

REDUÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR PARA O INTERIOR DO VEÍCULO

HEAT TRANSFER REDUCTION TO THE VEHICLE INTERIOR

REDUCCIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR PARA EL INTERIOR DEL VEHÍCULO

Crislaine Viana¹
Debora Dias²
Marcos Baroncini Proença³

Resumo

O conforto térmico no interior do veículo é a razão da indispensabilidade do sistema de ar-condicionado em um país tropical como o Brasil. Porém, o uso do ar-condicionado aumenta em média 10% o consumo de combustível. Para minimizar este problema foi realizado um estudo, para utilizar o PET reciclado como revestimento térmico no interior do veículo, visando melhorar o conforto térmico e diminuir o consumo de combustível. Para a definição do material, realizaram-se testes utilizando recipientes com as mesmas dimensões, material e condições de temperatura. O PET picotado teve um valor muito próximo ao EPS; ambos tiveram um ótimo resultado em relação à condução térmica. Pensando em logística reversa, optou-se por seguir com o PET para o desenvolvimento de um revestimento interno para o veículo; desenvolveu-se junto ao fornecedor um feltro de PET picotado que, testado nas mesmas condições anteriores, teve um resultado superior ao dos materiais iniciais. A próxima etapa da pesquisa será a sua implantação no veículo, em cujo teto será aplicado o feltro de PET, para comprovar a sua eficiência, verificar uma possível alternativa de utilização para o PET e redução do impacto ambiental causado por ele.

Palavras-chave: condução térmica; logística reversa; inovação.

Abstract

The thermal comfort inside the vehicle is the reason for the indispensability of the air conditioning system in a tropical country such as Brazil. However, the use of air conditioning increases fuel consumption by an average of 10%. To minimize this problem, a study was carried out to use recycled PET as a thermal coating inside the vehicle, aiming to improve thermal comfort and reduce fuel consumption. To define the material, tests were carried out using containers with the same dimensions, material, and temperature conditions. The perforated PET had a value very close to the EPS; both had an excellent result in relation to thermal conduction. Thinking about reverse logistics, it was decided to continue with PET for the development of an internal coating for the vehicle; a perforated PET felt was developed with the supplier, which, tested under the same conditions as before, had a better result than the initial materials. The next stage of the research will be its implantation in the vehicle, on whose roof the PET felt will be applied, to prove its efficiency, verify a possible alternative use for PET and reduce the environmental impact caused by it.

Keywords: thermal conduction; reverse logistics; innovation.

Resumen

El confort térmico en el interior del vehículo es la razón de la indispensabilidad del sistema de aire acondicionado en un país tropical como Brasil. Sin embargo, el uso del aire acondicionado aumenta en media 10% el consumo de combustible. Para minimizar ese problema, se realizó un estudio para utilizar el PET reciclado como revestimiento térmico en el interior del vehículo, tratando de mejorar el confort térmico y disminuir el consumo de combustible. Para la selección del material, se realizaron pruebas utilizando recipientes con las mismas dimensiones, material y condiciones de temperatura. El PET picado obtuvo un valor muy cercano al EPS; ambos produjeron un resultado óptimo en materia de conducción térmica. Pensando en logística reversa, se optó por

¹ E-mail: crislaineviana9@gmail.com.

² E-mail: debora.cristina.uninter@gmail.com.

³ Professor do Centro Universitário Internacional Uninter. E-mail: marcos.p@uninter.com.

seguir con el PET para el desarrollo de un revestimiento interno para el vehículo; se desarrolló, junto al proveedor, un fieltro de PET picado que, probado en las mismas condiciones anteriores, obtuvo un resultado superior al de los materiales iniciales. La siguiente etapa de la investigación será su implantación en el vehículo, en cuyo techo se pondrá el fieltro de PET, para comprobar su eficiencia, verificar una posible alternativa de utilización para el PET y reducción del impacto ambiental causado por él.

Palabras-clave: conducción térmica; logística reversa; innovación.

1 Introdução

O conforto térmico no interior do veículo, tema desse artigo, é a razão da indispensabilidade do sistema de ar-condicionado em um país tropical, como o Brasil. A temperatura nas cidades brasileiras está cada ano mais alta e, levando em consideração os congestionamentos que as grandes metrópoles enfrentam, estar dentro de um carro sem sistema de ar-condicionado pode ser absolutamente desconfortável. Porém, o uso do ar-condicionado aumenta em média 10% o consumo de combustível. Para minimizar este problema apresentaremos a proposta de utilizar como revestimento térmico do veículo o PET reciclado, visando melhorar o conforto térmico no seu interior e diminuir o consumo de combustível devido ao ar-condicionado.

A proposição do PET reciclado é fundamentada no *ESG* (da sigla em inglês - *environmental, social and governance*, e em português - ambiental, social e governança), citado pela primeira vez em um relatório de 2005 “*Who Cares Wins*” (“Ganha quem se importa”) e utilizado normalmente para medir as práticas ambientais, sociais, de governança, e para investimentos com critérios de sustentabilidade.

Pensando em sustentabilidade como uma alternativa de investimento, o objetivo geral deste artigo é oferecer uma solução ecológica, optando pela logística reversa do material PET (Poli tereftalato de etila) reciclado. Como objetivos específicos pretende-se: descrever suas propriedades, realizar testes de condução e desenvolver um material com a matéria-prima para revestimento do interior do veículo.

2 Fundamentação teórica

2.1 Conforto térmico

O conforto térmico é um conceito subjetivo, determinado pelas condições de temperatura e umidade que proporcionam bem-estar aos seres humanos. De forma simplificada, o conforto térmico trata da sensação de calor ou frio que um indivíduo pode sentir, sensação essa que se deve a alguns

fatores do ambiente no qual se encontra, como umidade relativa do ambiente, temperatura e movimento do ar, e temperatura superficial da pessoa.

A nossa temperatura externa é função direta de como perdemos ou ganhamos calor por condução, convecção e radiação, sendo essa troca de calor função de fatores fisiológicos, tais como a saúde da pessoa, a atividade sendo exercida ou até mesmo a idade.

O conceito de conforto térmico aplicado aos carros pode trazer uma série de benefícios, não só ao motorista mas também para todos os indivíduos que os ocupam, tais como a diminuição da exposição excessiva ao calor que pode causar sonolência e elevar a temperatura do corpo; diminuição do *stress*; prevenção de acidentes no trânsito causados por queda de pressão e outras doenças que são intensificadas com o calor; prevenção do efeito fogging (visão embaçada), contribuindo assim para o aumento da segurança para os ocupantes do veículo.

3 Condução térmica

A condução térmica é o processo de transferência de energia térmica através do material, sem que ocorra o transporte da matéria; sendo assim, a energia térmica é transportada através das moléculas, sempre da temperatura mais alta para a mais baixa. A equação para se encontrar o valor da condução se obtém pela lei de Fourier, a forma matemática de aplicação se dá por:

$$Q = -kA \frac{dT}{dx}$$

Onde:

- Q denomina-se taxa de calor, que tem a sua unidade de medida em J/s ou W
- k é o coeficiente da condutividade térmica, sendo sua unidade de medida W/(m.K)
- A é a área onde ocorre a transferência de calor, medida através do Sistema Internacional de Unidades por m²
- T considera-se a variação da temperatura em kelvin (K)
- x é a direção onde ocorre a transferência de calor, medida em metros.

Parede simples

Podemos calcular a condução por:

$$Q = -kA \frac{(T2 - T1)}{L}$$

- Q - Taxa por condução de calor na direção x (W/m).
- K- A condutividade térmica do material da parede (W/m.K).
- A - É a área, T2 – T1 é a diferença de temperatura entre os dois fluidos.
- L - É a espessura da parede.

Parede composta

Segue o mesmo padrão da parede simples, porém apresenta várias camadas de materiais; eles precisam ser apresentados nos cálculos com suas respectivas espessuras e condutividades.

Resistência térmica

ΔT - É considerado como a variação de temperatura.

Q - Taxa de condução de calor.

L - Espessura da parede.

K - Condutividade térmica do material da parede(W/m.K),

A - Área.

$$R_t = \Delta T / q \quad R_{cond} = L / (K * A)$$

4 PET - Polietileno tereftalato

É um polímero termoplástico, desenvolvido em 1941 por dois químicos britânicos. Whinfield e Dickson; é formado pela reação entre o ácido tereftálico e o etileno glicol e é usado principalmente na forma de fibras para tecelagem e embalagens para bebidas.

O polímero PET é muito utilizado como recipiente (garrafa) a fim de armazenar bebidas, pois, assim como o vidro, é transparente e útil para guardar alimentos, possuindo vantagens em relação ao peso e praticidade. Mas não é só para fabricar embalagens que o PET é útil. É usado também em filmes fotográficos e raios-X. Como esse material não é biodegradável, é crescente o apelo por sua reciclagem.

5 Efeito ambiental do PET

Quando as garrafas PET chegam aos oceanos, mares e rios, elas levam cerca de 400 anos no processo de degradação, podendo causar a perda da biodiversidade. Além de tudo, acabam se transformando em microplástico, ou seja, pequenas partículas plásticas que são poluentes e tóxicas, responsáveis por matar milhares de animais ao redor do mundo. No lixo comum elas são levadas para aterros sanitários, onde permanecerão até se decomporem completamente. Este material é 100% reciclável. Porém, o grande problema é que é descartado de forma incorreta, o que acarreta um alto índice de poluição, prejudicial para o ser humano e para a natureza.

Ao serem criadas propostas para dar um destino sustentável aos plásticos que há muitos anos vem poluindo o planeta, não só criamos uma solução ambiental, como estimulamos às pessoas a tomarem atitudes conscientes, tais como reciclagem e logística reversa. Pensando nisso, a proposta deste trabalho é solucionar o problema ambiental criado pelo PET e encontrar um conforto térmico para os veículos automotivos.

4 Metodologia

Buscando compreender o comportamento dos materiais em relação à condução térmica, decidiu-se realizar inicialmente três testes, levando em consideração os cenários abaixo:

1. Parede simples – recipiente sem revestimento
2. Parede composta – recipiente revestido com alumínio e EPS
3. Parede composta – recipiente revestido com alumínio e PET

Os testes foram realizados com as mesmas condições térmicas e físicas, sendo utilizado como fonte de calor, o sol; o recipiente utilizado nos três testes é do mesmo material, o alumínio, conforme Fig1.

Figura: Recipiente em alumínio



Fonte: as autoras, 2021

As dimensões do recipiente são:

- Diâmetro interno:88mm
- Diâmetro externo:89mm
- Espessura: 1mm

Para obter a coleta de dados da temperatura, utilizou-se o sensor de temperatura LM-35 e o sistema Arduino para transcrever os dados. A programação usada pode ser verificada na Fig.1; a coleta das informações foi realizada através da tela do notebook, onde a temperatura aparece em tempo real. A duração do teste foi de 2 horas e os dados foram coletados a cada 20 minutos.



Fonte: as autoras, 2021

5 Resultados e discussão

1ºTeste: Parede simples - recipiente sem revestimento

O recipiente sem revestimento foi sobreposto com o sensor LM-35 inserido no seu interior; realizou-se a vedação utilizando fita isolante para manter a temperatura interna e que não houvesse perda. No dia do teste, a temperatura externa estava em 23°C, o recipiente

juntamente com o sistema Arduino e o notebook foram alocados em um espaço onde tinham contato direto com o sol, conforme Fig. 2.

Figura 2: Realização do teste



Fonte: as autoras, 2021

Durante o teste a temperatura máxima interna alcançou 43°C, com um aumento de 20°C respeito à temperatura externa.

2º Teste: Parede composta – recipiente revestido com alumínio e EPS

Os dois recipientes foram revestidos primeiramente com uma camada de papel alumínio no seu interior, em seguida foi adicionada uma camada de 2mm de EPS sobre o alumínio, garantindo assim o isolamento térmico. Os recipientes foram sobrepostos, inserido o sensor de temperatura em seu interior e realizada a vedação com fita isolante. Mantiveram-se as condições conforme o 1º teste, com a temperatura externa estável em 23°C.

Figura 3: Recipiente revestido com alumínio e EPS



Fonte: as autoras, 2021

Durante o teste a temperatura máxima interna alcançou 18°C, o que representa uma redução de 5°C com respeito à temperatura externa.

3º Teste: Parede composta – recipiente revestido com alumínio e PET

Os dois recipientes foram revestidos primeiramente com uma camada de papel alumínio no seu interior, em seguida foi adicionada uma camada de 2mm de PET picotado. Os recipientes foram sobrepostos e o sensor de temperatura inserido em seu interior; realizou-se a vedação com fita isolante e mantiveram-se as condições conforme o 2º teste, com temperatura externa estável em 23°C.

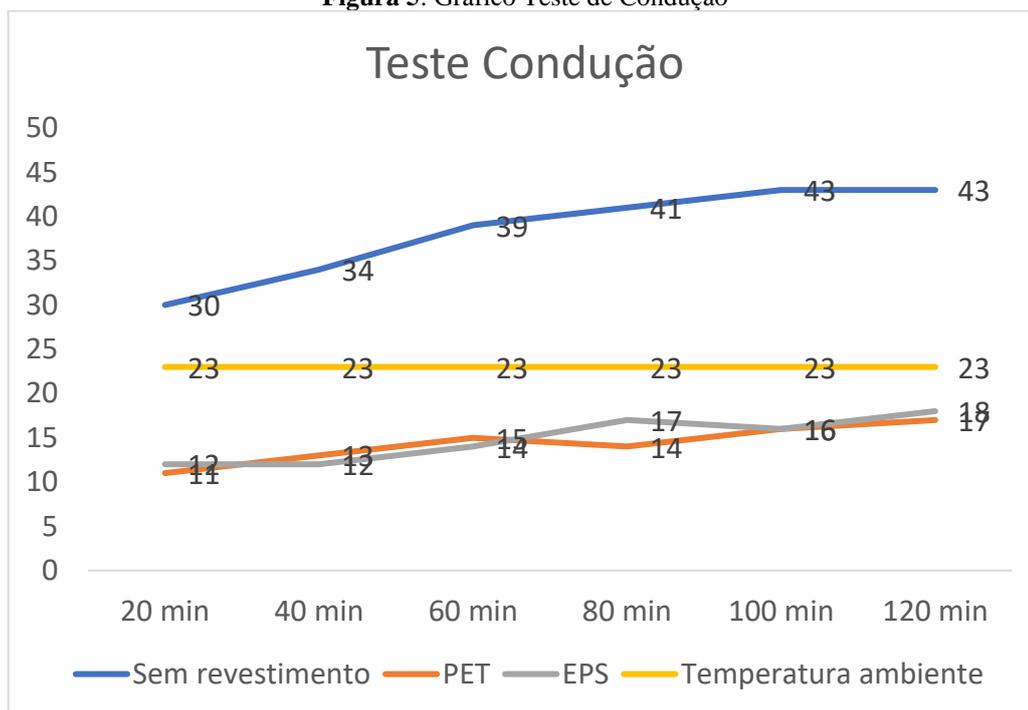
Figura 4: Recipiente revestido com alumínio e PET



Fonte: as autoras, 2021

Analisando os dados coletados durante os testes, pode-se concluir que tanto o EPS quanto o PET possuem capacidade térmica de isolamento, pois o comportamento dos dois materiais foi bastante semelhante, mantendo uma temperatura interna entre 17°C e 18°C, conforme gráfico abaixo:

Figura 5: Gráfico Teste de Condução



Fonte: as autoras, 2021

Após a análise dos resultados obtidos nos testes, decidiu-se buscar alternativas juntamente com fornecedores; foi então quando surgiu a oportunidade de testar um feltro produzido de PET, com espessura de 3mm. Este material já era utilizado em veículos, porém para isolamento acústico; no caso deste estudo, a intenção é utilizá-lo para se obter isolamento térmico. Sendo assim, optou-se por fazer dois testes:

4. Teste: Parede composta – recipiente revestido com feltro de PET
5. Teste: Parede composta – recipiente revestido com uma camada de feltro de PET, PET picotado, mais uma camada de feltro de PET.

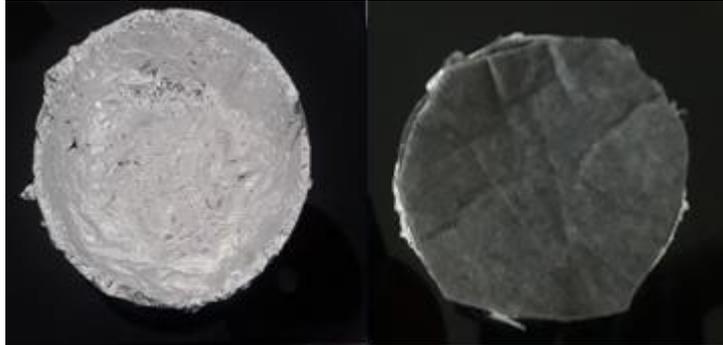
O ambiente utilizado para realização do 4º e 5º teste foi o mesmo utilizado nos testes anteriores, com a diferença da temperatura externa, que no dia estava em 22°C. Foram mantidos os recipientes para o teste e o mesmo sistema de medição de temperatura.

6. Teste: Parede composta – recipiente revestido com alumínio e feltro de PET

Os dois recipientes foram revestidos primeiramente com uma camada de papel alumínio no seu interior, em seguida foi adicionada uma camada de 3mm de feltro PET. Foram

sobrepostos os recipientes, inserido o sensor de temperatura em seu interior, realizada a vedação com fita isolante e mantidas as condições conforme os testes anteriores. A temperatura externa manteve-se estável em 22°C.

Figura 6: Teste com revestimento de feltro de PET



Fonte: as autoras, 2021

A temperatura máxima alcançada no interior do recipiente foi de 14°C, ou seja, uma redução de 8°C em relação à temperatura externa, superior ao 3º teste.

7. Teste: Parede composta – recipiente revestido com uma camada de feltro de PET, PET picotado, mais uma camada de feltro de PET

Os dois recipientes foram revestidos primeiramente com uma camada de papel alumínio no seu interior, em seguida foram adicionadas duas camadas de 3mm de feltro PET em cada um; entre as camadas de feltro, foi inserido PET picotado. Para que o PET se mantivesse no lugar, utilizou-se fita dupla face no feltro, buscando garantir um espaçamento de ar entre as camadas. O PET picotado foi somente colocado sobre a fita, sem ser pressionado na hora da montagem no recipiente, garantindo-se assim que não houvesse compressão entre as camadas. Depois, foi inserido o sensor de temperatura em seu interior, realizada a vedação com fita isolante e mantidas as condições conforme os testes anteriores. A temperatura externa manteve-se estável em 22°C.

Figura 7: Teste com duas camadas de feltro e PET picotado



Fonte: as autoras, 2021

Durante o teste a temperatura máxima alcançada no interior do recipiente foi de 13°C, 1°C a menos que no teste anterior.

6 Cálculos das quantidades de calor nos sistemas testados

Equação de condução térmica para parede simples:

$$q = \frac{(T_2 - T_1)2\pi KL}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

$$q = \frac{(296 - 316)2\pi * 204 * 90 \times 10^{-3}}{\ln\left(\frac{45 \times 10^{-3}}{44 \times 10^{-3}}\right)}$$

$$q = -102,66w$$

Equação de condução térmica para parede composta, revestimento EPS:

$$q = \frac{\frac{T_4 - T_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}}{2\pi L K_A} + \frac{\frac{T_4 - T_1}{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}}{2\pi L K_B}$$

$$q = \frac{\frac{296 - 291}{\ln\left(\frac{44 \times 10^{-3}}{41 \times 10^{-3}}\right)}}{2\pi * 89 \times 10^{-3} * 0,040} + \frac{\frac{296 - 291}{\ln\left(\frac{45 \times 10^{-3}}{44 \times 10^{-3}}\right)}}{2\pi * 89 \times 10^{-3} * 204}$$

$$q = 1,57w$$

Equação de condução térmica para parede composta, revestimento PET:

$$q = \frac{\frac{T_4-T_1}{\ln\frac{r_2}{r_1}}}{2\pi LK_A} + \frac{\frac{T_4-T_1}{\ln\frac{r_3}{r_2}}}{2\pi LK_B}$$

$$q = \frac{\frac{296-290}{\ln\frac{44 \times 10^{-3}}{41 \times 10^{-3}}}}{2\pi * 89 \times 10^{-3} * 0,038} + \frac{\frac{296-290}{\ln\frac{45 \times 10^{-3}}{44 \times 10^{-3}}}}{2\pi * 89 \times 10^{-3} * 204}$$

$$q = 1,80w$$

Equação de condução térmica para parede composta, revestimento feltro de PET:

$$q = \frac{\frac{T_4-T_1}{\ln\frac{r_2}{r_1}}}{2\pi LK_A} + \frac{\frac{T_4-T_1}{\ln\frac{r_3}{r_2}}}{2\pi LK_B}$$

$$q = \frac{\frac{295-287}{\ln\frac{42 \times 10^{-3}}{38 \times 10^{-3}}}}{2\pi * 89 \times 10^{-3} * 0,038} + \frac{\frac{295-287}{\ln\frac{43 \times 10^{-3}}{42 \times 10^{-3}}}}{2\pi * 89 \times 10^{-3} * 204}$$

$$q = 1,68w$$

Equação de condução térmica para parede composta, revestimento feltro de PET dupla:

$$q = \frac{\frac{T_4-T_1}{\ln\frac{r_2}{r_1}}}{2\pi LK_A} + \frac{\frac{T_4-T_1}{\ln\frac{r_3}{r_2}}}{2\pi LK_B} + \frac{\frac{T_4-T_1}{\ln\frac{r_4}{r_3}}}{2\pi LK_B}$$

$$q = \frac{\frac{295-287}{\ln\frac{60 \times 10^{-3}}{12 \times 10^{-3}}}}{2\pi * 89 \times 10^{-3} * 0,038} + \frac{\frac{295-287}{\ln\frac{61 \times 10^{-3}}{60 \times 10^{-3}}}}{2\pi * 89 \times 10^{-3} * 204} + \frac{\frac{295-287}{\ln\frac{62 \times 10^{-3}}{61 \times 10^{-3}}}}{2\pi * 89 \times 10^{-3} * 204}$$

$$q = 0,10w$$

7 Conclusão

Em vista dos argumentos apresentados, o PET picotado trouxe um resultado significativo para o isolamento térmico, melhorando o conforto térmico no interior do recipiente. O desenvolvimento do feltro de PET, juntamente com o fornecedor, possibilitou o avanço da pesquisa, trazendo uma alternativa para a sua utilização no produto objeto de estudo, o carro.

A escolha do material que daria seguimento à pesquisa teve um grande peso devido à logística reversa. O PET é um material que produz um grande impacto ambiental, a possibilidade de encontrar um destino para esse material pode ser classificada como

responsabilidade social, além de oferecer uma alternativa para a redução do consumo de ar-condicionado no interior do veículo.

Os resultados obtidos através dos testes de laboratório foram sólidos e satisfatórios, levando em consideração que o material do recipiente era totalmente de alumínio. A próxima etapa da pesquisa será a sua implantação no veículo, em cujo teto será aplicado o feltro de PET. O veículo será submetido à exposição ao sol e observar-se-á o comportamento da temperatura interna, visto que o veículo possui outras variáveis, como o vidro.

A realização da implantação no veículo para teste e conclusão da pesquisa, demonstra uma possível alternativa de utilização do PET e redução do impacto ambiental causado por ele.

Referências

ALVES, L. Vender carro é apenas mais uma obrigação da indústria automotiva **Auto Data**, 2021. Disponível em: <https://www.uol.com.br/carros/colunas/autodata/2021/09/21/vender-carro-e- apenas-mais-uma-obrigacao-da-industria-automotiva.htm>. Acesso em: 24 set. 2021.

COELHO, M.C.J. **Energia e fluidos**: Transferência de calor. São Paulo: Blucher, 2016.

LEITE, V. O que a sigla ESG quer dizer sobre uma empresa? **Nubank**, 2020. Disponível em: <https://blog.nubank.com.br/esg-o-que-e/>. Acesso em: 22 set. 2021.

MERLUZZI, O. Como está o ESG no setor automotivo. **Portal Carsughi**, 2021. Disponível em: <https://carsughi.uol.com.br/2021/07/como-esta-o-esg-no-setor-automotivo-brasileiro/>. Acesso em: 20 set. 2021.

REDAÇÃO PENSAMENTO VERDE. 5 problemas causados pelas garrafas PET que evidenciam a importância da reciclagem, **Pensamento Verde**, 2017. Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/reciclagem/5-problemas-causados-pelas-garrafas-pet-que-evidenciam-importancia-da-reciclagem/>. Acesso em: 30 set. 2021.

SZIGETHY, L; ANTENOR, S. Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. **IPEA**, 2021. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 07 out. 2021.