



REAPROVEITAMENTO DE REJEITOS DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET) NO BRASIL: UMA REVISÃO

Luís Roberto Cavalcanti da Silva¹

Luciano Pires de Andrade¹

RESUMO

A intensa utilização de embalagens descartáveis vem aumentando os impactos ambientais. As embalagens PET (politereftalato de etileno), em aceitas no Brasil, principalmente como embalagens para refrigerantes e, por terem ciclo de vida reduzido, são rapidamente descartadas no meio ambiente. Assim, este artigo objetiva identificar meios de reaproveitamento de garrafas PET descartadas no Brasil, com a finalidade de ampliar seu ciclo de vida e/ou promover o reuso permanente dessas embalagens, enquanto ajudam a melhorar as condições de vida das pessoas, reduzindo o volume do lixo. Para isso, foram realizadas buscas nas bases de dados *Scopus*; *Web of Science*; *SciELO*; e *Google Scholar*, a partir da combinação dos termos indexadores “garrafa PET”; reaproveitamento; reutilização e, com isso, foram selecionados 19 artigos que se enquadraram aos critérios estabelecidos, desenvolvidos, em maioria, no estado de São Paulo. Assim, foram identificadas formas de reaproveitar esses rejeitos, que evidenciaram as contribuições que as principais técnicas de reaproveitamento de garrafas PET, tais como construção de casas ou objetos e cultivo de hortas, vêm trazendo para a sociedade brasileira. A partir disso, identificaram-se experiências que, através da confecção de materiais como móveis, pranchas de surfe e aquecedores de água, estimulam a economia e geram renda à população necessitada. Por fim, observou-se que o Brasil apresenta grande potencial voltado aos processos de reciclagem e de reaproveitamento das embalagens PET para uso duradouro, como em substituição de tijolos para construção de casas e como insumos para concretagem, reduzindo custos, ajudando na economia e à população necessitada.

Palavras-chave: Meio Ambiente; Renda; Qualidade de Vida; Sociedade.

ABSTRACT

Reusing polyethylene terephthalate (pet) tailings in Brazil: a review. The intense use of disposable packaging has increased environmental impacts. PET (polyethylene terephthalate) packaging, accepted in Brazil, mainly as packaging for soft drinks and, due to its reduced life cycle, is quickly discarded in the environment. Thus, this article aims to identify ways to reuse discarded PET bottles in Brazil, in order to expand their life cycle and/or promote the permanent reuse of these packages, while helping to improve people's living conditions, reducing the volume of trash. For this, searches were carried out in Scopus databases; Web of Science; SciELO; and Google Scholar, from the combination of the indexing terms “PET bottle”; reuse; reuse and, with that, 19 articles were selected that fit the established criteria, developed mostly in the state of São Paulo. Thus, ways of reusing these wastes were identified, which highlighted the contributions that the main techniques for reusing PET bottles, such as building houses or objects

¹ PPG em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – UFAPE, Garanhuns-PE, Brasil. E-mail para correspondência: luis.r.c.silva@gmail.com

and cultivating vegetable gardens, have been bringing to Brazilian society. From this, experiences were identified that, through the manufacture of materials such as furniture, surfboards and water heaters, stimulate the economy and generate income for the needy population. Finally, it was observed that Brazil has great potential for recycling and reusing PET packaging processes for lasting use, such as replacing bricks for building houses and as inputs for concreting, reducing costs, helping to save and population in need.

Keywords: Environment; Income; Quality of Life; Society.

INTRODUÇÃO

Desde sua criação em 1946, o composto PET (politereftalato de etileno), teve um rápido e significativo aumento nas formas de utilização, principalmente no setor de bebidas. Esse fato se deve principalmente as suas propriedades mecânicas, térmicas e ao custo de produção (Awaja e Pavel, 2005; Matos *et al.*, 2020). Assim, com o surgimento das embalagens PET, há um crescimento anual desordenado de sua produção e consumo, na casa de milhões de toneladas, e se estima um crescimento ainda maior para as próximas décadas. Esse quadro tende a piorar com a evolução socioeconômica da população mundial, principalmente em países emergentes, como o Brasil, onde o uso de embalagens descartáveis vem se ampliando e, devido a isso, observa-se um grande aumento na quantidade de resíduos de polímeros descartados, poluindo principalmente os recursos hídricos do planeta, reflexo das sociedades consumistas (Sul e Costa, 2014).

Nesse sentido, Wright *et al.* (2013) afirmam que atualmente a demanda por plástico se intensificou de modo a colocar o PET em condição central, sendo aplicado em diversas áreas, tanto econômicas, quanto sociais, como no comércio, na indústria ou na medicina. Com isso, os resíduos plásticos vão se acumulando, devido ao uso e descarte indiscriminados, de forma descontrolada e nociva ao meio ambiente.

Com esse significativo aumento no uso das embalagens PET, os problemas ambientais, que já eram consideráveis antes de sua aplicação, foram agravados e novos problemas ligados ao descarte de polímeros começaram a surgir, já que o PET é um dos polímeros que apresentam maior resistência à degradação natural (Pacheco *et al.*, 2021).

Esses problemas causados pelos polímeros ocorrem, principalmente, devido ao baixo custo de sua produção, levando a uma grande utilização no cotidiano das populações mundiais, como embalagens alimentícias, sacolas para compras ou utensílios domésticos. Nesse contexto, Sharuddin *et al.* (2016) ressaltam que os compostos PET se destacam, entre os polímeros, devido a seu curto ciclo de vida, pois são rapidamente descartadas, e por serem utilizados principalmente para a produção de garrafas para o envase de refrigerantes, aumentando consideravelmente o volume do lixo. Fato esse que se agrava, considerando que os resíduos poliméricos não se degradam com facilidade na natureza e, assim, o lixo plástico se apresenta como um dos principais problemas mundiais na contemporaneidade (Asdollah-Tabar *et al.*, 2021).

Dessa forma, inúmeras pesquisas governamentais, organizacionais e independentes, se direcionam à produção econômica mais sustentável, que prejudique menos o meio ambiente. Aliado a isso, muitos consumidores têm procurado qualidade associada à preservação ambiental, oferecendo oportunidades para as empresas desfrutarem de políticas e *marketing* ambientais, agregando valor aos seus produtos e marcas, e ostentando, dessa forma, vantagens competitivas (Silva *et al.*, 2013). Assim, para tentar mitigar

os problemas provocados pelos polímeros, a reciclagem foi pensada como meio para explorar benefícios econômicos, ambientais e sociais com sua prática, pois, com isso, pode-se gerar empregos, renda e favorecer a indústria, para fazer as embalagens retornarem a linha produtiva, enquanto reduz o acúmulo de passivos ambientais (Silva *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2018).

Nesse sentido, o Brasil se apresenta como um dos líderes mundiais de reciclagem de garrafas PET, retirando do ambiente cerca de 51% das embalagens consumidas, no entanto, sua retirada poderia ser ainda maior, devido ao grande volume desse material produzido no país, ainda que venha apresentando um gradativo crescimento anual (Santos *et al.*, 2018). Apesar desse fator positivo, grande parte da sociedade brasileira não se atém ao descarte e ao tratamento inadequado dado às embalagens plásticas, já que isso ocorre, muitas vezes, por questões de costume ou hábitos culturais (Silva *et al.*, 2013).

Contudo, os processos de reciclagem de embalagens PET exigem constante coleta e separação das embalagens de acordo com origem, densidades e cores, portanto, os custos elevados tornam esse processo antieconômico (Sharuddin *et al.*, 2016). Porém, aliado à reciclagem, o processo de reutilização ou reaproveitamento de garrafas PET se mostra como uma alternativa promissora e viável, pois novos materiais são produzidos sem ocorrer alterações estruturais, químicas ou físicas nas embalagens e favorece tanto às necessidades de preservação ambiental, quanto apresenta inúmeros benefícios sociais e econômicos. Ações como essas são de extrema importância no embate pela redução do lixo lançado no meio ambiente.

Diante do exposto, este artigo visa identificar experiências que descrevam técnicas ou meios de reaproveitamento de garrafas PET descartadas no Brasil, cuja finalidade seja ampliar seu ciclo de vida útil e/ou promover o reuso permanente dessas embalagens, além de identificar como essas técnicas podem melhorar as condições de vida, em especial, da população necessitada da sociedade brasileira.

MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa trata-se de uma revisão sistemática da literatura, realizada nos meses de junho e julho de 2021. Para sua concretização, foram realizadas buscas de experiências nas seguintes bases de dados: *Scopus*; *Web of Science*; *Scielo*; e *Google Scholar*. Nessas bases, as pesquisas foram efetuadas a partir da combinação dos seguintes termos indexadores: “garrafa PET”; reaproveitamento; reutilização. Tais termos foram interligados pelo conectivo *AND*. A partir daí foram resgatados artigos publicados entre os anos 1993 e 2021, uma vez que, segundo Almeida *et al.* (2013), a introdução das garrafas PET no mercado brasileiro aconteceu somente em 1993.

Os critérios de inclusão foram: artigos de conhecimentos teórico-empírico, estudos nacionais e estudos que atendam o escopo da pesquisa. Já os critérios de exclusão foram: estudos de revisão, não inéditos, artigos repetidos, experiências internacionais e estudos que não atendam o objetivo da pesquisa. Tais critérios objetivaram responder a seguinte pergunta norteadora: Quais contribuições que as principais técnicas de reaproveitamento de garrafas PET vêm trazendo para a sociedade brasileira?

Após as buscas foram encontrados 105 artigos, sendo identificados 35 trabalhos repetidos, portanto, restaram-se 70 trabalhos. Após a leitura dos títulos e resumos dos trabalhos foram identificados 51 estudos que não traziam técnicas práticas de reaproveitamento de garrafas PET, restando, então, 21

artigos que foram lidos na íntegra, para verificar se estariam alinhados com o objetivo deste estudo e foram descartados mais 2 trabalhos por não apresentarem estudos relevantes. Com isso, conforme mostra a figura 1, 19 artigos foram selecionados para serem analisados e compor a revisão deste estudo.

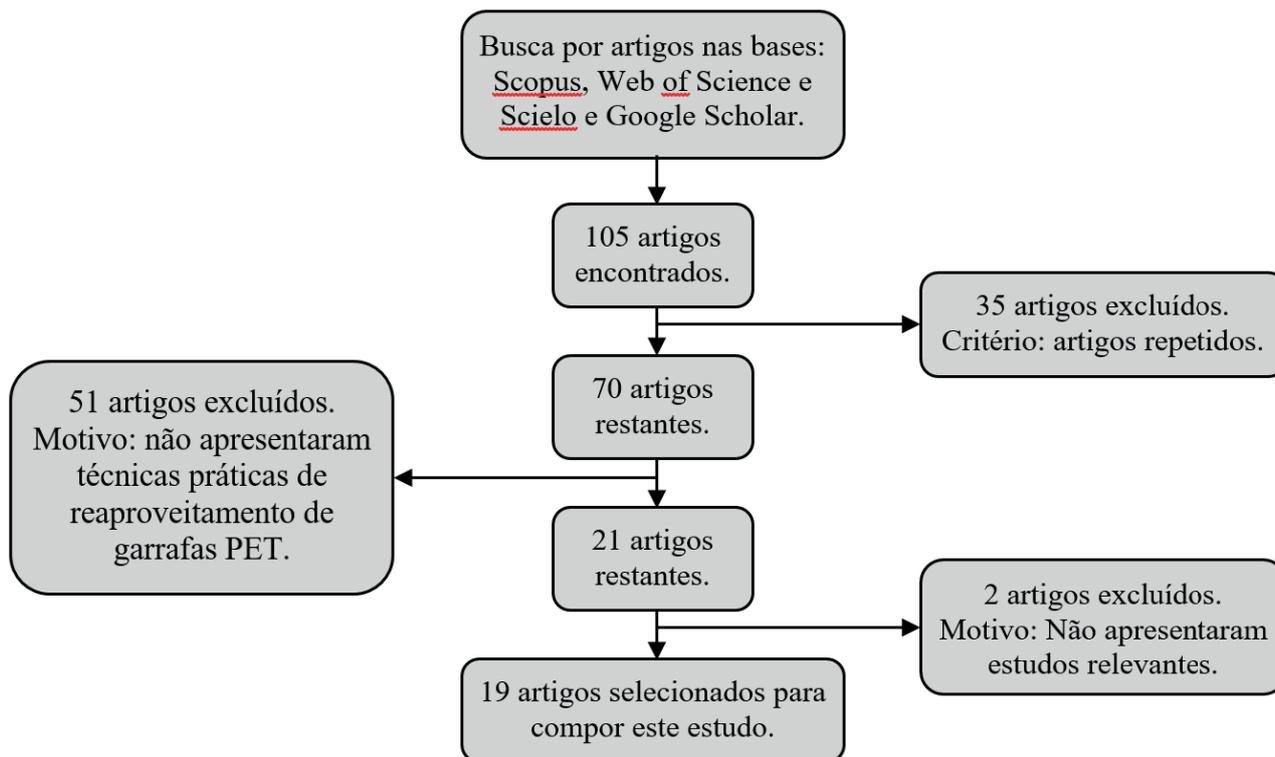


Figura 1. Procedimentos metodológicos de busca por artigos.

RESULTADOS

A maioria dos trabalhos utilizados nesta revisão (Tabela 1) foi desenvolvida no estado de São Paulo, voltados, principalmente, para o setor de construção civil, com a utilização das garrafas como insumos para concretagem ou para a substituição dos tijolos nas obras. Dessa forma, observou-se que poucos desses estudos estão ligados diretamente com a participação e inclusão social, como a produção de móveis e a construção de hortas verticais. Assim, dentre as técnicas apresentadas, uma grande parte consiste na preparação e trituração das garrafas, inviabilizando, de certa forma, sua reprodução para uma parcela considerável da população brasileira, porém algumas delas são de fácil aplicabilidade, já que utilizam as embalagens com poucas ou nenhuma alteração, como a realização de alguns cortes ou com a utilização integral das mesmas.

Tabela 1. Perfil dos estudos utilizados.

Autor(es)/Ano	Título	Periódico	Principais resultados
Bigotto <i>et al.</i> (2019)	Produção de Argamassas com Substituição Parcial de Areia Natural por Resíduo de PET	Revista Científica Anap Brasil	<ul style="list-style-type: none"> - Substituição de parte da areia natural por areia de PET para produção de argamassa; - Aplicação da ideia de sustentabilidade; - Economia e valorização de materiais reciclados.
Chidepatil <i>et al.</i> (2020)	From trash to cash: how blockchain and multi-sensor-driven artificial intelligence can transform circular economy of plastic waste?	Administrative Sciences	<ul style="list-style-type: none"> - O preço, qualidade e quantidade são fatores para o uso de plástico reciclado; - O mercado de reciclados depende da demanda por matéria-prima.
Corrêa (2011)	Reutilização de garrafas pet para produção de móveis e desenvolvimento socioambiental	Interciência e Sociedade	<ul style="list-style-type: none"> - Produção de móveis com garrafas PET; - Geração de emprego, renda e autoestima para os catadores.
Fernandes <i>et al.</i> (2020)	Avaliação de ações de práticas de sustentabilidade em escola municipal de ensino infantil na zona sul da cidade de São Paulo/SP	Interfaces Científicas – Educação	<ul style="list-style-type: none"> - Ampliação de projetos de sustentabilidade nas escolas; - Incentivo à produção orgânica de alimentos.
Galli <i>et al.</i> (2012)	Uso de garrafas de poli-tereftalato de etileno – PET como insumo alternativo na construção de edificações residenciais	Revista de Arquitetura da IMED	<ul style="list-style-type: none"> - Construção de casa simples com PET, retirando mais de 14 mil garrafas do ambiente; - Redução dos impactos ambientais e do custo de construções; - Oportunidades de renda para os catadores.
Kuchta <i>et al.</i> (2020)	Propriedades Físico-Mecânicas de Blocos de Concreto para Pavimentação e com Incorporação de Resíduo PET Oil	Revista Eletrônica de Materiais e Processos	<ul style="list-style-type: none"> - Substituição parcial de areia por flocos de embalagens PET de garrafas de óleo de cozinha para produção de blocos de concreto para pavimentação de calçadas.
Miguel e da Cruz (2020)	Educação ambiental aplicada na reutilização de garrafas PET	Sítio Novo	<ul style="list-style-type: none"> - Construção de pranchas de surf com garrafas PET para jovens carentes; - Incentivo a preservação do meio ambiente e prática esportiva.
Modro <i>et al.</i> (2009)	Avaliação de concreto de cimento portland contendo resíduos de PET	Revista Matéria	<ul style="list-style-type: none"> - Substituição parcial de areias naturais por areia de PET para produção de concreto; - Redução dos custos nas obras.

Müller e Brito (2013)	Aquecedor solar produzido com resíduos sólidos recicláveis	Revista Conhecimento Online	<ul style="list-style-type: none"> - Construção de aquecedor solar para água, utilizando garrafas PET; - Economia de eletricidade e redução do volume dos lixões e aterros sanitários. - Construção de moradias, substituindo tijolos por garrafas PET;
Murta <i>et al.</i> (2017)	Sustentabilidade na construção civil: casa com parede de garrafa PET	Sustainable Business International Journal	<ul style="list-style-type: none"> - Redução dos custos, tempo de construção e o volume de lixo; - Geração de renda e incentivo a coleta seletiva. - Construção de hortas orgânicas delimitadas com garrafas PET;
Oliveira <i>et al.</i> (2018)	Horta escolar, Educação Ambiental e a interdisciplinaridade	Revista Brasileira de Educação Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - Incentivo ao consumo de alimentos mais saudáveis; - Apoio a educação ambiental e promoção da cidadania. - Montagem de aquecedores solares de água com embalagens PET;
Petry <i>et al.</i> (2012)	Responsabilidade ambiental: reciclagem e reutilização de garrafas PET	Revista Interdisciplinar Científica Aplicada	<ul style="list-style-type: none"> - Redução do consumo de energia elétrica e do volume de lixo; - Benefícios para a sociedade e para o ambiente. - Prejuízo da reciclagem de garrafas PET no Brasil devido aos altos impostos para produtos industrializados com plástico reciclado.
Romão <i>et al.</i> (2009)	Poli(tereftalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem	Polímeros: Ciência e Tecnologia	<ul style="list-style-type: none"> - Construção de hortas verticais orgânicas com garrafas PET;
Santos <i>et al.</i> (2021)	Horta vertical com garrafas PET para a construção de consciência ambiental de estudantes	Research, Society And Development	<ul style="list-style-type: none"> - Estímulo para um consumo mais saudável e sustentável. - Crescimento da preferência dos consumidores por embalagens ecologicamente corretas;
Santos <i>et al.</i> (2015)	Matéria-prima gerada da reciclagem de garrafas PET e seus produtos derivados	Revista Metropolitana de Sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Incentivo da reciclagem pelos governos e empresas no uso de matéria prima gerada a partir da garrafa PET; - Geração de emprego, renda e benefícios ambientais.
Santos Júnior <i>et al.</i> (2012)	Utilização de garrafas PET na confecção de tijolos	Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas	<ul style="list-style-type: none"> - Substituição do tijolo convencional por tijolos produzidos com PET.

Silva <i>et al.</i> (2010)	Ecodesign e consumo: pesquisa sobre o mercado para mobiliários em garrafas PET recolhidas	INGEPRO – Inovação, Gestão e Produção	- Incentivo a melhoria da qualidade dos móveis de PET; - Geração de emprego, renda e autoestima para os catadores.
Teske <i>et al.</i> (2015)	Desenvolvimento de modelo conceitual de telha ecológica a partir de resíduos de PET e gesso da construção	Cerâmica	- Substituição de telhas convencionais por telhas em gesso e PET reaproveitados; - Estímulo ao reaproveitamento de embalagens descartadas.
Viais Neto <i>et al.</i> (2013)	Análise do processo de construção de um ambiente constituído por garrafas PET	Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista	- Substituição de tijolos por garrafas PET em construções de casas com custos menores e apoio a catadores.

Nas sociedades consumistas, o desenvolvimento socioeconômico tem provocado significativo aumento no uso de descartáveis e, conseqüentemente, no volume de resíduos poliméricos despejados no meio ambiente. Nesse sentido, para Santos *et al.* (2015), foi justamente o crescimento da renda o responsável pela elevação no uso de produtos com embalagens descartáveis, devido a sua facilidade e praticidade para o preparo e/ou consumo. Contudo, alguns estudos aqui descritos, mostram um gradativo aumento, na preferência dos consumidores, por embalagens ecologicamente corretas, visto que nessas mesmas sociedades, ocorreu um significativo acréscimo da escolaridade média e, com isso, do conhecimento e da consciência acerca das questões ambientais. Pensando assim, a análise dos artigos aqui listados evidenciam a viabilidade e as vantagens que os processos de reaproveitamento têm em relação às técnicas de reciclagem das embalagens PET.

Assim, em relação aos processos de reciclagem, o Brasil é um dos líderes mundiais em reciclagem mecânica de polímeros, a qual utiliza o plástico utilizado e descartado para produção de um novo produto. No país, segundo a ABIPLAST (Associação Brasileira da Indústria do Plástico), em 2020 essa forma de reciclagem ocorre em torno de 23,1% da massa dos polímeros produzidos, inferior apenas em países europeus, com massa de reciclagem média de 42% (Chidepatil *et al.*, 2020). Porém, o principal fator impeditivo para o crescimento da reciclagem de plástico no Brasil são os impostos sobre os produtos produzidos com matéria-prima reciclada, 2% mais elevado do que os mesmos impostos cobrados sobre os bens que utiliza polímeros virgens (Romão *et al.*, 2009). No entanto, o Projeto de Lei nº 6545, de 2019 traz, em caso de aprovado e sancionado, diversos benefícios às pessoas ou empresas envolvidas com projetos de reciclagem e reutilização de resíduos sólidos, como dedução de impostos e criação de fundos de investimento para projetos de reciclagem e, com isso, poderá incentivar e estimular essas ações, bem como a criação de novos projetos que beneficiem o meio ambiente em relação aos resíduos plásticos descartados (Brasil, 2019).

Além disso, Chidepatil *et al.* (2020) apontam as dificuldades que as empresas recicladoras enfrentam ao lidarem com custos, pois para reciclar é necessário separar cor, composição química e origem dos materiais. Esses custos podem não ser atraentes quando não há demanda por matéria-prima de plástico reciclado e, já que esse material não apresenta a mesma qualidade que o plástico virgem, é necessário a obtenção de melhores preços e maior quantidade no mercado.

Para tentar contornar essa situação, muitos esforços foram realizados desde o surgimento e utilização

em massa das embalagens PET, com o intuito de desenvolver métodos para o seu reaproveitamento, visando minimizar os impactos causados por esse polímero ao meio ambiente e proporcionar uma significativa melhora na vida das pessoas mais necessitadas.

Nesse sentido, Galli *et al.* (2012) desenvolveram uma técnica para reaproveitar as garrafas PET descartadas e também os resíduos da construção civil (metralha), os quais normalmente têm como destino os lixões ou aterros sanitários. Para isso, as garrafas são preenchidas com os resíduos sendo organizadas umas sobre as outras com a utilização de arame para fazer as amarras antes de serem fixas com a argamassa (composto de cimento e areia nas devidas proporções) para construir as paredes da casa. Segundo os autores, a construção de uma casa simples, com dois cômodos pode retirar do meio ambiente mais de 14 mil garrafas PET.

Da mesma forma, com o intuito de substituir os tijolos convencionais em construções por PET, Santos Júnior *et al.* (2012) desenvolveu um método para moldar tijolos com garrafas PET derretidas. Nesse processo, a matéria-prima é fundida em fornos improvisados e o material resultante é inserido em moldes de madeira preenchidos com palhas de coco, com a finalidade de aumentar a resistência dos tijolos e economizar o material polimérico. Esses moldes são configurados para resultar em tijolos retangulares com furos e saliências que se encaixam e, com isso, facilitar a construção das paredes.

Similarmente, Teske *et al.* (2015), com a técnica de fusão térmica, utilizam as embalagens PET para revestir e impermeabilizar telhas feitas com resíduos de gesso em coberturas residenciais. Para isso, são coletadas sobras de aplicação de gesso, triturado e moldado no formato da telha, em seguida é aplicado uma camada de PET fundido em seu entorno, tratada com material contra os raios UV (ultravioleta), garantindo resistência e impermeabilidade. Dessa forma, as telhas manufaturadas com esse processo, substituem as telhas convencionais, produzidas com argila, com vantagens, pois têm maior durabilidade e colabora com a economia de recursos naturais e, em simultâneo, gera empregos e favorece a indústria, de maneira a fazer as embalagens PET retornarem a linha produtiva em um novo formato e estrutura.

Ainda voltado para a construção residencial, no Brasil há alguns projetos de reaproveitamento de garrafas PET para esse fim. Um deles é o Projeto Casa PET, desenvolvido pela Fatec de Presidente Prudente/SP, que objetiva oferecer um meio mais barato de construção de casas populares, com a utilização de garrafas preenchidas com areia comum em substituição aos tijolos, sem afetar o meio ambiente e reduzir o volume dos lixões e aterros sanitários, principalmente a proporção de polímeros, pois reaproveita milhares de garrafas que, devido ao seu reduzido ciclo de vida útil, são rapidamente descartadas. Esse método oferece uma alternativa viável e econômica para ampliar a construção de casas populares para, assim, ajudar famílias carentes em projetos habitacionais (Viais Neto *et al.*, 2013).

Com a mesma finalidade, outro projeto foi desenvolvido em Espírito Santo/RN, denominado de “Casa Ecológica” pelo seu inventor, o senhor Antônio Duarte, que utiliza garrafas PET descartadas no lugar de tijolos, empregados na alvenaria tradicional e, com isso, oferece benefícios ambientais e sociais ao realocar um passivo muito prejudicial à saúde do planeta, pois possui uma resistência muito elevada a degradação natural, e por oferecer uma forma bem menos onerosa para a construção de casas, enquanto contribui para a geração e o aumento de renda para os catadores, e pode ser ampliado para outros municípios e estados do Brasil (Coelho *et al.*, 2017).

Além do uso integral das embalagens PET descartadas, os resíduos originados de sua reciclagem também podem ser reaproveitados, já que nem todos os materiais recolhidos podem ser utilizados para a produção dos grânulos poliméricos. Dessa forma, o material residual que não pode ser reciclado é normalmente jogado nos lixões ou incinerado, voltando a poluir o meio ambiente. Esses resíduos são constituídos basicamente por refugos de plásticos inadequados para reciclagem, detritos impregnados de areia, fragmentos de papel e restos de alimentos ressecados e, por ter o aspecto de areia, é denominado “areia de PET” e possui uma granulação bem próxima a dos agregados minerais (Modro *et al.*, 2009). Com isso, é possível utilizar os resíduos de reciclagem de PET em substituição de parte da areia natural na produção da argamassa usada para fixação dos tijolos nas construções prediais, pois as partes não estruturais das obras de construção civil podem ser leves e flexíveis e não precisam apresentar grande resistência, pois essas características já são garantidas pelas armações de concreto (Bigotto *et al.*, 2019).

A areia de PET se apresenta como um material muito versátil em substituição às areias naturais, principalmente como insumos em diversos setores da construção civil, e pode também ser utilizada como aditivo para fabricação de tijolos ou blocos de concreto. Nesse sentido, Modro *et al.* (2009) ressaltam a escassez dos agregados naturais (areias e cascalhos já encontrados na granulação adequada) nas regiões das grandes cidades e sua substituição por agregados artificiais (obtidos pelo processo de quebra da rocha, para reduzir os grânulos) e avaliam a utilização da areia de PET como positiva em setores não estruturais, pois o material concretado produzido com os agregados de PET apresentam porosidade e não oferecem a mesma resistência que os agregados naturais, mais compactos e resistentes, apesar disso, podem ser utilizados na produção de tijolos ou blocos para a construção de paredes, lajes ou pisos. Nessa abordagem, os autores direcionam a aplicabilidade dos resíduos da reciclagem de PET para as grandes cidades, principalmente por não contarem com jazidas minerais disponíveis, tendo que trazer os agregados artificiais que necessitam, como pedrisco e britas de diferentes granulações, de outras cidades e, às vezes, de outros estados, e também por considerar que todas ou a maioria das grandes cidades brasileiras possuam usinas de reciclagem que possam fornecer os resíduos de PET sem ou com baixo custo de aquisição.

Do mesmo modo, Kuchta *et al.* (2020) alertam para a necessidade de uma destinação adequada para as embalagens plásticas, dado o seu amplo uso e descarte. Pensando nisso, realizaram testes de resistência em blocos de concreto para pavimentação de calçadas feitos com a adição de flocos de garrafas PET de óleo de cozinha em substituição parcial aos agregados naturais e perceberam que, apesar de perder parte da resistência mecânica, a substituição da areia pelos flocos é uma alternativa viável em proporções de no máximo 25%, pois, nessas condições, as perdas foram apontadas como imperceptíveis e perfeitamente praticáveis, principalmente para tráfego leve, como o de pedestres.

Além de servirem como insumos para a construção civil, as garrafas PET podem ser utilizadas na montagem de aquecedores solares para água, o suficiente para o consumo de quatro moradores, dependendo de suas dimensões e do volume do reservatório de água. Esse sistema consiste no isolamento térmico de colunas feitas com tubos de PVC (policloreto de vinila) inseridas em pilhas de garrafas alinhadas ao longo dessas colunas. Assim, as garrafas são preenchidas com material cartonado e pintado com tinta preta fosca, de modo que funcionem como captadores de calor. Além disso, o sistema precisa de um reservatório para a água, que deve ficar ao nível acima dos captadores para que a água se desloque por gravidade e circule livremente pelo aquecedor. Por fim, ao receber o calor solar, a água retorna ao reservatório devido

à diferença de densidade entre a água fria e a aquecida (Petry *et al.*, 2012). Esse sistema é apontado por Müller e Brito (2013) como “uma solução alternativa e de baixo custo aliada à sustentabilidade, que visa melhorar a qualidade de vida de comunidades carentes, bem como reduzir o consumo de energia”.

Devido a suas características de impermeabilidade e resistência, o PET se destaca como material muito utilizado como recipiente ou embalagem para os mais diversos produtos e, pelo mesmo motivo, as garrafas produzidas com esse material podem ser reaproveitadas de diversas formas. De acordo com Corrêa (2011), é possível produzir móveis com esse material, através da constituição de células de resistência feitas com o corte e encaixe das garrafas para formar colunas dispostas de modo que possibilite a montagem de diversos tipos de móveis. Esse sistema é utilizado principalmente por cooperativas de catadores e artesãos, além de diversos projetos nessa área, com a fabricação de móveis de PET gerando emprego, renda e autoestima para os catadores.

A princípio, os móveis produzidos com garrafas PET são tão resistentes quanto os móveis tradicionais, confeccionados com madeira, podendo substituí-los com eficiência e durabilidade (Corrêa, 2011). Contudo, há certos problemas em sua aceitação devido à falta de controle de qualidade e no acabamento dos móveis, pois, em geral, os catadores e artesãos que produzem os móveis não possuem qualificação e técnicas adequadas, provocando baixa valorização e vendas insuficientes dos produtos, principalmente, pela pouca demanda de consumidores ligados às questões ambientais (Silva *et al.*, 2010). No entanto, em regiões turísticas, devido ao seu aspecto artesanal, os móveis produzidos com o reaproveitamento de garrafas PET agregam um certo valor, mas para tentar competir com os móveis tradicionais, os fabricantes devem melhorar a qualidade e, principalmente, seu acabamento, oferecendo aparência mais moderna e despojada, sem a necessidade de evidenciar serem produzidos a partir de material reutilizado (Silva *et al.*, 2010).

Com o mesmo objetivo de reaproveitar as garrafas PET para uma aplicação artesanal, a construção de hortas verticais com esse material representa uma excelente alternativa para o plantio em lugares com pouco espaço disponível, como apartamentos e casas pequenas. Para essa aplicação, as garrafas devem ser cortadas e organizadas como vasos, são posteriormente amarradas umas às outras e suspensas por um barbante resistente, fixadas em paredes, ou armações de madeiras igualmente reaproveitadas (Santos *et al.*, 2021). Essa técnica promove a compreensão do consumo mais saudável e sustentável, visto que evita o descarte das embalagens nos lixões e aterros e/ou em rios, colaborando ainda com a produção de alimentos orgânicos, os quais não utilizam insumos químicos, possui baixo custo de produção e pode ser aplicada no cultivo de legumes, verduras e até de frutas, em escolas públicas ou privadas, em casas, apartamentos ou em comunidades (Fernandes *et al.*, 2020).

Com objetivos semelhantes, mas com outros métodos, Oliveira *et al.* (2018) incentivam a produção de hortaliças nas escolas de São Paulo, com a construção de canteiros em seus espaços ociosos. Para isso, os autores contam com o envolvimento tanto dos professores quanto dos estudantes das escolas, principais atores no processo, cabendo-lhes o papel de coletar garrafas PET descartadas nas proximidades da escola, para com elas fazerem a delimitação dos canteiros, limpar o terreno, fazer o plantio e cuidar da horta e, com isso, contribuir para a formação da cidadania dos educandos, com maior consciência social, ecológica e ambiental.

Ainda no segmento de produção artesanal e visando incentivar a prática esportiva e promover a

ocupação de jovens carentes de Garopaba/SC, retirando-os e protegendo-os dos perigos que as ruas oferecem, o Projeto Prancha Ecológica desenvolve pranchas de surfe feitas com garrafas PET reaproveitadas e oferece aulas do esporte gratuitamente para esses jovens. Esse projeto incentiva a coleta dos recipientes nas casas e nas ruas da cidade e, assim, vários benefícios são proporcionados à comunidade, como a redução do volume do lixo acumulado nos aterros, reduzindo os impactos ambientais, e o incentivo ao envolvimento dos jovens e da população em geral no processo de conscientização e preservação ambiental (Miguel e Da Cruz, 2020).

DISCUSSÃO

A cobrança de impostos na produção de produtos reciclados viabiliza os processos de reaproveitamento de polímeros no Brasil, pois não há cobrança de impostos para essa prática e possibilita a retirada de elevada massa de polímeros da natureza, principalmente de garrafas PET.

Dessa forma, entre as técnicas voltadas para a construção civil, as de maior impacto são as que promovem construção de casas populares, pois possibilita uma significativa redução nos impactos ambientais e nos custos das obras, já que dispensa a compra e utilização de tijolo, além de oferecer ou ampliar as oportunidades de renda para os catadores.

Já as técnicas que utilizam a fusão térmica das garrafas, exigem consumo de uma fonte energética, porém, esses processos apresentam algumas vantagens significativas, pois não necessita de areia e possibilita o reaproveitamento de maiores quantidades de garrafas para a produção de tijolos. No entanto, para o revestimento ou construção de telhas, o material obtido necessita de tratamentos contra a irradiação solar para garantir sua durabilidade. Dessa forma, pensando apenas nos custos financeiros, a produção de telhas PET não apresenta viabilidade, contudo, no sentido ambiental e social, se mostra bastante útil e eficaz, já que as embalagens PET estão entre os polímeros mais descartados e representam o segundo material reciclável mais rentável, depois do alumínio.

As técnicas de aproveitamento da areia de PET descritas, apesar de se apresentarem como viáveis e representarem um importante insumo para substituição de areias naturais, não garantem sua aplicabilidade na maioria das cidades brasileira, pois devido aos custos com transporte, só teria viabilidade em lugares que contem com usinas de reciclagem de polímeros, que podem fornecer o material residual da reciclagem sem custos adicionais. No entanto, as garrafas PET podem ser trituradas de modo a produzir areia de PET e utilizá-la em substituição parcial para as areias naturais. Dessa forma, esse sistema poderia ser utilizado em qualquer cidade brasileira para reaproveitar as embalagens descartadas, direcionando-as para uma aplicação prática e, simultaneamente, reduzir gastos com a construção ou revitalização de calçadas. Se observa, então, que a maioria das embalagens PET podem ser reaproveitadas para ajudar a sociedade e incentivar o desenvolvimento sustentável, dando às empresas de construção que assim atuam, certas vantagens competitivas.

O aquecedor PET pode substituir aquecedores elétricos, economizar eletricidade e promover o reaproveitamento de embalagens plásticas descartadas no meio ambiente, enquanto oferece uma forma barata de aquecimento de água para famílias com menor poder financeiro.

Apesar dos problemas de aceitação, os móveis de PET têm um forte apelo ambiental e social, pois

mesmo sem o acabamento ideal, que encareceria o produto, são disponibilizados móveis de baixo custo para famílias de baixa renda, que não possuem condições de comprarem mobiliários tradicionais, mais sofisticados, além de gerar emprego e renda para catadores e artesãos, que podem vender seus produtos pessoalmente, como ambulantes, de porta em porta, ou em lojas de produtos artesanais.

A utilização das garrafas PET para construção de hortas são de grande importância ambiental e social, pois promove a educação ambiental e fomenta a prática efetiva da cidadania, além de oferecer uma forma de obtenção de alimentos orgânicos e, portanto, mais saudáveis. Assim, a população dispõe de uma alternativa produtiva, pela qual se obtêm produtos que possam ser utilizados na merenda escolar e, assim, economizar verbas, ou que possam ser comercializados em feiras livres e, com isso, melhorar a renda de famílias carentes, que não dispõem de terras para plantar, e produzir alimentos para sua subsistência e insumos econômicos para seu sustento.

O Projeto Prancha Ecológica é de grande apelo ambiental e, principalmente, social, pois além de incentivar a prática esportiva dos jovens, promove o afastamento da ociosidade e de sua entrada no mundo da criminalidade, enquanto ensina a prática efetiva da cidadania e do cuidado com o meio ambiente.

CONCLUSÕES

No Brasil, as técnicas voltadas para o reaproveitamento de garrafas PET, sem a necessidade de processos complexos de reciclagens, são bem variadas e podem ser aplicadas por diversas áreas da economia e da sociedade. Nota-se, ainda, que a utilização desse material na construção civil se destaca por sua maior diversidade e complexidade, por exigir maiores cuidados, como a trituração das garrafas e sua mistura em proporções ideais, com a areia destinada à produção da argamassa para unir os tijolos ou realizar a concretagem na obra.

Assim, observou-se que a sociedade brasileira está em processo de evolução em relação às questões ambientais e que há uma forte preocupação sobre destino dos materiais recicláveis, sobretudo, dos polímeros. Diversas ideias e projetos estão sendo desenvolvidos para o reaproveitamento de garrafas PET descartadas e, se aplicados com intensidade e apoio privado e/ou governamental, podem promover uma grande melhoria na qualidade de vida dos brasileiros, enquanto proporciona uma redução significativa no volume do lixo que compõe os aterros sanitários e lixões das cidades e, com isso, garante que essas garrafas não aumentem a poluição dos rios e mares e, conseqüentemente, os impactos ambientais.

No entanto, mesmo com uma grande parte das embalagens PET descartadas sendo coletadas e destinadas aos processos de reciclagem no Brasil, o volume desse polímero que não é recolhido impacta consideravelmente o meio ambiente, tendo em vista a abundância de embalagens consumidas e descartadas. Percebe-se, assim, que a reciclagem não reaproveita a totalidade do plástico que entra nas usinas e, com isso, o excesso de resíduos poliméricos que não possuem qualidade para fabricação de novos produtos são descartadas. Portanto, não se pode garantir que o mesmo volume de PET coletado será reutilizado na manufatura de novos produtos para o consumo.

Por fim, a falta de incentivos governamentais no Brasil, seja por isenções tributárias para usinas recicladoras, de modo a reduzir os preços dos produtos de consumo fabricados a partir de materiais

reciclados, seja com ações mais efetivas em relação à coleta seletiva, dificultam o melhor aproveitamento das garrafas PET quando passam pelo seu ciclo de vida útil. Contudo, algumas leis estão sendo formuladas para contornar essa situação, promovendo melhor o incentivo aos recicladores. Então, somente com ações complementares à reciclagem é que se pode garantir a retirada desse material do meio ambiente com os percentuais desejáveis, ou pelo menos, promover sua remoção com maior efetividade, permitindo, assim, maior sustentabilidade e preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

- ABIPLAST, Associação Brasileira da Indústria do Plástico. 2021. Perfil 2020: indústria brasileira de transformação de material plástico. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2021/08/Perfil2020_abiplast.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2022.
- ALMEIDA, I. S. et al. 2013. Reciclagem de garrafas PET para fabricação de telhas. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT – SERGIPE**, 1(3):83-90.
- ASDOLLAH-TABAR, M.; HEIDARI-RARANI, M.; ALIHA, M. R. M. 2021. The effect of recycled PET bottles on the fracture toughness of polymer concrete. **Composites Communications** 25:100684.
- AWAJA, F.; PAVEL, D. 2005. Recycling of PET. **European Polymer Journal**, 41(7):1453-1477.
- BRASIL, 2019. Projeto de Lei PL 6545/2019. Estabelece incentivos à indústria da reciclagem, cria o Fundo de Apoio para Ações Voltadas à Reciclagem (Favorecycle) e Fundos de Investimentos para Projetos de Reciclagem (ProRecycle). Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/140281>>. Acesso em: 24 nov. 2022.
- BIGOTTO, S. A. M. et al. 2019. Produção de argamassas com substituição parcial de areia natural por resíduo de PET. **Revista Científica Anap**, 12(25):28-41.
- CHIDEPATIL, A. et al. 2020. From trash to cash: how blockchain and multi-sensor-driven artificial intelligence can transform circular economy of plastic waste? **Administrative Sciences**, 10(2):10-23.
- COELHO, A. P. C. et al. 2017. Logística reversa de garrafas pet para construção de casas populares. **Sustainable Business International Journal**, 68:1-23.
- CORRÊA, R. F. M. 2011. Reutilização de garrafas pet para produção de móveis e desenvolvimento socioambiental. **Interciência e Sociedade**, 1(1):129-135.
- FERNANDES, R. O. et al. 2020. Avaliação de ações de práticas de sustentabilidade em escola municipal de ensino infantil na zona sul da cidade de São Paulo/SP. **Interfaces Científicas – Educação**, 8(3):393-407.
- GALLI, B. et al. 2012. Uso de garrafas de poli-tereftalato de etileno – PET como insumo alternativo na construção de edificações residenciais. **Revista de Arquitetura da IMED**, 1(2):174-181.
- KUCHTA W. C. S.; MAZER W.; DOMINGOS M. D. I. 2020. Propriedades físico-mecânicas de blocos de concreto para pavimentação e com incorporação de resíduo PET Oil. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, 15(2):88-95.
- MATOS, M. C. C.; PEREIRA, P. S. C.; SANTOS, S. F. 2020. Um olhar tecnológico sobre PET, sua reciclagem e o processo *bottle-to-bottle*. **Brazilian Journal of Development**, 6(6):41669–41688.
- MIGUEL, V.; DA CRUZ, J. A. 2020. Educação ambiental aplicada na reutilização de garrafas PET. **Sítio Novo**, 4(3):265-273.
- MODRO, .N. L. R. et al. 2009. Avaliação de concreto de cimento portland contendo resíduos de PET. **Revista Matéria**, 14(1):725-736.
- MÜLLER, R. L.; BRITO, A. M. A. 2013. Aquecedor solar produzido com resíduos sólidos recicláveis. **Revista**

Conhecimento Online, 2:1-16.

OLIVEIRA, F. R.; PEREIRA, E. R.; PEREIRA JUNIOR, A. 2018. Horta escolar, Educação Ambiental e a interdisciplinaridade. **Revista Brasileira de Educação Ambiental, 13(2):10-31.**

PACHECO, J. A. L. et al. 2021. Termo-oxidação acelerada em garrafas pet descartadas no meio ambiente. **Brazilian Journal of Development, 7(2):18957-18972.**

PETRY, J.; PFITSCHER, E. D.; Da ROSA, F. S. 2012. Responsabilidade ambiental: reciclagem e reutilização de garrafas PET. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, 6(3):72-86**

ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. 2009. Poli(tereftalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. **Polímeros: Ciência e Tecnologia, 19(2):121-132.**

SANTOS, et al. 2015. Matéria-prima gerada da reciclagem de garrafas PET e seus produtos derivados. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade, 5(2):4-13.**

_____. 2018. Processo de reciclagem química de PET em meio alcalino: efeito da concentração do íon hidróxido, da cor do PET e do tempo de reação. **Revista Matéria, 23(4):0566.**

_____. 2021. Horta vertical com garrafas PET para a construção de consciência ambiental de estudantes. **Research, Society and Development, 10(1):1-8.**

SANTOS JUNIOR, et al. 2012. Utilização de garrafas PET na confecção de tijolos. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT – SERGIPE, 1(1):59-66.**

SHARUDDIN, et al. 2016. A review on pyrolysis of plastic wastes. **Energy Conversion And Management, 115:308-326.**

SILVA, C. O.; SANTOS, G. M.; SILVA, L. N. 2013. A degradação ambiental causada pelo descarte inadequado das embalagens plásticas: estudo de caso. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, 13(13):2683-2689.**

SILVA, et al. 2010. Ecodesign e consumo: pesquisa sobre o mercado para mobiliários em garrafas PET recolhidas. **Ingepro: Inovação, Gestão e Produção, 2(4):12-19.**

SUL, J. A.; COSTA, M. F. 2014. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. **Environmental Pollution, 185:352-364.**

TESKE, S.; GONÇALVES, P. F. A.; NAGALLI, A. 2015. Desenvolvimento de modelo conceitual de telha ecológica a partir de resíduos de PET e gesso da construção. **Cerâmica, 61(358):190-198.**

VIAIS NETO, D. S.; GABRIEL, C. P. C.; GABRIEL FILHO, L. R. A. 2013. Análise do processo de construção de um ambiente constituído por garrafas PET. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, 9(1):50-59.**

WRIGHT, S. L.; THOMPSON, R. C.; GALLOWAY, T. S. 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. **Environmental Pollution, 178:483-492.**