

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE LINS PROF. ANTONIO SEABRA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DA QUALIDADE**

**HAYNNER HEZROM DE SOUSA
PAULA KAROLINY MESSIAS SCARAMUSSA**

**ECONOMIA CIRCULAR: ESTUDO E ANÁLISE DA LÃ DE GARRAFA PET
EM APLICAÇÕES NA ENGENHARIA ACÚSTICA**

**LINS/SP
2º SEMESTRE/2022**

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE LINS PROF. ANTONIO SEABRA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DA QUALIDADE**

**HAYNNER HEZROM DE SOUSA
PAULA KAROLINY MESSIAS SCARAMUSSA**

ECONOMIA CIRCULAR: ESTUDO E ANÁLISE DA LÃ DE GARRAFA PET EM APLICAÇÕES NA ENGENHARIA ACÚSTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Tecnologia de Lins para obtenção do Título
de Tecnólogos em Gestão Da Qualidade.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Outa

**LINS/SP
2º SEMESTRE/2022**

Sousa, Haynner Hezrom De

S725e Economia Circular: Estudo E Análise Da Lã De Garrafa Pet Em Aplicações Na Engenharia Acústica / Haynner Hezrom De Sousa, Paula Karoliny Messias Scaramussa. — Lins, 2022.

19f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão da Qualidade) — Faculdade de Tecnologia de Lins Professor Antonio Seabra: Lins, 2022.

Orientador(a): Dr. Roberto Outa

1. Economia Circular. 2. Sustentabilidade. 3. Matéria Prima. 4. ISO 10534-1:1996. 5. Lã de PET. I. Scaramussa, Paula Karoliny Messias. II. Outa, Roberto. III. Faculdade de Tecnologia de Lins Professor Antonio Seabra. IV. Título.

CDD 658.562

**HAYNNER HEZROM DE SOUSA
PAULA KAROLINY MESSIAS SCARAMUSSA**

**ECONOMIA CIRCULAR: ESTUDO E ANÁLISE DA LÃ DE GARRAFA PET
EM APLICAÇÕES NA ENGENHARIA ACÚSTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Faculdade de Tecnologia de Lins, como parte dos
requisitos necessários para a obtenção do título de
Tecnólogos em Gestão Da Qualidade sob orientação
do Prof. Dr. Roberto Outa.

Data de aprovação: 30/11/2022.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Outa

Examinador 1: Prof. Dr. João Luís C. de Moraes

Examinador 2: Prof. Me. Sandro da Silva Pinto

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	5
1 INTRODUÇÃO	6
2 SUSTENTABILIDADE E ECONOMIA CIRCULAR.....	6
3 PRINCÍPIOS DE SISTEMAS PRODUTIVOS DA LÃ DE PET	7
4 ABSORÇÃO ACÚSTICA	8
5 TUBO DE IMPEDÂNCIA - NORMA ISO10534-1:1996.....	9
6 METODOLOGIA.....	9
7 RESULTADO	13
8 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	16
9 CONCLUSÃO.....	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

ECONOMIA CIRCULAR: ESTUDO E ANÁLISE DA LÃ DE GARRAFA PET EM APLICAÇÕES NA ENGENHARIA ACÚSTICA

Haynner Hezrom De Sousa¹, Paula Karoliny Messias Scaramussa²
Prof. Dr. Roberto Outa³

^{1,2}Tecnólogos do Curso de Gestão Da Qualidade da Faculdade de Tecnologia de Lins
Prof. Antônio Seabra – Fatec, Lins – SP, Brasil.

³Docente do Curso de Gestão Da Qualidade da Faculdade de Tecnologia De Lins Prof.
Antônio Seabra – Fatec, Lins – SP, Brasil.

RESUMO

O desenvolvimento sustentável é a adoção de padrões de produção e consumo que respeitam e atendem as necessidades das gerações atuais e futuras; a Economia Circular é utilizada como estratégia de reduzir a extração de matéria prima virgem, transforma materiais que já cumpriram seu primeiro ciclo de vida e se fizeram útil de alguma forma à população em matéria prima, iniciando uma nova jornada na cadeia produtiva. A propagação de práticas circulares envolvendo a produção e o consumo consciente de materiais como o plástico estão sendo exploradas visto a finitude dos recursos naturais, ao passo que promove a inovação em segmentos como matéria-prima e modelos de negócios. O presente trabalho tem como objetivo demonstrar uma função secundária à garrafa de PET, utilizando-a como um painel acústico, aplicado à norma ISO 10534-1:1996, no qual iremos testar a funcionabilidade da Lã de PET (seu insumo é resultado da reciclagem da garrafa PET) como isolamento acústico. A base principal deste estudo surgiu do conceito de melhora e benefícios a sociedade, considerando que o material é reciclado e que talvez seja possível satisfazer o desenvolvimento do conforto acústico ao ser humano. A metodologia utilizada foi revisão bibliográfica seguida de pesquisa exploratória e experimental.

Palavras-chave: Economia Circular. Sustentabilidade. Matéria Prima. ISO 10534-1:1996. Lã de PET.

ABSTRACT

Sustainable development is the adoption of production and consumption patterns that respect and meet the needs of current and future generations; Circular Economy is used as a strategy to reduce the extraction of virgin raw materials, transforming materials that have already completed their first life cycle and have become useful in some way to the population into raw materials, starting a new journey in the production chain. The propagation of circular practices involving the production and conscious consumption of materials such as plastic are being explored given the finitude of natural resources, while promoting innovation in segments such as raw materials and business models. The present work aims to demonstrate a secondary function to the PET bottle, using it as an acoustic panel, applied to the ISO 10534-1:1996 standard, in which we will test the functionality of the PET Wool (its input is the result of recycling PET bottle) as acoustic insulation. The main basis of this study arose from the concept of improvement and benefits to society, considering that the material is recycled and that it may be possible to satisfy the development of acoustic comfort for humans. The methodology used was a bibliographic review followed by exploratory and experimental research.

Keywords: Circular Economy. Sustainability. Feedstock. ISO 10534-1:1996. PET wool.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos períodos, foi possível observar diversas mudanças climáticas que influenciaram na forma que se vive, trabalha e se comunica. O ecossistema e a população foram afetados por estas mudanças, é o que conclui os cientistas no relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), divulgado em 28 de fevereiro de 2022 (IPCC, 2022).

A economia circular coopera com a sociedade para que esta seja mais eficiente no sentido de que as pessoas possam utilizar resíduos como recursos de modo técnico e econômico:

A economia circular, conceito intimamente relacionado com a sustentabilidade, favorece uma sociedade mais eficiente no uso dos bens e que utilize como recursos aqueles resíduos que não possam ser evitados, sempre que seja técnica e economicamente possível (HUMANA PORTUGAL, 2019, p. 19).

O presente trabalho tem como objetivo demonstrar uma função secundária à garrafa de pet, utilizando-a como um painel acústico, considerando a Economia circular e sua importância para a sociedade no atual cenário do mercado, unindo o desenvolvimento econômico ao uso consciente de recursos naturais, explorando novos negócios que possuem uma fabricação independente de matéria-prima virgem. Considerando esta condição, os painéis acústicos são um benefício à sociedade geral, pois propõem a função de conforto acústico, podendo ser utilizado em muitos ambientes de diferentes finalidades. Outra característica inerente à esta função secundária é o conceito de que a economia circular altera o design do processo produtivo, isto é, altera o produto já existente a fim de utilizá-lo como matéria prima e justifica a evolução da economia linear para ela.

2 SUSTENTABILIDADE E ECONOMIA CIRCULAR

O desenvolvimento sustentável é "a adoção de padrões de produção, consumo e reprodução que protejam as capacidades regenerativas da Terra, os direitos humanos e o bem-estar comunitário" (CARTA DA TERRA, 2000, p. 5), ou seja, ele possui uma visão de curto e longo prazo, onde a exploração de recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional devem satisfazer às necessidades da geração presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras, sendo este o princípio básico de sustentabilidade (WCED, 1987).

A sustentabilidade praticada de forma verdadeira, efetiva e global foi a resposta encontrada para a problemática levantada na Carta da Terra, que se originou de uma pesquisa feita do ano 1992 ao ano 2000 entre milhares de pessoas, que se tornou um chamado de atenção para as condições do planeta, ao passo que cheia de esperança propôs ações a serem praticadas por todos a fim de promover uma nova relação com o planeta (BOFF, 2012). "A constatação da finitude dos recursos do planeta foi para alguns a imagem que mudou consideravelmente a maneira pela qual a humanidade começava a perceber e reconhecer os limites do planeta em que habitava" (PASSOS, 2009, p. 2). Passos (2009) reforça que perante a vulnerabilidade do meio ambiente se fez necessário, para a sobrevivência da sociedade, adotar uma postura mais crítica em relação à defesa do planeta; desenvolver a educação voltada à natureza ao meio ambiente e sua preservação, para que seja possível garantir a sobrevivência atual e de futuras gerações. Que se deve haver equilíbrio entre o que retiramos da natureza e o que se oferta a ela em troca; a evolução somente pode ocorrer dado a capacidade do ser humano em transformar

o que o cerca para benefício próprio e da sociedade, a fim de manter sua existência, porém o mesmo poder de transformação incalculado pode provocar danos imensuráveis ao meio ambiente, como foi discutido na conferência de Estocolmo (PASSOS, 2009).

A Economia Circular é definida como um sistema conservador em que a produção de resíduos, emissões e as perdas de energia são minimizadas e os ciclos de materiais e energia são fechados; ela altera o *design* dos produtos e incentiva a produção mais funcional, com produtos mais duráveis e com capacidade de serem reutilizados de forma que voltem para a cadeia de valor como matéria prima para novos produtos (BCSD, 2022? p.1).

Ao passo que a humanidade evolui o meio ambiente tem estado mais sensível e desgastado, "jogar fora é jogar dentro. Vivemos num planeta finito, limitado, não só em recursos materiais e energéticos" (LEITÃO, 2015. p.151), enquanto economia linear, tende a extrair, produzir, e descartar, resultando na sobrecarga ecológica e a quantidade de seres humanos no planeta supera a capacidade de repor os recursos do planeta e de absorver resíduos (WEETMAN, 2019), o conceito da economia circular é baseado na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia. Este modelo econômico reconhece a finitude dos recursos naturais e reorganiza a economia para suprir as necessidades atuais e futuras (CNI, 2022?).

Os benefícios de uma economia circular não são meramente operacionais, mas estratégicos, e não somente para a indústrias, mas também para clientes, e funcionam como fontes de eficiência e inovação (CNI, 2022?). O conceito circular funciona e é economicamente viável e escalável para diversos produtos, independentemente do comprimento de vida útil. (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020).

3 PRINCÍPIOS DE SISTEMAS PRODUTIVOS DA LÃ DE PET

Atualmente no consumo diário do ser humano existem diversas embalagens que são descartadas no lixo doméstico e muitos destes materiais descartados podem ser reutilizados. Estes materiais, quando processados, geram resultados que podem ser aplicados a algum tipo de utilização de base humana ou outro, conceitualmente, este princípio é o da economia linear que tende a extrair, produzir, e descartar, resultando na sobrecarga ecológica (WEETMAN, 2019).

Analisando o consumo em diversos ambientes, observa-se que o plástico é um destes materiais, que nos auxilia a manter seguro e saudável o alimento. Os plásticos que podem ser processados por fusão representavam em sua escala de volume de produção mundial 85% em 2015, considerado a maior quantidade, que são distribuídos da seguinte forma: polietileno (PE, 32%), polipropileno (PP, 23%), cloreto de polivinila (PVC, 16%), poliestireno (PS, 7%) e tereftalato de polietileno (PET, 7%) (VOET et al, 2021).

O polietileno tereftalato é um plástico reciclável considerado de alta qualidade, *recycled polyethylene terephthalate* (rPET), que pode atender os requisitos da união Européia, *European Union* (EU), do *Food and Drug Administration* (FDA), para produzir produtos de contato com alimentos. O processo de separação do *polyethylene terephthalate* (PET) é feito por detectores de espectroscopia de infravermelho, *near-infrared spectroscopy* (NIR), após, são processados gerando flocos de aproximadamente 25,0 mm de diâmetro, sendo lavados a quente por um líquido alcalino, removendo a sujeira da superfície e outros elementos. A descontaminação dos flocos de pet é feita por um conjunto adicional de elementos químicos, resultando em flocos lavados de alta qualidade que são conhecidos como, *high-quality washed flake* (HQWF) (FORREST, 2016).

O rPET quando misturado a outras fibras pode ser utilizado como enchimento para roupas isolantes, móveis, travesseiros, em pneus de automóveis, reforço em mangueiras de incêndio e jardim, cintos de segurança e até mesmo em roupas médicas descartáveis. A propriedade molecular do PET permite que o material seja moldado por métodos comuns

e empregados a outros termoplásticos. Basicamente, as garrafas PET são os recipientes preferidos destas aplicações, condicionados a sua não toxicidade, resistência, peso leve, e transparência. Conforme a combinação, um polímero de alto desempenho com a propriedade mecânica de tenacidade, resistência química e calor pode ser aplicado no ramo automotivo como em para-choques de carros e painéis traseiros dos veículos (VISAKH;LIANG, 2015).

A lã de PET é obtida através da matéria-prima oriunda da reciclagem do PET, este material quando utilizado como isolamento acústico tem as vantagens de não se abalar com a vibração estrutural, não se deformar e ser resistente à umidade; também é autoextinguível, isto é, não propaga chamas; o material pode ser utilizado em instalações industriais, comerciais e residenciais (ARANHA, 2019), e “além das propriedades termoacústicas, a lã é hipoalérgica, e sua vida útil pode passar dos 100 anos” (ARANHA, 2019. p.8).

4 ABSORÇÃO ACÚSTICA

A finalidade do material acústico é absorver o som e o ruído, a fim de reduzir o ruído no ambiente ou o conforto acústico do ambiente, Outa acrescenta que:

Alguns materiais utilizados como absorvedores acústicos também têm propriedades de isolamento térmica. Outras funções não menos importantes que a absorção acústica é o isolamento acústico, reflexão e difusão acústica. Os materiais para aplicações acústicas são diversos, a princípio é necessário o entendimento do comportamento sonoro do ambiente para posteriormente se definir a escolha do material mais adequado ou mesmo uma proposta de projeto de solução do problema. (OUTA, 2014, p.34).

Cada material tem sua característica e um uso para cada contexto, ao passo que os materiais porosos e fibrosos são mais eficazes para absorver o som em alta frequência, os materiais ressoadores absorvem de forma mais eficientes medidas de média frequência; as membranas trabalham com baixas frequências. (KINSLER, 1999).

A tabela 4.1 mostra os valores dos coeficientes de absorção sonoro de alguns materiais fibrosos e porosos encontrados em mercado.

Tabela 4.1 Coeficientes de absorção sonoro de materiais fibrosos/porosos

Material				Frequência central da banda de oitava (Hz)						NRC	
				125	250	500	1.000	2.000	4.000		
Fibroso	Isover – Santa Marina Placa de lã de vidro aglomerado	Densidade (kg/m ³)	30	25	0,08	0,27	0,50	0,87	0,98	1,04	0,66
			60	50	0,17	0,62	0,90	1,08	1,07	0,97	0,92
		Espessura (mm)	25	25	0,05	0,27	0,68	0,94	1,03	1,05	0,73
			60	50	0,13	0,75	0,96	1,03	0,88	0,96	0,91
	Thermax – RockFibras Manta de lã de rocha basáltica	Densidade (kg/m ³)	32	50	0,35	0,48	0,74	0,88	0,91	0,96	0,75
			64	100	0,85	0,98	1,10	1,11	1,09	1,18	1,07
		Espessura (mm)	50	50	0,50	0,59	0,91	1,05	1,06	1,06	0,90
			100	40	0,87	1,23	1,19	1,15	1,12	1,10	1,17
Poroso	Espumex – Acústica São Luiz Espuma flexível de poliuretano poliéster incombustível	Espessura (mm)	40	40	0,06	0,19	0,38	0,52	0,48	0,65	0,39
			60	60	0,10	0,28	0,49	0,53	0,47	0,82	0,44
		Espessura (mm)	70	70	0,15	0,42	0,75	0,74	0,66	0,95	0,64
			75	75	0,15	0,50	0,90	0,99	1,00	1,00	0,85
	Sonex – Illbruck Espuma flexível de poliuretano poliéster (com retardadores de chama) densidade: 32 kg/m ³	Espessura (mm)	20	20	0,04	0,12	0,28	0,44	0,60	0,73	0,36
			35	35	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,89	0,58
		Espessura (mm)	50	50	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97	1,01	0,72
			75	75	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00	0,89

*Valores indicativos. Utilizar sempre o coeficiente de absorção sonora fornecido pelo fabricante.

Fonte: BISTAFA, 2011, p. 247.

Os painéis acústicos têm como sua principal característica o tipo de material utilizado que serve para fazer o tratamento acústico dentro de seu contexto. Logo, o formato do painel vai depender da necessidade do projeto. (KINSLER, 1999).

Tratando-se de materiais acústicos, existem diversas possibilidades, no entanto é necessário entender o comportamento sonoro do ambiente antes de escolher o material adequado; é possível classificar os materiais como fibrosos, porosos e compósitos. Além disso, ressonadores e membranas também podem absorver ruídos, portanto também são considerados absorvedores acústicos (OUTA, 2014, p.34).

Os Ressonadores de cavidades são combinações de cavidades de paredes rígidas com uma pequena abertura, o que auxilia na redução do ruído ou em eliminações de energia acústica de médias frequências (KINSLER, 1999).

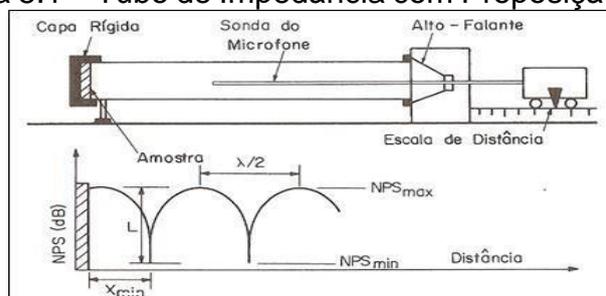
De acordo com Kinsler et al. (1999), a membrana possui uma estrutura lisa ou separa dois meios fluidicos que podem ou não ter a mesma característica. Além disso também formam camadas sobrepondo as placas e, o objetivo é absorver as ondas sonoras por meio da vibração das fibras. Feitas de gesso ou madeiras, as placas acústicas não possuem um formato padrão pois, devido as necessidades do projeto, elas podem se adaptar (OUTA, 2014, p.36).

5 TUBO DE IMPEDÂNCIA - NORMA ISO10534-1:1996

O tubo de impedância é desenvolvido utilizando a norma ISO10534-1:1996, é um experimento o qual se mede o coeficiente de absorção sonora de diferentes materiais; ele foi desenvolvido, utilizando um tubo redondo de comprimento l e diâmetro d , cujas extremidades possuem de um lado referencial o acoplamento de um alto-falante e, no lado oposto, uma tampa vedação total. Através de uma sonda interna ao tubo é captada a onda de pressão sonora em diferentes posições, das quais variam conforme a frequência experimental. O funcionamento interno ao tubo, se inicia com uma onda de pressão sonora continua a uma determinada faixa de frequência, o qual, após um determinado intervalo de tempo, esta onda se torna uma onda estacionária demonstrando as diferentes pressões acústicas ao longo do tubo (ISO10534- 1, 1996).

Para que se inicie as experimentações é necessário estabelecer duas condições básicas, o primeiro é o comprimento de onda $\lambda = \frac{c}{f}$, o qual c é a velocidade do som no ar $\approx 344 \frac{m}{s}$, e f é a frequência de trabalho. A segunda condição é baseada na frequência de corte $f_c = \frac{184c}{nd}$, o qual d é o diâmetro do tubo. Estas duas condições estabelecem o critério πd das frequências que irão ser trabalhadas no experimento (CROCKER, 2007; GERGES, 2000; OUTA e CHAVARETTE, 2015). A figura 5.1 mostra o desenho esquemático do tubo de impedância considerando os diferentes tipos de componentes e uma proposição do comportamento da onda estacionária no interior do tubo.

Figura 5.1 – Tubo de Impedância com Proposição da Onda Estacionária



Fonte: Gerges, 2000, p.321.

6 METODOLOGIA

O experimento do tubo de impedância foi desenvolvido no laboratório de Metrologia

da Fatec Lins, baseando-se na norma ISO10534-1:1996. O experimento é composto de:

- Alto-falante Bravox PM5 – 90W;
- Gerador de função BK Precision 4052 – 5MHz;
- Amplificador LA4000-LEACS;
- Sensor de áudio 5V;
- Vareta de aço inox $\varnothing 13,0\text{ mm}$ - captação da pressão sonora;
- Tubo de acrílico transparente $100 \times 1000\text{ mm}$;
- Tampa de acrílico $\varnothing 100\text{ mm}$;
- Acessórios (fios e cabos de conexão).

A construção e montagem do experimento foi feito da seguinte forma, o tubo de acrílico é posicionado sobre uma base e em uma das extremidades se encontra o alto-falante que quando acionado gerará a pressão sonora constante a uma determinada frequência. No lado oposto ao alto-falante, encontra-se a outra extremidade permeada pela tampa de acrílico com um furo central que será inserido a vareta de aço inox de $\varnothing 13,0\text{ mm}$. Nesta tampa de acrílico está acoplada uma placa de metal para que a reflexão da pressão sonora incidente, reflita a sua totalidade. Ligado ao alto-falante se encontra o amplificador e nele o gerador de função. O *setup* do equipamento é feito utilizando inicialmente a frequência de 500Hz, após a leitura com a sonda de varredura no interior do tubo é então alterada a frequência para 1000Hz, e assim será até 2000Hz. Cada varredura no interior do tubo feita pela sonda, capta as diferentes pressões sonoras, que são armazenadas em um banco de dados. O resultado é obter um banco de dados das pressões sonoras de 500Hz, 1000Hz e 2000Hz. A figura 6.1 e 6.2 mostram o experimento do tubo de impedância detalhado.

Figura 6.1 – Fonte Sonora Acoplada ao Tubo de Impedância



Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

Figura 6.2 – Extremidade Oposta a Fonte Sonora com Tampa de Vedação



Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

O primeiro passo é estabelecer o critério de limites experimentais, e com isso, é necessário estabelecer o critério do comprimento $l = 1000\text{ mm}$ e diâmetro do tubo $d = 100\text{ mm}$ que farão parte do experimento. O cálculo para este trabalho de pesquisa pode ser mostrado na tabela 6.1, que contém a frequência de trabalho, o comprimento de onda e a frequência de corte.

Tabela 6.1 – Fatores de Construção do Experimento Calculado

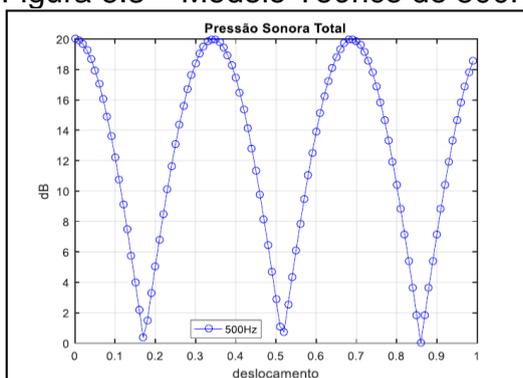
f	λ	f_c (Hz)
63	5,5040	2.616,5900
125	2,7520	
250	1,3760	
500	0,6880	
1.000	0,3440	
2.000	0,1720	
4.000	NA	

Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

Note que na tabela 6.1 são mostrados os resultados de cada frequência de trabalho relativo ao comprimento de onda e do resultado da frequência de corte. Observa-se que, dado os resultados das frequências de trabalho deste experimento que devem ser utilizadas são: 500Hz; 1000Hz e 2000Hz.

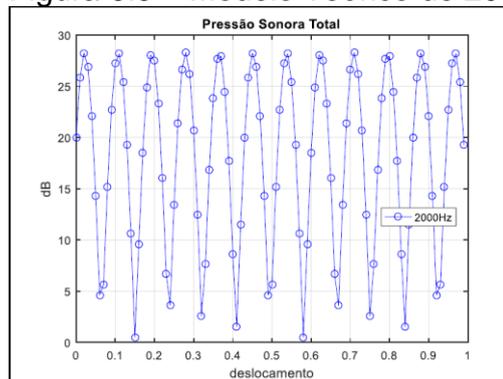
O resultado da sonda, no interior do tubo estabeleceu um resultado que é possível de se analisar, propondo a fundamentação de similaridade entre o modelo teórico e o modelo experimental. O modelo teórico utiliza o conceito do princípio de reflexão e transmissão em dois meios para se obter as figuras 6.3, 6.4 e 6.5, o qual correspondem respectivamente ao resultado do modelo teórico de 500Hz, 1000Hz e 2000Hz.

Figura 6.3 – Modelo Teórico de 500Hz



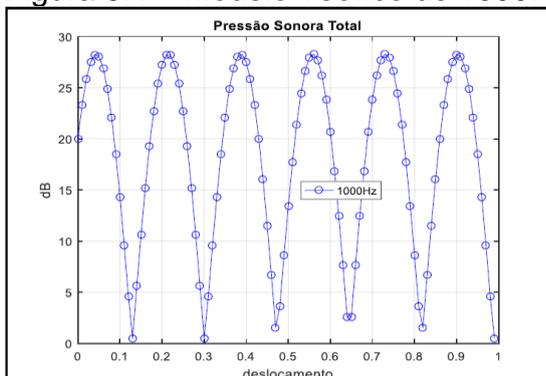
Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

Figura 6.5 – Modelo Teórico de 2000Hz



Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

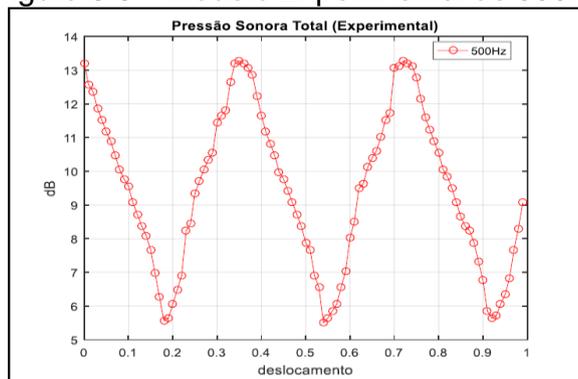
Figura 6.4 – Modelo Teórico de 1000Hz



Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

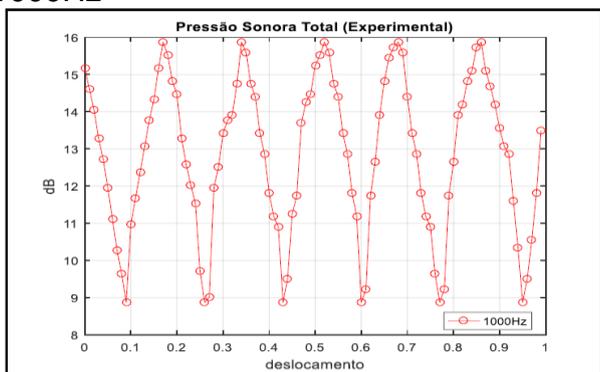
O resultado experimental da medição da pressão sonora pode ser visto nas figuras 6.6, 6.7 e 6.8.

Figura 6.6 – Modelo Experimental de 500Hz



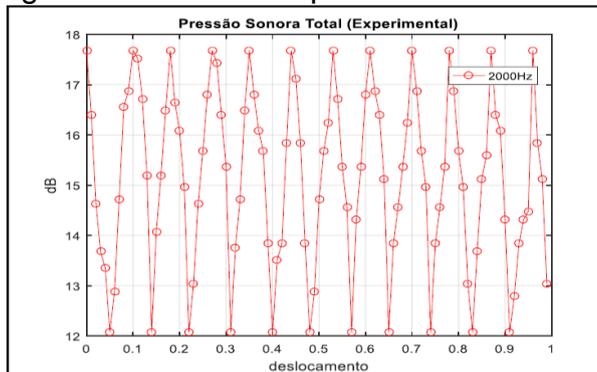
Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

Figura 6.7 – Modelo Experimental de 1000Hz



Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

Figura 6.8 - Modelo Experimental de 2000Hz



Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

A tabela 6.2 mostra o resultado das pressões mínimas do modelo teórico e modelo experimental. O cálculo dos nodos utiliza a equação $x_{min,n} = \frac{(2n-1)\lambda_0}{4}$ (para $n = 1, 2, \dots, n$) (ISO10534-1:1996, 1996).

Tabela 6.2 – Resultado das Pressões Mínimas do Modelo Teórico e Experimental
Localização da Pressão Mínima do Modelo Teórico e Experimental

500Hz		1000Hz		2000Hz	
Modelo Teórico	Modelo Experimental	Modelo Teórico	Modelo Experimental	Modelo Teórico	Modelo Experimental
17	18	13	9	6	5
52	54	3	26	15	14
86	92	47	46	24	22
		65	60	32	31
		82	77	41	4
		99	95	49	48
				58	57
				67	65
				75	74
				84	83
				92	91
				99	99

Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

Na tabela 6.2 as diferenças de localização são existentes e podem ser explicadas considerando a limitação do experimento. Neste experimento foram coletadas 100 amostras de pressão acústica internamente ao tubo, pela sonda com microfone, e utilizando o teorema do cálculo amostral finito, seriam necessárias 94 amostras que garantiriam 95% do nível de confiança com erro amostral de 2%. Portanto, é possível afirmar que o tamanho da amostra é válido para o resultado obtido. A tabela 6.3 mostra o resultado da média e variância do resultado das pressões sonoras experimental para 500Hz, 1000Hz e 2000Hz.

Tabela 6.3 – Valores de Média e Variância das Pressões Sonoras

Calculo da média e variancia do experimental

	media	variancia
500Hz	1207	33,46
1000Hz	1198	30,09
2000Hz	1189	21,75

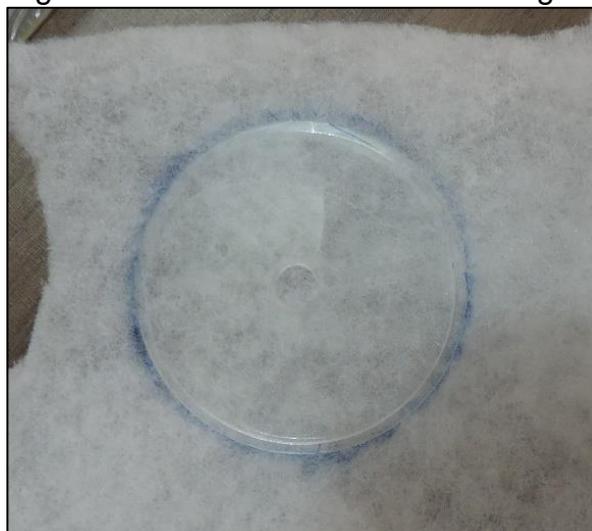
Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

7 RESULTADO

Após processo de caracterização do experimento, cuja finalidade foi a de calibrar o experimento e entender o comportamento do mesmo para que, o experimento seja utilizado para a captação das pressões sonoras com as amostras da fibra de PET. A lã de PET utilizada foi a lã comercial, encontrada comumente no mercado nacional e tem a especificidade de densidade de 25 kg/m³ e espessura de 150mm.

A princípio as amostras foram desenvolvidas respeitando a espessura do material e cortando-a com a geometria adequada ao diâmetro do tubo do experimento (100 mm). A figura 7.1, mostra o formato geométrico da amostra com um gabarito de referência.

Figura 7.1 – Corte da Lã de Pet com gabarito de referência



Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

Na figura 7.2 é mostrado a amostra já cortada geometricamente conforme o diâmetro do tubo.

Figura 7.2 – Amostra da Lã de Pet na geometria do tubo



Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

A figura 7.3 mostra a montagem de duas amostras dentro do tubo de impedância que pode ser visto através de uma vista de planta ou lateral (lado esquerdo da figura 7.3) e uma vista frontal ao tubo (lado direito da figura 7.3). A espessura da amostra é de 150mm, variando conforme a sua superfície axial, pertencente ao próprio material, que em determinadas regiões demonstra grande variação para maior

Figura 7.3 – Montagem de 2 amostras sobrepostas internamente ao tubo.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

A experimentação tem início utilizando somente 1 amostra, cujas captções da pressão sonora internamente ao tubo, permitiram o entendimento do comportamento de absorção sonora. Após é inserida a 2ª amostra, sobreposta a primeira para a captação da pressão sonora. A tabela 7.1 mostra as pressões sonoras internamente ao tubo do experimento, para as frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, respectivamente a 1 amostra e a 2 amostras.

Tabela 7.1 – Pressões Sonoras Internas ao Tubo de Impedância

Amostras	Pressão Interna ao Tubo	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
1 amostra no tubo	Pressão máxima (dB)	76	78	75
	Pressão mínima (dB)	55	61	52
2 amostras no tubo	Pressão máxima (dB)	76	80	77
	Pressão mínima (dB)	58	64	53

Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

O coeficiente de absorção sonoro da lã de PET pode ser mostrado na tabela 7.2.

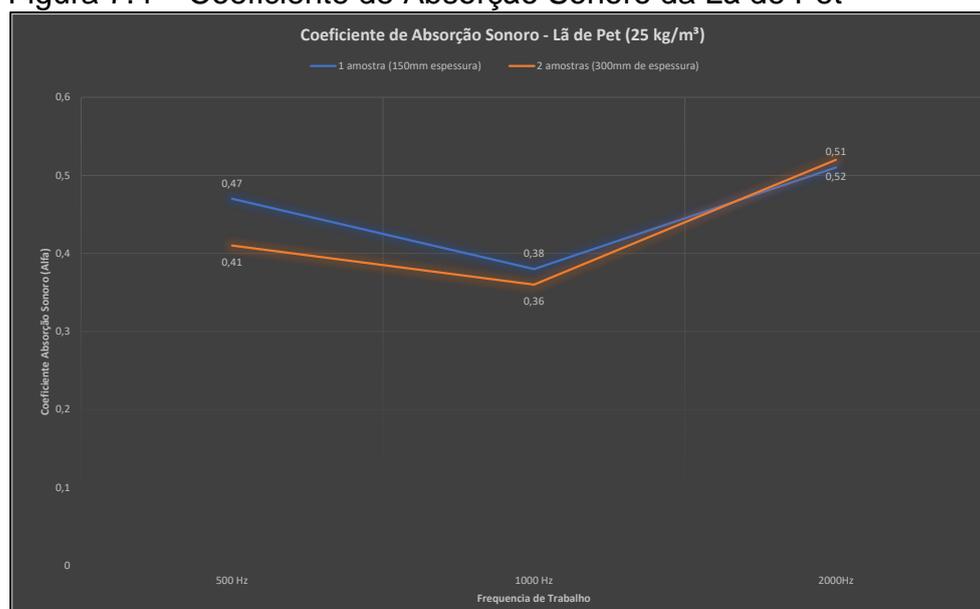
Tabela 7.2 – Coeficiente de Absorção Sonoro da Lã de Pet

Amostras	Coeficiente de Absorção Sonoro		
	500 Hz	1000 Hz	2000Hz
1 amostra (150mm espessura)	0,47	0,38	0,51
2 amostras (300mm de espessura)	0,41	0,36	0,52

Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

A figura 7.4 mostra o resultado isolado de 1 amostra e de 2 amostras, considerando o coeficiente de absorção sonoro.

Figura 7.4 – Coeficiente de Absorção Sonoro da Lã de Pet

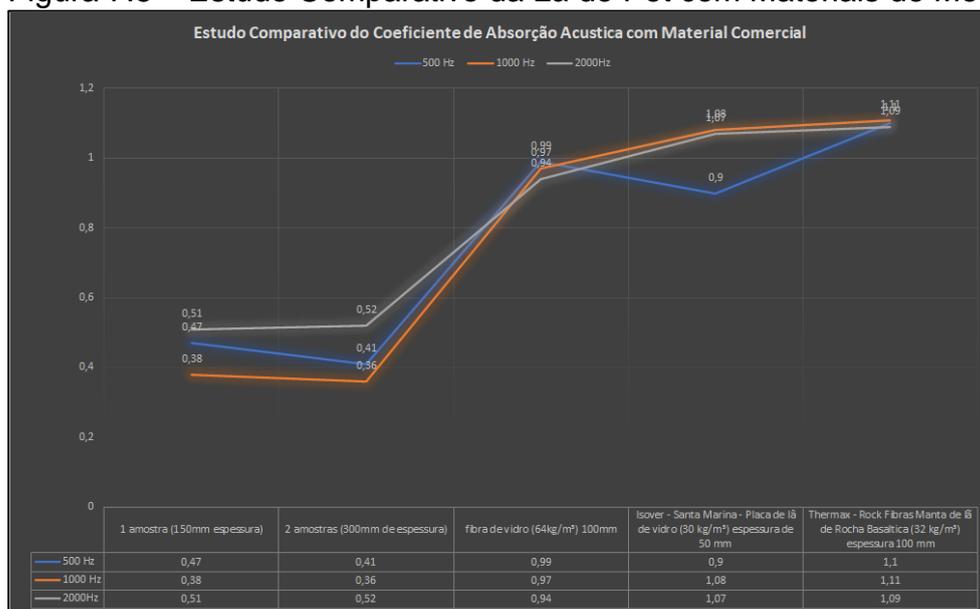


Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

A figura 7.5 mostra um estudo comparativo dos valores do coeficiente de absorção sonoro de mercado para os produtos Isover – Santa Maria e Thermax – Rock Fibras para

as frequências 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz.

Figura 7.5 – Estudo Comparativo da Lã de Pet com Materiais de Mercado



Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

8 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A norma ISO10534-1:1996 demonstra como deve ser construído o experimento do tubo de impedância com seus fatores limitantes, seguiu-se a orientação da construção e da metodologia estabelecidas para o comprimento de onda e frequência de corte. Nesta fase as características que devem ser analisadas é a localização dos pontos nodais do modelo teórico e do modelo experimental. Através das referências das diferentes pressões sonoras, os pontos nodais do modelo experimental podem ser avaliados, dada a referência do modelo teórico. O resultado da diferença entre o modelo teórico e experimental é considerado pelo erro experimental sistemático ligado a calibração do sistema dinâmico. A adoção do erro sistemático experimental foi necessária, pois todo o modelo real tem perdas e são acessíveis atuação das forças externas ao sistema. Com isso, as amplitudes da pressão sonora entre os dois modelos também possuem diferenças.

O tamanho da amostra é avaliado pelo teorema de amostral finito, cuja condição, permite que para 100 amostras coletadas, 94 seriam satisfatórias. Resultando na análise de que o erro amostral é de 2% com nível de confiança de 95%, permitindo assim a aceitação do tamanho amostral. Outro fator importante é o cálculo da média e variância dos diferentes sinais de pressão sonora, oriundas das frequências de 500Hz, 1000Hz e 2000Hz.

A segunda fase está condicionada a análise das diferentes pressões sonoras internamente ao tubo de impedância do experimento montado. Neste caso, foram introduzidas uma amostra por vez, cujos resultados do coeficiente de absorção sonoro foram encontrados para as frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, com variação entre 0,36 a 0,52. Note que o material adquirido como amostra é um material de mercado encontrado comumente nas lojas de comercio. Considerando este fato, as amostras utilizadas não foram trabalhadas para uma melhor obtenção de resultado de absorção sonora.

A tabela 1 que contém as informações do coeficiente de absorção sonoro com 1 amostra e 2 amostras, das frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, demonstraram uma boa absorção, pois os respectivos valores encontrados, possuem capacidade de melhora se existir um preparo do material. Já a tabela 2, mostra uma relação do material da lã de pet com os materiais já reconhecidos de mercado, cujo resultado demonstra que, o material

lã de pet é inferior ao material de mercado, considerando apenas o coeficiente de absorção sonora. Neste caso, é importante salientar que tanto a espessura e densidade dos materiais em comparação são diferentes e podem ter sido tratados para uma melhor absorção sonora.

9 CONCLUSÃO

Utilizamos a revisão bibliográfica e exploratória para apresentar a economia circular como forma de economia viável para continuarmos a produzir e desfrutar dos benefícios dos produtos derivados do plástico na qual a cadeia produtiva é realizada em ciclos fechados, ou seja, a matéria prima é o resultado gerado a partir de um processo de reciclagem.

Nas fases seguintes, utilizamos da pesquisa experimental para verificação da qualidade do material proposto (Lã de PET) como absorvedor acústico.

Na primeira fase destinada à caracterização do experimento referido na norma ISO10534-1:1996, concluímo-la e obtivemos resultado possível de se analisar, propondo a fundamentação de similaridade entre o modelo teórico e o modelo experimental.

Na segunda fase, obtivemos a absorção sonora com as amostras da fibra de PET. Obtivemos resultados satisfatórios considerando que as medições foram feitas em um material que chamaremos aqui de puro, ou seja, sem o tratamento para uma melhor absorção acústica. Portanto, os resultados encontrados aqui são de grande relevância e importante a comunidade científica, pois a partir do estudo deste material, é possível que introduzindo outros materiais e agentes químicos, a performance de absorção sonora do material possa melhorar.

Evidenciamos também a importância deste estudo como incentivo à reciclagem do lixo doméstico, por obtermos como resultado a possibilidade de uma função secundária para um material tão presente em nossas vidas como o plástico; sendo assim, também observamos a possibilidade de agregar valor econômico às usinas de tratamento de lixo e seus *stakeholders*.

Para a engenharia acústica, os painéis montados com lã de pet, já auxiliariam na condição de melhora de ruído, pois se aplicado em salas de aula, em corredores, em locais específicos com posicionamento correto, a qualidade sonora melhora acentuadamente.

Os painéis acústicos de lã de pet, se bem desenvolvidos, poderão satisfazer o mercado como um novo produto, possibilitando ao comerciante e a engenharia acústica novos produtos alternativos de programas de sustentabilidade.

Portanto, o estudo cumpriu seu objetivo ao demonstrar uma função secundária à garrafa de pet, utilizando-a como um painel acústico, considerando a Economia circular e sua importância para a sociedade no atual cenário do mercado, unindo o desenvolvimento econômico ao uso consciente de recursos naturais, explorando novos negócios que possuem uma fabricação independente de matéria-prima virgem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A CARTA DA TERRA. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~dga.pcu/Carta%20da%20Terra.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2022.

ARANHA, R. V. **Análise técnica via tubo de impedância e estudo sustentável da lã de pet como substituta de materiais comerciais em aplicações acústicas.** Porto Alegre: UFRGS, 2019. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/197401>. Acesso em: 03 set. 2022.

BCSD - **Business Council for Sustainable Development.** Portugal [2022?]. Disponível em: <https://bcsdportugal.org/economia-circular/> Acesso em 24 set. 2022.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído.** São Paulo: Edgard Blucher, 2011.

BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é: o que não é.** Petrópolis, RJ. Editora Vozes, 2012.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. **Economia circular: entenda o que é, suas características e benefícios.** CNI. 2022. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/economia-circular/>. Acesso em: 27 ago. 2022.

CROCKER, M. J. **Handbook of noise and vibration control.** Hoboken: John Wiley & Sons, 2007.

ELLEN MACARTHUT FOUNDATION. **Towards The Circular Economy. Economic and business rationale for an accelerated transition.** Nationalgrid. Disponível em: https://www.werktrends.nl/app/uploads/2015/06/Rapport_McKinsey-Towards_A_Circular_Economy.pdf. Acesso em 29 mar. 2022.

FORREST, M., **Recycling of Polyethylene Terephthalate,** Smithers Information Ltd, Shropshire, 2016. 348p.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle.** 2. ed. Florianópolis: NR Consultoria e Treinamento, 2000.

HUMANA PORTUGAL. **Jornada técnica sobre economia circular,** Prémios Humana Circular. Portugal, Sintra: Palácio Valenças, 2019. Disponível em: http://m.smartwasteportugal.com/fotos/editor2/jornada_economia_circular_programa_provisorio.pdf. Acesso em: 27 ago. 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10534-1:1996: Determinação do coeficiente de absorção de som e impedância em tubos de impedância** - Parte I Método usando relação de onda estacionária. 1996.

IPCC - Intergovernment Panel Climate Change. **Climate change: a threat to human wellbeing and health of the planet. Taking action now can secure our future.** IPCC Press Release. 2022. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/press/IPCC_AR6_WGII_PressRelease-English.pdf. Acesso em: 27 ago. 2022.

KINSLER, L. E., FREY, A.R., COPPENS, A.B., SANDERS, J.V., **Fundamentals of Acoustics**. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 1999. 548 p.

LEITÃO, A. **Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI**. PJFMA, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.14/21110> Acesso em 27 ago. 2022.

OUTA, R. **Caracterização do Experimento do Tubo de Impedância de um Microfone** – Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, 2015, Araçatuba – São Paulo. Disponível em: http://bt.fatecsp.br/system/articles/990/original/artigo_Caract_tuboimp_4folhas_rev03.pdf. Acesso em: 18 set 2022.

OUTA, R. CHAVARETTE, F.R., Caracterização do Experimento do Tubo de Impedância de Um Microfone, **Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo**, v.3, n.BT39, 16-19p. 2015. Visto em:<<http://bt.fatecsp.br/media/bulletins/BT39-v3.pdf>>.

OUTA, R. **Estudo e análise do coeficiente de absorção acústico do compósito da fibra de cana**. 2014. 70 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/113856>>. Acesso em: 18 set 2022.

PASSOS, P. N. C. **A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente**. Direitos fundamentais e democracia. Curitiba, vol. 6. UniBrasil. 2009. Disponível em: <https://revistaeletronicardfd.unibrasil.com.br/index.php/rdfd/article/view/18/17>. Acesso em: 03 set. 2022.

VISAKH, P.M., LIANG, M., **Poly(Ethylene Terephthalate) Based Blends, Composites And Nanocomposites**. Oxford: Elsevier: 2015. 244p.

VOET, V., JAGER, J., FOLKERSMA, R., **Plastics in the Circular Economy**. Berlin: Walter de Gruyter GmbH, 2021. 300p.

WEETMAN, C. **Economia circular: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa** / tradução Afonso Celso da Cunha Serra. 1. ed. São Paulo: Autêntica Business. 2019. Disponível em: <https://grupoautentica.com.br/download/extras/economia-circular-cap-1.pdf>. Acesso em 08 mar. 2022.

WORLD COMISSION ON ENVIROMENTAL AND DEVELOPMENT (WCED). **Our common future**. Oxford: Oxford. University Press, 1987. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>. Acesso em: 03 set. 2022.