

Determinação das principais referências no desenvolvimento de produtos utilizando materiais descartados e alinhados com os conceitos da economia circular

Determination of the main references in the development of products using discarded materials and aligned with the concepts of the circular economy

Determinación de los principales referentes en el desarrollo de productos utilizando materiales de desecho y alineados con los conceptos de economía circular.

Felipe Augusto Contador

Mestre em Eng. Produção, Doutorando, PUC PR, Brasil.
felipe_conta1993@yahoo.com.br

Leonardo Biesek de Oliveira

Bacharel em Eng. De Produção, PUC PR, Brasil.
leonardo.biesek@pucpr.edu.br

Ubiratã Tortato

Professor Doutor, PUC PR, Brasil.
ubirata.tortato@pucpr.br

Osiris Canciglieri Junior

Professor Doutor, PUC PR, Brasil.
osiris.canciglieri@pucpr.br

RESUMO

Em poucos anos devido à aceleração do consumo de mercadorias e ao vasto desperdício imediato de alimentos e produtos a máxima capacidade dos aterros sanitários do planeta será atingida (VAPNIK, 2020). Reutilização, logística reversa, engenharia reversa e criação de itens remanufaturados são passos necessários para evitar essa calamidade. Este estudo usa uma revisão sistemática da literatura em conjunto com a análise crítica de conteúdo para identificar os principais pesquisadores e autores, suas contribuições e suas limitações no que diz respeito ao desenvolvimento de produtos sustentáveis construídos ou fabricados a partir de materiais descartados (resíduos). A seleção das questões de pesquisa, bem como os termos e padrões de busca empregados nas bases de dados científicas para encontrar publicações relevantes, serviram de base para a revisão sistemática. As buscas iniciais nas bases de dados científicas resultaram em 6.691 artigos escolhidos. Ao final das etapas de filtragem, 14 artigos foram considerados os mais pertinentes ao tema de estudo sugerido, após terem sido submetidos a análise abrangente e critérios de inclusão/exclusão. Os resultados da revisão sistemática da literatura foram validados por uma análise de regressão. A pesquisa produziu um apanhado minucioso dos trabalhos científicos sobre o tema de pesquisa publicados nos últimos dez anos. A compreensão dos conceitos, abordagens, tecnologias e metodologias, bem como suas aplicações e limitações na resolução dos problemas do processo de desenvolvimento de produtos usando materiais descartados foi ampliada pela identificação das pesquisas mais recentes e pertinentes, e autores marcantes.

PALAVRAS-CHAVE: Design de Produto. Sustentabilidade. Destinação de Resíduos. Economia Circular.

ABSTRACT

The capacity of landfills on the planet will be reached in a few years due to the acceleration of consumption of goods and the vast immediate waste of food and products (VAPNIK, 2020). Reusing resources, using reverse logistics, using reverse engineering and creating remanufactured items are all necessary steps to avoid this calamity. This study uses a systematic literature review in conjunction with critical content analysis to identify key researchers and authors, their contributions, and their limitations with regard to the development of sustainable products built or manufactured from recycled materials (waste). The selection of research questions, as well as the terms and search patterns used in scientific databases to find relevant publications, served as the basis for the systematic review. Initial searches in scientific databases resulted in 6,691 selected articles. After a few selections steps, 14 articles were considered the most relevant to the suggested study topic, after being subjected to comprehensive analysis and inclusion/exclusion criteria. The results of the systematic literature review were validated by a regression analysis. The research produced a detailed overview of the scientific works on the research topic published in the last ten years. The understanding of concepts, approaches, technologies and methodologies, as well as their applications and limitations in solving problems in the product development process using discarded materials and circular economy principles, was expanded by identifying the most recent and pertinent research and authors.

KEY WORDS: Product Design. Sustainable. Waste Disposal. Circular Economy.

RESUMEN

La capacidad de los vertederos del planeta se alcanzará en unos años debido a la aceleración del consumo de bienes y al enorme desperdicio inmediato de alimentos y productos (VAPNIK, 2020). Reutilizar recursos, utilizar logística inversa, utilizar ingeniería inversa y crear artículos remanufacturados son pasos necesarios para evitar esta calamidad. Este estudio utiliza una revisión sistemática de la literatura junto con un análisis de contenido crítico para identificar investigadores y autores clave, sus contribuciones y sus limitaciones con respecto al desarrollo de productos sustentables construidos o fabricados a partir de materiales reciclados (residuos). La selección de las preguntas de investigación, así como los términos y patrones de búsqueda utilizados en las bases de datos científicas para encontrar publicaciones relevantes, sirvieron de base para la revisión sistemática. Las búsquedas iniciales en bases de datos científicas arrojaron 6.691 artículos seleccionados. Después de algunos pasos de selección, 14 artículos fueron considerados los más relevantes para el tema de estudio sugerido, luego de ser sometidos a un análisis exhaustivo y a criterios de inclusión/exclusión. Los resultados de la revisión sistemática de la literatura fueron validados mediante un análisis de regresión. La investigación produjo una descripción detallada de los trabajos científicos sobre el tema de investigación publicados en los últimos diez años. Se amplió la comprensión de conceptos, enfoques, tecnologías y metodologías, así como sus aplicaciones y limitaciones en la resolución de problemas en el proceso de desarrollo de productos utilizando materiales desechados y principios de economía circular, identificando las investigaciones y autores más recientes y pertinentes.

PALABRAS CLAVE: Diseño de producto. Sostenible. Deposito de basura. Economía circular.

1 INTRODUÇÃO

A produção e consumo excessivo de produtos tem gerado um impacto negativo significativo no meio ambiente e na sociedade, motivando a busca por soluções sustentáveis de produção (ABRELPE, 2018). O desenvolvimento de produtos sustentáveis é uma das formas de lidar com este problema, uma vez que busca reduzir o impacto ambiental desde a sua concepção até o descarte final (ABALANSA, 2021). Neste contexto, a sustentabilidade e a economia circular têm sido temas recorrentes na literatura acadêmica. A economia circular é um Sistema econômico e industrial que visa reduzir o lixo através da reutilização de recursos (MACARTHUR, 2019), priorizando insumos mais duráveis, recicláveis e renováveis. Segundo a Organização Internacional de Normalização (ISO), “é um sistema econômico que utiliza uma abordagem sistêmica para manter o fluxo circular dos recursos, por meio da adição, retenção e regeneração de seu valor, contribuindo para o desenvolvimento sustentável”. A reciclagem e a reutilização de materiais podem reduzir a extração de recursos naturais e minimizar a quantidade de resíduos gerados, contribuindo para a sustentabilidade Ambiental (DE MELO SILVA, 2020). Além disso, o desenvolvimento de produtos com foco na sustentabilidade tem sido uma estratégia adotada por diversas empresas para contribuir com a economia circular. A adoção de práticas sustentáveis na produção de bens e serviços pode trazer benefícios não apenas para o meio ambiente, mas também para a economia e a sociedade como um todo, criando oportunidades de negócios e empregos (KHAN, 2022). Nesse sentido, este artigo tem como objetivo analisar a partir de uma revisão sistemática da literatura, a relação do que já existe entre economia circular, descarte de resíduos, desenvolvimento de produto e sustentabilidade, e realizar uma classificação dos artigos e autores mais relevantes encontrados neste universo de pesquisa.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Este referencial tem objetivo apresentar os principais aspectos da discussão que se desenvolve neste artigo.

2.1 Descarte de Resíduos

O descarte de resíduos em depósitos é uma das formas mais comuns de gerenciamento de resíduos sólidos no mundo, consistindo na disposição final dos resíduos em um local determinado (TCHOBANOGLIOUS ET AL., 2014). Entretanto, a gestão adequada do descarte de resíduo é fundamental para evitar danos ambientais e à saúde humana, bem como para cumprir as regulamentações governamentais (ARAÚJO ET AL., 2019). A disposição final dos resíduos em um depósito de lixo pode ser feita por meio de técnicas como aterro sanitário. O aterro sanitário é o método mais comum e consiste na construção de uma base impermeável para evitar a contaminação do solo e da água subterrânea, com a adição de camadas de lixo compactadas e cobertura diária com terra (TCHOBANOGLIOUS ET AL., 2014). Diante dos impactos negativos que o descarte de resíduo pode gerar, é fundamental buscar alternativas mais sustentáveis para o gerenciamento de resíduos sólidos, e isso pode ser feito utilizando o conceito dos 3R's da Sustentabilidade: Reduzir, Reutilizar e Reciclar. O uso dessas três diretrizes ajudará a promover o desenvolvimento sustentável e a diminuir os efeitos negativos da atividade humana no meio ambiente. Usar menos recursos e produzir menos resíduos é chamado de redução. Isso pode

ser feito por meio da implementação de dispositivos com eficiência energética, (BREZET E VAN HEMEL, 2019).

2.2 Desenvolvimento de Produto

O processo de projetar, produzir e lançar novos produtos no mercado é conhecido como desenvolvimento de produto. Geração de ideias, desenvolvimento de conceito, design de produto, prototipagem, teste e lançamento são apenas alguns dos processos envolvidos. O objetivo do desenvolvimento de produto é fornecer bens que satisfaçam os requisitos e preferências do consumidor e, ao mesmo tempo, produzam lucro para o negócio (ULRICH E EPPINGER, 2021). O desenvolvimento do produto é um processo de várias etapas que requer a cooperação de várias partes interessadas, incluindo designers, engenheiros, profissionais de marketing e clientes (CHAPMAN E WARD, 2018). Na produção de novos produtos, as empresas também devem levar em consideração tempo, recursos e custos. Recentemente, estão sendo abordadas muitas discussões a respeito da criação de um design de produto sustentável, para que com ele seja possível projetar e produzir bens com o menor impacto ambiental possível, ao mesmo tempo em que satisfaz os desejos e preferências do consumidor (GÖLGECI ET AL., 2018).

2.3 Economia Circular

Pesquisadores e profissionais estão se tornando cada vez mais interessados no conceito da economia circular como uma estratégia promissora para promover o desenvolvimento sustentável. A economia circular é um sistema econômico regenerativo que tenta minimizar a produção de resíduos, fechar ciclos de materiais e manter os recursos em uso pelo maior tempo possível. Essa estratégia apoia a mudança para uma sociedade sustentável, tentando desacoplar o crescimento econômico, com o esgotamento de recursos e da deterioração ambiental (BANDEIRA ET AL., 2022; MURRAY ET AL., 2017). A implementação de uma economia circular não é isenta de dificuldades. Os produtos devem ser planejados para vários ciclos de vida. Além disso, para a economia circular, deve-se dar atenção especial ao desenvolvimento de materiais, design, estratégias de negócios e procedimentos de recuperação (JOUSTRA, 2022).

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

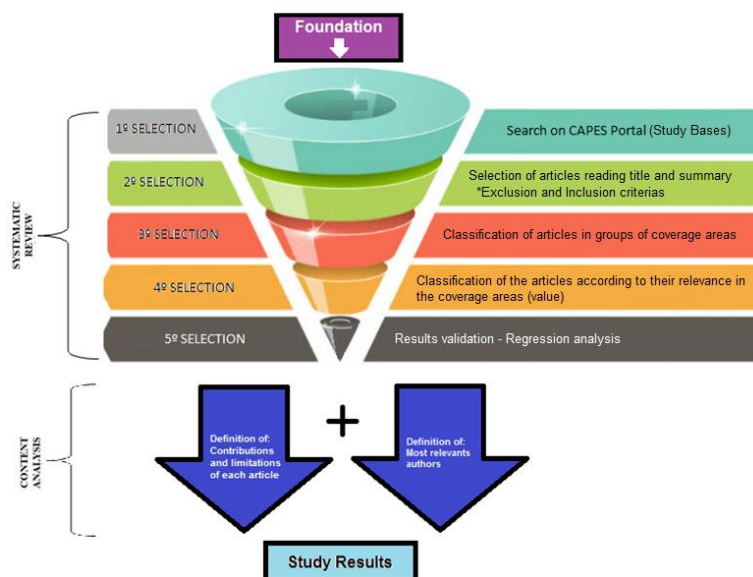
Dois processos conceituais, uma revisão sistemática e uma análise de conteúdo (Figura 1), foram usados para projetar a abordagem do estudo. Além disso, o trabalho de Contador (2021) foi utilizado para servir de base para aplicação do estudo.

3.1 Revisão Sistemática

O potencial para estudos adicionais foi reconhecido, e as questões de pesquisa e seleção de palavras-chave foram baseadas em uma pesquisa preliminar (Fundação) em artigos relacionados ao tema de estudo. A revisão sistemática da literatura foi dividida em 6 etapas: I. Identificação das questões de pesquisa; II. Identificação de palavras-chave (pilares de pesquisa); III. Definir o tipo de relacionamento entre as palavras-chave; IV. Pesquisa de artigos em bases de dados científicas; V. Analisar títulos e resumos para selecionar artigos com base em critérios

de inclusão/exclusão; V. Classificar os artigos selecionados em grupos de acordo com o escopo-Simultaneidade; VI. Comprovar eficiência e assertividade da refinação dos artigos a partir do cálculo de uma regressão linear.

Figura 1 – Metodologia de pesquisa



Fonte: Os autores, 2023.

3.1.1 Identificação das questões de pesquisa

A escolha das questões de pesquisa busca encontrar as principais publicações científicas sobre o tema sugerido. Três questões de pesquisa foram desenvolvidas tendo como base o estudo de Contador (2021):

- i) "Quais são as pesquisas recentes e relevantes que abordam o desenvolvimento de produtos utilizando materiais descartados como matéria-prima aplicando processos produtivos sustentáveis e que sejam aderentes aos conceitos da economia circular?"
- ii) "Quais são os autores mais relevantes e quem mais contribuiram recentemente para este tema de pesquisa?"
- iii) "Quais são as contribuições e limitações das pesquisas filtradas identificadas como as mais relevantes?"

3.1.2 Determinação das palavras-chave

A definição das palavras-chave, que formam a base da pesquisa, foram baseadas nas questões de pesquisa sugeridas através da fundação (etapa anterior de pesquisa), buscando representar todo campo de estudo buscado. Para melhor abordar os temas sugeridos, foram adicionadas palavras conexas às palavras-chave "Descarte de Resíduos", "Desenvolvimento de Produtos", "Sustentabilidade" e "Economia Circular". Com base na pesquisa de Contador et al. (2021), foi adicionado o pilar de pesquisa "Economia Circular". O Thesaurus, um dicionário online, foi utilizado para encontrar todos os termos que possam estar relacionados com as

palavras-chaves (THESAURUS, 2022). 30 termos puderam ser identificados neste ponto, 20 dos quais representavam o "desenvolvimento de produto", sete referentes ao "descarte de resíduos", dois à "Economia Circular" e apenas um sobre a sustentabilidade. O pilar de pesquisa da sustentabilidade apresentava 2 palavras, "Sustainable" e "Sustainability". Ao analisar em detalhes, os autores constataram que todos os resultados encontrados nas bases de dados (CAPES/MEC) e SciVerse Scopus com a palavra "Sustainability" estavam presentes em "Sustainable", portanto, para evitar duplicidades, foi utilizado somente 1 destas palavras-chave. As palavras-chave definidas e seus termos associados são exibidos no Quadro 1.

Quadro 1 – Palavras-chave e suas palavras correlatas.

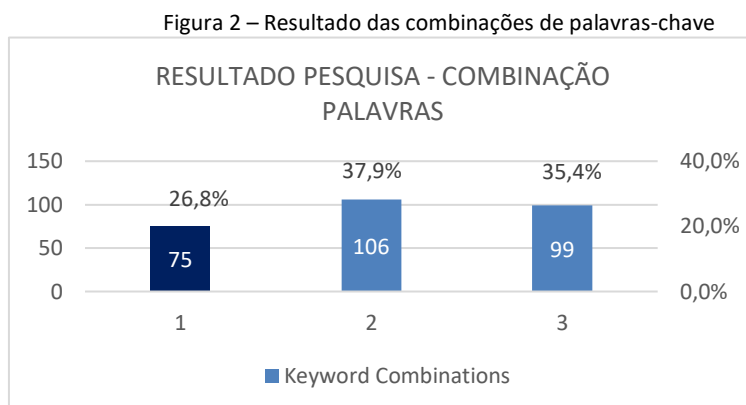
| PRODUCT DEVELOPMENT | WASTE DISPOSAL | CIRCULAR ECONOMY | SUSTAINABILITY |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| Product Design | trash | Circular Economy | Sustainable |
| Ecological Design | litter | Circularity | |
| Design for Environment | disposal | | |
| Environmentally Design | scum | | |
| Design for Sustainability | residue | | |
| Manufacturing Design | sweepings | | |
| Design Assessment | waste | | |
| Embedded Design | | | |
| Design for Disassembly | | | |
| Green Design | | | |
| Life Cycle of the Product | | | |
| Developing New Product | | | |
| Concurrent Engineering | | | |
| Product Project | | | |
| Design Innovation | | | |
| Integrated Design | | | |

Fonte: Os autores, 2023.

3.1.3 Busca de artigos nas bases de dados científicas

Essa fase foi concluída dentro das plataformas de pesquisa Portal CAPES/MEC (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e SciVerse Scopus que incluem uma biblioteca virtual de títulos científicos e textos completos. As plataformas oferecem "parâmetros de busca" (filtros) que possibilitam a descoberta eficiente de artigos pertencentes aos temas desejados. Nesta etapa foram utilizados os seguintes filtros: i) grupos de palavras-chave e seus sinônimos ligados pelo conector "AND"; ii) datas de publicação, que se limitaram aos anos de 2012 a 2023; iii) tipo de material, que eram artigos; iv) artigos escritos em inglês; e v) publicações revisadas por pares (todos os artigos presentes na plataforma Scopus, já são revisados por pares). A base de dados foi preenchida com as 280 combinações de palavras determinadas na etapa anterior, e os resultados da busca, mostrados na Figura 2, revelaram que apenas 75 das 280 combinações de palavras (26,8%) renderam artigos relevantes para o tema de pesquisa sugerido (destacado em uma cor diferente dos outros resultados). Enquanto as publicações que foram localizadas na base científica, mas não atenderam aos critérios de exclusão especificados, 37,9% (106 combinações de palavras) não produziram resultados significativos. 99 combinações, ou 35,4% do total, não produziram resultados. Foram escolhidos 6,691 artigos pertencentes ao tema desta pesquisa, de um total de 75 combinações pertinentes

aos temas do estudo. Os artigos escolhidos serviram de base para o estudo e foram encaminhados para as etapas seguintes.



Fonte: Os autores, 2023.

3.1.4 Análise Artigos filtrados – Critérios Inclusão/Exclusão

Por meio de critérios de inclusão e exclusão, os artigos escolhidos na etapa anterior foram refinados nesta fase. Os critérios de seleção foram baseados conforme o Quadro 2, focando em tópicos relacionados ao desenvolvimento de produtos a partir de recursos reutilizados. Os requisitos estabelecidos para esta etapa são apresentados a seguir.

Quadro 2 – Critérios Inclusão/Exclusão

| Critérios de Inclusão de Artigos | Critérios de Exclusão de Artigos |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Todo artigo científico que contenha o tema do descarte de lixo relacionado com o desenvolvimento de produtos, com foco na reutilização de matérias/otimização processos e economia circular. | Artigos químicos, físicos e biológicos sobre o lixo, seus efeitos, aplicações. |
| | Detalhamento de materiais com foco em descoberta de novos produtos, como plásticos polímeros, fibras. |
| Formas de gerenciamento correto da geração de resíduos, com foco na diminuição/extinção da produção de lixo em indústrias e cidades e com foco na economia circular. | Leis e resoluções políticas sobre lixo, economia circular e fim de ciclo de vida do produto |
| Artigos publicados somente entre 2013 e 2023-Últimos 10 anos compreendem as maiores descobertas e crescente avanço nas pesquisas na área estudada. Artigos muito antigos apresentam informações ultrapassadas, com conceitos e métodos não mais utilizados, o que poderia confundir o autor. | Artigos que não forem revisados por pares. |
| | Artigos com contas matemáticas muito avançadas mostrando equações que podem ser utilizadas para gerenciar, diminuir ou reaproveitar resíduos, sem estas estarem acompanhadas por frameworks ou explicações de como são utilizadas/aplicadas as fórmulas matemáticas. |
| | Artigos que foquem somente na definição da economia circular, sem envolver o conceito com a reutilização/reaproveitamento de materiais e resíduos em indústrias e empresas. |

Fonte: Os autores, 2023.

Após aplicação dos critérios aos 6.691 artigos selecionados e leitura de seus resumos, foram selecionados 154 artigos pertinentes ao tema da pesquisa. Feito o refinamento para duplicidade, foram eliminados 23 artigos, totalizando 131 artigos escolhidos nesta etapa. Em relação às fontes de referência, temas de estudo, ano de publicação e distribuição geográfica, 131 artigos foram selecionados para análise. O número de artigos publicados em cada ano é apresentado na Figura 3, o que demonstra que de 2013 a 2018 as publicações foram essencialmente consistentes, com ligeiro aumento de publicações a cada ano. As publicações sobre o tema do estudo aumentaram significativamente desde 2018, demonstrando a continuidade da relevância e crescimento do tema. Houve uma pequena queda em relação a 2021 e 2022, mas a quantidade se manteve alta. Apesar da busca ser realizada nos 2 primeiros meses de 2023, ainda assim, foi possível encontrar 5 artigos, o que novamente reforça a intensidade do crescimento acerca do tema.

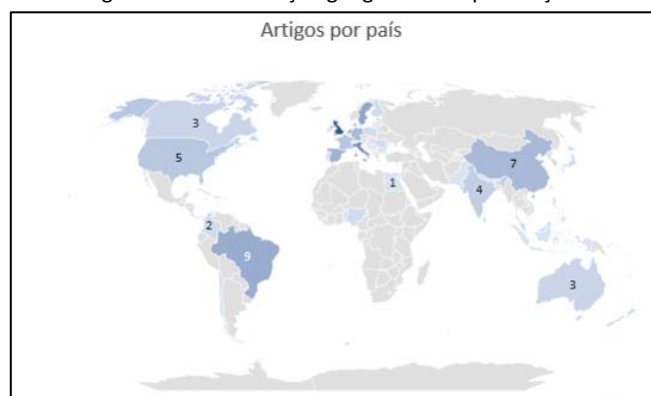
Figura 3 – Resultado das combinações de palavras-chave



Fonte: Os autores, 2023.

De acordo com a análise da distribuição geográfica, as pesquisas se concentraram em 40 países. O Reino Unido, a Itália, a Holanda, a Suécia e o Brasil respondem pela maior parte da produtividade científica dos artigos selecionados de acordo com seu tema, conforme mostra a figura 4.

Figura 4 – Concentração geográfica das publicações



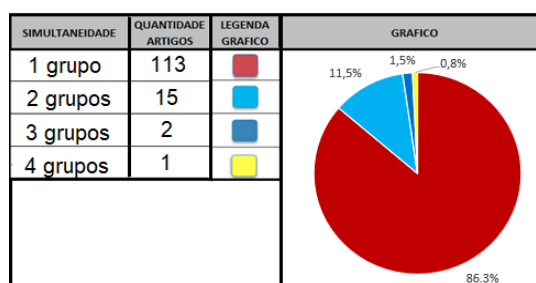
Fonte: Os autores, 2023.

O aumento de publicações nos últimos anos é resultado de campanhas de conscientização ambiental do público em geral e do interesse de grandes empresas pelo assunto, pois a remanufatura de produtos pode baratear a matéria-prima reduzindo os custos de produção. Isto indica que o tema carece de maior amadurecimento na comunidade científica, o que corrobora o potencial de inovação do estudo quando se analisa a linha do tempo das publicações.

3.1.5 Classificação dos artigos em grupos e critério simultaneidade

Para agilizar a análise e identificar os artigos com maior aderência ao tema do estudo, estabeleceu-se um sistema de classificação dos artigos escolhidos de acordo com a área de abrangência. O Grupo 1, FRW (apresentou framework para produção de produtos sustentáveis desde a fase de projeto), é utilizado para categorizar artigos sobre design de produto sustentável, com foco na otimização de processos e reaproveitamento de resíduos desde a concepção do produto e que possuíam frameworks para explicar os sistemas produtivos; O grupo 2, EXR (mostra ideias/exemplos de produtos que foram remanufaturados ou reaproveitados - criação de novos produtos com "lixo"), é usado para categorizar artigos sobre produtos feitos de materiais reciclados; O grupo 3, ECW (mostra ideias/conceitos sobre economia circular ou logística reversa ou "zero waste"), é utilizado para categorizar os artigos sobre logística reversa, "desperdício zero" e economia circular; e o Grupo 4, SCM (apresenta dados sobre gerenciamento de resíduos ao longo de toda cadeia produtiva), é utilizado para categorizar artigos sobre gerenciamento de resíduos ao longo de toda cadeia produtiva. Por meio da leitura minuciosa, todos os 131 artigos filtrados foram categorizados de acordo com cada um dos 4 grupos definidos, sendo que um mesmo artigo pode pertencer a mais de um grupo simultaneamente. Os artigos com simultaneidade apresentaram material mais completo, ou seja, melhor nível de especialização, complexidade e domínio do assunto pertinente ao tema da pesquisa. Dessa forma, a simultaneidade foi empregada como critério para melhorar a seleção dos artigos, de modo que, para a etapa seguinte, seriam escolhidos os que estivessem simultaneamente em no mínimo dois dos grupos de abrangência. Os que não atenderam a essa condição foram descartados. Os 131 artigos foram submetidos a esse critério e, como resultado, 14 foram escolhidos. Destes 131, um (0,8%) abordou temas compartilhados pelos quatro grupos simultaneamente, dois (1,5%) abordaram temas compartilhados por três grupos e 15 (11,5%) abordaram temas compartilhados por dois grupos. Dos demais artigos, 113 (86,3%) foram descartados por explorar apenas 1 dos 4 grupos. A Figura 5 mostra o resultado dessa seleção.

Figura 5 – Concentração geográfica das publicações



Fonte: Os autores, 2023.

3.1.6 Método de Análise – Validação resultados da seleção de artigos

Os estudos contemplados nos artigos escolhidos na fase anterior eram relevantes, mas era necessário determinar se as etapas de seleção até o momento empregadas, estavam selecionando-os corretamente. Como resultado, os artigos escolhidos passaram por uma nova análise, onde foram atribuídos valores de 0,00 a 10,00 para cada grupo, dependendo do seu nível de significância para o estudo. Assim, a distribuição foi a seguinte: A categoria FRW recebeu

nota 3,75, ou 38%, de relevância, pois inclui todos os que discutiram referenciais para a produção de produtos sustentáveis por meio do reaproveitamento de materiais. O grupo EXR recebeu valor de 2,95, ou 30% de relevância, tornando-se o segundo grupo mais significativo. Aos grupos ECW e SCM foram atribuídos valores de 2,30 ou 23% e 1,00 ou 10% de relevância, respectivamente. Os 31 artigos selecionados foram submetidos a esse sistema de ponderação, e o grau de sua aplicabilidade à pesquisa foi determinado pela soma dos pesos dos grupos em que foram inseridos. Artigos com pontuação mínima de 6 (≥ 6) foram considerados relevantes, enquanto aqueles com pontuação mínima de 5 ($= 5$) foram desconsiderados. Os 14 artigos antes refinados foram identificados por meio da análise como os mais pertinentes, com abordagens mais condizentes com o tema de estudo sugerido.

Para corroborar o método de filtragem utilizado, foi aplicada a metodologia matemática de análise de regressão, que entre outras funcionalidades confirma os padrões de classificação estabelecidos e garante que nenhum artigo seja descartado por engano (CHARNET ET AL., 2008). Os critérios de seleção utilizados na revisão sistemática da literatura foram consistentes e confiáveis. A análise de regressão, na opinião do autor, é o processo de usar a análise estatística para determinar se uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes (livres) têm uma conexão funcional. Com esta ferramenta matemática, pode-se criar uma equação que tente descrever como a variável dependente se comporta em relação ao comportamento dos vários níveis que a(s) variável(is) independente(s) pode(m) atingir. Esta pesquisa empregou a regressão linear simples, ou 1º grau, que segue o modelo estatístico para apenas uma variável para análise, ou seja, a nota de cada artigo conforme sua classificação nas categorias.

$$\gamma_i + \beta_0 + \beta_i X_i + e_i$$

Tendo em vista que a pesquisa foi baseada na equação básica de regressão de Charnet et al. (2008), a equação para análise dos artigos desta pesquisa foi a seguinte:

$$5,34 + 3,75x_i + 2,95x_{ii} + 2,30x_{iii} + 1,0x_{iv} + z(i = 1 - 31) = y_i$$

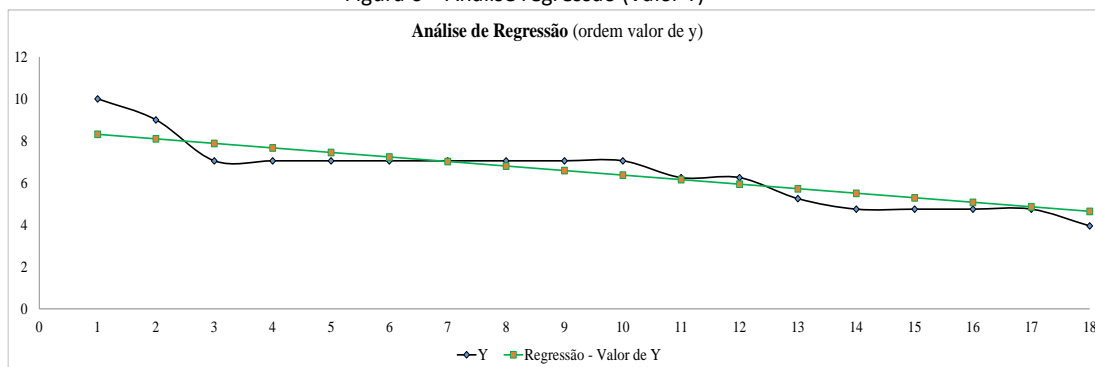
O uso da ferramenta de regressão linear confirma que houve um padrão consistente de seleção para todos os artigos. A análise de regressão corrobora os achados da revisão sistemática da literatura, da qual foram escolhidos 14 artigos por serem os mais pertinentes aos objetivos do estudo, enquanto outros 117 foram desconsiderados. Os visuais nas Figuras 6 e 7 demonstram como a ferramenta de regressão linear foi usada para validar um padrão de seleção de artigos padronizado e confiável.

A linha de regressão da Figura 6 que representa a variável livre, demonstra que ela é consistente e próxima das flutuações observadas nos artigos examinados, demonstrando a existência de um padrão. Dessa forma, pode-se concluir que o refinamento dos artigos seguiu um padrão com o desenvolvimento dos grupos e as ponderações de valor associadas, permitindo selecionar os artigos pertinentes à pesquisa sem excluir indevidamente nenhum estudo.

A mesma coisa acontece no gráfico da Figura 7, a linha reta ilustra o padrão que inúmeras variáveis representam ao serem analisadas em cada um dos artigos selecionados, validando assim o padrão de seleção dos artigos. Com base no comportamento da curva de múltiplas variáveis, é observado que os artigos 4 e 5, fugiram um pouco do padrão que as variáveis

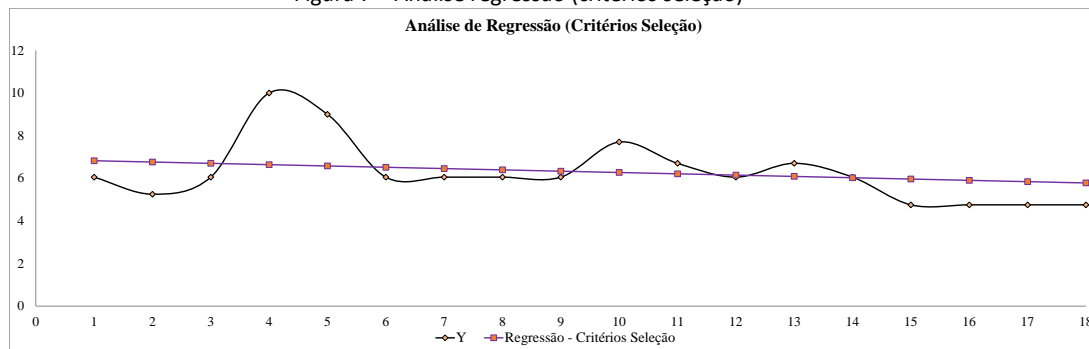
representam, mas de forma geral, é possível concluir que a seleção dos artigos pertinentes à pesquisa foi realmente aprimorada com o estabelecimento de grupos e ponderações dos valores dados.

Figura 6 – Análise regressão (Valor Y)



Fonte: Os autores, 2023.

Figura 7 – Análise regressão (critérios seleção)



Fonte: Os autores, 2023.

3.2 Análise de conteúdo

Para responder plenamente às questões levantadas na pesquisa, os autores sugerem a aplicação da análise do conteúdo das 14 publicações escolhidas para a revisão sistemática da literatura, complementando e sustentando os dados. Esse procedimento possibilita a descoberta de lacunas inexploradas e pode servir de roteiro para a criação de novas pesquisas, através do levantamento de todas as limitações e contribuições de cada pesquisa. Os 14 trabalhos foram examinados a partir da leitura completa dos artigos, avaliando as técnicas apresentadas, seus méritos e suas desvantagens no que diz respeito ao desenvolvimento de produtos utilizando resíduos como matéria-prima e conceitos da economia circular. Os artigos estão incluídos no Quadro 3 em ordem cronológica de publicação juntamente com uma avaliação crítica de seus méritos e deficiências científicas.

Quadro 3 – Resumo da análise de conteúdo

| ART | TÍTULO ARTIGO | ANO | CONTRIBUIÇÕES | LIMITAÇÕES |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Building a business case for implementation of a circular economy in higher education institutions | 2019 | Há diversas imagens, fluxogramas e gráficos bem interessantes que podem ajudar a descrever melhor as pesquisas sobre o tema, além de fazer uma ótima introdução sobre Zero Waste. | Não fala sobre o reaproveitamento dos resíduos para produção de novos produtos, somente no correto gerenciamento dos resíduos sólidos a nível de cidade (<i>zero waste citys</i>). |

| | | | | |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2 | Building a circular plastics economy with informal waste pickers: Recyclate quality, business model, and societal impacts | 2020 | Fatores econômicos são os mais impactantes na fase de design de qualquer produto; Correta desmontagem de produtos é a chave para maior reciclabilidade do produto | Foco de quase todo o artigo é na fase de desmontagem dos produtos para reconhecer quais atitudes, produtos para unir partes, etc., são os melhores para reciclabilidade. Mas em nenhum momento deixa claro como aplicar boas práticas para reaproveitar produtos, somente pensando em quais produtos utilizar para facilitar reciclagem. |
| 3 | Building Circularity Assessment in the Architecture, Engineering, and Construction Industry a New Framework | 2021 | Pensar o produto em módulos faz com que os 3 Rs sejam mais facilmente atingidos pelas empresas. -> Modularity | Fala pouco sobre como reutilizar os produtos no fim de seu ciclo de vida para produção de novos produtos, garantindo uma boa logística e engenharia reversa. |
| 4 | Circular Composites by Design: Testing a Design Method in Industry | 2022 | Somente dados introdutórios, não para serem utilizados diretamente na pesquisa | Fala pouco sobre como reutilizar os produtos no fim de seu ciclo de vida para produção de novos produtos, garantindo uma boa logística e engenharia reversa. |
| 5 | Circular Economy Model Enhanced by Intelligent Assets from Industry 4.0: The Proposition | 2020 | Mostra como é importante que todos os envolvidos na produção de um determinado produto estejam engajados para torná-lo sustentável, garantindo que sua logística e engenharia reserva sejam ok. | Não possui um framework de fácil visualização e entendimento que permita aos usuários mais leigos entenderem e aplicá-lo para construir, desde a fase de design, um produto que seja feito a partir de matéria prima reutilizada |
| 6 | Circular economy to ensure production operational sustainability: A green-lean approach | 2022 | Artigo contribui com uma metodologia para criação de frameworks denominada DSRM, muito interessante e a qual pode ser utilizada como base para criação de um método de design voltado para a reutilização | Foca muito em fórmulas matemáticas baseadas na segunda lei da termodinâmica, e não explica de forma mais facilitada e com imagens claras como é possível a criação, desde a fase de design, de produtos reaproveitando matéria prima já utilizada |
| 7 | Circular value stream mapping 4.0: Proposed general model and application to a digital 3D application. | 2022 | O artigo possui muitos dados interessantes sobre descarte de lixo e seus diferentes tipos | Não fala nada sobre o reaproveitamento dos resíduos para produção de novos produtos ou como reutilizar os produtos para chegar ao "zero waste". |
| 8 | Closed-loop sustainable product design for circular economy | 2021 | O artigo possui uma definição bacana sobre waste. Também menciona as "6 ondas" da sustentabilidade ligada ao lixo, que podem ser utilizadas na construção de um referencial teórico | Não fala nada sobre o reaproveitamento dos resíduos para produção de novos produtos ou como reutilizar os produtos para chegar ao "zero waste". |
| 9 | Consumer Intervention Mapping—A Tool for Designing Future Product Strategies within Circular Product Service Systems | 2018 | Mostra ideias de produtos que já estão sendo reutilizados, criando ciclos econômicos fechados, onde o fim do ciclo de vida torna-se o início do ciclo para outro produto; mostra 5 fatores importantes que devem ser levados em conta por designers para serem sustentáveis. | Não possui um framework para padronizar o uso de materiais descartados para criação de novos produtos. |
| 10 | Design, Materials, and Extrusion-Based Additive Manufacturing in Circular Economy Contexts from Waste to New Products | 2021 | O artigo apresenta uma boa divisão sobre como filtrar os artigos na análise de conteúdo, através de 4 etapas - Relevância, Contribuição, Aplicabilidade e Citação. | Não fala nada sobre o reaproveitamento dos resíduos para produção de novos produtos |
| 11 | Designing Immortal Products: A Lifecycle Scenario-Based Approach | 2021 | O artigo contém várias informações sobre <i>remanufacturing</i> . | Não fala nada sobre o reaproveitamento dos resíduos para produção de novos produtos, e acaba focando muito no <i>E-waste</i> , deixando a desejar para os demais produtos |

| | | | | |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12 | Integrating Back casting and Eco-Design for the Circular Economy: The BECE Framework | 2017 | O artigo contém várias informações sobre <i>ecodesign</i> . | Não possui um framework para padronizar o uso de materiais descartados para criação de novos produtos. |
| 13 | Projecting More Sustainable Product and Service Designs | 2021 | O artigo contém várias informações sobre <i>end of life</i> . | Não possui um framework para padronizar o uso de materiais descartados para criação de novos produtos. |
| 14 | Standardization Framework for Sustainability from Circular Economy 4.0 | 2019 | O artigo contém várias informações úteis em relação a estruturação do trabalho. | Não possui um framework para padronizar o uso de materiais descartados para criação de novos produtos. |

Fonte: Os autores, 2023.

4 CONCLUSÃO

Por meio de uma revisão sistemática da literatura e análise de conteúdo, este artigo teve como objetivo identificar os principais estudos, suas contribuições e limitações e os autores que estão norteando o desenvolvimento de produtos utilizando materiais descartados, alinhados aos conceitos da economia circular. A primeira parte do estudo, que se concentrou na revisão sistemática da literatura, começou com o desenvolvimento das questões de pesquisa, a definição do período de filtragem das pesquisas (2012 a 2023) e as palavras chaves de busca. Após as etapas de seleção, 14 artigos foram escolhidos, os quais representam as mais recentes e relevantes contribuições sobre o desenvolvimento de produtos utilizando materiais descartados como matéria-prima, o que representa apenas 0,21% dos 6.691 artigos totais encontrados nas bases de dados científicos. Os estudos, de forma geral, abordam temas como capacidade dos aterros sanitários, desperdício de alimentos e produtos, impacto econômico no design de produtos, necessidade de desmontagem correta dos produtos para reaproveitamento, abordagens modulares, engajamento de todos os envolvidos, além de fornecem metodologias e diretrizes práticas para promover a sustentabilidade. Para garantir que os critérios de seleção utilizados na revisão sistemática da literatura fossem válidos e consistentes, foi utilizada a metodologia matemática da análise de regressão simples. Como resultado, pode-se dizer que os 14 trabalhos foram escolhidos por representarem o mais recente e pertinente estudo científico acerca do tema. A segunda etapa do estudo focou na análise de conteúdo, o que revelou que faltam frameworks e exemplos práticos e de fácil entendimento, que possam subsidiar o processo de desenvolvimento integrado de produtos sustentáveis utilizando materiais descartados como matéria-prima nas abordagens estudadas nas 14 publicações selecionadas. Os artigos se concentraram muito em teorias, mas pouco se detalha na parte prática, como exemplos de produtos reaproveitados através dos conceitos da economia circular. Dado o potencial para novos estudos, ficou claro que os problemas com o desenvolvimento de produtos a partir de resíduos não foram abordados de todos os ângulos. O artigo permitiu identificar, portanto, as pesquisas mais relevantes relacionadas ao desenvolvimento de produtos sustentáveis alinhadas às diretrizes da economia circular, podendo esta pesquisa ser utilizada como base de estudo para que autores tenham maior facilidade na criação de novas formas de desenvolvimento de produtos remanufaturados.

5 REFERÊNCIAS

ABALANSA, Samuel et al. Electronic waste, an environmental problem exported to developing countries: The GOOD, the BAD and the UGLY. *Sustainability*, v. 13, n. 9, p. 5302, 2021.

ARAÚJO, M. C., MENDONÇA, J. P., CARVALHO, R. L., ARAÚJO, L. C., & CARVALHO, A. S. (2019). A gestão dos resíduos sólidos urbanos e seus desafios: Um estudo de caso em Belo Horizonte, Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, 8(1), 61-76.

BANDEIRA, G. L., CHANQUINI, A., TORTATO, U., QUANDT, C. (2022). Service innovation and knowledge management: A bibliometric review and future avenues. **RAM. Revista de Administração Mackenzie**, 23.

BREZET, J. C., & VAN HEMEL, C. G. (2019). Eco-design: the sourcebook. Architectural Press.

CHAPMAN, C. B., & WARD, S. (2018). An introduction to product design and development. CRC Press.

CHARNET, R.; CHARNET, E.M.R.; FREIRE, C.A.L.; BONVINO, H. Análise de Modelos de Regressão Linear com Aplicações. 2. ed. São Paulo: Unicamp, 2008. 368 p.

CONTADOR, Felipe Augusto Zanin; JUNIOR, Osiris Canciglieri. Determination of key references on product development using discarded materials. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 10, n. 1, p. 154-195, 2021.

DE MELO SILVA, Guilherme Tavares et al. Resíduos de construção e demolição em tecnologia de concreto: uma revisão. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 46883-46896, 2020.

GEISSDOERFER, M., SAVAGET, P., BOCKEN, N. M., & HULTINK, E. J. (2017). The Circular Economy—A new sustainability paradigm?. **Journal of cleaner production**, 143, 757-768.

GÖLGECI, I., BIRTWISTLE, G., & VEGA-VAZQUEZ, M. (2018). Sustainable product development: a systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 179, 211-225.

HUNKELER, D., LICHTENVORT, K., REBITZER, G., JOLLIET, O., & FRISCHKNECHT, R. (2016). Environmental life cycle costing. CRC Press.

JOUSTRA, Jelle et al. Circular Composites by Design: Testing a Design Method in Industry. **Sustainability**, v. 14, n. 13, p. 7993, 2022.

KHAN, Syed Abdul Rehman; PIPRANI, Arsalan Zahid; YU, Zhang. Digital technology and circular economy practices: future of supply chains. **Operations Management Research**, v. 15, n. 3-4, p. 676-688, 2022.

KIRCHHERR, J., REIKE, D., & HEKKERT, M. (2018). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232.

LIEDER, Michael; RASHID, Amir. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of cleaner production**, v. 115, p. 36-51, 2016.

MOL, A. P., & SONNENFELD, D. A. (2019). Ecological modernisation around the world: perspectives and critical debates. Routledge.

MURRAY, Alan; SKENE, Keith; HAYNES, Kate. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. **Journal of Business Ethics**, v. 140, n. 3, p. 369-380, 2017. DOI: 10.1007/s10551-015-2693-2.

STAHEL, W. R. (2016). The circular economy. *Nature*, 531(7595), 435-438.

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., & VIGIL, S. A. (2014). **Gerenciamento de resíduos sólidos**. McGraw Hill Brasil.

THESAURUS.COM. Synonym. Available <<http://www.thesaurus.com/browse/synonym>>. Accessed out. 2022.

ULRICH, K. T., & EPPINGER, S. D. (2021). Product design and development. McGraw Hill Education.

VAPNIK, O., MEDEIROS, Y. D. P., & VAN VLIET, B. (2020). From Waste to Resources: The Role of Waste Pickers in the Transition Towards a Circular Economy. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120025.