



PANORAMA DOS PRINCIPAIS MATERIAIS RECICLADOS NO BRASIL

MARIANA MOREIRA DE OLIVEIRA; GILSON BARBOSA ATHAYDE JÚNIOR; JOÁCIO DE ARAÚJO MORAIS JÚNIOR

RESUMO

Introdução: a geração de resíduos sólidos vem aumentando ao longo dos anos. Essa situação é um dos grandes desafios da sociedade que vem buscando soluções para atenuar os impactos associados. A reciclagem de resíduos é uma alternativa para reduzir o consumo de matéria-prima virgem e parcela dos resíduos enviados ao aterro sanitário. **Objetivo:** nesse sentido, o presente artigo objetivou reunir informações sobre os principais materiais reciclados no Brasil (papel, plástico, vidro e metais), a fim de apresentar um panorama com as características, quantidades geradas, impactos associados a produção/descarte inadequado, bem como dados sobre a reciclagem desses materiais. **Metodologia:** para isso, o presente artigo fez uma revisão bibliográfica sobre as características, geração, impactos e reciclagem do papel, plástico, vidro e metais produzidos/reciclados no Brasil com base na consulta na literatura relacionada a temática. **Resultados:** o papel apresentou uma taxa de reciclagem, em 2019, de 70% (IBA, 2020). Já o plástico apresentou percentuais de reciclagem variando conforme o tipo de material, com maioria da reciclagem do PET (42%) (PICPLAST, 2021a). Outro material reciclado é o vidro, que em 2018, apresentou taxa de reciclagem no país de aproximadamente 26% (CEMPRE, 2021a). Os metais também têm um elevado potencial de reciclagem. Cerca de 97% das latas de alumínio foram recicladas e reinserida no ciclo produtivo, em 2020, colocando o Brasil em posição de destaque à nível mundial (ABAL, 2021d). Outro metal com indústria de reciclagem consolidada é o aço, que em 2019, apresentou taxa de reciclagem de 47% das latas de aço (ABEAÇO, 2021b). **Conclusões:** assim, observou-se que o país tem um grande potencial de realizar a reciclagem desses materiais e que a reciclagem do plástico e do vidro ainda é um desafio para o Brasil, demandando um maior investimento no setor.

Palavras-chave: metais; papel; plástico; taxa de reciclagem; vidro

1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos vem aumentando ao longo dos anos, fato relacionado principalmente ao crescimento populacional e às mudanças nos hábitos de consumo da população. Essa situação é um dos grandes desafios da sociedade que vem buscando soluções para atenuar os impactos decorrentes do consumo de matéria-prima e consequente geração de resíduos, além de outros impactos associados, como a poluição do solo, da água e do ar.

Uma alternativa amplamente aceita para contornar essa conjuntura é a realização da reciclagem dos materiais, uma vez que reduz o consumo de matéria-prima virgem e reduz parcela dos resíduos enviados ao aterro sanitário.

Os dados completos sobre a quantidade de material reciclado no Brasil ainda não são precisos, contudo, algumas instituições oficiais apresentam valores que oferecem indicativos

da reciclagem no país. De acordo com o SNIS (2021), em 2020, a massa de resíduo sólido domiciliar coletada seletivamente no país foi de $15,3 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, com valores variando $7,2 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (região Norte) a $38,6 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ (região Sul), e resultou num recolhimento de 1,9 milhão de tonelada/ano. Vale destacar que o SNIS apresenta dados de recolhimento feito diretamente pela prefeitura ou por empresas/associações que tenham parceria com ela. A mesma fonte menciona, que do total coletado foram recuperados cerca 1 milhão de toneladas/ano de massa de recicláveis sólidos secos no Brasil no mesmo ano, equivalente a $7,99 \text{ kg/hab./ano}$, que representa aproximadamente 5,3% do total potencialmente recuperável. Já o Anuário da Reciclagem, estimou que, em 2020, foram comercializadas 943 mil toneladas de material reciclável, como base nas 1.850 associações e cooperativas presentes em seu banco de dados (ANCAT; PRAGMA, 2021).

Essa quantidade comercializada resultou em um faturamento de 784,5 milhões de reais para as organizações de recuperação de material reciclável, proveniente prioritariamente de plásticos (44%) e papel (42%), com pequena representatividade de outros metais (7%), alumínio (4%) e vidro (3%) (ANCAT; PRAGMA, 2021).

Dentre os materiais recuperados o papel é o material com a maior quantidade comercializada (52%), seguido de plástico (22%), vidro (17%), outros metais (8%) e alumínio (1%) (ANCAT; PRAGMA, 2021). Apesar de percentuais distintos, os dados SNIS (2021) também evidenciam a ordem e predominância desses materiais: papel (37,7%), plástico (25,9%), vidro (12,6%), outros metais (13,2%) e outros (11,3%). Dessa forma, percebe-se que os materiais mencionados são considerados aqueles com maior destaque na reciclagem no país.

O presente artigo objetivou reunir informações sobre os principais materiais reciclados no Brasil (papel, plástico, vidro e metais), a fim de apresentar um panorama com as características, quantidades geradas, impactos associados a produção/descarte inadequado, bem como dados sobre a reciclagem desses materiais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente artigo fez uma revisão bibliográfica sobre as características, geração, impactos e reciclagem do papel, plástico, vidro e metais produzidos/reciclados no Brasil com base na consulta na literatura relacionada a temática, incluindo desde artigos científicos como também instituições oficiais associada a cada tipo de material.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Papel

Material biodegradável, o papel apresenta rápido tempo de degradação, não persistindo por muito tempo no meio ambiente. O material demora de três a seis meses para decompor completamente (FONSECA, 2013), a depender das condições de umidade.

A principal matéria-prima utilizada na produção de papel é a celulose, essa substância é muito abundante na madeira, mas também pode ser encontrada em folhosas e em frutos, à exemplo do algodão (TEIXEIRA et al., 2017). Conforme esta fonte, para a produção da folha do papel são utilizadas fundamentalmente as fibras de celulose, separadas dos demais constituintes por meio do uso de energia mecânica ou química, formando uma massa celulósica denominada polpa.

O mercado de papel vem crescendo nos últimos anos. A produção e o consumo de papel apresentaram um crescimento positivo entre 2009 e 2019, o mesmo também foi observado em relação às exportações. Neste último caso, o Brasil ainda possui baixa participação no mercado

de papéis, devido à alguns a fatores, como custo e logística e tímido consumo do mercado latino-americano, principal destino das exportações brasileiras (IBA, 2020).

No setor de árvores plantadas, o papel é o segundo produto mais exportado (18%), perdendo apenas para a celulose (66%) (IBA, 2020).

Esse setor da indústria de papel contribui para a degradação do meio ambiente, visto que o processo de produção necessita consumir matéria-prima, principalmente a madeira, bem como considerável quantidade de energia e resulta na geração de emissões de poluentes e resíduos sólidos.

Conforme o IBA (2020), o país é um dos principais recicladores de papel do mundo, com o consumo, em 2019, de 4,9 milhões de toneladas de aparas e uma taxa de reciclagem de 66,9%. Segundo o CEMPRE (2021a) esse índice aumenta para 85%, se for considerado apenas os papéis de embalagem. O CEMPRE (2021b) destaca que o papel, além de ser de origem renovável é um dos produtos com maior taxa de reciclagem no Brasil, mesmo não incluindo nesse valor as quantidades de aparas de papel reciclável utilizadas na fabricação de outros produtos, como telhas, bem como a inclusão nas estatísticas de recuperação de papéis que não são passíveis de reciclagem, como os higiênicos. Segundo a fonte citada, os principais tipos de papel recicláveis são: os papéis de impressão, de embalagem e o papel cartão.

Após a separação dos resíduos pelos cidadãos, a coleta, triagem e preparação do material recolhido, dá-se início ao processo de reciclagem, que pode ser resumido nas etapas abaixo (CEMPRE, 2021b):

- Encaminhamento do material às indústrias papeleiras;
- Desagregação do material em um equipamento similar a um liquidificador que realiza a separação das fibras, transformando-as em uma mistura homogênea;
- Eliminação das impurezas, tais como, fitas adesivas e metais, por meio de peneiras;
- Limpeza fina, retirada de tintas, branqueamento do material e lavagens especiais (no caso do papel ondulado esses procedimentos não são necessários);
- Uso do material final em novos produtos. As fibras de melhor qualidade são utilizadas na superfície externa da caixa de papelão, enquanto que as de qualidade inferior são aproveitadas para revestir a parte interior e as de pior qualidade são destinadas para produzir o miolo ondulado. Destaca-se que o papel não pode ser reciclado infinitas vezes, visto que as fibras perdem a resistência e as características que definem o tipo do papel.

Fonseca (2013) afirma que existem diversos fatores que incentivam a reciclagem do papel, tais como o econômico e o ambiental, a exemplo da preservação de recursos naturais e redução da poluição e resíduos encaminhado ao aterro sanitário. Ao comparar as emissões de gases de efeito estufa na produção de papel de seda a partir de celulose virgem e de resíduos de papel reciclado, Gemechu et al. (2013) identificaram que o impacto proveniente do processo de reciclagem é menos intenso do que na celulose virgem. Segundo os autores um dos fatores consiste na redução nos requisitos totais de energia e material necessários ao utilizar resíduos de papel reciclado.

Nobrega et al. (2019) analisaram, por meio da metodologia de Análise do Ciclo de Vida, os procedimentos da coleta seletiva de papel e papelão realizada pela Associação de Catadores de Resíduos de João Pessoa (ASCARE/JP), núcleo do Bessa, no município de João Pessoa (PB), Brasil, em relação às cargas ambientais específicas relativas à acidificação, à eutrofização, ao aquecimento global, à destruição da camada de ozônio e à oxidação fotoquímica. Os autores

verificaram que a reciclagem é responsável por ganhos ambientais, no que diz respeito às emissões atmosféricas desses materiais associadas à eutrofização, ao aquecimento global e à oxidação fotoquímica. Contudo, os mesmos relatam que ao relacionar as emissões atmosféricas

associadas à destruição da camada de ozônio e à acidificação, a redução das emissões devidas à reciclagem não foi suficiente para a obtenção de um balanço geral negativo.

3.2 Plástico

O plástico é um polímero, orgânico e sintético, que possui a capacidade de ser transformado em fluido para a sua moldagem, por meio do calor e/ou pressão, resultando no final aspecto sólido (PIATTI; RODRIGUES, 2005). Este material é originado de uma fração do petróleo, denominado nafta, bem como de fontes renováveis, a exemplo do plástico obtido a partir da cana-de-açúcar, beterraba, milho e mandioca (CEMPRE, 2021c).

De acordo com a norma técnica NBR 13.230:2008, no Brasil, o material plástico é separado em sete diferentes tipos, tais como pode ser observado na Tabela 1. A identificação do número, juntamente com a simbologia de um triângulo com setas, tem o objetivo de identificar o tipo de plástico dos produtos, bem como sua destinação.

Tabela 1 – Tipos de plásticos

Plástico	Sigla	Número	Exemplos
Politereftalato de etileno	PET	1	Garrafas de bebidas, vassouras, cartões bancários, brinquedos, tapetes, etc.
Polietileno de alta densidade	PEAD	2	Garrafas de produtos de limpeza, garrafas de leite e suco, frascos de detergente, frascos de sorvete e xampu, sacos para congeladores, etc.
Policloreto de Vinila	PVC	3	Tubulações, cabos, bolsas de sangue, mangueiras de jardim, sola de sapato, garrafas, etc.
Polietileno de baixa densidade	PEBD	4	Sacolas, envelopes, embalagens para comida, sacos de lixo, etc
Polipropileno	PP	5	Filmes para alimentos, potes, fraldas, seringas descartáveis, escova, bandejas, pratos para micro-ondas etc.
Poliestireno	PS	6	Pote de iogurte, sorvete, tampas, brinquedo, placa de isolamento térmico, bandeja, caixa de CD, brinquedos, etc.
Outros	-	7	CD, DVD, embalagens multimarca para biscoito, peças de carro, computadores, etc

Os plásticos são classificados em termofixos e termoplásticos. Os termofixos possuem a característica de não poderem ser processados, após já terem passado por processos usuais de transformação, já os termoplásticos, que são mais utilizados (PEBD, PEAD, PVC, OS, PP, PET e outros), podem ser reprocessados diversas vezes quando submetidos ao aquecimento com temperaturas adequadas (FONSECA, 2013).

Devido suas características os plásticos são amplamente utilizados em diversos produtos, uma vez que são facilmente moldados (SANTOS et al., 2020).

Conforme a ABIPLAST (2019) o PP é a resina mais consumida (21%), seguida pelo PVC (13,6%), PEAD (12,7%), PEBDL (11,9%), plásticos reciclados (10,6%), PEBD (8,8%), plásticos de engenharia (6,9%), PS (6,0%), PET (5,4%), EPS (2,1%) e EVA (1,0%). Parte dessas resinas é importada, outra exportada e a restante utilizada na produção de transformados plásticos. Estes são produzidos a partir das resinas, bem como da reciclagem mecânica de material plástico pós-consumo e da reciclagem pós-industrial. Uma parcela dos transformados plásticos é destinada à exportação, outra à reciclagem pós-industrial e ao consumo aparente de transformados plásticos. Este, juntamente com importações de transformados plásticos, abastecem diversos setores consumidores de produtos plásticos no Brasil. Ainda de acordo com a figura citada, a construção civil (22,5%) e a indústria de alimentos (20,3%) foram os setores que mais consumiram plásticos em 2017, outros setores também tiveram consumos importantes, tais como, o de automóveis e autopeças (8,6%), artigos de

comércio em atacado e varejo (8,1%), bebidas (6,1%), produtos de metal (5,6%), máquinas e equipamentos (5,2%), e com um percentual inferior apareceram os setores de perfumaria, higiene e limpeza (3,3%), agricultura (3,1%), papel, celulose e impressão (3%), químicos (2,7%), descartáveis (2,5%), eletrônicos (1,8%), têxteis e vestuários (1%), farmacêutico (0,9%) e outros equipamentos de transportes (0,6%).

Considerando o elevado consumo e a lenta decomposição, os plásticos podem ocasionar diversos impactos ambientais. Segundo Bispo et al. (2020), a disposição inadequada dos plásticos, contribui para a diminuição da vida útil dos lixões e aterros sanitários; a ocorrência de alagamentos nas cidades, ocasionado pelo entupimento de bueiros; aumento de doenças e mortes em animais, por facilitarem o acesso e ingestão desse material; bem como ocasiona a poluição da paisagem dos rios e mares. Comăniță et al. (2016) destacam que os principais efeitos desse material no ambiente aquático, consiste na alteração dos habitats das espécies aquáticas e do regime hidrológico das águas e dos sedimentos, a destruição do plâncton e fitoplâncton, assim como danos da saúde ou até mesmo morte dos animais marinhos por meio da ingestão acidental do plástico. De acordo com os autores, nanopartículas de poliestireno, resultadas da degradação do plástico, modificam as propriedades da membrana celular e a atividade de algumas proteínas. A saúde humana também sofre o impacto da poluição marinha, à medida que os poluentes podem ser transferidos por meio da cadeia alimentar (COMĂNIȚĂ et al., 2016; SANTOS, 2020).

A fim de reduzir os impactos mencionados a reciclagem do plástico produzido reciclagem mostra-se pertinente. Segundo Fonseca (2013) a reciclagem do plástico pode ser dividida em: pré-consumo, a qual é realizada com materiais termoplásticos oriundos de resíduos industriais, que geralmente são limpos e de fácil identificação; secundária ou pós-consumo, na qual ocorre a conversão de resíduos plásticos do lixo; e terciária, na qual os resíduos plásticos são convertidos, por processos termoquímicos, em produtos químicos e combustíveis, que podem retornar à indústria como resinas virgens ou outras substâncias, como gases e óleos combustíveis.

Segundo PICPLAST (2021a), em 2019, foram gerados 3,5 milhões de toneladas de resíduos plástico pós-consumo, um crescimento de 2% em relação ao ano anterior. Já a geração a reciclagem de resíduo plástico pós-consumo cresceu 10% nesse mesmo período, com uma produção de 838 mil toneladas, cuja maioria foi composta por PET (42%), seguidos pelo PEBD/PEBDL (17%), PP (16%), PEAD (18%) e outros (7%) (PICPLAST, 2021b).

O processo de reciclagem mecânica do plástico pode ser dividido em quatro, que consiste em (ABIPLAST, 2019):

- Fragmentação dos resíduos plásticos descartados pelas residências, comércio e indústrias;
- Separação e lavagem dos materiais fragmentados. A separação adequada é etapa importante para a qualidade da resina reciclada;
- Secagem dos fragmentos;
- Extrusão dos fragmentos, resultando em grânulos, ou seja, as resinas plásticas recicladas.

A indústria da reciclagem desempenha um papel importante na preservação do meio ambiente, ao passo que reprocessam o material para a sua reinserção como matéria-prima para a fabricação de novos produtos. Outro ponto positivo, corresponde ao consumo de energia. O uso de plástico reciclado pode economizar entre 50% (CEMPRE, 2021c) e 70% (BISPO et al., 2020) de energia. Nesse processo tem-se também ganhos econômicos e sociais com a geração de renda em todos os elos da cadeia produtiva. De acordo com ABIPLAST (2019) a cada tonelada de material plástico reciclado produzido gera empregos para 3 catadores e reduz 1,1 tonelada desse resíduo disposto em aterro.

Caraschi e Leao (2002) estudaram a reciclagem de plásticos provenientes de RSU e observaram que os plásticos reciclados (PP, OS e PEAD) apresentaram propriedades mecânicas adequadas para a fabricação de peças que não exigem especificações técnicas, bem como que a mistura de plástico, formada por PEAD, PEBD, PP e PS, apresentou propriedades semelhantes ao PEAD. Outra opção para o plástico oriundo dos RSU foi analisada por Fonseca et al. (2019), que estudaram a melhora das características dos pavimentos rodoviários com a aplicação do PEBD reciclado em misturas betuminosas. Os autores evidenciaram uma melhoria significativa das propriedades das misturas betuminosas com PEBD, permitindo reduzir a percentagem de betume e mais uma destinação ao resíduo reciclado.

3.3 Vidro

Vidro é um material durável formado por areia, calcário, barrilha e feldspato (CEMPRE, 2021d). Na indústria do vidro o material pode ser classificado em (ROSA et al., 2007):

- Vidro plano: segmentado em impresso, temperado, laminado, refletivo ou metalizado, blindado, duplo ou insulado, duplo com cristal líquido e aramado. É bastante usado na construção civil e nas indústrias automobilística e moveleira;
- Vidro oco: dividido em (1) vidro para uso doméstico, tais como utilidades domésticas e cristais, e (2) vidro para embalagem, presente em bebidas, alimentos, setor farmacêutico, e de higiene e beleza;
- Vidro técnico ou especial: composto pelos cinescópios, monitores de vídeo, setor de iluminação, garrafas térmicas, blocos de vidro, blocos oftálmicos e fibras de vidro. São destinados à diversos usos industriais.

De acordo Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos (Abravidro), em 2020, a produção de vidros planos apresentou capacidade nominal de produção 7.530 t/dia, constituído majoritariamente por vidros temperado (55,4%), seguidos pelo espelho (25,7%), vidro laminado (11,8%), tampo etc. (6,3%) e insulado (0,8%) (ABRAVIDRO, 2020). Conforme a fonte citada, após a extração, fabricação e produção desses vidros, esses são utilizados por diversos setores, tais como a construção civil e indústrias automobilística, moveleira e de linha branca.

Por ser um material inerte, o descarte inadequado do vidro pode o acumular em diversas localidades, causando impactos na paisagem e aumentando a ocorrência de acidentes. Ao ser quebrado, os pedaços de vidro podem se tornar um meio para o desencadeamento de acidentes, especialmente com os trabalhadores que realizam a coleta dos resíduos. Kemerich et al. (2013) destacam os impactos na saúde relacionados a produção da fibra de vidro. Os autores afirmam que ao entrar em contato direto com os trabalhadores, o material ou seus fragmentos, podem causar irritação nos olhos, pele, nariz e garganta, e em altos níveis de exposição, podem agravar asma e bronquites. Os autores ainda destacam que no processo de laminação de plástico reforçado com fibra de vidro ocorre emissões de estireno, substância muito voláteis que libera vapores tóxicos danosos à saúde ao entrarem no organismo por inalação, olhos e pele, causando irritações na pele, olhos e no sistema respiratório e outras membranas mucosas.

Segundo o CEMPRE (2021a), em 2018, a reciclagem do vidro no país foi de 25,8%. O processo de reciclagem do vidro é dividido em quatro etapas: triagem, separação de contaminantes, trituração e molde, descritos a seguir ABIVIDRO (2020):

- 1º etapa: separação do vidro de conforme tipo e cor;
- 2º etapa: separação de contaminante dos vidros, ou seja, aquilo que não são vidros, a exemplo tampas, pedras, metais e etc.
- 3º etapa: trituração do material em pedaços, que são destinadas às recicladoras.

- 4º etapa: molde do vidro em pedaços. Na fabricação de embalagens os pedaços são fundidos com temperatura acima dos 1.300°C e o vidro derretido é utilizado na fabricação de novas garrafas e potes, destinadas para fábricas de alimentos e bebidas.

O Cempre (2014) destaca a importância da correta separação dos vidros, visto que a presença de contaminantes originam trincas e defeitos nas embalagens. Conforme a fonte citada, a mistura de terra, cerâmicas e louças com cacos de vidros forma pedras no produto final, resultando na quebra espontânea do vidro, já o plástico e metais em excesso podem originar bolhas e alterar a cor da embalagem, e este último material pode ainda danificar o forno.

A maioria dos recipientes de vidros usados são destinados às vidrarias (CEMPRE, 2021d). O programa de logística reversa do vidro, Glass is Good, recuperou, desde a sua implantação, em 2010, cerca 28 mil toneladas de caco de vidro (ABRABE, 2021). De acordo com a fonte mencionada, esse total representa uma redução de 13mil MWh no consumo de energia, corresponde a um volume de 57milhoes de garrafas de 1 litro e representa diminuição de cerca de 14 mil toneladas de CO₂ emitidos para a atmosfera.

O vidro pode ser reciclado infinitamente (ABIVIDRO, 2021). No entanto, alguns deles exigem alta tecnologia em seu processo de reciclagem, o que pode inviabilizar o processo de reciclagem, tais como: espelhos, lâmpadas, box de banheiro, cristal, tubos de televisão, válvulas e ampolas, vidros de automóveis, vidros de janelas e formas, travessas e utensílios de mesa de vidro temperado (VENÂNCIO et al., 2020).

A reciclagem do vidro traz vários benefícios para o meio ambiente e a sociedade. Por ser totalmente reciclável, permite a redução de resíduos encaminhados a aterros sanitários, bem como o uso de matéria-prima na produção de novos produtos. Segundo Venâncio et al. (2020) ao reciclar uma tonelada de vidro pode-se economizar uma tonelada de matéria-prima. Para Toquetto (2017) a redução do consumo é ainda maior, em uma tonelada de cacos de vidro é possível economizar por volta de 1,2 toneladas de matéria-prima. Outro ponto positivo consiste na redução no consumo de energia e emissão de gases tóxicos (OLIVEIRA; ANACLETO, 2019). De acordo com a Abividro (2021), no processo de reciclagem é necessário menor consumo de energia e há emissão de resíduos com menos particulados de CO₂. Toquetto (2017) afirma que a utilização de uma taxa de 10% de caco de vidro pode reduzir 5% o consumo de energia e emissão de gás carbônico e vapor d'água. Fonseca (2013), destaca ainda que o uso de caco de vidro na produção de vidro diminui o tempo de fusão na fabricação do vidro, e consequentemente o consumo de energia na produção. Assim como a reciclagem dos diversos materiais, tem-se também a geração de emprego e renda.

Apesar dos benefícios mencionados, a efetivação da reciclagem do vidro requer um conjunto de ações, tais como a implantação de pontos de coleta para a destinação do material. No estudo realizado por Oliveira e Anacleto (2019) com os moradores da região metropolitana de Belo Horizonte foi observado que mesmo com o conhecimento dos impactos do vidro no meio ambiente, apenas 20% afirma enviar o material para a reciclagem. Os autores também destacam que a maioria dos respondentes necessitam ter pontos de coleta próximo a sua residência (51%) ou coleta seletiva nas suas residências (97%) para iniciarem a separação do vidro.

Além do emprego do vidro na produção de novos produtos de vidro, tais como embalagens, outros usos do material reciclado têm se mostrado possível. De acordo com CEMPRE (2020d) o vidro reciclado pode ser incorporado na composição de asfalto e pavimentação de estradas, construção de sistemas de drenagem contra enchentes, e produção de materiais como espuma, fibra de vidro, bijuterias e tintas reflexivas.

Alguns estudos mostraram a possibilidade da incorporação desse material na construção civil. Luiz et al. (2018) analisaram o uso de sucatas de vidro, provenientes da moagem de

garrafas *long neck*, como agregado fino. Os autores verificaram que adição desse material em substituição da areia usada na produção de concreto é uma opção possível que produz um material resistente e dá uma destinação para o vidro reciclado. Bohn et al. (2019) estudaram a produção de um produto de valor agregado, como o pavimento intertravado de argila, por meio da incorporação de uma quantidade de resíduo, a exemplo do vidro sodo-cálcico, em uma massa cerâmica. Os resultados obtidos pelos autores mostram-se satisfatórios para o uso pretendido. Outro uso possível foi estudado por Mostardeiro et al. (2019), que utilizaram o vidro reciclado na fabricação de joias, mais especificadamente um pingente, constituído de prata e vidro reciclado.

3.4 Metais

Existem muitos tipos de metais. Eles são extraídos dos minérios presentes nos solos e rochas, e podem ser classificados em ferrosos, como o ferro e o aço, e os não ferrosos, destacando-se o alumínio, cobre e os metais pesados. Dentre estes tem-se o níquel, zinco, chumbo e mercúrio. Os metais possuem elevada durabilidade, resistência mecânica e são facilmente conformados (FONSECA, 2013).

Os metais podem ser encontrados na sua forma já utilizável, tais como o cobre e o ferro, ou serem processado com outras substâncias. Produtos que contêm metais estão presentes em diversos setores. Esse material é utilizado em embalagens, na construção civil, no setor elétrico, móveis, utensílios domésticos, dentre outros.

Dos metais, o alumínio desempenha papel de destaque na indústria de produção e reciclagem brasileira. Este metal é obtido a partir da mineração de bauxita e deve ser constituído de no mínimo de 30% de óxido de alumínio para ser economicamente viável (ABAL, 2021a). O Brasil ocupa a décima quinta posição na produção de alumínio primário, gerando, em 2019, 484.882 empregos diretos e indiretos, bem como um faturamento de R\$ 83,6 bilhões, correspondente a produção de 650 mil toneladas de alumínio primário e um consumo per capita de 7,1 kg/hab./ano (ABAL, 2021b). Nesse mesmo ano, segundo a fonte mencionada, também foram exportadas 287 mil toneladas de alumínio e importados mais que o dobro dessa quantidade, 784 mil toneladas.

Quando destinados inadequadamente, os metais podem contaminar o solo, a água, bem como resultar em problemas na vegetação, na saúde da população e de animais. Freitas et al. (2020) identificaram que solos com teores de cromo superiores a 150 mg/kg comprometem o desenvolvimento da espécie arbórea nativa *Myracrodruon urundeuva*. Araújo et al. (2017) afirmam que, para alguns metais pesados, existe um potencial tóxico mínimo, ao qual se tem uma certa resistência, como para o alumínio, ferro e manganês, no entanto, outros metais, a exemplo chumbo e mercúrio, possuem alta toxicidade. Na Tabela 2 são apresentados os riscos de alguns metais na saúde humana.

Tabela 2 - Riscos dos metais pesados na saúde humana

Elemento	Origem	Toxicidade
Chumbo (Pb)	Ligado à contaminação por efluentes industriais ou de Minas (LEMES, 2001). Pode Entrar no corpo humano por inalação de poeira contaminada ou de gases residuais da gasolina e também por ingestão de alimentos que contenham esse metal, principalmente peixes de águas contaminadas	Falhas renais, além de doenças cardiovasculares (hipertensão) e neurológicas permanentes, como perda de memória de curto prazo, problemas de coordenação, concentração (hiperatividade) e de audição, dores de cabeça, crescimento lento, problemas reprodutivos e digestivos, dores musculares e articulares, podendo levar à morte ou danos permanentes ao sistema nervoso central (SALEM et al., 2000; LEMES, 2001; SHOKR et al., 2016).

Cobre (Cu)	Decorrentes de sua utilização como algicida, do lançamento de despejos industriais e do desgaste de canalização de cobre (LEMES, 2001)	Anemia crônica, dor abdominal, vômitos, dor de cabeça, náuseas, irritação intestinal e diarreia, além de danos graves aos rins, cirrose hepática (SALEM et al., 2000; SHOKR et al., 2016) e Doença de Wilson (LEMES, 2001; SELINUS, 2004).
Níquel (Ni)	Contaminação por efluentes industriais ou minas, além da corrosão de canalizações que contenham este metal (LEMES, 2001).	É imunotóxico, neurotóxico, genotóxico, hepatotóxico e está relacionado à rápida queda de cabelo (SALEM et al., 2000; LEMES, 2001). A inalação e (ou) ingestão pode causar câncer de pulmão, garganta e estômago.
Cromo (Cr)	Raramente encontrado em águas não poluídas, derivado do lançamento de despejos de curtumes e de indústrias que utilizam processos de cromagem de metais, galvanoplastias, indústria de corantes, explosivos, cerâmica, vidro, papel, etc. (LEMES, 2001).	Rápida queda de cabelo, problemas dermatológicos e pulmonares. Exposição prolongada a altos níveis de cromo também pode causar danos aos rins e ao fígado, bem como provocar danos aos tecidos circulatório e nervoso (SALEM et al., 2000; SELINUS, 2004) e, quando inspirado, pode ser carcinogênico (LEMES, 2001).
Zinco (Zn)	Contaminação por despejo indevido de efluentes industriais e de mineração	Pode causar fadiga, tontura (HESS e SCHMID, 2002 apud SARWAR et al., 2016), febre e diarreia (SELINUS, 2004), além de causar irritações à pele e estar ligado ao câncer de pulmão em áreas de emissões industriais (MINEROPAR, 2001)

Fonte: Araújo (2017)

O processo produtivo dos metais também impacta o meio ambiente. Chaves et al. (2018) destacam que apesar das melhorias, incluindo a prevenção de poluição, a indústria metalúrgica ainda gera importantes quantidades de resíduos no processo de produção. Os autores, exemplificam que cada tonelada de alumínio produzida gera cerca de 2 toneladas de rejeitos sólidos e 2,7 toneladas de CO₂.

O armazenamento do rejeito é uma etapa que requer atenção. A ocorrência de acidentes, à exemplo do rompimento de barragens, pode impactar o meio ambiente e a saúde dos trabalhadores e moradores do entorno, causando a poluição dos corpos d'água, destruição de moradias e da vegetação, bem como a morte da população e de animais.

Uma forma de minimizar tais impactos consiste na reciclagem dos metais. Um dos principais metais reciclados é o alumínio. Tal fato decorre da alta reciclabilidade desse metal, que pode ser infinitamente reciclado, mantendo suas características no processo de reaproveitamento ABAL (2021c). Nesse sentido produtos como utensílios domésticos, latas de bebidas, componentes automotivos, etc, podem ser fundidos e gerarem novos produtos.

Um dos produtos em alumínio de grande destaque na reciclagem são as latas de alumínio. Segundo a ABAL (2021d), 97,4% das latas de alumínio foram recicladas e reinserida no ciclo produtivo, em 2020, que totaliza cerca de 391,5 mil toneladas ou 31 bilhões de unidades, colocando o Brasil como um dos líderes mundiais no setor de reciclagem. Já em relação ao percentual de recuperação do alumínio à nível de consumo doméstico, tem-se valores inferiores, de aproximadamente 56%, como pode ser visualizado na Figura 1 (ABAL, 2021e).

O ciclo da reciclagem se inicia, após o consumo, com a coleta do material e encaminhamento da sucata, em forma de fardos, para as recicladoras. Nestas é realizado o seguinte processo de reciclagem (CEMPRE, 2021e):

- Aquecimento da matéria-prima em forno à 550° C, a fim de eliminar tintas, vernizes e óleos dos fragmentos da sucata;
- Fundição à 650° C do material resultante;

- Despejo do material em lingoteiras (para solidificação) ou em placas (para transporte em estado líquido) e adição de sobras de alumínio oriundos dos processos industriais de fabricação da chapa e das latas, assim como de alumínio primário, para correção da liga;
- Transformação do alumínio fundido em placas;
- Laminação das placas em chapas, que são bobinadas e transportadas para o início do ciclo produtivo.

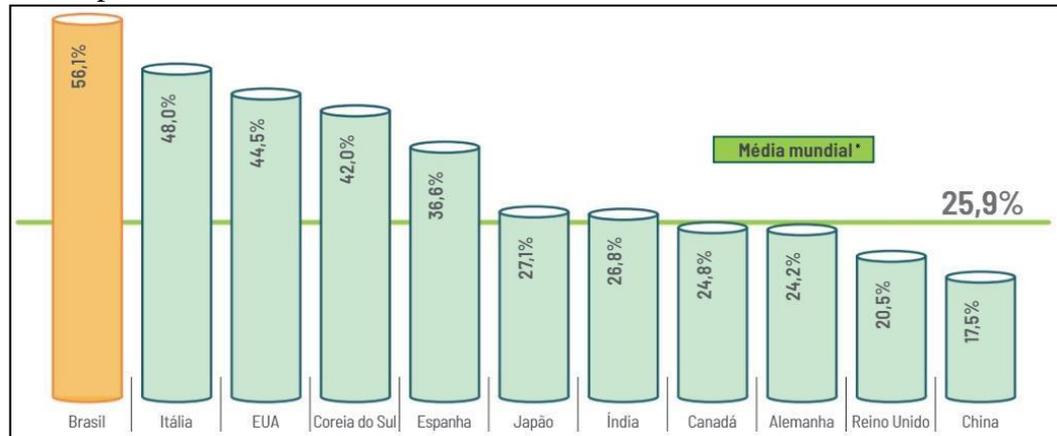


Figura 1 - Relação entre Sucata Recuperada e Consumo Doméstico – 2018

Fonte: ABAL (2021e)

Outro metal que é 100% reciclável e tem reciclagem consolidada é o aço. Esse metal é um dos mais reciclados do mundo, podendo ser utilizado na produção de eletrodomésticos, automóveis e objetos variados como tesoura, nova lata, maçaneta, dentre outros (ABEAÇO, 2021a). De acordo com a ABEAÇO (2021b), cerca de 200 mil toneladas de latas de aço pós consumo foram encaminhadas para reciclagem no Brasil, em 2019, representando um percentual de 47%. O processo de reciclagem das latas de aço é descrito a seguir (ABEAÇO, 2021a):

- Separação do material manualmente ou com auxílio de separadores eletromagnéticos;
- Limpeza das latas de aço em peneiras, a fim de retirar terra e outros contaminantes;
- Prensagem dos fardos;
- Fundição da sucata em fornos elétricos ou a oxigênio, à 1550 graus centígrados, em média;
- Molde do material em tarugos e placas metálicas, posteriormente cortados na forma de chapas de aço;

De modo geral, os processos de reciclagem dos metais têm benefícios semelhantes. Diversos ganhos são observados na reciclagem do alumínio. Menor emissão de efluentes líquidos e gasosos, menor quantidade de volume de água consumido e menor emissões de CO₂, bem como redução no consumo de energia (CHAVES et al., 2018). O alumínio reciclado utiliza 95% de energia a menos (CHAVES et al., 2018; ABAL, 2021f). A reciclagem do aço também impacta positivamente no meio ambiente e a economia. Segundo o Prolata (2021) o processo de fabricação de aço a partir do uso de aço reciclado representa uma economia de matéria prima virgem (90%), energia (74%) consumo de água (40%), além da redução de poluentes na água (76%,) e ar (86%) e de resíduos de mineração (97%). Guerra e Trevisan (2020) analisaram diferentes métodos de reciclagem do tungstênio e outros metais, presentes no metal duro, contidos na sucata de ferramentas de corte para usinagem e destacam que a recuperação do carboneto de tungstênio e do cobalto é importante para a sustentabilidade do setor, visto o baixo rendimento no processamento dos minerais, o impacto ambiental da mineração e os altos custos para a obtenção desses metais.

4 CONCLUSÃO

A partir do conhecimento de aspectos diversos relacionados aos principais materiais reciclados no Brasil, tais como suas características, geração, impactos negativos da produção e descarte inadequado dos mesmos, assim como das taxas de reciclagem é possível ter uma percepção das potencialidades da reciclagem neste país.

Observou-se que o Brasil tem um grande potencial de realizar a reciclagem desses materiais. Uma das indústrias mais desenvolvidas são as recicladoras de latas de alumínio com elevada taxa de reciclagem (97%). Outro material de destaque na reciclagem no país é o papel, que possui uma taxa de reciclagem de cerca 70% e é considerado um dos principais países recicladores do mundo. Já outros materiais, tais como o plástico tem percentuais de reciclagem menos elevados quando comparado aos demais mencionados do presente artigo, sendo a reciclagem do PET a mais desenvolvida (42%). A taxa de reciclagem do vidro também ainda é tímida (26%).

Assim, a partir desse panorama, percebe-se que a reciclagem do plástico e do vidro ainda é um desafio para o Brasil, que demanda um maior investimento no setor. Nesse sentido, o desenvolvimento desses setores mostra-se necessário, uma vez que os plásticos apresentam um risco para o meio ambiente e saúde da população quando descartados inadequadamente, bem como o vidro é um material 100% reciclável, que, no entanto, ainda enfrenta alguns desafios técnicos e financeiros que limitam a reciclagem de alguns tipos de vidro.

REFERÊNCIAS

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio. 2021a. **Cadeia Primária**. Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/cadeia-primaria/>>. Acesso em: 29/11/2021.

_____. **Perfil da Indústria Brasileira do Alumínio**. 2021b. Disponível em: <<https://abal.org.br/estatisticas/nacionais/perfil-da-industria/>>. Acesso em: 29/11/2021.

_____. **Características Químicas e Físicas**. 2021c. Disponível em: <<https://abal.org.br/aluminio/caracteristicas-quimicas-e-fisicas/>>. Acesso em: 29/11/2021.

_____. **Mesmo com alta do consumo, Brasil reciclou mais de 97% das latas de alumínio para bebidas em 2020**. 2021d. Disponível em: <<https://abal.org.br/noticia/mesmo-com-alta-do-consumo-brasil-reciclou-mais-de-97-das-latas-de-aluminio-para-bebidas-em-2020/>>. Acesso em: 29/11/2021.

_____. **Relação entre Sucata Recuperada e Consumo Doméstico – 2019**. 2021e. Disponível em: <<https://abal.org.br/estatisticas/nacionais/reciclagem/total-aluminio-2019/>>. Acesso em: 29/11/2021.

_____. **Sustentabilidade: Reciclagem**. 2021f. Disponível em: <<https://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/por-que-reciclar/>>. Acesso em: 29/11/2021.

ABEAÇO - Associação Brasileira de Embalagem de Aço. 2021a. **Reciclagem**. Disponível em: <<http://www.abeaco.com.br/reciclagemacotexto.html>>. Acesso em: 29/09/2021.

_____. **Reciclagem de latas de aço**. 2021b. Disponível em: <<https://www.prolata.com.br/universo-reciclagem/reciclagem-de-latas-de-aco/>>. Acesso em: 29/09/2021.

ABIVIDRO - Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. **Benefícios reciclagem do vidro**. 2020. Disponível em: <<https://abividro.org.br/beneficios-da-reciclagem-do-vidro/>>. Acesso em: 30/09/2021.

ABIPLAST – Associação Brasileira da Industria do Plastico. **Perfil 2019**. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil2019/>>. Acesso em: 30/09/2021.

ABRABE - Associação brasileira de bebidas. **Glass is good**. Disponível em: <<https://www.abrabe.org.br/glass-is-good/>>. Acesso em: 30/09/2021.

ABRAVIDRO - Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos. O mercado vidreiro em números edição 2020. 2020. Disponível em: <https://abravidro.org.br/wp-content/uploads/2020/06/panorama_abravidro_2020_mobile.pdf>. Acesso em: 17/06/2022.

ANCAT; PRAGMA. **Anuário da reciclagem**. Brasília, 2021. Disponível em: <[https://uploads-ssl.webflow.com/605512e6bb034aa16bac5b64/61c0df8ef4e32e41f3ef9943_Anua%CC%81rio%20da%20Reciclagem%202021%20\(1\).pdf](https://uploads-ssl.webflow.com/605512e6bb034aa16bac5b64/61c0df8ef4e32e41f3ef9943_Anua%CC%81rio%20da%20Reciclagem%202021%20(1).pdf)>. Acesso em: 18/06/2022.

ARAÚJO, A. D.; DA OLIVEIRA FREITAS, M.; DO CARMO MOURA, L.; BAGGIO FILHO, H.; CAMBRAIA, R. P. Avaliação geoquímica ambiental do garimpo areinha: estudo da concentração e distribuição de metais pesados nos sedimentos e os danos à saúde humana. **Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 13, n. 26, p. 98, 2017.

BISPO, A. V.; GOLIN, R. F.; BILEGO, R. B.; DE OLIVEIRA, M. N.; DE MELO, M. L. A reciclagem do plástico e sua importância para o meio ambiente. **Interfaces do Conhecimento**, v. 2, n. 3, p. 163-173, 2020.

BOHN, B. P. **Reciclagem do vidro em pavimentos com argila**. 2019. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Engenharia de Materiais) – Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Feliz, 2019.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L. Avaliação das propriedades mecânicas dos plásticos reciclados provenientes de resíduos sólidos urbanos. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 24, p. 1599-1602, 2002.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Guia da coleta seletiva de lixo/texto**. 2014. São Paulo: CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem, 2014. 2ª edição. ISBN 978-85-85812-08-9.

_____. **Taxas de reciclagem**. 2021a. Disponível em: <<https://cempre.org.br/taxas-de-reciclagem/>>. Acesso em: 20/01/2022.

_____. **Papel**. 2021b. Disponível em: <<https://cempre.org.br/papel/>>. Acesso em: 20/01/2022.

_____. **Plástico**. 2021c. Disponível em: <<https://cempre.org.br/plasticos/>>. Acesso em: 20/01/2022.

_____. **Vidro**. 2021d. Disponível em: <<https://cempre.org.br/vidro/>>. Acesso em: 20/01/2022.

_____. **Latas de alumínio**. 2021e. Disponível em: <<https://cempre.org.br/latas-de-aluminio/>>. Acesso em: 20/01/2022.

CHAVES, C. A.; ALMEIDA MARQUES, S. DE; SILVEIRA, W. DA. Benefícios da reciclagem de materiais - O caso do alumínio. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 3, n. 3, p. 111-134, 2018.

COMĂNIȚĂ, E. D.; HLIHOR, R. M.; GHINEA, C.; GAVRILESCU, M. Occurrence of plastic waste in the environment: ecological and health risks. **Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)**, v. 15, n. 3, 2016.

FONSECA, L. H. A. Reciclagem: o primeiro passo para a preservação ambiental. **Revista**, p. 1-30, 2013.

FONSECA, M.P.; ALMEIDA, A.; CAPITÃO, S.; BANDEIRA, R.; RODRIGUES, C.B. Avaliação do uso de plásticos recuperados de resíduos sólidos urbanos como agente modificador de misturas betuminosas. In: 9º CONGRESSO RODOVIÁRIO PORTUGUÊS, Lisboa, 28-30 de maio 2019.

FREITAS, D. A.; DE PAULA SOUSA, I.; COUTINHO, M. N.; ALVARENGA, A. C. Efeito dos metais pesados cobre e cromo no solo: germinação e desenvolvimento inicial de *Myracrodouon urundeuva*. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 1, p. 162-171, 2020.

GEMECHU, E. D.; BUTNAR, I.; GOMÀ-CAMPS, J.; PONS, A.; CASTELLS, F. A comparison of the GHG emissions caused by manufacturing tissue paper from virgin pulp or recycled waste paper. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 8, p. 1618-1628, 2013.

GUERRA, V. R.; TREVISAN, L. Processos de reciclagem de metal duro: uma revisão. **Revista Liberato**, v. 21, n. 35, p. 39-56, 2020.

IBA- Indústria Brasileira de árvores. **Relatório anual 2020 - annual report**. 2020. Disponível em: <<https://iba.org/publicacoes>>. Acesso em: 06/02/2021.

KEMERICH, P.D. DA C.; PIOVESAN, M.; BERTOLETTI, L. L.; ALTMAYER, S.; HOHMVORPAGEL, T. Caracterização, Disposição Final e Impactos Ambientais Gerados. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 2112-2121, 2013.

LUIZ, A. C. R.; VILELA, D. S.; MARTINS, B. S.; DA SILVA NETO, G. P. Utilização do vidro moído com agregado para produção de concreto. In: ANAIS COLÓQUIO ESTADUAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR (ISSN-2527-2500) & CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR. 2018.

MOSTARDEIRO, M. E. S.; ODERICH, A. L.; CIDADE, M. K. Desenvolvimento de joia mediante a reciclagem de vidros e processos de fabricação multidisciplinares. **Plural Design**, v. 2, n. 1, p. 69-79, 2019.

NOBREGA, C. C.; CARVALHO, M.; GARCIA, H. R. D. M.; FORÉS, V. I.; BOVEA, M. D. Avaliação do ciclo de vida da coleta seletiva de papel e papelão no núcleo do Bessa, município de João Pessoa (PB), Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, p. 875-886, 2019.

PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F. Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais. **Maceió: Edufal**, p. 51, 2005.

PICPLAST - Plano de Incentivo à Cadeia do Plástico. **Índice de plástico reciclado pós-consumo cresceu em 2019, segundo estudo encomendado pelo PICPLAST.** 2021a. Disponível: <<http://www.picplast.com.br/detalhe-noticia/indice-de-plastico-reciclado-pos-consumo-cresceu-em-2019-segundo-estudo-encomendado-pelo-picplast>>. Acesso em: 20/05/2022.

_____. **Estudo aponta crescimento no índice de plástico reciclado pós-consumo Panorama de 2019.** 2021b. Disponível em: <[file:///C:/Users/usuario/Downloads/%C3%8Dndice%20de%20Reciclagem%20de%20PI%C3%A1sticos%20no%20Brasil%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/usuario/Downloads/%C3%8Dndice%20de%20Reciclagem%20de%20PI%C3%A1sticos%20no%20Brasil%20(1).pdf)>. Acesso em: 20/05/2022.

PROLATA. **Mais de 20 bilhões de lata de aço são recicladas todos os anos no mundo.** 2021. Disponível em: <<https://www.prolata.com.br/universo-reciclagem/reducao-do-impacto-ambiental/>>. Acesso em: 21/05/2022.

SANTOS, A., C.; SILVA, C.; GROSZEK, M.; KOŁAT, K.; PEREIRA, R.; SANTOS, P., T. O Uso e Impactos do Plástico: Alternativas no Quotidiano. **Captar**, v. 9, n. 01, p. 37-53, 2020.

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2020** Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA)/Ministério das Cidades, 2021.

TEIXEIRA, M. B. D.; OLIVEIRA, R. A.; GATTI, T. H.; SUAREZ, P. A. Z. O Papel: uma breve revisão histórica, descrição da tecnologia industrial de produção e experimentos para obtenção de folhas artesanais. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 3, p. 1364-1380, 2017.

ROSA, S. E. S. D.; COSENZA, J. P.; BARROSO, D. V. Considerações sobre a indústria do vidro no Brasil. **BNDES Setorial**, n. 26, p.[101]-137, set. 2007., 2007.

VENÂNCIO, A. A. M.; DIAS, M. F.; DO AMARAL MELO, P. H.; ALVIM, W. D.; DE BRITO, B. V.; DE BARROS NEVES, B.; ...FERREIRA, B. C. S. Estudo de caso: reciclagem e reuso de vidro em Belo Horizonte-MG. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 32123-32161, 2020.

TOQUETTO, A. R.; TEMA, O. Vidro Plano (Tecnologia Float)” para a Educação Científica e Tecnológica. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 2, p. 153-161, 2017.

OLIVEIRA, S.F. DE; ANACLETO, C. A. Proposta de reciclagem e reutilização do vidro descartado pela população urbana brasileira. In: VIII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFMG, 5., 12 a 14 de agosto de 2019, Campus Ribeirão das Neves.