



## ESTUDO COMPARATIVO DA INCORPORAÇÃO DE FIBRA DE VIDRO E DE RESÍDUO POLIMÉRICO DE REDES DE PESCA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO POLIURETANO (PU) BI COMPONENTE.

Silva, C. F.; Pitareli, G.; Silva, E. S.; Moreno, M.S.;

Faculdade de Tecnologia de Mauá

[carlos.silva240@fatec.sp.gov.br](mailto:carlos.silva240@fatec.sp.gov.br)\*, [gleisa.pitareli@fatec.sp.gov.br](mailto:gleisa.pitareli@fatec.sp.gov.br), Endereço postal completo e e-mails (indicar autor para correspondência). (4 linhas simples)

### RESUMO

Neste trabalho foi estudado individualmente a influência da adição de fibra de vidro e do resíduo de PA (rede de pesca) no PU rígido, nas formulações contendo 2,5 % e 5,0 % do material aditivado na matriz de PU rígido, comparando as propriedades observadas no ensaio de tração, segundo a norma ASTM D638. Através da análise da curva resultante do ensaio de tração, foi possível determinar a tensão de ruptura, a deformação máxima, e a tenacidade do material. Observou-se que, em valores médios, ambas as fibras resultaram em uma diminuição da tensão máxima de ruptura e do alongamento em relação às amostras de PU sem carga. Ficou evidente que a redução nos valores de tensão máxima foram diretamente proporcionais ao teor de fibra incorporado.

**Palavras-chave:** Poliuretano, Poliamida, Redes de Pesca, Resistência Mecânica, compósitos.

### INTRODUÇÃO

Após a obtenção do primeiro polímero sintético em 1912 por Leo Baekeland e com o início da Segunda Guerra Mundial, a indústria de materiais poliméricos se desenvolveu de forma muito acelerada e trouxe diversas inovações positivas para a sociedade. Conforme Jones (2019), a produção mundial de polímeros atingiu 396 milhões de toneladas em 2016 e a projeção é de que em 2023, se o ritmo de produção e consumo não forem contidos, é que a produção seja ao redor de 550 milhões de toneladas.

Várias modernidades nos setores da medicina e aviação por exemplo não seriam possíveis sem os diversos materiais poliméricos utilizados hoje em dia, porém

o plástico, é também um dos principais poluentes e segundo Vasconcelos (2019), foram produzidas 8,9 bilhões de toneladas de polímeros desde 1950, entre virgens e reciclados. Deste total apenas 29% ainda está em uso e os outros 71% foram descartados.

Uma das principais preocupações dos especialistas é a poluição por resíduos de plásticos nos mares.

Todos os anos milhares de toneladas de redes de pesca produzidas, principalmente em poliamida, são descartadas ou abandonadas nos mares e oceanos. Segundo dados da World Animal Protection (2018), no mundo, o volume estimado dos materiais de pesca abandonados nos oceanos, entre eles um percentual não divulgado de redes de poliamida, pode chegar a 640 mil toneladas por ano.

Além da poluição ambiental e prejuízos já citados para os animais do ecossistema aquático, estas redes se enroscam neles, causando ferimentos variados e por veze, a morte de alguns animais marinhos. A organização Fundo Mundial para a Natureza (2019) estima que ao menos mil tartarugas marinhas morram anualmente em decorrência do enredamento em resíduos plásticos, que incluem equipamentos de pesca perdidos ou descartados. Estas redes também se enredam em recifes frágeis, causando seu sufocamento e colônias bacterianas que se formam nestes resíduos provocam doenças nos corais.

Ainda de acordo com a World Animal Protection, as redes de pesca de poliamida são particularmente duráveis nos oceanos e podem levar até 600 anos para se degradarem completamente.

A fim de buscar novas alternativas para reutilização de redes de pesca de poliamida (PA), esta foi recortada manualmente (em fios de tamanho em torno de 2 mm de comprimento) foi incorporada a outro polímero (termofixo) denominado poliuretano (PU) rígido, nas concentrações de 2,5% e 5%. Em um segundo lote, será incorporada fibra de vidro picada, comumente utilizada como carga em alguns materiais termoplásticos, nas mesmas concentrações da rede de pesca na matriz de PU.

A análise da influência da incorporação de fios de rede de pesca e de fibra de vidro nas propriedades mecânicas do PU foi realizado por intermédio de ensaios de tração, comparando-se resultados obtidos das amostras citadas. O foco desse trabalho é propiciar a reutilização de um material descartado de forma irregular,

podendo gerar uma segunda fonte de renda para os pescadores com a venda de redes de pesca impróprias para seu uso principal, a pesca.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Planejamento do ensaio

A proposta do projeto consiste em testar o PU rígido incorporado com redes de pesca de poliamida recuperadas do mar.

Esta rede foi picada manualmente em fios de tamanho em torno de 2 mm de comprimento.

Para fins de comparação utilizamos também PU aditivado com fibra de vidro que é um aditivo já tradicional, para comparar com a incorporação da poliamida oriunda de redes, o que não é usual.

Todas as amostras foram confeccionadas e testadas por meio do ensaio de tração seguindo os mesmos padrões e critérios.

As amostras foram identificadas conforme a tabela 1 de componentes e cargas a seguir:

Tabela 1 - Identificação de componentes e cargas

<b>Composição das amostras</b>			
<b>Amostras</b>	<b>Participação em massa (%)</b>		
	<b>PU</b>	<b>Fibra de Vidro</b>	<b>Rede de pesca</b>
A	100%	0%	0%
B 1	97,50%	2,50%	0%
B 2	95%	5%	0%
C 1	97,50%	0%	2,50%
C 2	95%	0%	5%

Fonte: Os autores (2024)

Para comprovar o material da rede de pesca, foi realizado um ensaio de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), evidenciando se tratar de poliamida 6 pois sua temperatura de fusão (Tm) é em média de 220°C.

### Ensaio de análise de resistência à tração

Para a confecção das amostras para os ensaios, foi criado um molde em silicone com 3 cavidades, dimensionadas para a produção de corpos de prova para ensaios de tração, conforme norma ISSO 527-2.

O PU utilizado como base para os corpos de prova é um material bi componente, que necessita ser homogeneizado para iniciar o processo de cura, mas para a confecção dos corpos de prova era necessário também incorporar a fibra de vidro ou resíduo de rede de pesca. Optou-se por incorporar inicialmente o aditivo nas concentrações apresentadas na tabela 1 no componente A do PU promovendo uma mistura homogênea e após isto, adicionar o componente B continuando com o processo de homogeneização, e para isto foi utilizado um misturador portátil de baixa rotação, garantindo assim, a qualidade da mistura. A mistura concluída, foi colocada nas cavidades do molde sobre uma mesa vibratória, com o intuito de expelir possível bolhas de ar, em seguida aguardamos a cura completa do PU para então extrairmos as amostras do molde. Foram confeccionadas 3 amostras de cada configuração.

O ensaio foi realizado em uma máquina universal de ensaio da INSTRON disponível no laboratório de controle analítico da empresa BASF, localizado no site Batistini em São Bernardo do Campo e foi feito seguindo a metodologia de acordo com a norma (ISSO 527-1, ASMT D-638).

Para realizar o ensaio de resistência a tração, foi utilizado micrômetro para medição de largura e espessura dos corpos de prova, sensor óptico para medição do alongamento, pré carga de 0,5 kN para gerar uma pequena tensão na amostra evitando trepidações e movimentos que possam influenciar nos resultados, uma célula de carga de 30 kN, a uma velocidade de aplicação de 5 mm/min em sala climatizada a 24°C e 50% de umidade relativa do ar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Resistência mecânica à tração

Os ensaios de resistência mecânica à tração foram realizados para avaliar a influência de incorporação da fibra de vidro e rede de pesca na matriz de poliuretano rígido.

Nos dados apresentados na tabela 2, é possível observar as dimensões a região de aplicação de carga nos corpos de prova, e também os resultados encontrados, tanto para valores máximos de tração, como para alongamento total do corpo de prova. Os valores apresentados de máxima tração média e alongamento médio, bem como os desvios padrão para cada uma das composições dos materiais foram obtidos matematicamente.

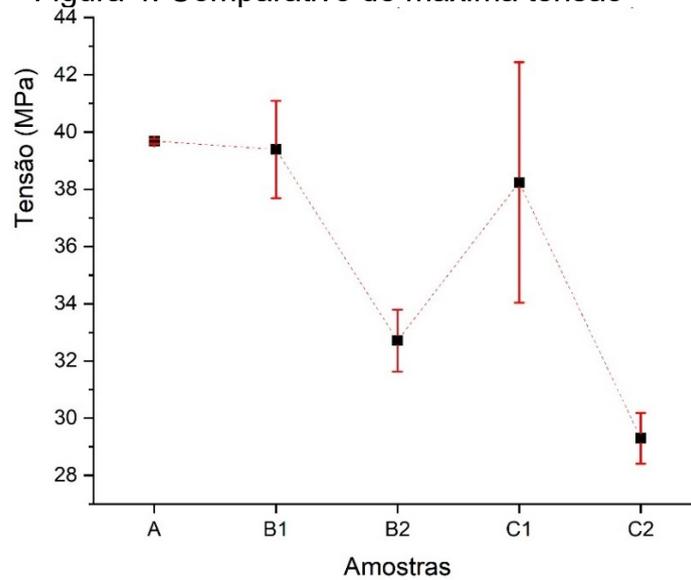
Tabela 2: Dados dos ensaios de tração

Amostra	Corpo de prova		Resultados						
	Esp. (mm)	Largura (mm)	Tração max			Alongamento Total			
			Individual (MPa)	média das amostras (MPa)	desvio padrão (MPa)	Individual (mm)	média das amostras (mm)	desvio padrão (mm)	
A	1	4,71	9,68	39,79			4,92		
	2	4,53	9,76	39,65	39,68	±0,08	4,18	4,46	±0,33
	3	4,5	9,76	39,6			4,28		
B1	1	4,53	9,91	39,02			2,48		
	2	4,39	9,78	37,52	39,39	±1,7	2,37	2,70	±0,39
	3	4,67	10,05	41,64			3,24		
B2	1	4,58	9,65	34,16			1,79		
	2	4,59	10,06	32,4	32,71	±1,08	1,85	1,76	±0,09
	3	4,23	10,04	31,57			1,64		
C1	1	4,34	9,86	35,71			3,1		
	2	5,3	10,16	34,89	38,24	±4,2	2,66	2,70	±0,32
	3	4	10	44,11			2,33		
C2	1	4,59	10,02	28,64			2,61		
	2	4,87	10,11	28,69	29,30	±0,89	2,64	2,75	±0,18
	3	4,53	9,84	30,56			3		

Fonte: próprios autores

Com o intuito de facilitar a visualização dos valores médios de tração e alongamento, os gráficos correspondentes são apresentados nas figuras 3 e 4 respectivamente.

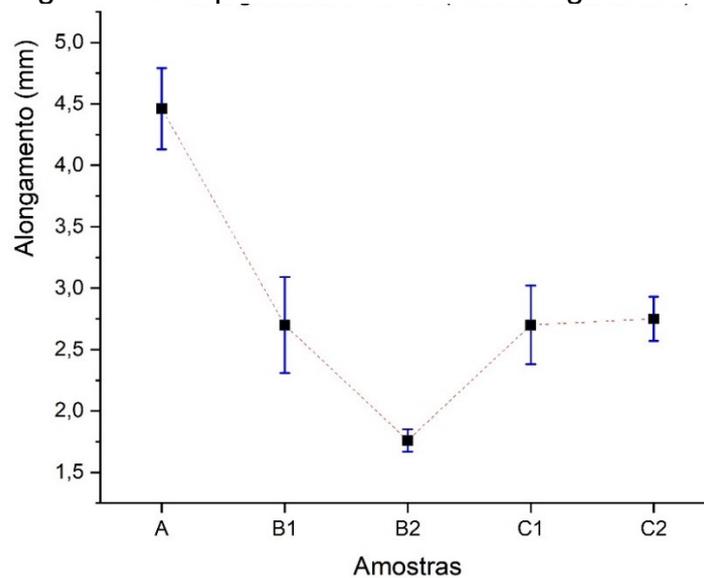
Figura 4: Comparativo de máxima tensão



Fonte: próprios autores

Conforme pode-se observar, os valores de aditivação tanto da fibra de vidro com da rede de pesca, nas concentrações de 2,5% causam perdas muito pequenas nos valores de tensão máxima, cerca de 1% e 3,5% respectivamente, quando comparados ao valor de PU puro, mas as concentrações de 5% provocam perdas acentuadas nos valores de máxima tensão.

Figura 5: Comparativo de máxima alongamento



Fonte: próprios autores

Já nos valores a alongamento máximo, todos os aditivos nas duas concentrações reduzem o valor de alongamento, porém se compararmos as duas

condições, aditivação com fibra de vidro e com rede de pesca, os resultados apresentados são idênticos.

No quesito tenacidade, a tabela 3 apresenta os valores de cada amostra, bem como os valores médios com desvio padrão da tenacidade encontrada nos ensaios.

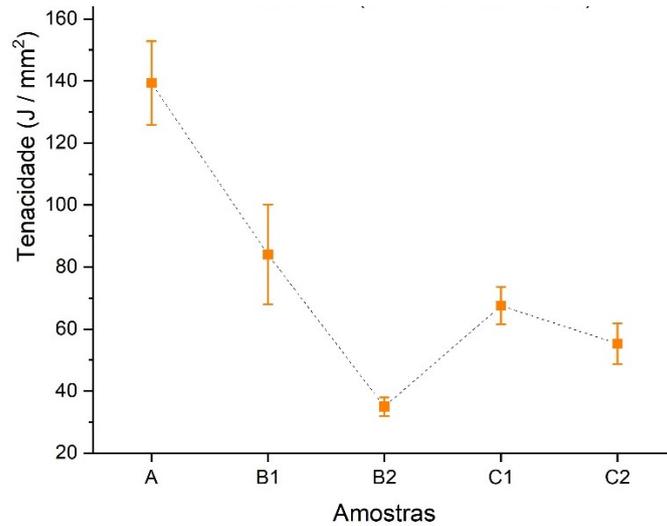
Tabela 3: Valores de tenacidade encontrados

Amostra	Tenacidade (J /mm <sup>2</sup> )		
	Individual	Média	Desvio padrão
A	1	157,98	139,34 ±13,45
	2	126,75	
	3	133,28	
B 1	1	78,09	84,06 ±16,1
	2	68,01	
	3	106,07	
B2	1	37,68	34,98 ±2,99
	2	36,44	
	3	30,82	
C 1	1	75,35	67,53 ±6,01
	2	60,75	
	3	66,50	
C 2	1	50,31	55,30 ±6,62
	2	50,94	
	3	64,65	

Fonte: próprios autores

A figura 6 apresenta em forma de gráfico os valores médios de tenacidade com os respectivos desvios.

Figura 6: Comparativo de tenacidade (médias das amostras)



Fonte: próprios autores

A tenacidade também apresentou redução em todas as amostras e concentrações quando comparada com a tenacidade das amostras de PU puro, o que apresenta coerência com as reduções de alongamento encontrado, apresentados na figura 5, porém ao compararmos os materiais aditivados, vemos que o material aditivado com rede de pesca apresentou uma tenacidade 20% menor se comprado com o material aditivado com fibra de vidro.

É possível perceber que, mesmo havendo a ruptura do corpo de prova, as fibras da poliamida continuam interligadas, ou seja, não se rompem.

## CONCLUSÃO

De maneira geral, conclui-se, através dos resultados das análises apresentados nas tabelas e nos gráficos que, tanto na incorporação de fibra de vidro quanto a de rede de pesca (PA6), reduziu os valores de tensão máxima, alongamento total e tenacidade, em relação às amostras de PU sem carga, observando-se uma divergência bem mais acentuada nas amostras com 5% de concentração dos aditivos.

Individualmente, no quesito tensão máxima, observamos que as amostras com 2,5% de concentração de aditivos apresentaram valores de tensão máxima muito próximos da amostra com PU puro, mas especificamente, com perdas de 1% para fibra de vidro e 3,5% para rede de pesca.

Tratando-se do alongamento total, observa-se que as amostras aditivadas apresentaram uma redução na ductilidade do material, quando comparadas ao PU

puro, mas se compararmos as amostras aditivadas entre si, notamos que em três situações temos resultados idênticos: 2,5% de fibra de vidro, 2,5% e 5% de rede de pesca.

Ao analisarmos os valores de tenacidade, observa-se que a aditivação reduz a tenacidade quando comparado com as amostras de PU puro, o que é plenamente justificado pela redução da tensão máxima e do alongamento máximo apresentados.

Especula-se que não houve uma boa interação do PU com os aditivos utilizados, o que causou uma mudança nos parâmetros de alongamento e tenacidade do material, o que não inviabiliza sua utilização em situações onde grandes valores de alongamento são desejados

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M., S. *et al.* **Pequeno manual do náilon**: Estrutura, propriedades, processamento. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2021.
- ASKELAND, D. R.; FULAY, P. P.; WRIGHT, W. J. **The science and engineering of materials**. 6. ed. Connecticut: Cengage Learning, 2011.
- BOLLMANN, Moritz *et al.* **World ocean review**: living with the oceans. p. 76-99, 2010. Disponível em: [https://worldoceanreview.com/wp-content/downloads/wor1/WOR1\\_en\\_chapter\\_4.pdf](https://worldoceanreview.com/wp-content/downloads/wor1/WOR1_en_chapter_4.pdf). Acesso em: 19 abr. 2024.
- CALLISTER, W. D., Jr.; RETHWISCH D. G. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- CANEVAROLO JR, S. V. **Ciência dos Polímeros – Um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2002.
- CARDOSO, S., C. **Estudo das propriedades mecânicas e dos mecanismos de fratura de fibras sintéticas do tipo náilon e poliéster em tecidos de engenharia**. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. Disponível em: [http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Sergio%20Gomes%20Cardoso\\_D.pdf](http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Sergio%20Gomes%20Cardoso_D.pdf). Acesso em: 27 mai. 2024.
- COLOMBI, B., L. Polimerização da Poliamida 6,6: Uma Breve Revisão. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 11, n. 3, p. 121–129, 2016. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revistaremap/index.php/REMAP/article/viewFile/580/402>. Acesso em: 27 mai. 2024.
- CHAWLA, K., K. **Composite materials**: science and engineering. 4. ed. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2019.
- CONSTANTINO, M. M. *et al.* **Poliuretano Com A Incorporação De Resíduos De Redes De Pesca Na Fabricação De Isolantes Térmicas**. Disponível em: [https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/229579/ENSUS\\_2020\\_paper\\_162.pdf](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/229579/ENSUS_2020_paper_162.pdf). Acesso em: 16 nov. 2023.
- COWIE, J., M.; ARRIGHI, V. **Polymers**: chemistry and physics of modern materials. Florida: CRC Press, 1991.
- SILVA, H. G. A. D. *et al.* Caracterização de fraturas frágil e dúctil em microscopia eletrônica de varredura (MEV). **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 3, 2017. Disponível em:

[https://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT\\_ed\\_especial\\_web\\_2017/PICM\\_2017-A2.pdf](https://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_ed_especial_web_2017/PICM_2017-A2.pdf).

Acesso em: 25 abr. 2024.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS C. A. D. **Ensaio dos materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

HEMAIS, Carlos A. Polímeros e a indústria automobilística. **Polímeros**, v. 13, p. 107-114, 2003. Disponível em

<https://www.scielo.br/j/po/a/M7SMYkKWh9kmqPGd4D8mhLg/?lang=pt>. Acesso em: 29 abr. 2024.

IONESCU, M. **Polyols for polyurethanes: chemistry and technology**. v. 2. 3. ed. Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH, 2019.

JONES, F. A ameaça dos microplásticos. **Revista Pesquisa FAPESP**, v. 281, p. 24-28, jul. 2019. Disponível em: [https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2019/07/025-028\\_CAPA\\_PI%C3%A1stico\\_281-Parte-2.pdf](https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2019/07/025-028_CAPA_PI%C3%A1stico_281-Parte-2.pdf). Acesso em: 16 abr. 2024.

KEMERICH et al. Fibras de vidro: caracterização, disposição final e impactos ambientais gerados. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 10, n. 10, p. 2112-2121, 2013. Disponível em:

<https://periodicos.ufsm.br/index.php/reget/article/view/7590>. Acesso em: 25 mai. 2024

MARCOS, H. Poliamidas, Poliésteres e Termoplásticos Elastoméricos: uma Perspectiva Sustentável na Indústria Moderna. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 22, n. 2, p.107-110, 2012. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/po/a/TRmrt8qjvDH88cr7qcjgSqP/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 27 mai. 2024

MARQUES, M. S., **Estudo sobre o efeito da interação fadiga-fluência na durabilidade do polietileno de alta densidade**. TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade De Tecnologia Universidade De Brasília. Brasília, 2022. Disponível em:

[https://bdm.unb.br/bitstream/10483/34747/1/2022\\_MarceloSilvaMarques\\_tcc.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/34747/1/2022_MarceloSilvaMarques_tcc.pdf).

Acesso em: 25 abr. 2024

MOREIRA, A. M. **Materiais compósitos**. Área de construção - Instituto Politécnico de Tomar, 2009. Disponível em:

[http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2932\\_\\_Compositos\\_MC1.pdf](http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2932__Compositos_MC1.pdf). Acesso em

25 mai. 2024

PEREIRA, P., H., L. **Estudo das propriedades físico-químicas da poliuretana derivada do óleo de mamona com potencial aplicação na área médica.**

Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010. Disponível em:

[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75132/tde-26072010-](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75132/tde-26072010-141545/publico/PauloHenriqueLeutevilerPereiraR.pdf)

[141545/publico/PauloHenriqueLeutevilerPereiraR.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75132/tde-26072010-141545/publico/PauloHenriqueLeutevilerPereiraR.pdf). Acesso em: 25 mai. 2024.

SOUZA, S. A. D. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos**. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

SZYCHER, M. **Szycher's Handbook of Polyurethanes**. 2. ed. Florida: CRC Press. 2013

VASCONCELOS, Y. Planeta Plástico. **Revista Pesquisa FAPESP**, v. 281, p. 18-24, jul. 2019. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/planeta-plastico/>. Acesso em: 16 abr. 2024.

VILAR, W. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. Disponível em:

<https://poliuretanos.com.br/>. Acesso em: 25 mai. 2024.

WIEBECK, H.; HARADA, J. **Plásticos de engenharia**. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2005.

WWF - Fundo Mundial para a Natureza. **Solucionar a Poluição Plástica:**

Transparência e Responsabilização. Disponível em:

<https://promo.wwf.org.br/solucionar-a-poluicao-plastica-transparencia-e-responsabilizacao>. Acesso em: 25 abr. 2024.