

AS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE 2013 A 2023.

GT 6: EDUCAÇÃO AMBIENTAL, COMUNICAÇÃO E ARTES

Trabalho Completo

Hilário Moisés da CRUZ (Docente da UNEMAT/Diamantino/Mato Grosso)

hilario.cruz@unemat.br

Cristiano MACIEL (Docente da UFMT/Cuiabá/Mato Grosso)

crismac@gmail.com

Ana Paula KUHN (Docente da UNEMAT/Diamantino/Mato Grosso)

anapaulakuhn@unemat.br

Resumo

Este artigo apresenta resultados de pesquisas sobre as Tecnologias de Tratamento dos resíduos sólidos urbanos e como esses processos tem contribuído para a economia verde. Trata-se de uma revisão realizada no Portal Periódico da CAPES entre 2013 a 2023, utilizando os descritores (Tecnologias de tratamento, resíduos sólidos urbanos, economia verde). Foram selecionados 32 (trinta e dois artigos) para análise. O recorte temporal justifica-se em função da lei nº 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Os resultados evidenciaram que 69% dos artigos analisados evidenciam o processo de Triagem e reciclagem como a tecnologia de tratamento mais utilizada.

Palavras-chave: Tecnologias. Resíduos sólidos urbanos. Economia verde

1. Introdução

Sabe-se que o conceito de economia verde alia crescimento econômico, justiça social e preservação do meio ambiente. Nos últimos tempos vem ganhando maior importância, com diversos países, empresas e pessoas preocupadas com o meio ambiente. Nesse contexto, o processo de reciclagem mostra-se como alternativa para economia e para preservação do meio ambiente. Entre os problemas ambientais na atualidade destaca-se a problemática relacionada à questão da produção de resíduos sólidos, bem como seu destino correto, haja vista o alto padrão de consumo na atualidade.

Com aproximadamente 50% da população global vivendo em economias emergentes que estão rapidamente se urbanizando, com perspectiva de aumento de renda e de poder aquisitivo, é extremamente necessário que o planejamento urbano seja eficaz e alinhado aos princípios da Economia Verde.

O artigo foi construído a partir de uma revisão sistemática realizada no Portal de periódicos da CAPES, considerando os descritores: Tecnologias de tratamento, resíduos sólidos urbanos e economia verde. O recorte temporal foi de 2013 a 2023. No total, o filtro nos trouxe

trinte e dois trabalhos. Objetivou-se compreender quais tecnologias de tratamento dos resíduos sólidos urbanos tem sido utilizadas nos últimos 10 anos.

Para tanto, inicialmente faz-se uma reflexão sobre o conceito de economia verde, sobre o conceito de resíduos sólidos urbanos e as tecnologias de tratamento e sobre o que podemos melhorar na sociedade com a implantação da economia verde. Em seguida, apresenta-se o percurso metodológico, a tabela construída a partir dos textos selecionados e a análise dos dados coletados. Por fim, aponta-se algumas reflexões acerca da pesquisa realizada e considerações pontuais sobre os textos analisados.

2. Desenvolvimento

Nos próximos itens discutiremos o conceito de Economia Verde, que por sua vez, é a abordagem conceitual que dá sustentação a esta pesquisa. O conceito de resíduos sólidos urbanos e as possíveis tecnologias de tratamento são brevemente discutidos com o objetivo de compreender que o correto tratamento dos RSU (resíduos sólidos urbanos) contribui significativamente para a preservação do meio ambiente, gera empregos, diminui a desigualdade social e assim contribui para a efetivação da Economia Verde.

2.1 Discutindo o conceito de Economia Verde

Inicialmente gostaríamos de compreender o conceito de economia verde. Entende-se que depois da Conferência de Estocolmo, de 1972, e da ECO92, a preocupação com o impacto ao meio ambiente resultante do desenvolvimento econômico ficou muito mais evidente. Percebe-se que depois desses movimentos governos e empresas passaram a se empenhar para desenvolver e implementar formas de produção que fossem menos nocivas ao ambiente.

Foi em 2008, que o conceito de economia verde foi apresentado ao mundo. Essa apresentação veio em um momento em que muitos especialistas afirmavam que a humanidade estava à beira de presenciar um colapso ambiental e a escassez de diversos recursos naturais.

De acordo com o documento PNUMA (Programa das Nações unidas para o Meio ambiente), a economia verde se preocupa com a inclusão social, se preocupa com a baixa emissão de carbono, e é eficiente com o modo como utiliza os recursos naturais. Além disso, o documento prevê também, que o crescimento da oferta de empregos e da renda dos trabalhadores deve ser impulsionado pelos setores públicos e privados.

Atualmente, diversos países pelo mundo já colocaram no seu orçamento o investimento em setores que desenvolvem projetos sócio e ambientalmente responsáveis: Energia renovável; Tecnologia limpa; Eficiência energética (Coréia do Sul); Melhorias no sistema de transporte para grandes metrópoles (México); Energia eólica (China).

Segundo Young (2011, p.01)

As pesquisas evidenciam que os principais desafios da economia verde é a transição do modelo atual de produção para o proposto pela economia verde. Isso porque o desenvolvimento de formas mais eficazes de produção, que gerem menos impacto ao meio ambiente e sejam capazes de aproveitar melhor as matérias-primas e recursos naturais, geralmente, são mais caros e não estão disponíveis em muitos países.

Neste contexto, nosso foco neste artigo é compreender de que forma o processamento dos resíduos sólidos urbanos pode contribuir com a implantação de uma economia verde.

Lidar com toda a quantidade de resíduos sólidos produzidos não é fácil. Afinal de contas, nem todos os tipos de plástico podem ser reciclados e as pessoas ainda não possuem o hábito de separar os seus resíduos.

A reciclagem em um sistema de gestão integrada de resíduos sólidos remete às etapas de recuperação de recicláveis dos resíduos urbanos e sua utilização como matéria-prima secundária. O processo de recuperação da matéria-prima configura-se o conjunto de ações envolvendo a coleta seletiva e a triagem dos resíduos, sua limpeza e prensagem e/ou enfardamento, conforme o tipo de material, deixando-o pronto para ser transformado como matéria-prima secundária. É nesta última etapa que fica reservado o termo "reciclagem" propriamente dito. Ademais, a reciclagem abrange também a compostagem de matéria orgânica.

Segundo Valle (1995, p. 71): “O ato de reciclar, isto é, refazer o ciclo, permite trazer de volta, à origem, sob a forma de matéria-prima aqueles materiais que não se degradam facilmente e que podem ser reprocessados, mantendo as suas características básicas”.

Assim sendo, poderíamos dizer que a reciclagem ocorre sempre que se encontra um novo uso para alguma coisa que, até então, já não teria nenhuma utilidade, mas que seu material substitui perfeitamente a matéria prima e pode gerar renda a muitas famílias que fazem a coleta. Valle (1995, p. 74) afirma que: “Do ponto de vista social, pode-se acrescentar mais um fator que é a geração de empregos nos níveis mais baixos da sociedade, através da utilização de mão-de-obra menos qualificada, na figura dos ‘catadores’ e ‘carrinheiros’”.

Sabe-se que investir em boas práticas no setor de resíduos sólidos traz benefícios sociais e econômicos. Podemos citar o remanejamento para as cooperativas de reciclagem da mão-de-obra que hoje está submetida a subempregos nos grandes lixões, os ganhos para a saúde pública devido à redução da incidência de doenças causadas pelos vetores presentes nos lixões e menor consumo de recursos naturais necessários na produção, possibilitando o desenvolvimento de novas tecnologias e o aumento do número de indústrias recicladoras em todo o país.

2.2 O que pode melhorar com a implantação da economia verde?

Diversos setores podem ser beneficiados, resultando no crescimento da economia como um todo. Na Agricultura orgânica, por exemplo, o crescimento do mercado nacional e internacional de alimentos e bebidas orgânicas vem crescendo cada vez mais.

Quando pensamos em Energia renovável, entende-se que cada vez mais, os países em desenvolvimento vêm aumentando os seus investimentos em fontes de energia renovável, sendo importantes exportadores de equipamento para atender à demanda dos países desenvolvidos.

No Turismo, os resultados têm sido positivos ano após ano. Dentro desta área, o subsetor de ecoturismo é uma grande promessa para desenvolver novas atividades. E alguns países saem na frente quando o assunto é beleza natural. Nosso país, por exemplo, possui inúmeros lugares onde esse tipo de atividade pode ser desenvolvido. O mesmo ocorre com a Pesca e aquicultura: a pesca é um importante setor da economia brasileira, devido, em grande parte, ao vasto litoral e à grande quantidade de rios que o país possui. Com a utilização de padrões de certificação sustentável, o setor tende a crescer ainda mais. E assim muitos benefícios poderão ser notados em vários setores da economia brasileira.

2.3 O que são Resíduos Sólidos Urbanos

Seibert (2014), até meados da década de 1970 afirma que os resíduos sólidos foram generalizados como lixo, ou seja, sem qualquer valor econômico. A busca por soluções na área de resíduos reflete a demanda da sociedade que constantemente pressiona por mudanças motivadas pelos elevados custos socioeconômicos e ambientais. Se manejados adequadamente, os resíduos sólidos adquirem valor comercial e podem ser utilizados em forma de novas matérias-primas ou novos insumos. Segundo a Norma ABNT NBR 10004:2004, resíduos sólidos são:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (Norma ABNT NBR 10004:2004).

Entende-se assim que tais resíduos são classificados de acordo com a sua periculosidade, levando em conta características físico-químicas (inflamabilidade, explosibilidade, reatividade) e/ou infectocontagiosas (toxicidade, patogenicidade) que possam provocar riscos à saúde pública e ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada. Nesse contexto, alguns exemplos de resíduos sólidos são: material de bota-fora, lixo urbano, entulhos e sucatas, lamas, lodos, cinzas/escórias, entre outros.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são resultantes de atividades humanas, podendo ser de origem doméstica, comercial, industrial, hospitalar e de construções civis. A Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), resíduos sólidos urbanos (RSU) são os materiais advindos de atividades domésticas em residências do perímetro urbano e os restos da limpeza de vias públicas, de outros serviços de limpeza urbana e da varrição. Foi aprovada em 02 de agosto de 2010, pelo Congresso Nacional a PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), a mais completa tentativa de cercar, ao máximo, e modificar o cenário futuro vislumbrado (BRASIL, 2010).

De acordo com Prates et al. (2019), mesmo com a vigência da PNRS no Brasil desde 2010, grande parte dos resíduos ainda são dispostos em aterros, sem qualquer processamento prévio. Alternativas ao não aterramento de resíduos tendem a gerar maiores benefícios a longo prazo, como a garantia de recuperação de materiais recicláveis, diminuindo o passivo ambiental gerado pelo mau gerenciamento dos resíduos.

É consenso que, devido à grande extensão territorial e a imensa quantidade de entes federativos, uma política de abrangência nacional, por si só, não resolveria a problemática dos RSU, devendo ser paralelamente acompanhada por iniciativas estaduais e municipais onde, estes, busquem implementar políticas em prol de seus benefícios socioambientais e econômicos.

2.4 Das Tecnologias de tratamentos dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

As tecnologias de tratamento surgiram com o intuito de promover a diminuição do impacto negativo no meio ambiente e para a saúde humana, causados pela má disposição dos

RSU, além de, em alguns casos, gerar um retorno financeiro para as organizações que as promovem. Diversos são os tipos de tecnologia no mercado, não existindo uma mais eficiente. É necessária que haja uma avaliação por meio de critérios técnicos, econômicos e socioambientais da área de aplicação, para que se possa definir a técnica mais adequada a ser implementada.

Tabela 1- Quanto a classificação das tecnologias de tratamento

Caráter	Tipo	Características
Físico	Triagem e Reciclagem	O processo de triagem de resíduos consiste na separação dos materiais que serão destinados para a reciclagem. Os resíduos são separados de acordo com suas características físicas e químicas a fim de gerar maior valor comercial e maior aproveitamento dos materiais descartados
Biológico	Tratamentos Biológicos	São tratamentos oriundos da decomposição de matéria orgânica por meio de ações de agentes biológicos, como por exemplo bactérias e protozoários, podendo ocorrer de forma aeróbica ou anaeróbica.
Físico-químico	Incineração e combustíveis derivados de resíduos	O processo consiste na recuperação do poder calorífico dos resíduos mediante um processo de tratamento térmico controlado, transformando-os em energia.
Físico-químico-biológico	Aterros sanitários	Aterros Sanitários são locais criados para a disposição final dos resíduos sólidos de maneira correta através de técnicas de engenharia capazes, não somente, de evitar a infiltração do chorume no lençol freático, mas também diversos danos ambientais causados por disposição imprópria dos mesmos.

Fonte: Autoria Própria (2024)

3. A metodologia e a seleção dos trabalhos analisados

Para construção desse trabalho, utilizou-se da revisão sistemática. Sampaio e Mancini (2006), explicam que uma revisão sistemática, assim como outros tipos de estudo de revisão, é uma forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados a literatura sobre determinado tema.

Esse tipo de investigação disponibiliza um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada. As revisões sistemáticas são particularmente úteis para integrar as informações de um conjunto de estudos realizados separadamente sobre determinada terapêutica/intervenção, que podem apresentar resultados conflitantes e/ou coincidentes, bem como identificar temas que necessitam de evidência, auxiliando na orientação para investigações futuras. (2006, p.84)

Nesse contexto, este artigo observou todos os protocolos de busca de uma revisão de literatura. Observa-se na tabela abaixo:

Tabela 2- Quanto aos critérios utilizados na base de dados Portal Periódicos da CAPES

Crítérios de busca	Detalhamento	Resultados
Palavras-chave	Tecnologias de tratamento, Resíduos sólidos urbanos, economia verde.	42
Tipo de Publicação	Artigos	34
Recorte temporal	2013 a 2023	33
Idioma	Português	25
	Inglês	07
Total de trabalhos analisados		32

Fonte: Autoria Própria (2024)

Considerando os critérios de inclusão dos artigos selecionados, obteve-se o total de 32 artigos que serão analisados neste artigo. Na próxima tabela evidencia-se a quantidade de artigos e os periódicos de publicação.

Tabela 3- Quanto as fontes de publicação

Quant. de artigos	Revista/fonte de Publicação
09	HOLOS
04	Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas
04	Revista de Gestão Ambiental e da Sustentabilidade
03	Revista Metropolitana de Sustentabilidade
02	Revista Inovação, Projectos e Tecnologias
01	Revista Ambiente & Água
01	Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental
01	Revista de Direito e Sustentabilidade
01	Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias da Informação
01	Cadernos EBAPE.BR
01	Guia do Estudante
01	Política & Sociedade
01	Sociologia
01	Future Studies Research Journal: Trends and Strategy
01	Almanaque Abril
32	

Fonte: Autoria Própria (2024)

Salienta-se que dos trinte e dois artigos selecionados, apenas 13 (treze) trazem dados empíricos. Quatro trabalhos apresentam resultados de entrevistas e análises documentais de projetos construídos por entidades governamentais. Os demais artigos são mapeamentos e revisões bibliográficas de literatura. Na tabela abaixo elucida-se os locais a pesquisas empíricas foram realizadas, bem como os resultados alcançados.



Tabela 4- Quanto aos lócus das pesquisa e resultados alcançados

Lócus de pesquisa	Resultados
Hospital de Guaporé RS	O estudo indica que o hospital precisa se adequar às legislações vigentes e a um programa de educação permanente em serviço.
Hospital Naval Marcilio Dias RJ	Foram gerados indicadores de performance relativos aos principais aspectos ambientais do estabelecimento de saúde estudado (consumo de água, consumo de energia elétrica e geração de resíduos hospitalares de diferentes tipos) em comparação com valores sugeridos na bibliografia. Os resultados indicam que não houve melhora significativa no eco eficiência do hospital no período avaliado (2011-2015)
Oficina Mecânica	Foram formuladas sugestões de melhoria baseadas na legislação vigente, como a adequação dos toneis de armazenagem dos resíduos e a construção de uma barreira de contenção para o tonel de óleo lubrificante usado, sendo que essas contribuições são tanto para agregar nos processos atuais da empresa, como também são fundamentos para o estabelecimento de um PGRS no futuro
Limpeza pública dos Resíduos sólidos urbanos SP	Conclui-se que a destinação adequada dos resíduos, através da reciclagem, compostagem ou geração de energia, necessita de engajamento da população com hábitos de separação e disposição de resíduos, de envolvimento da administração municipal, provendo recursos necessários para a evolução destas alternativas e, por último, não pode prescindir de ações da logística reversa pelas empresas produtoras, respeitando a legislação federal
Córrego Mandaqui SP	Constatou-se que Programa Córrego limpo conferiu significativa contribuição para a cidade e população. Após a despoluição do córrego do Mandaqui, houve melhoria significativa na qualidade de vida das pessoas, principalmente nas que habitam no entorno do córrego.
Cooperativas de reciclagem de Santo André (SP)	Foi realizado estudo de caso em duas cooperativas, evidenciando-se os resultados de cada uma. A conclusão foi que o cooperativismo pode ser considerado uma alternativa de geração de trabalho e renda aos trabalhadores que se encontram fora do mercado de trabalho
Cooperativa de reciclagem localizada na cidade de Esteio, no Rio Grande do Sul, Brasil	Os resultados indicam que a cooperativa de reciclagem estudada realiza diversas práticas de logística reversa, as quais são essenciais para o fluxo reverso dos materiais.
Sistema de coleta seletiva em Natal / RN	Na pesquisa, fica claro que as cooperativas possuem uma estrutura precária que afeta diretamente o desenvolvimento da atividade e a qualidade de vida dos catadores envolvidos na cadeia da reciclagem. sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos
Beneficiadora paraense de polpa de açaí, com foco na reciclagem dos caroços e, conseqüente, revalorização deste resíduo	Foi proposta uma estrutura de canal reverso envolvendo etapas de coleta, triagem, tratamento e eliminação com base no modelo de Fleishmann et al. (2000), fatores influentes na sua construção de resíduos sólidos urbanos pós-consumo



Restaurantes Universitários de uma Instituição de Ensino Superior (IES) pública federal como matéria prima para a geração de biodiesel	Utilizou-se o método de Dinâmica de Sistemas. O modelo foi implementado utilizando o software Vensim e, a partir de uma análise de cenário para um período de 10 anos, verificaram-se as possíveis reduções da poluição de recursos hídricos e da emissão de CO ₂ , bem como a economia financeira, resultante da substituição da compra de óleo diesel proveniente do petróleo pelo biocombustível gerado a partir do óleo.
Os dois maiores aterros sanitários da cidade de São Paulo	A comparação mostrou que a quantidade de gás de aterro capturado está cerca de 52% abaixo das estimativas iniciais no início dos projetos, e a versão 13 do ACM0001 é capaz de produzir previsões mais próximas do real
Lavadoras de veículos da cidade de Campina Grande, na Paraíba.	Foi realizada a caracterização química e física das águas residuais de cinco 20 empresas pesquisadas na etapa anterior, e na terceira etapa foram medidas as cargas poluentes de águas residuais da lavagem de veículos
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte	Destacam-se como resultados: um conjunto consistente de indicadores de resultados para mensurar as variáveis propostas, visando a efetiva implementação e melhoria contínua do processo de monitoramento do desempenho ambiental da Instituição. Indicadores ambientais, gestão de água, gestão de energia, resíduos sólidos

Total	13
-------	----

Fonte: Autoria Própria (2024)

Na próxima tabela, aborda-se as tecnologias de tratamento dos resíduos sólidos encontradas nas análises dos artigos selecionados.

Tabela 05- Quanto as Tecnologias utilizadas no tratamento dos resíduos sólidos

Quant. De Pesquisa	Caráter	Tipo
09	Físico	Triagem e Reciclagem
02	Físico-químico	incineração e combustíveis derivados de resíduos
02	Físico-químico-biológico	aterros sanitários
01	Biológico	Tratamentos Biológicos
Total	13	

Fonte: Autoria Própria (2024)

Observa-se que 69% dos trabalhos analisados abordam o processo de triagem e reciclagem como tecnologia de tratamento dos resíduos sólidos urbanos. As empresas especializadas no tratamento de resíduos são as responsáveis por receber e manejar adequadamente as sobras geradas nos diferentes setores. É um trabalho que exige o cumprimento de uma série de requisitos, pois muitos resíduos são danosos, com altas concentrações de poluentes, que representam riscos à saúde das pessoas e ao meio ambiente.

4. Conclusões

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou a ampliação do conhecimento e identificação do que são as possíveis Tecnologias de Tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos. Evidenciou que a triagem e reciclagem são tecnologias de tratamento que predominaram nos estudos analisados.

Conclui-se que a destinação adequada dos resíduos, através da reciclagem, compostagem ou geração de energia, necessita de engajamento da população com hábitos de separação e disposição de resíduos, de envolvimento da administração municipal, provendo recursos necessários para a evolução destas alternativas e, por último, não pode prescindir de ações da logística reversa pelas empresas produtoras, respeitando a legislação federal. Ao procurar ampliar a discussão sobre os resíduos sólidos, este trabalho busca inserir essa questão na discussão da efetivação da economia verde de forma mais significativa, enfatizando a importância das decisões de estratégia e investimento do poder público e privado.

A ideia de sustentabilidade urbana vem se disseminando através de importantes estudos e protocolos internacionais, no intuito das cidades superarem desafios de ordem social, econômica e ambiental para gerar qualidade de vida aos seus cidadãos e contribuir com a capacidade de desenvolvimento das gerações futuras.

Sabe-se que a economia verde vem como uma alternativa de modelo econômico mais sustentável que reorienta os padrões de consumo e produção atuais. Esse modelo busca processo de desenvolvimento e instrumento econômico que faça uso sustentável dos recursos naturais e a gestão correta de resíduos.

5. Referências Bibliográficas

FAJNZYLBER, F. (1988). "**Competitividad internacional: evolución y lecciones**". Revista de la CEPAL, n. 36, diciembre 1988, pp. 7-24.

VALLE, Cyro E. **Qualidade ambiental: como ser competitivo protegendo o meio ambiente**. São Paulo: Pioneira, 1995.

PREBISCH, R. **El desarrollo economic de la America Latina y algunos de sus problemas**. In: GURRIERI, A. *La obra de Prebisch en la CEPAL* México: Fondo de Cultura Económica, 1982.

SAMPAIO RF, MANCINI MC, Fonseca ST. **Prática baseada em evidência: buscando informação para fundamentar a prática clínica do fisioterapeuta e do terapeuta ocupacional**. Rev. Bras. Fisioter. 2002;6(3):113-8