para manuseio dos para-brisas, procedimentos e equipamentos de segurança. Todos os itens acima listados são facilmente encontrados no mercado. Além disso, a instalação do tanque também não ocupa um espaço considerável, tendo em vista o espaço físico disponível na CNR.

5.6.3 Remoção dos fragmentos remanescentes

Nesta última etapa, tem-se a intenção de finalizar a segregação entre o vidro e o PVB. Para isso, o para-brisa deve ser lavado com uma pisseta para equilibrar o pH, e a partir de então mais fragmentos se soltam do filme. Realizado este procedimento, caso ainda reste algum fragmento de vidro preso ao PVB, o autor sugere que os mesmos sejam retirados manualmente. A Figura 5.15 ilustra tal remoção, onde o fragmento de vidro é removido facilmente utilizando-se o dedo polegar. Novamente se ressalta a importância do uso de EPIs, visto que na própria figura o funcionário usa uma luva para se proteger.

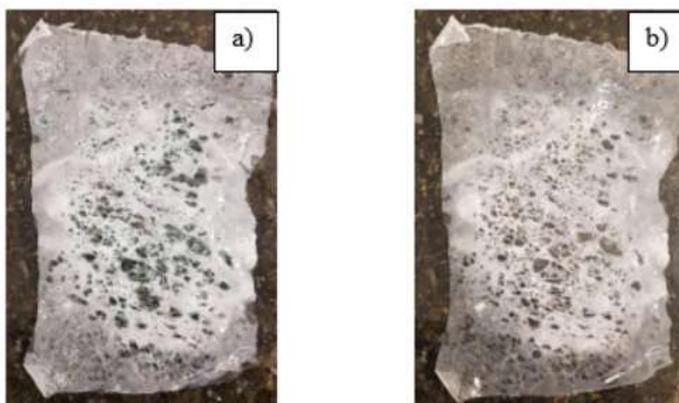
Figura 5.15 – Remoção dos fragmentos remanescentes



Fonte: (GOMES, 2018)

A Figura 5.16 apresenta a amostra em dois distintos momentos desta etapa. O primeiro é após a lavagem com a pisseta, e o segundo é após a remoção completa dos fragmentos remanescentes manualmente.

Figura 5.16 – Amostra de para-brisa a) Amostra lavada com a pisseta. b) Filme de PVB obtido após a terceira etapa



Fonte: (GOMES, 2018)

Ao final, o autor realizou uma detalhada inspeção visual na amostra, e não foi detectada presença de fragmentos de vidro no filme PVB obtido. Assim sendo, Gomes confirmou seguramente a eficácia do método por ele proposto.

Esta etapa se dá de uma forma simples e eficaz, dependendo estruturalmente apenas de um tanque para lavagem do para-brisa e possível remoção manual de fragmentos. Desta forma, também é aplicável à realidade da CNR.

A partir da análise do processo como um todo, averigua-se que o mesmo se mostra muito eficiente apesar de ser constituído por procedimentos relativamente simples e acessíveis. Desta maneira, a princípio é viável se pensar na aplicação do mesmo na planta da CNR, sendo necessária também uma cautelosa análise da viabilidade financeira de tal.

5.6.4 Análise dos fragmentos

A partir dos procedimentos realizados, o autor obteve resíduos distintos em cada etapa. As características dos mesmos estão explicitadas abaixo.

De acordo com Gomes (2018), como resíduos da primeira etapa tem-se fragmentos de pequenas dimensões, com tamanho variando de 8mm até o pó de vidro. O pó de vidro é um rejeito do processo de reciclagem, e não pode ser utilizado como matéria-prima para fabricação do vidro. Porém, existem diversos estudos que mostram sua aplicabilidade no setor da construção civil, como citado anteriormente.

Figura 5.17 – Fragmentos de vidro removidos após a fragmentação dos para-brisas



Fonte: (GOMES, 2018)

Os resíduos provindos da segunda etapa apresentaram dimensões maiores, variando de 8 a 20mm de comprimento, como ilustra a Figura 5.18.

Figura 5.18 – Fragmentos obtidos após a 2ª etapa



Fonte: (GOMES, 2018)

Na terceira etapa, os fragmentos removidos durante a lavagem com pissetas apresentaram dimensão média menor que 5mm, como ilustrado na Figura 5.19.

Figura 5.19 – Fragmentos obtidos após a lavagem com a pisseta



Fonte: (GOMES, 2018)

Já os fragmentos remanescentes removidos manualmente, apresentaram uma grande variação de tamanho, como pode ser visto na Figura 5.20.

Figura 5.20 – Fragmentos obtidos após a remoção dos fragmentos remanescentes



Fonte: (GOMES, 2018)

A partir da realização do experimento por completo e respectiva análise dos resultados, o autor pôde chegar a diversas conclusões importantes. Uma delas afirma que para um mesmo para-brisas, quanto menor for o fragmento de vidro, mais fácil será seu desprendimento do filme PVB.

5.7 Solução particular para a CNR em estudo

A partir de pesquisas realizadas, não foram encontradas empresas que processem vidro na região. Porém, pouco mais distante foram encontradas algumas que se dispuseram a adquirir tais resíduos de para-brisas obtidos na CNR.

Uma das empresas encontradas, aqui denominada de empresa A, situa-se na cidade de Mogi das Cruzes – SP e compra para-brisas laminados por um valor de 150 reais a tonelada. Os vidros laminados adquiridos por esta empresa não precisam ser previamente processados com relação à separação do vidro e PVB, visto que eles compram o resíduo bruto. Os para-brisas comprados por essa empresa podem ser de qualquer fabricante e se encontrarem em qualquer estado de integridade física, exceto em pó. O transporte dos resíduos até sua sede deve ser feito pela CNR, a qual possui uma carreta própria para tal.

Segundo o diretor da CNR a carreta tem uma capacidade de carga de 27 toneladas, e o preço do km rodado pela mesma fica em torno de 5 reais. Na situação suposta para análise, a ocasião considerada é a mais extrema, onde a carreta voltaria vazia à CNR. Porém, existem inúmeras possibilidades de se conseguir fretes para o destino de volta, o que abate consideravelmente no valor total do transporte.

A distância entre a CNR e a empresa A é de 417 km, logo o preço do frete (ida e volta) ficaria em:

- $417 \text{ km} \times \text{R\$ } 5 \times 2 = \text{R\$ } 4170$

Supondo que o carregamento seja completo, o valor pago pelos vidros seria:

- $27 \text{ toneladas} \times 150 = \text{R\$ } 4050$

Nesse caso em específico, e a empresa teria uma despesa de 120,00 ao todo. Dividindo-se a despesa total pelo número de toneladas, obtém-se a despesa por tonelada de resíduo.

- $\text{R\$ } 120,00 / 27 \text{ toneladas} = (-) \text{R\$ } 4,44 / \text{t}$

Já a empresa B situa-se na cidade de Belo Horizonte – MG, e adquire vidros já processados para reciclagem. Nesse caso, os requisitos da empresa são que o vidro esteja completamente separado do PVB, os resíduos estejam sem lixo misturado, sem nenhum tipo de contato com água e sem pó de vidro, se enquadrando nos padrões da empresa. O valor pago pela empresa na tonelada de vidro processado é de 100 reais. De semelhante modo ao caso anterior, calcular-se-á o valor do transporte e paralelamente o valor recebido pela carga completa de para-brisas. A distância entre a CNR e a empresa B é de 233 km.

- $233 \text{ km} \times \text{R\$ } 5 \times 2 = \text{R\$ } 2330$

Supondo que o carregamento seja completo, o valor pago pelos vidros seria:

- $27 \text{ toneladas} \times 100 = \text{R\$ } 2700$

Nesta ocasião, a CNR obteria um lucro de R\$ 370 por viagem. Dividindo-se o lucro pela quantidade de toneladas de resíduo, obtém-se o valor do lucro por tonelada do mesmo.

- $\text{R\$ } 370 / 27 \text{ toneladas} = \text{R\$ } 13,70 / \text{ton}$

A empresa C se localiza na cidade de Betim – MG, e adquire apenas para-brisas processados. Os requisitos de compra são os mesmos da empresa B. O valor que a mesma paga pela tonelada de resíduos é igual a R\$ 100, e a distância entre sua sede e a CNR é igual a 220 km. Logo:

- $220 \text{ km} \times \text{R\$ } 5 \times 2 = \text{R\$ } 2200$

Supondo que o carregamento seja completo, o valor pago pelos vidros seria:

- $27 \text{ toneladas} \times 100 = \text{R\$ } 2700$

No caso da empresa C, a CNR obteria um lucro de R\$ 500. Dividindo-se o lucro pela quantidade de toneladas de resíduo, obtém-se o valor do lucro por tonelada do mesmo.

- $\text{R\$ } 500 / 27 \text{ toneladas} = \text{R\$ } 18,52 / \text{ton}$

O preço pago pela tonelada de vidro na empresa C é o mesmo valor pago pela empresa B, porém pela distância da CNR até a empresa C ser menor, o custo total consequentemente é reduzido devido ao transporte.

Explicados os procedimentos realizados para obtenção dos valores acima, elaborou-se uma tabela com tais informações compiladas com o intuito de facilitar a análise e compreensão dos mesmos.

Tabela 5.3 – Custos de destinação dos resíduos para cada empresa

Destinação	Preço final por tonelada (R\$)
Aterro Sanitário	-174,65
Empresa A	-4,44
Empresa B	13,7
Empresa C	18,52

Fonte: O autor

Os valores em negativo significam que o valor da tonelada do resíduo se destinado àquela empresa seria uma “despesa” à CNR, um saldo negativo. Já os valores positivos indicam que tais seriam lucro à CNR, saldo positivo. Os valores remetem ao custo final de cada tonelada para a CNR.

Nos casos das empresas B e C, o valor do lucro obtido a princípio é bem atrativo, porém o valor não condiz com a realidade atual. Para se obter o valor real, deve-se considerar o custo da instalação e manutenção do sistema de processamento de para-brisas proposto neste trabalho. Feito isto, deve-se em seguida analisar o intervalo de tempo em que a instalação vai “se pagar”, e então começar a gerar lucros à CNR. Tal verificação é um possível tema para um futuro trabalho, onde tais variáveis poderão ser calculadas e analisadas a longo prazo.

Pode-se averiguar que a curto prazo o mais interessante seria a destinação dos resíduos à empresa A, visto que na CNR existem toneladas de para-brisas acumulados e não há instalações

propícias para o processamento dos mesmos no momento. Verifica-se também que ao se encaminhar os resíduos à empresa A, a despesa por tonelada de resíduo é consideravelmente menor quando comparada à despesa para deposição em aterro sanitário, anteriormente analisada. A despesa reduziria em torno de 99,98%, partindo de 174,65 reais para 4,44 reais por tonelada.

Paralelo a isto, pode-se analisar as questões acima citadas, da viabilidade do processamento dos vidros, averiguando sua rentabilidade. Feito isto, pode-se concluir qual opção realmente será mais vantajosa e rentável a longo prazo.

6 CONCLUSÃO

A partir da realização do presente trabalho, foi possível a identificação dos resíduos obtidos no processamento de um veículo em final de vida útil. Além disso propôs-se métodos de reciclagem para cada um dos críticos, com foco maior no caso mais grave.

Para que os objetivos fossem alcançados, acompanhou-se a rotina do CNR durante cinco dias consecutivos, sendo possível a obtenção de várias informações de extrema relevância. Dentre elas, o destino dado a cada material obtido a partir da desintegração dos veículos, quais são encaminhados para reciclagem e quais não. Foram identificadas também todas as etapas realizadas no processamento de um veículo em fim de vida útil e seus respectivos resíduos, além da quantidade dos mesmos. Os diferentes tipos de materiais resultantes do procedimento foram quantitativamente medidos, em termos de massa ou volume de acordo com seu respectivo estado físico.

A partir da obtenção de tais informações pôde-se identificar quais são os resíduos críticos, que não são beneficiados, apresentando custos à empresa para sua disposição final. Além disso, qual deles é o caso mais grave, com base na quantidade acumulada e riscos oferecidos ao meio. Averiguou-se então que o vidro é o resíduo mais crítico obtido na CNR, pois o material oferece maior risco físico aos funcionários que o manuseiam, demora um tempo indeterminado para se decompor no meio ambiente e tem maior densidade dentre os demais. Diante disso, foi realizada uma revisão bibliográfica e proposto um método de processamento para tal, aplicável à empresa em estudo de acordo com os recursos disponíveis.

A partir da realização do atual trabalho e de uma ampla revisão bibliográfica, conclui-se que o método mais viável para se processar o vidro laminado foi proposto por Gomes (2018), cujo objetivo é a segregação entre o vidro e o filme PVB do para-brisa laminado. Sugere-se a aplicação deste na CNR em estudo, visto que os resultados obtidos são extremamente satisfatórios e os recursos utilizados para tal serem simples e encontrados com facilidade no mercado. Durante as pesquisas com o intuito de se encontrar destino rentável aos resíduos, foram encontradas empresas que compram o material obtido a partir do processo. Porém, encontrou-se também uma empresa que adquire os para-brisas inteiros, sem qualquer pré-processamento.

Calculou-se as despesas que a CNR teria para destinação dos resíduos à cada empresa. A princípio a destinação dos mesmos às empresas que os compram processados se mostrou mais vantajosa, principalmente por estarem mais próximas. Porém este valor é irreal, visto que para se obter um valor palpável deve-se considerar os custos de instalação e manutenção do

ferramental necessário para se processar os para-brisas. Desta forma, averiguou-se que no momento seria mais viável enviar os para-brisas já acumulados na CNR à empresa que os compra no estado em que se encontram, visto que já existe acumulada no local a quantidade suficiente para carregar completamente a carreta. Além disso, no momento não se dispõe de ferramental algum para processamento dos mesmos na CNR.

Paralelo a isto, deve-se realizar uma análise detalhada com relação à aplicação do método proposto por Gomes (2018) na CNR, e respectiva venda de resíduos à empresa C. O intuito desta avaliação seria a averiguação da viabilidade financeira da implantação do processamento dos vidros na própria planta. A partir de então, seria possível concluir qual medida se tornaria mais viável a longo prazo.

7 TRABALHOS FUTUROS

Inúmeros são os temas para realização de trabalhos futuros, um deles que foi citado anteriormente diz respeito ao aprofundado estudo dos custos de implantação e manutenção do ferramental para processamento dos para-brisas explicitado anteriormente, aplicando o método na planta da CNR e coletando os dados. Obtidas todas as informações necessárias a partir da aplicação dos procedimentos sugeridos, avaliar a viabilidade financeira de tal e a respectiva venda dos resíduos às empresas que os adquirem. A análise da viabilidade inclui a comparação de tais custos com a possibilidade da venda dos para-brisas não processados à outra empresa, sendo possível então a obtenção de uma embasada conclusão sobre como proceder a longo prazo com relação a tais resíduos.

Outro possível tema para futuros trabalhos na mesma linha seria a proposição de um método de beneficiamento para cada resíduo crítico obtido no processo, visto que os mesmos ainda não têm sido beneficiados.

Um tema muito pertinente também está associado ao ciclo de vida dos materiais. Uma possibilidade de pesquisa nessa área seria a análise do ciclo de vida dos materiais contidos em um automóvel, a quantidade de energia e dinheiro que é poupado com a reciclagem e reutilização de cada um deles.

REFERÊNCIAS

- Adami Têxtil. **Processo produtivo**. 2014. Disponível em: <<http://www.adamitextil.com.br/site/index.php>>. Acesso em: 15 ago. 2020.
- ALI, A. K.; WANG, Y.; ALVARADO, J. L. Facilitating industrial symbiosis to achieve circular economy using value-added by design: A case study in transforming the automobile industry sheet metal waste-flow into voronoi facade systems. **Journal of cleaner production**, Elsevier, v. 234, p. 1033–1044, 2019.
- ALIMENA, L. A. M. **Estudo comparativo do coeficiente de condutividade térmica de espuma rígida de poliuretano obtida por reciclagem mecânica e química**. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2009.
- AMARAL, M. C. d. et al. Industrial textile recycling and reuse in brazil: case study and considerations concerning the circular economy. **Gestão & Produção**, SciELO Brasil, v. 25, n. 3, p. 431–443, 2018.
- ARORA, N.; BAKSHI, S. K.; BHATTACHARJYA, S. Framework for sustainable management of end-of-life vehicles management in india. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, Springer, v. 21, n. 1, p. 79–97, 2019.
- BARRETO, J. Vai um carro híbrido aí? Usar a eletricidade para poupar combustível é o lema dos novos veículos. **Revista Info Exame**, Inovação, 2009.
- BIANCHETTI, M. **Mercado de reciclagem de veículos ganha incentivo**. Diário do comércio, 2020.
- CARREIRA, K. Reciclagem do vidro automotivo: Brasil precisa se espelhar nos exemplos de países desenvolvidos. Autoglass, 2019.
- CARROT, C. et al. **Handbook of Thermoplastics**. 2. ed. Boca Raton: Taylor Francis, CRC Press, 2015. 994 p.
- CASTRO, D. E. **Reciclagem e sustentabilidade na indústria automobilística**. Belo Horizonte: Atlas, 2012.
- CASTRO, S. et al. **Reutilização sustentável de tecidos descartados na indústria têxtil no município de Jaraguá GO: Projeto Moda Útil**. Revista eletrônica de educação da Faculdade Araguaia, v. 13, p. 116–126, 2018.
- CONTRAN. **Resolução nº 611, de 27 de Maio de 2016 regulamenta a Lei nº 12.977, de 20 de maio de 2014, que regula e disciplina a atividade de desmontagem de veículos automotores terrestres**. Conselho Nacional de Trânsito, Brasília, DF, 2016.
- DETRAN. **Edital de Leilão nº 900/2017/Conservados/Sucatas/Aproveitáveis**. Departamento Estadual de Trânsito, Minas Gerais, 2017.
- EPA. **National vehicle mercury switch recovery program**. USA: Environment Protection Agency, 2006.
- FERNANDES, B. L.; DOMINGUES, A. J. Caracterização mecânica de polipropileno reciclado para a indústria automotiva. **Polímeros**, SciELO Brasil, v. 17, n. 2, p. 85–87, 2007.

FIELD, F. R.; CLARK, J. P. Automobile recycling: Environmental policymaking in a constrained marketplace. **JOM**, Springer, v. 46, n. 4, p. 17–21, 1994.

FILHO, J. A. P. **Viabilidade energética e econômica da incineração de resíduo sólido urbano considerando a segregação para reciclagem**. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2008.

FOGLIATTI, M. C.; FILIPPO, S.; GOUDARD, B. **Avaliação de impactos ambientais: aplicação aos sistemas de transporte**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

FORTES, R. G. **Identificação e avaliação dos principais aspectos relacionados à reciclagem dos plásticos mais utilizados no setor automobilístico brasileiro e o seu atendimento à regulamentação ambiental**. Curitiba, 2008.

GENERAL MOTORS. **Programa de Reciclagem e Renovação da Frota Veicular**. [S.l.]: Não Publicado, 1999.

GOMES, R. A. S. d. M. **Reciclagem de para-brisas automotivos: separação entre o filme PVB e o vidro**. Belo Horizonte, 2018.

GUERHARDT, F. et al. **Reúso no processo de injeção de maçanetas automotivas como prática de produção mais limpa: estudo de caso em uma indústria de auto-peças**. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGET), Rio de Janeiro, 2016.

IPEA. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Indicadores de mobilidade urbana do PNAD 2012**. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República: Nº 161, 2013.

JORGE, M. R. P. R.; FERREIRA, O. P.; NETO, S. C. Aproveitamento de borracha de pneus inservíveis na produção de componentes para construção. In: **Congresso Brasileiro de Ciência e tecnologia em resíduos e Desenvolvimento Sustentável**. [S.l.: s.n.], 2004.

KARAGOZ, S.; AYDIN, N.; SIMIC, V. End-of-life vehicle management: a comprehensive review. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, Springer, v. 22, n. 2, p. 416–442, 2020.

MAIA, S. B. **O vidro e sua fabricação**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

MARK, F. E.; KAMPRATH, A. E. **End-of-life vehicles recovery and recycling polyurethane seat cushion recycling options analysis**. SAE Technical Paper, 2004.

MARQUES, F. d. O.; MEIRELLES, L. A. **Tendências da reciclagem de materiais na indústria automobilística**. CETEM, 2006.

MARTINS, A. H. **Recuperação de estanho e cobre a partir da reciclagem de placas de circuito eletrônico de microcomputadores sucataados**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2007. v. 3. 124–131 p.

MATEUS, A. L.; MACHADO, A. H.; AGUIAR, P. A. Tabela de tempo de decomposição de materiais: contexto para a abordagem de química ambiental no ensino profissional de nível médio. **Química nova na escola**, v. 41, n. 3, p. 259–265, 2019.

MATTA, R. C. A. d. **Projeto propõe programa de reciclagem para carros abandonados**. Revista Automotive Business, 2020.

MEDINA, H. V. d.; GOMES, D. E. B. **A indústria automobilística projetando para a reciclagem**. Rio de Janeiro: CETEM, 2002.

MEDINA, H. V. d.; GOMES, D. E. B. **Reciclagem de automóveis: estratégias, práticas e perspectivas**. Rio de Janeiro: CETEM, 2003.

MORAIS, D. **Avaliação da tensão superficial do PVB e da PA-6. 2008. 100 f.** Dissertação (Mestrado) — Escola politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

NAVEIRO, R. et al. Ecodesign: O desenvolvimento de projeto de produto orientado para reciclagem. In: **V Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto**. [S.l.: s.n.], 2005.

NOGUEIRA, J. G. **Destinação final ambientalmente adequada de automóveis em fim de vida no Brasil: perspectivas atuais e desafios para a reciclagem automotiva**. Belo Horizonte: Estudo de Caso — Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, 2017. 109 p.

NOGUEIRA, J. G.; CASTRO, D. E.; SILVA, G. M. UPRA-Unidade Piloto de Reciclagem Automotiva do CEFET-MG. **Revista da META**, Belo Horizonte, v. 1, 2016.

OLIVEIRA, A. L. M. d. **Brasil tem 28 milhões de carros e 13 milhões de motos a mais**. 2019.

ORTEGO, A. et al. Assessment of strategic raw materials in the automobile sector. **Resources, Conservation and Recycling**, Elsevier, v. 161, p. 104968, 2020.

PAIS, J.; PEREIRA, P.; MINHOTO, M. Reciclagem de pavimentos utilizando betume modificado com borracha. In: **Estrada 2008-V Congresso Rodoviário Português**. Bragança: [s.n.], 2008.

PASSOS, E. R. d. **Reciclagem de automóveis**. São Caetano do Sul, p. 58, 2013.

PINTO, P. P. A. **Reciclagem Automotiva e Aplicação da Lei Nº 12.305/2010, como instrumento normativo da logística reversa veicular no Brasil**. Escola Superior Dom Helder Câmara ESDHC, p. 102, 2014.

ROSA, D. S.; GUEDES, C. G. Desenvolvimento de processo de reciclagem de resíduos industriais de poliuretano e caracterização dos produtos obtidos. **Polímeros**, SciELO Brasil, v. 13, n. 1, p. 64–71, 2003.

SATO, F. E. K.; FURUBAYASHI, T.; NAKATA, T. Application of energy and co2 reduction assessments for end-of-life vehicles recycling in japan. **Applied Energy**, Elsevier, v. 237, p. 779–794, 2019.

SHREVE, R. N.; BRINK JR., J. A. **Indústria de processos químicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan SA, 1997. 717 p.

SILVA, J. R. B. **Tratamento de Veículos em Fim de Vida: Modelos de Gestão Internacionais e Brasileiro**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Santa Catarina, 2016.

SIMÕES, L. J. et al. Caracterização do resíduo de vidro laminado de parabrisas para utilização como substituto parcial do cimento em matrizes cimentícias. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n. 22, p. 43–49, 2013.

SIMONITE, T. Técnica permite reciclagem de placas de circuito impresso e recuperação de metais. *Inovação Tecnológica*, 2007.

SOUZA, K. R. d. **Desafios ambientais na indústria automotiva: uma análise do processo de reciclagem e reutilização de materiais**. Universidade Estadual Paulista (UNESP), p. 86, 2010.

STOCK, J. R. Reverse logistics in the supply chain. **Revista Transport & Logistics**, v. 44, 2001.

TUPY, M. et al. Windshield recycling focused on effective separation of pvb sheet. **Journal of Applied Polymer Science**, Wiley Online Library, v. 131, n. 4, p. 1–9, 2014.

VARGAS, I. M.; WIEBECK, H. Reciclagem de vidro laminado: utilização dos vidros de baixa granulometria como carga abrasiva na formulação de vernizes de alto tráfego para pisos de madeira. **Polímeros**, SciELO Brasil, v. 17, n. 2, p. 137–144, 2007.

WARTHA, J.; HAUSSMANN, D. C. S. **Custo-benefício da reciclagem na indústria de confecção: um Estudo de caso na empresa Dudalina S/A**. Anais eletrônicos. Congresso USP de Controladoria e Contabilidade, 2006.

WIMMERS, M. et al. Reciclagem de resíduos de pneus automotivos em compostos de borracha para produção de solados. **Revista Fatec Sebrae em debate-gestão, tecnologias e negócios**, v. 3, n. 05, p. 21–21, 2016.

ZHANG, L. et al. An integrated capture of copper scrap and electrodeposition process to enrich and prepare pure palladium for recycling of spent catalyst from automobile. **Waste Management**, Elsevier, v. 108, p. 172–182, 2020.

ANEXO A – Termo de compromisso com a CNR



AUTORIZAÇÃO DA EMPRESA PARA DIVULGAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

A CNR Automotiva Ltda pessoa jurídica, inscrita no CNPJ nº 37.828.427/0001-92, I.E. 003789015.00-24 com sede na Rua Durval da Costa Alves Ribeiro, nº 432, Distrito Industrial, Lavras, Minas Gerais, CEP. 37.205.854, telefone (35) 3822-5675, vem, por meio deste instrumento, **AUTORIZAR** em caráter definitivo a **UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS**, inscrita no CNPJ nº 22.078.679/0001-74, Lavras- MG, doravante denominada simplesmente UFLA, a atuar segundo as opções abaixo assinaladas, sobre o Trabalho de Conclusão de Curso, titulado como:

SEGREGAÇÃO E BENEFICIAMENTO DOS RESÍDUOS DE VIDRO GERADOS PELA RECICLAGEM DE VEÍCULOS EM FINAL DE VIDA ÚTIL, DE AUTORIA DO ALUNO JONAS LIMA CARVALHO

A autorização das opções abaixo não implica ceder o direito autoral a UFLA, mas tão somente a autorização para a divulgação da obra, das formas assinaladas:

UTILIZAÇÃO DE DADOS DA EMPRESA

AUTORIZO a utilização de dados e informações da empresa supracitada no Trabalho de Conclusão de Curso, acima mencionado.

DIVULGAÇÃO DO TRABALHO

AUTORIZO a UFLA a divulgar o trabalho acima mencionado **INTEGRALMENTE** e sem qualquer contrapartida, em meio eletrônico, no site da UFLA e em bancos de dados nacionais e internacionais de acesso público.

Data: 26/04/2021

Assinatura do representante legal da empresa

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'R. O. Silva', is written over a horizontal line.

Nome por extenso:

Renato O. Silva
194.963.202 - 4 4