



CIDADES INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS: O PAPEL DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NA PROMOÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR EM COOPERATIVAS DE RECICLAGEM

Murilo dos Santos Oliveira

Programa de Pós-graduação em Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil
murilo.oliveira@estudante.cear.ufpb.br

Julio Cesar Sales Bezerra

Programa de Pós-graduação em Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil
julio.bezerra@estudante.cear.ufpb.br

Raphael Abrahão

Departamento de Engenharia de Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil
raphael@cear.ufpb.br

Monica Carvalho

Departamento de Engenharia de Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil
monica@cear.ufpb.br

Luiz Moreira Coelho Junior

Departamento de Engenharia de Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil
luiz@cear.ufpb.br

Resumo: A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que pode ser estratégica para alcançar o conceito de cidade sustentável, proporcionando uma visão mais ampla dos impactos ambientais e ajudando a tomar decisões que reduzam esses impactos, aumentando a eficiência dos recursos e o bem-estar social. Este estudo desenvolve uma revisão sistemática da literatura sobre a utilização da ACV em cooperativas de reciclagem. O foco é na promoção da economia circular e na transformação de resíduos em recursos valorizados. Observou-se que a ACV permite uma compreensão mais detalhada dos fluxos de materiais e energia, possibilitando a identificação de oportunidades para a redução do desperdício e a otimização dos processos de reciclagem. Dentre os trabalhos referentes às cooperativas de reciclagem, a ACV adota diversas abordagens, levando em consideração sua utilização para a promoção da economia circular: gestão de resíduos, custos associados a reciclagem, impactos ambientais, e triagem de materiais. Finalmente, a economia circular, a ACV e as cooperativas de reciclagem se interligam ao promover práticas mais sustentáveis e eficientes: juntos, ajudam a minimizar o impacto ambiental e a criar sistemas mais circulares e sustentáveis.

Palavras-chave: Resíduos sólidos; coleta seletiva; impactos ambientais; pegada de carbono; sustentabilidade.



1. Introdução

Na economia atual, prevalece um modelo de produção linear, onde os recursos são extraídos, transformados em produtos e, após o uso, descartados como resíduos. Esse modelo enfrenta dois grandes desafios: a geração excessiva de resíduos e a escassez de recursos naturais (Lieder; Rashid, 2016). Em contraste, a economia circular é um sistema regenerativo que visa minimizar o uso de recursos, a geração de resíduos, as emissões e a perda de energia (Geissdoerfer *et al.*, 2017). Esse objetivo é alcançado por meio da reutilização, redução de resíduos, refabricação, melhoria do design dos produtos e reciclagem (Liu *et al.*, 2018).

Dessa forma, a reciclagem é crucial para prevenir o esgotamento e a degradação dos recursos naturais, reintegrando resíduos sólidos e materiais ao seu estado original (Bui *et al.*, 2022). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) segue os princípios dos 4Rs (reduzir, reutilizar, reciclar e recuperar), promovendo a mínima geração de resíduos (Campos, 2014). De acordo com esses princípios, a PNRS define reciclagem como o processo que transforma resíduos sólidos, alterando suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, para criar novos materiais ou produtos, conforme os requisitos e padrões estabelecidos pelos órgãos administrativos competentes (Brasil, 2010).

Nesse contexto, as cooperativas de reciclagem desempenham um papel crucial no reprocessamento de resíduos, promovendo a circularidade (Gutberlet *et al.*, 2017). Em vez de seguir um fluxo linear tradicional, os resíduos são redirecionados pelas cooperativas de acordo com o conceito de economia circular. Essa abordagem adota o princípio do berço ao berço, permitindo que produtos e materiais descartados sejam reintegrados ao processo produtivo (Kirchherr *et al.*, 2017). Assim, uma quantidade significativa de resíduos é direcionada para processos de reciclagem e transformação.

Paralelamente, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é amplamente utilizada para identificar e reduzir os impactos ambientais. Essa metodologia é eficaz em examinar os problemas mais críticos associados à escolha de diferentes métodos de tratamento de resíduos. Quando aplicada à gestão de resíduos, a ACV se torna uma ferramenta essencial para mitigar os impactos ambientais, ao destacar os efeitos significativos de sistemas de gestão de resíduos ineficientes (Yadav; Samadder, 2014). Nesse sentido, a ACV é um passo crucial a ser realizado (Dorr *et al.*, 2022) antes de decidir sobre tecnologias, políticas e abordagens a serem implementadas.

A ACV é uma ferramenta essencial para criar cidades mais sustentáveis (Petit-Boix *et al.*, 2017), proporcionando uma visão abrangente dos impactos e ajudando a tomar decisões que promovem a redução dos impactos ambientais, a eficiência dos recursos e o bem-estar social.

Conectar estudos sobre cooperativas de reciclagem com a metodologia de ACV é essencial para compreender detalhadamente o impacto ambiental das atividades de reciclagem e orientar as decisões no gerenciamento de resíduos. Aplicando essa metodologia às operações de uma cooperativa de reciclagem, é possível identificar e quantificar os impactos ambientais relacionados à coleta, triagem, processamento e redistribuição de materiais recicláveis. Isso proporciona uma visão completa do desempenho ambiental da cooperativa e ajuda a identificar oportunidades para melhorar e otimizar suas operações. Além disso, a ACV pode auxiliar na tomada de decisões informadas, permitindo que as cooperativas priorizem iniciativas com maior potencial de reduzir o impacto ambiental.

Assim, realizou-se uma revisão sistemática da literatura sobre a utilização da ACV em cooperativas de reciclagem, com foco na promoção da economia circular e na transformação de resíduos em recursos valorizados. Para isso, foram definidos três objetivos específicos:



- Analisar estudos que demonstrem a eficácia da ACV na identificação de oportunidades para otimizar processos de reciclagem em cooperativas, visando a maximização da recuperação de materiais valorizados.
- Avaliar o papel da ACV na promoção da economia circular em cooperativas de reciclagem, incluindo como essa abordagem pode contribuir para a redução do desperdício, a conservação de recursos naturais e a criação de oportunidades de negócios sustentáveis.
- Examinar casos de sucesso em que a ACV foi utilizada como ferramenta para direcionar investimentos e recursos em iniciativas que aumentam a eficiência e a rentabilidade das operações de reciclagem em cooperativas.

2. Fundamentação teórica

O crescimento populacional mundial resulta em uma rápida industrialização, urbanização e desenvolvimento econômico, fatores que são os principais responsáveis pelo acelerado aumento na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) em escala global. Dessa forma, a má gestão dos resíduos gerados resulta em diversos problemas ambientais, incluindo o aquecimento global, a destruição da camada de ozônio, riscos à saúde humana, esgotamento de recursos abióticos e danos aos ecossistemas, entre outros (Khandelwal *et al.*, 2019).

O aterro sanitário ainda é o método mais amplamente utilizado para a eliminação de resíduos em nível global, mesmo sendo a opção menos preferida na hierarquia de gestão de resíduos (Tenodi *et al.*, 2020). Os aterros são considerados uma das maiores fontes antropogênicas de metano, um gás com potencial de aquecimento global bastante significativo, representando riscos significativos ao meio ambiente e à saúde humana ao contaminar o solo e as águas subterrâneas (Yeşiller *et al.*, 2022). Para enfrentar esse problema urgente, os países estão implementando mudanças substanciais em suas estratégias de gestão de resíduos sólidos (GRS). Um exemplo disso é o ambicioso plano da Finlândia de "Eliminar todos os resíduos até 2050" (Abend, 2021). A gravidade da situação demanda um enfoque na conservação, reutilização e reciclagem de recursos, em vez de sua simples eliminação (Bui *et al.*, 2022).

Nessa perspectiva, a criação de indicadores de desenvolvimento sustentável faz parte de uma iniciativa global para realizar os conceitos e princípios estabelecidos na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992). Realizada no Rio de Janeiro em 1992, teve como foco a interconexão entre meio ambiente, sociedade, desenvolvimento e informações para a tomada de decisões. Este cenário resultou na criação de dois importantes instrumentos: a Agenda 21 (1992) e os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ONU, 2015). Estes documentos, considerados complementares, foram concebidos para promover o desenvolvimento sustentável e foram aprovados e adotados pelos Estados-membros da Organização das Nações Unidas, incluindo o Brasil.

Dessa forma, a Agenda 2030 (2015), sucessora da Agenda de Desenvolvimento do Milênio (2000-2015), foi elaborada por meio de um processo global participativo liderado pela ONU, envolvendo governos, sociedade civil, setor privado e instituições de pesquisa. A Agenda 2030 abrange desenvolvimento econômico, erradicação da pobreza e fome, inclusão social, sustentabilidade ambiental, boa governança, paz e segurança. Para isso, inclui 17 objetivos e 169 metas a serem alcançados até 2030, com base nas metas globais (Figura 1). O monitoramento e a avaliação dessa agenda são essenciais para sua implementação e devem ser realizados sistematicamente em diferentes níveis, incluindo nacional e regional.



Figura 1. Indicadores para os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).
Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2023).

Alguns desses Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) abordam diretamente a problemática dos resíduos sólidos. O ODS 11, "Cidades e comunidades sustentáveis", inclui a meta 11.6, que visa reduzir, até 2030, o impacto ambiental per capita das cidades, focando na gestão de resíduos municipais e na qualidade do ar. O ODS 12, "Consumo e Produção Responsáveis", inclui a meta 12.5, que busca reduzir significativamente a geração de resíduos até 2030, através da prevenção, redução, reciclagem e reuso.

Por outro lado, O ODS 13 aborda a necessidade urgente de combater a mudança global do clima e seus impactos. Este objetivo destaca a importância de integrar medidas climáticas nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais, além de aumentar a resiliência e a capacidade de adaptação às adversidades climáticas.

Nesse contexto, uma alternativa que vem ganhando destaque para o reaproveitamento eficiente de recursos é a coleta seletiva. Além de uma simples separação de resíduos, a coleta seletiva é concebida como um ciclo contínuo que começa com a geração e descarte do lixo e se completa quando os materiais recicláveis são reintegrados em novos processos produtivos (Ibáñez-Forés *et al.*, 2018). Este processo é iniciado então após o consumo doméstico de produtos ou serviços, onde os resíduos gerados são colocados em frente às casas, em espaços públicos ou em pontos estratégicos de entrega voluntária (PEVs) (Figura 2). Alguns lares fazem uma pré-seleção dos resíduos, acondicionando-os de maneira que preserve os materiais recicláveis.

A próxima etapa é a coleta propriamente dita. No sistema regular, caminhões de coleta municipais ou de empresas terceirizadas transportam o lixo para seu destino final, como aterros sanitários, usinas de incineração ou lixões, encerrando assim o ciclo. Na coleta seletiva, o recolhimento pode ser feito porta a porta por veículos oficiais ou catadores, que coletam os

resíduos nos espaços públicos, ou através dos PEVs, que são contêineres ou lixeiras acessíveis onde os cidadãos podem depositar materiais (CEMPRE, 2010; Tchobanoglous, 2009).

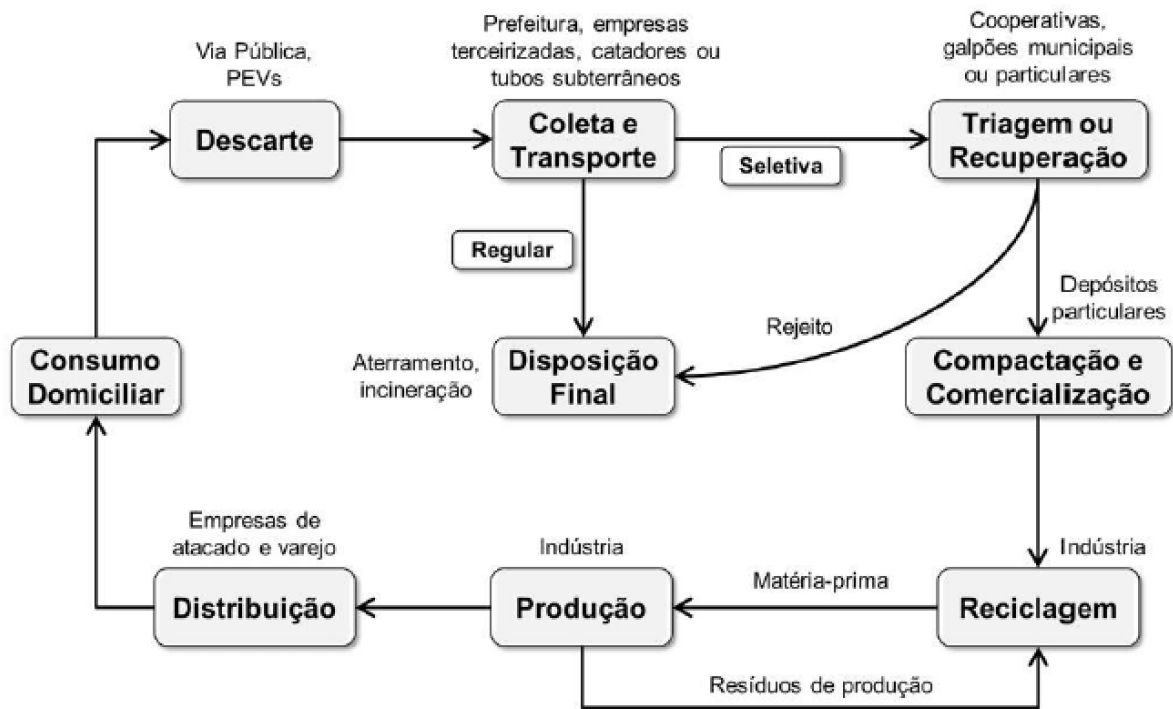


Figura 2. Ciclo dos resíduos domiciliares urbanos.
Fonte: Kreith; Tchobanoglous (2002).

Os materiais coletados seletivamente são encaminhados para tratamento. A porção orgânica é compostada, gerando adubos para uso doméstico, agrícola ou jardinagem. Os recicláveis secos vão para usinas de triagem administradas por órgãos municipais ou cooperativas de catadores, onde são separados conforme seu potencial reciclável e comercial. Materiais não recicláveis são descartados em aterros, enquanto os recicláveis são vendidos a depósitos e comerciantes, compactados e revendidos às indústrias recicladoras, que os transformam em novos insumos para reinserção no ciclo produtivo.

Com tudo isso, a implementação eficaz da coleta seletiva enfrenta diversos desafios. Em muitos países, especialmente em desenvolvimento, a infraestrutura inadequada, a falta de conscientização pública e o apoio governamental insuficiente dificultam a gestão eficiente dos resíduos (IBGE, 2018). Mesmo assim, a coleta de materiais recicláveis em economias em desenvolvimento é essencial para os esforços de redução de resíduos (Shruti *et al.*, 2023). Além disso, promove a geração de empregos (Dutra; Yamane; Siman, 2018), diminui o consumo de recursos naturais (Paes *et al.*, 2020) e contribui para a mitigação da degradação ambiental (Campos, 2014).



3. Metodologia

A seleção inicial do banco de artigos teve início com a definição das palavras-chave que abrangem as três temáticas principais relacionadas a esse estudo: cooperativas de reciclagem, ACV e economia circular.

Portanto, os termos que abrangem as cooperativas foram propostos como “recycling cent”, “recycling facility”, “cooperative” e “collector”. Quanto a ACV, as seguintes palavras-chave foram usadas, a saber, “life cycle”, “emission”, “carbon footprint*”, “lca” e “environment* impact”. Finalmente, “circular economy”, “cradle to cradle”, “regenerative design”, “regenerative economy” e “reuse economy” foram utilizadas para direcionar os estudos para a economia circular.

A combinação entre esses termos resultou na seguinte string: (“recycling cent*” or “recycling facility” or “cooperative” or “collector*”) and (“circular economy” or “cradle to cradle” or “regenerative design” or “regenerative economy” or “reuse economy”) and (“life cycle” or “emission*” or “carbon footprint*” or “lca” or “environment* impact*”).

Como critério da pesquisa, foi adotada a busca por artigos cujos títulos, resumos ou palavras-chave contenham os termos definidos na *string*. Dessa forma, para formar o banco de dados inicial, foram selecionados apenas documentos do tipo artigo escrito em inglês, em estágio final de publicação e sem restrição de tempo. Para a realização das buscas, realizadas em julho de 2024, foram utilizadas as bases de dados SCOPUS e a Web of Science.

O software VOSviewer (Versão 1.6.20, Elsevier, 2023 – Wong, 2018) foi empregado para a análise de coocorrência de palavras-chave baseando-se no conceito de cluster. Nesse contexto, palavras-chave com características ou semelhanças são agrupadas e representadas pela mesma cor. Além disso, o tamanho dos nós permite identificar as palavras-chave mais frequentemente mencionadas, com a possibilidade de combinação com dados adicionais, auxiliando na identificação de lacunas na pesquisa.

4. Resultados e discussão

A pesquisa inicial resultou em 228 publicações, porém, após a aplicação dos critérios estabelecidos, essa quantidade foi delimitada em 157 artigos (71 da Scopus e 86 da WOS).

Na sequência, os artigos selecionados foram importados para o software de gerenciamento de referências Mendeley (Yamakawa *et al.*, 2014; Elston, 2019), para organização e análise. Durante este processo, foi realizada uma verificação detalhada para identificar e remover duplicatas. Como resultado, foram encontrados e excluídos 39 artigos duplicados. Portanto, o conjunto inicial foi reduzido para 118 artigos. Em seguida, os títulos e resumos desses artigos foram revisados para verificar sua relevância para o tema dessa pesquisa. Dessa forma, foram descartados um total de 79 artigos de temas distintos, restando 39.

Os 39 artigos foram então classificados por áreas temáticas, conforme ilustrado na Figura 3. Os resultados revelaram uma predominância significativa de artigos focados na gestão de resíduos, constituindo 37% do total analisado. As demais áreas abordadas incluem: impactos ambientais (21%), resíduos eletrônicos (13%), fluxo/triagem de materiais (11%), estrutura das instalações (8%), custos associados à reciclagem (5%) e logística reversa (5%).

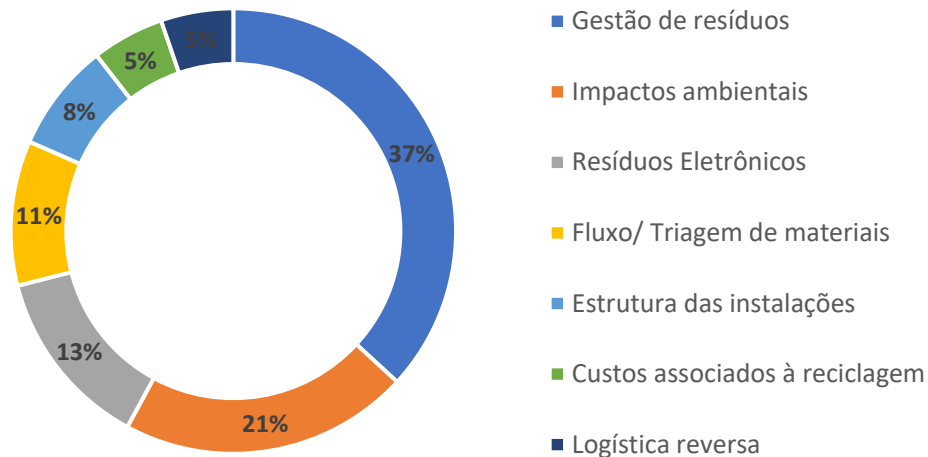


Figura 3. Distribuição percentual das temáticas dos artigos selecionados.
Fonte: Autores (2024).

Conforme os dados apresentados, verifica-se que 37% dos artigos abordam uma temática mais ampla relacionada à gestão de resíduos. Essa expressiva proporção indica uma tendência na literatura científica, destacando a importância e relevância da gestão adequada de resíduos no contexto global de sustentabilidade e preservação ambiental.

A produção de artigos mostrou que os temas abordados estão vinculados a publicações recentes, evidenciando um crescimento significativo no interesse e nas pesquisas sobre questões de gestão de resíduos e seu ciclo sustentável nos últimos anos, iniciados em 2017 (Figura 4). Os artigos relacionados à gestão de resíduos e impactos ambientais mostram um aumento acentuado, especialmente após 2020, com a gestão de resíduos alcançando um pico de seis publicações em 2023. Esse aumento sugere uma intensificação nas iniciativas e estudos voltados para uma gestão mais eficiente dos resíduos e para a mitigação dos impactos ambientais.

No que diz respeito à distribuição geográfica dos estudos, os 39 artigos analisados provêm de pesquisas realizadas em 23 países. Os países que se destacaram com o maior número de publicações foram: Itália, Índia, Estados Unidos, Espanha, China e Canadá, com três publicações cada. Entre essas, o trabalho mais citado é o de Gu *et al.* (2019), com 115 citações, que trata da integração de tecnologias de Internet com a reciclagem (*Internet+Recycling*), examinando o balanço de massa e a ACV do sistema.

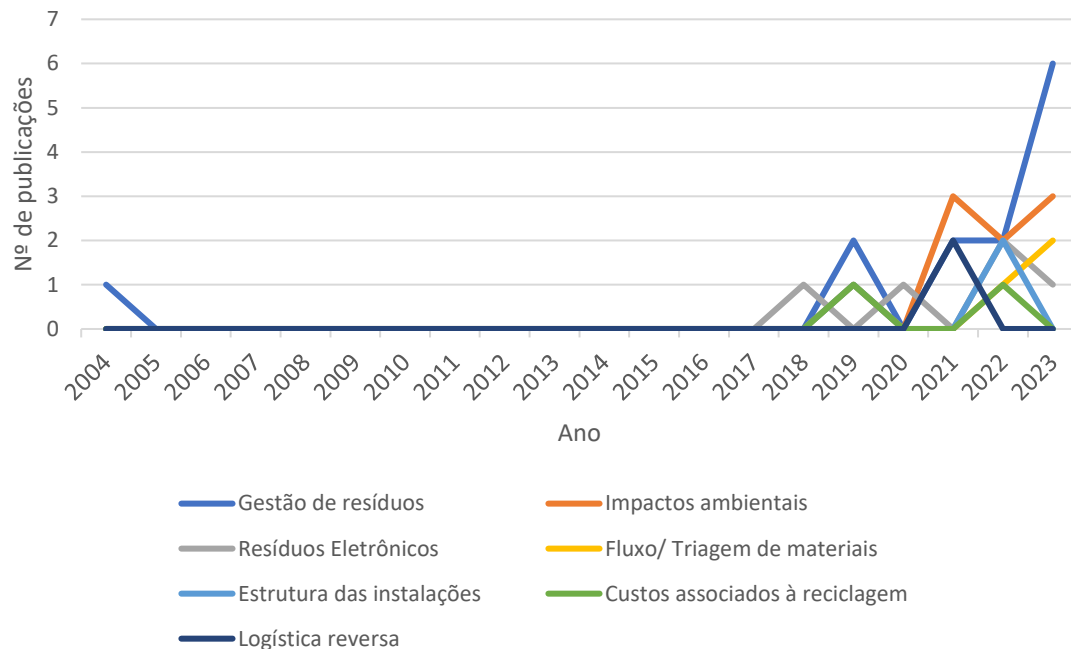


Figura 4. Número de publicações das temáticas predominantes por ano.
Fonte: Autores (2024).

Conforme o mapeamento realizado para co-ocorrência de palavras-chave, por meio do VOSviewer, observou-se que a palavra-chave de maior destaque é "*circular economy*", localizada próxima a outros termos também frequentes, tendo em vista o tamanho do nó, como "*recycling*", "*life cycle assessment*" e "*environmental impact*" (Figura 5). Essas conexões indicam uma relação estreita entre reciclagem, economia circular e gestão de resíduos, além de seu impacto ambiental. Segundo Das, Mukherjee, e Chatterjee (2023), a participação dos catadores na cadeia de reciclagem, através de cooperativas ou associações, tem um papel crucial na recuperação de resíduos sólidos, promovendo a economia circular e enfrentando importantes questões de sustentabilidade dentro da gestão de resíduos, especialmente em países em desenvolvimento.

Outros termos frequentemente associados incluem "*greenhouse gases*", "*carbon footprint*", "*sustainable development*", e "*plastic recycling*", demonstrando a abrangência das questões ambientais e de sustentabilidade relacionadas ao tema. A presença de palavras como "*reverse logistics*", "*e-waste*", e "*supply chains*" sugere uma consideração significativa de aspectos logísticos e operacionais na gestão de resíduos. A coloração dos nós, variando do azul ao amarelo, reflete a evolução temporal da pesquisa, destacando a crescente importância dessas questões nos últimos anos.

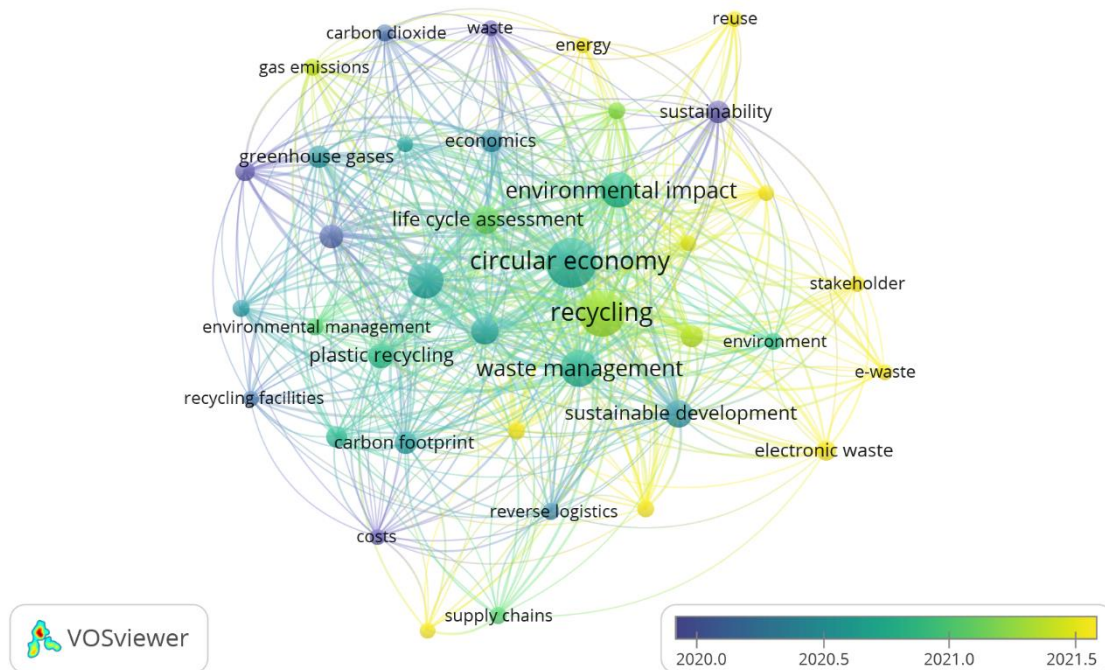


Figura 5. Co-ocorrência de palavras-chave.
Fonte: VOSviewer (2024).

Levando em consideração os trabalhos referentes às cooperativas de reciclagem, foi observado que a ACV adota diversas abordagens, levando em consideração sua utilização para a promoção da economia circular: gestão de resíduos (Civancik-Uslu *et al.*, 2019; Gu *et al.*, 2019), custos associados a reciclagem (Faraca *et al.*, 2019), impactos ambientais (Vlasopoulos *et al.*, 2023; Ferronato *et al.*, 2021; Ferronato *et al.*, 2022; Kerdlap *et al.*, 2022; Ansar *et al.*, 2021; Sahle-Demessie *et al.*, 2021) e triagem de materiais (Jang *et al.*, 2022).

Observa-se que a utilização da ACV abrange diversos aspectos relacionados às cooperativas de reciclagem, com ênfase nos impactos ambientais, abordados através de sete publicações. Destaque para o autor italiano Ferronato *et al.* que, através da publicação de dois artigos, publicados nos anos de 2022 e 2023, tratou dos impactos ambientais das diferentes práticas de gestão de resíduos, considerando seus efeitos ao longo do tempo em todo o sistema urbano. No primeiro (2021), compara os impactos ambientais relacionados aos resíduos sólidos urbanos e à gestão e reciclagem de resíduos de construção e demolição. No segundo (2022) analisa os impactos ambientais associados à gestão desses resíduos, considerando o transporte dos materiais e a eficiência da coleta seletiva para reduzir os resíduos enviados para aterros sanitários. Em ambos os casos a ACV é abordada como forma de examinar os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos resíduos de construção e demolição, especialmente em relação às práticas de reciclagem.

Os impactos ambientais relacionados a diferentes práticas de gestão do plástico são tratados por três publicações. Vlasopoulos *et al.* (2023) avaliam os impactos de diferentes métodos de gestão desse resíduo, incluindo reciclagem e incineração com recuperação de



energia. A pesquisa considera todo o ciclo de vida dos plásticos, desde a produção e uso até a disposição final, comparando os benefícios e desvantagens ambientais de cada abordagem, onde identifica práticas mais sustentáveis. Por outro lado, Kerdlap *et al.* (2022) comparam o desempenho ambiental de sistemas distribuídos versus centralizados de reciclagem de plásticos. Utilizando uma modelagem híbrida de simulação, o estudo aplica a ACV para avaliar o impacto ambiental desses sistemas ao longo de seus ciclos de vida. Eles investigam como diferentes abordagens de reciclagem afetam as emissões de carbono, consumo de energia e outros indicadores ambientais, contribuindo para decisões mais sustentáveis na gestão de resíduos plásticos.

Enquanto esses pesquisadores fornecem uma visão ampla dos impactos ambientais de várias práticas de gestão de resíduos plásticos, Ansar *et al.* (2021) investigam a exposição ocupacional a perigos e compostos orgânicos voláteis em pequenas plantas de reciclagem de plástico na Tailândia, integrando conceitos de avaliação de risco e ciclo de vida. O estudo não apenas avalia os riscos para os trabalhadores nessas plantas, mas também considera os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos processos de reciclagem de plástico, utilizando uma abordagem integrada que combina avaliação de riscos com aspectos de ACV.

Sahle-Demessie *et al.* (2021) concentram-se no processo de recuperação de materiais de resíduos eletrônicos por meio da pirólise. Ele inclui medições das emissões geradas durante o processo de pirólise e avalia os riscos associados. A pesquisa visa entender os impactos ambientais e de saúde da pirólise como um método para reciclagem de resíduos eletrônicos, considerando fatores como poluentes do ar, emissões de gases de efeito estufa e riscos potenciais para trabalhadores e comunidades próximas. Este artigo integra aspectos da metodologia de ACV, especialmente na avaliação dos impactos ambientais do processo de pirólise.

A triagem de materiais é abordada por Jang *et al.* (2022) que investigam a reciclagem e a análise de fluxo de materiais de veículos no fim de vida útil na Coreia do Sul, visando à circulação de recursos. A pesquisa analisa como os materiais dos veículos são reciclados e reintegrados na economia para maximizar a eficiência na recuperação de recursos e minimizar os impactos ambientais.

Levando em consideração as abordagens sobre a gestão de resíduos, duas publicações destacaram-se. Civancik-Uslu *et al.* (2019) examinam como diferentes abordagens metodológicas na ACV afetam os resultados da avaliação de compostos, com foco em embalagens. O estudo investiga questões como alocação no fim de vida útil, créditos ambientais, e outros fatores metodológicos, utilizando um estudo de caso de economia circular dentro de uma unidade de triagem. Por outro lado, Gu *et al.* (2019) explora a integração da Internet com a reciclagem, utilizando um sistema de gestão de resíduos associado a um aplicativo móvel. O estudo realiza uma avaliação de balanço de massa e uma ACV do sistema, investigando como a tecnologia pode ser usada para melhorar a eficiência da reciclagem. Ele examina os fluxos de resíduos, os impactos ambientais associados às diferentes fases do ciclo de vida do sistema de gestão de resíduos e os benefícios potenciais de implementar essa abordagem para promover práticas mais sustentáveis de reciclagem.

Por fim, Faraca *et al.* (2019) avaliam os custos ambientais e financeiros da reciclagem de resíduos plásticos rígidos coletados em centros de reciclagem dinamarqueses. A análise destacou a importância da eficiência de triagem e rendimentos técnicos para maximizar os benefícios da reciclagem, concluindo que a reciclagem de alta qualidade pode resultar em significativas economias ambientais e receitas financeiras.



Observa-se que a utilização da ACV abrange diversos aspectos relacionados às cooperativas de reciclagem, com ênfase nos impactos ambientais (seis artigos), além de gestão de resíduos (dois artigos), triagem de materiais e custos associados (um artigo cada). Segundo Faraca *et al.* (2019), a ACV oferece uma abordagem mais abrangente para avaliar como os sistemas de gestão de resíduos impactam o meio ambiente. Essa avaliação fornece uma base sólida para a tomada de decisões, permitindo uma compreensão mais profunda do desempenho ambiental e das consequências de diferentes abordagens de gestão de resíduos.

5. Conclusões

Levando em consideração a promoção da economia circular é possível observar que a implementação da ACV permite uma compreensão mais detalhada dos fluxos de materiais e energia, possibilitando a identificação de oportunidades para a redução do desperdício e a otimização dos processos de reciclagem. Além disso, a aplicação dessa abordagem facilita a conservação de recursos naturais ao maximizar a reutilização de materiais e minimizar a necessidade de matéria-prima virgem. As cooperativas de reciclagem, ao adotar práticas orientadas pela ACV, não só conseguiram melhorar a eficiência operacional, mas também abriram novas oportunidades de negócios sustentáveis, criando valor adicional para os membros das cooperativas e contribuindo para a economia local.

A revisão dos artigos revelou que apenas 25,6% dos trabalhos sobre cooperativas de reciclagem e tópicos correlatos abordaram a ACV com foco na promoção da economia circular e na transformação de resíduos em recursos valorizados. Essa porcentagem limitada destaca uma área de pesquisa ainda incipiente, sugerindo uma necessidade significativa de maior investigação e conscientização sobre a relevância da ACV. A implementação dessa metodologia nas cooperativas de reciclagem pode potencialmente amplificar os benefícios ambientais e econômicos, promovendo práticas mais sustentáveis e eficazes na gestão de resíduos. Portanto, incentivar o uso da ACV é essencial para fortalecer a economia circular e maximizar o valor dos recursos recicláveis.

Apesar dos desafios, a ACV oferece um potencial significativo para as cooperativas de reciclagem, melhorando a eficiência operacional, reduzindo impactos ambientais e promovendo a transição para a economia circular. A disseminação de estudos sobre a importância da ACV e o apoio para sua aplicação podem aumentar o interesse e a pesquisa nesse campo. Estabelecer essa conexão é crucial para adotar práticas mais sustentáveis, melhorar a eficiência e garantir a conformidade com as normas ambientais, além de fortalecer a confiança e o comprometimento com a proteção ambiental.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Avaliação Ambiental e Energética (LAvAE) da UFPB e ao apoio financeiro da FAPESQ (Projeto 3063/2021do Edital Nº 09/2021) e do CNPq (Bolsas de produtividade 309452/2021-0 e 308753/2021-6, e Projeto 424173/2021-2).

7. Referências bibliográficas

ABEND, Lisa. Finlândia quer acabar com todos os resíduos até 2050. Time, 31 dez. 2021. Disponível em: <https://time.com/6132391/finland-end-waste/>. Acesso em: 2 jun. 2024.



ACORDO DE PARIS (2015). Acordo de Paris. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf. Acesso em: 29 maio 2024.

ANSAR, Muhammed Ayaj *et al.* Occupational exposure to hazards and volatile organic compounds in small-scale plastic recycling plants in Thailand by integrating risk and life cycle assessment concepts. **Journal of Cleaner Production**, v. 329, p. 129582, 2021.

BRASIL. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm. Acesso em: 29 maio 2024.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Diagnóstico Temático: Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. Brasília: SNIS, 2023. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em: 4 jun. 2024.

BUI, Tat-Dat *et al.* Opportunities and challenges for solid waste reuse and recycling in emerging economies: A hybrid analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 177, p. 105968, 2022.

CAMPOS, Heliana Kátia Tavares. Recycling in Brazil: Challenges and prospects. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 85, p. 130-138, 2014.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. Pesquisa Ciclossoft 2012. São Paulo: CEMPRE, 2012. Disponível em: <http://www.cempre.org.br>. Acesso em: 18 maio 2024.

CIVANCIK-USLU, Didem *et al.* Influence of end-of-life allocation, credits and other methodological issues in LCA of compounds: An in-company circular economy case study on packaging. **Journal of Cleaner Production**, v. 212, p. 925-940, 2019.

DAS, Amit Kumar; MUKHERJEE, Jenia; CHATTERJEE, Uday. From trash to treasure: advancing the socio-ecological practice of rag picking for sustainable development in the Chandannagar town of Hooghly, West Bengal, India. **Socio-Ecological Practice Research**, v. 5, n. 3, p. 325-340, 2023.

DORR, Erica *et al.* A life cycle assessment method to support cities in their climate change mitigation strategies. **Sustainable Cities and Society**, v. 85, p. 104052, 2022.

DUTRA, Renato Meira Sousa ; YAMANE, Luciana Harue; SIMAN, Renato Ribeiro. Influence of the expansion of the selective collection in the sorting infrastructure of waste pickers' organizations: A case study of 16 Brazilian cities. **Waste Management**, v. 77, p. 50-58, 2018.

ELSTON, Dirk M. Mendeley. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v. 81, n. 5, p. 1071, 2019.

FARACA, Giorgia *et al.* Combustible waste collected at Danish recycling centres: Characterisation, recycling potentials and contribution to environmental savings. **Waste management**, v. 89, p. 354-365, 2019.

FERRONATO, Navarro *et al.* Comparison of environmental impacts related to municipal solid waste and construction and demolition waste management and recycling in a Latin American developing city. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-15, 2021.



FERRONATO, Navarro *et al.* Environmental assessment of construction and demolition waste recycling in Bolivia: Focus on transportation distances and selective collection rates. **Waste Management & Research**, v. 40, n. 6, p. 793-805, 2022.

GEISSDOERFER, Martin *et al.* The Circular Economy–A new sustainability paradigm?. **Journal of cleaner production**, v. 143, p. 757-768, 2017.

GU, Fu *et al.* Exploring “Internet+ Recycling”: Mass balance and life cycle assessment of a waste management system associated with a mobile application. **Science of the total environment**, v. 649, p. 172-185, 2019.

GUTBERLET, Jutta *et al.* Waste picker organizations and their contribution to the circular economy: Two case studies from a global south perspective. **Resources**, v. 6, n. 4, p. 52, 2017.

IBÁÑEZ-FORÉS, Valeria *et al.* Influence of implementing selective collection on municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 134, p. 100-111, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB). 2018.

JANG, Yong-Chul *et al.* Recycling and material-flow analysis of end-of-life vehicles towards resource circulation in South Korea. **Sustainability**, v. 14, n. 3, p. 1270, 2022.

KHANDELWAL, Harshit *et al.* Life cycle assessment of municipal solid waste management options for India. **Bioresource technology**, v. 288, p. 121515, 2019.

KERDLAP, Piya *et al.* Comparing the environmental performance of distributed versus centralized plastic recycling systems: applying hybrid simulation modeling to life cycle assessment. **Journal of Industrial Ecology**, v. 26, n. 1, p. 252-271, 2022.

KIRCHHERR, Julian; REIKE, Denise; HEKKERT, Marko. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, conservation and recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.

KREITH, Frank; TCHOBANOGLIOUS, George. Handbook of solid waste management. McGraw-hill, 2002.

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.

LIU, Zhe; ADAMS, Michelle; WALKER, Tony R. Are exports of recyclables from developed to developing countries waste pollution transfer or part of the global circular economy?. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 136, p. 22-23, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Objetivos de Desenvolvimento do Milênio: relatório de 2015. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <http://www.odmbrasil.gov.br/os-objetivos-de-desenvolvimento-do-milenio>. Acesso em: 26 jun. 2024.

PAES, Michel Xocaira *et al.* Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic indicators based on life cycle assessment. **Journal of cleaner production**, v. 254, p. 119848, 2020.

PETIT-BOIX, Anna *et al.* Application of life cycle thinking towards sustainable cities: A review. **Journal of cleaner production**, v. 166, p. 939-951, 2017.



SAHLE-DEMESSIE, Endalkachew *et al.* Material recovery from electronic waste using pyrolysis: Emissions measurements and risk assessment. **Journal of environmental chemical engineering**, v. 9, n. 1, p. 104943, 2021.

SHRUTI, V. C. *et al.* An assessment of higher-value recyclable wastes in Mexico City households using a novel waste collector citizen science approach. **Science of The Total Environment**, v. 863, p. 161024, 2023.

TCHOBANOGLIOUS, George. Solid waste management. Environmental engineering: environmental health and safety for municipal infrastructure, land use and planning, and industry. Wiley, New Jersey, p. 177-307, 2009.

TENODI, Slaven *et al.* Assessment of the environmental impact of sanitary and unsanitary parts of a municipal solid waste landfill. **Journal of Environmental Management**, v. 258, p. 110019, 2020.

VLASOPOULOS, Antonis *et al.* Life cycle assessment of plastic waste and energy recovery. **Energy**, v. 277, p. 127576, 2023.

WONG, Danitta. VOSviewer. **Technical Services Quarterly**, v. 35, n. 2, p. 219-220, 2018.

YADAV, Pooja; SAMADDER, S. R. Life cycle assessment of solid waste management options: A Review. **Recent research in Science and Technology**, v. 6, n. 1, 2014.

YAMAKAWA, Eduardo Kazumi *et al.* Comparativo dos softwares de gerenciamento de referências bibliográficas: Mendeley, EndNote e Zotero. **Transinformação**, v. 26, n. 2, p. 167-176, 2014.

YEŞİLLER, Nazli *et al.* Assessment of methane emissions from a California landfill using concurrent experimental, inventory, and modeling approaches. **Waste Management**, v. 154, p. 146-159, 2022.