



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO
PERNAMBUCANO - CAMPUS PETROLINA
LICENCIATURA EM QUÍMICA**

MIRELLA LAIZE ALVES SIQUEIRA

**A QUÍMICA NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: Uma Revisão de Literatura
sobre Estratégias Didáticas e Sustentabilidade**

PETROLINA-PE

2025



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO
PERNAMBUCANO - CAMPUS PETROLINA
LICENCIATURA EM QUÍMICA**

MIRELLA LAIZE ALVES SIQUEIRA

**A QUÍMICA NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: Uma Revisão de Literatura
sobre Estratégias Didáticas e Sustentabilidade**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, como parte dos requisitos para a conclusão do curso de Licenciatura em Química.

Orientador(a): Profa. Dra. Germana Karla de Lima Carvalho

PETROLINA-PE

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A111 ALVES SIQUEIRA, MIRELLA LAIZE.

A QUÍMICA NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS : Uma Revisão de Literatura sobre Estratégias Didáticas e Sustentabilidade / MIRELLA LAIZE ALVES SIQUEIRA. - Petrolina, 2025.
40 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina, 2025.
Orientação: Prof. Dr. GERMANA KARLA DE LIMA CARVALHO.

1. Química. 2. Resíduos sólidos. 3. Química ambiental. 4. Educação ambiental. 5. Técnicas químicas. I. Título.

CDD 540

MIRELLA LAIZE ALVES SIQUEIRA

A QUÍMICA NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: UMA REVISÃO DE LITERATURA SOBRE ESTRATÉGIAS DIDÁTICAS E SUSTENTABILIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia), apresentado ao IFSertãoPE campus Petrolina, como parte das exigências para obtenção do título de Licenciado(a) em Química.

Aprovado em: 07 de novembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA:

Germana K. Carvalho

Profa. Dra. Germana Karla de Lima Carvalho
(IF SertãoPE - Orientadora)

Kamilla Barreto Silveira

Profa. Dra. Kamilla Barreto Silveira
(IF SertãoPE - Membro Interno)

William da Silva Soares

Analista e Prof. Dr. William da Silva Soares
(SENAI Petrolina - Membro Externo)

RESUMO

A Química, ao interagir com a educação ambiental e as práticas voltadas à gestão de resíduos sólidos, revela-se uma ferramenta essencial para a compreensão dos processos que impactam o meio ambiente e para o desenvolvimento de soluções sustentáveis que promovam a conscientização social. O presente Trabalho de Conclusão de Curso apresenta uma pesquisa bibliográfica de caráter qualitativo, cujo objetivo principal foi investigar as técnicas químicas aplicadas ao tratamento de resíduos sólidos, com ênfase em suas contribuições para a sustentabilidade ambiental e educacional. A metodologia baseou-se na revisão sistemática de publicações científicas, teses, dissertações e documentos institucionais disponíveis em bases de dados como Google Acadêmico, Scopus, SciELO e Science.gov, utilizando critérios de inclusão específicos para o período de 2020 a 2025. A análise dos dados seguiu os princípios da análise de conteúdo qualitativa, permitindo a identificação de três categorias principais de técnicas: reciclagem química de polímeros, compostagem baseada em reações bioquímicas e recuperação seletiva de materiais de alto valor agregado. Os resultados demonstraram que essas técnicas não apenas contribuem para a mitigação dos impactos ambientais, mas também impulsionam transformações nas práticas de produção, consumo e educação. A análise realizada evidenciou os principais processos químicos envolvidos, ressaltando seus benefícios, limitações e potencial de aplicação, reforçando o papel da Química como ferramenta essencial para a promoção da sustentabilidade. A pesquisa evidenciou que a Química é fundamental no tratamento de resíduos sólidos, pois permite compreender e aprimorar os processos que reduzem impactos ambientais e tornam as práticas de manejo mais eficientes. Ao revelar como o conhecimento químico potencializa soluções sustentáveis, o estudo reforça a importância de integrar ciência, educação e práticas ambientais, destacando que estratégias didáticas bem estruturadas contribuem para formar uma sociedade mais consciente e responsável.

Palavras-chave: Química ambiental; Resíduos sólidos; Sustentabilidade; Educação ambiental; Técnicas químicas.

ABSTRACT

Chemistry, when integrated with environmental education and practices aimed at solid waste management, proves to be an essential tool for understanding the processes that impact the environment and for developing sustainable solutions that promote social awareness. This Undergraduate Final Project presents a qualitative bibliographic research study whose main objective was to investigate chemical techniques applied to the treatment of solid waste, with emphasis on their contributions to environmental and educational sustainability. The methodology was based on a systematic review of scientific publications, theses, dissertations, and institutional documents available in databases such as Google Scholar, Scopus, CAPES Journals, SciELO, and Science.gov, using specific inclusion criteria for the period from 2020 to 2025. The data analysis followed the principles of qualitative content analysis, allowing the identification of three main categories of techniques: chemical recycling of polymers, composting based on biochemical reactions, and selective recovery of high-value materials. The results showed that these techniques not only help mitigate environmental impacts but also drive transformations in production, consumption, and educational practices. The analysis highlighted the main chemical processes involved, emphasizing their benefits, limitations, and potential applications, reinforcing the role of Chemistry as an essential tool for promoting sustainability. The study demonstrated that Chemistry is fundamental in the treatment of solid waste, as it enables the understanding and improvement of processes that reduce environmental impacts and make waste management practices more efficient. By revealing how chemical knowledge enhances sustainable solutions, the research reinforces the importance of integrating science, education, and environmental practices, highlighting that well-structured didactic strategies contribute to building a more conscious and responsible society.

Keywords: Environmental chemistry; Solid waste; Sustainability; Environmental education; Chemical techniques.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 PROBLEMAS AMBIENTAIS DECORRENTES DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	10
2.2 A QUÍMICA E O TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	12
2.3 TÉCNICAS QUÍMICAS APLICADAS: RECICLAGEM, COMPOSTAGEM E RECUPERAÇÃO.....	14
2.4 ECONOMIA CIRCULAR E SUSTENTABILIDADE.....	17
2.5 EDUCAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA AO ENSINO DE QUÍMICA.....	18
2.6 EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	20
3 METODOLOGIA.....	26
3.1 RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS.....	28
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
REFERÊNCIAS.....	36
APENDICE.....	39

1. INTRODUÇÃO

A intensificação da produção de resíduos sólidos nas últimas décadas representa um dos maiores desafios enfrentados pelas sociedades contemporâneas, especialmente em um contexto marcado pela urbanização acelerada, pelo consumo exacerbado e pelo descarte inadequado de materiais. Esse cenário evidencia não apenas uma crise ambiental, mas também uma crise ética e educativa, que demanda alternativas sustentáveis e fundamentadas cientificamente. Nesse sentido, a Química se destaca como área essencial para compreender os processos de transformação da matéria e para propor soluções técnicas e pedagógicas voltadas à mitigação dos impactos causados pelos resíduos sólidos na saúde pública e nos ecossistemas, articulando-se diretamente com princípios da educação ambiental e com políticas públicas consolidadas ao longo das últimas décadas (Abreu, 2003)

A realização desta pesquisa justifica-se pela necessidade de identificar, compreender e divulgar estratégias químicas capazes de tratar resíduos sólidos de maneira eficiente, ao mesmo tempo em que integra tais processos às práticas educativas que favorecem a formação de sujeitos críticos e socialmente responsáveis. Nesse âmbito, técnicas como a reciclagem química de polímeros, a compostagem mediada por reações bioquímicas e a recuperação seletiva de materiais de alto valor agregado evidenciam o potencial da Química como ferramenta a serviço da sustentabilidade e da promoção de mudanças socioculturais. Além disso, investigações atuais mostram que ações de educação ambiental implementadas em escolas, instituições públicas e comunidades contribuem para o desenvolvimento de práticas mais conscientes, alinhadas às diretrizes nacionais e internacionais relacionadas ao desenvolvimento sustentável (Melo, 2021)

O problema norteador deste trabalho consistiu em investigar de que maneira os processos químicos podem ser empregados no tratamento de resíduos sólidos, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para a integração desses conhecimentos ao ensino de Química, com ênfase nas abordagens voltadas à educação ambiental. Parte-se da hipótese de que, se abordadas de maneira contextualizada, crítica e interdisciplinar, as técnicas químicas aplicadas à gestão de resíduos sólidos podem não apenas aperfeiçoar o tratamento e a destinação desses materiais, mas também funcionar como instrumentos pedagógicos eficazes para promover valores socioambientais. Estudos recentes reforçam que o ensino de

Química fundamentado em problemáticas reais favorece a aprendizagem significativa e estimula a conscientização dos estudantes diante dos desafios ambientais contemporâneos, especialmente no contexto do Antropoceno e de suas implicações para a escolarização científica (Miranda *et al.*, 2018)

Com base nesse questionamento, o objetivo geral desta pesquisa foi investigar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, como os processos químicos aplicados ao tratamento de resíduos sólidos contribuem para a sustentabilidade ambiental e podem ser incorporados de maneira efetiva ao ensino de Química. Como objetivos específicos, propõe-se: identificar as principais técnicas químicas utilizadas entre os anos de 2020 a 2025; analisar sua eficácia e viabilidade ambiental; compreender os impactos sociais e ecológicos de sua aplicação; e propor estratégias pedagógicas com base nas práticas analisadas, incluindo a elaboração de um folheto digital como produto educativo.

O trabalho adotou uma abordagem qualitativa, com delineamento bibliográfico, fundamentado na análise de estudos publicados em bases acadêmicas como SciELO, Scopus, Google Acadêmico e Science.gov. A seleção dos materiais seguiu critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos, priorizando publicações científicas que tratassesem de forma direta a relação entre Química, resíduos sólidos e sustentabilidade. A análise dos dados foi realizada com base na técnica de análise de conteúdo, permitindo identificar categorias temáticas emergentes e construir uma reflexão crítica e fundamentada sobre o tema.

Deste modo, a realização deste estudo não apenas contribui com o debate acadêmico sobre sustentabilidade e ciência, como também fomenta práticas educativas e comunitárias que incorporem o conhecimento químico como ferramenta de transformação socioambiental.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PROBLEMAS AMBIENTAIS DECORRENTES DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A geração de resíduos sólidos representa um dos principais desafios ambientais enfrentados pelas sociedades contemporâneas, cujos efeitos extrapolam os limites locais e assumem proporções globais. O crescimento populacional acelerado, aliado ao modelo de consumo descartável e à obsolescência programada dos produtos, tem impulsionado o aumento significativo da quantidade de resíduos produzidos diariamente, agravando os impactos ecológicos e exigindo soluções urgentes e sustentáveis por parte do poder público e da sociedade civil (El-Deir; Aguiar; Pinheiro, 2016).

Dentre os principais problemas ambientais relacionados à má gestão dos resíduos sólidos estão a contaminação do solo, do ar e dos corpos hídricos, decorrente do descarte inadequado de lixo em áreas não licenciadas, como os lixões e aterros clandestinos. A decomposição da matéria orgânica nesses locais, sem tratamento adequado, gera a liberação de gases tóxicos, como o metano, e de chorume, que infiltra no solo e pode atingir os lençóis freáticos, comprometendo a qualidade da água e a saúde das populações (Rocha; Santos; Navarro, 2012).

A poluição atmosférica e os impactos na saúde pública são outras consequências diretas da destinação inadequada de resíduos. A queima de lixo, prática comum em diversas regiões sem infraestrutura de coleta e tratamento, libera partículas em suspensão e compostos tóxicos que agravam problemas respiratórios, especialmente em crianças e idosos. Além disso, a presença de vetores de doenças, como ratos e insetos, em locais com acúmulo de lixo, potencializa surtos de doenças infectocontagiosas, tornando-se um fator de vulnerabilidade em comunidades já socialmente fragilizadas (Cortés; Fernandez, 2016).

Nos centros urbanos, a saturação dos sistemas de coleta e a ausência de políticas eficazes de separação e reciclagem dificultam a implantação de uma lógica sustentável de gerenciamento de resíduos. Essa situação se agrava ainda mais nas periferias, onde a precariedade da infraestrutura urbana acentua a desigualdade ambiental. A falta de ações educativas voltadas à conscientização da população sobre o destino correto dos resíduos perpetua comportamentos inadequados e

impede a consolidação de uma cultura de responsabilidade compartilhada (Miranda et al., 2018).

Os ecossistemas naturais também sofrem com os impactos dos resíduos sólidos, em especial os ambientes aquáticos, que têm se tornado destino recorrente para plásticos, metais e rejeitos industriais. A fauna marinha, por exemplo, tem sido amplamente afetada pela ingestão de microplásticos, o que compromete as cadeias alimentares e ameaça a biodiversidade. Esses danos são cumulativos e muitas vezes irreversíveis, exigindo uma abordagem interdisciplinar e integrada para mitigar os efeitos da poluição por resíduos sólidos (El-Deir; Aguiar; Pinheiro, 2016).

Ao se considerar a relação entre resíduos e mudanças climáticas, observa-se que os aterros sanitários são fontes significativas de emissões de gases de efeito estufa, especialmente metano, contribuindo para o aquecimento global. A substituição desses sistemas por práticas como a compostagem, a reciclagem e a valorização energética representa não apenas uma alternativa viável, mas uma necessidade urgente diante dos compromissos internacionais assumidos em prol da redução das emissões e da preservação ambiental (Rocha; Santos; Navarro, 2012).

Assim, os problemas ambientais decorrentes dos resíduos sólidos não podem ser vistos de forma isolada ou pontual, pois constituem um fenômeno multifacetado que exige o engajamento de diversos setores sociais. A escola, a universidade, o setor produtivo e as instâncias governamentais devem atuar de maneira coordenada, promovendo a conscientização e implementando estratégias eficazes de gestão integrada de resíduos, que considerem os aspectos sociais, econômicos e ambientais dessa problemática (Cortés; Fernandez, 2016).

2.2 A QUÍMICA E O TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O tratamento de resíduos sólidos tem se consolidado como uma das frentes mais urgentes da agenda ambiental global, à medida que os modelos tradicionais de descarte se mostram cada vez mais ineficazes frente à crescente produção de lixo urbano, industrial e agrícola. Nesse cenário, a Química emerge como uma ciência estratégica, cuja aplicação prática permite não apenas a transformação e reaproveitamento de materiais descartados, mas também a minimização de seus efeitos nocivos ao meio ambiente e à saúde humana. Ao compreender a composição,

reatividade e propriedades dos resíduos, a Química viabiliza o desenvolvimento de processos que convertem passivos ambientais em recursos produtivos, como na reciclagem de metais, no reaproveitamento de plásticos por meio de craqueamento químico e na estabilização de resíduos perigosos para destinação segura (Silva, 2020).

As tecnologias baseadas em princípios químicos contribuem decisivamente para o avanço de uma economia circular, cujo pilar está no reaproveitamento contínuo dos recursos naturais. Através da neutralização, oxidação, precipitação e outras reações específicas, resíduos anteriormente considerados inutilizáveis tornam-se matérias-primas secundárias, reinseridas em cadeias produtivas diversas. A aplicação da compostagem, por exemplo, resulta da ação de processos químicos mediados por microrganismos que transformam resíduos orgânicos em adubos naturais ricos em nutrientes, reduzindo o volume de material descartado em aterros e promovendo o ciclo natural da matéria (Melo, 2021). Esse tipo de intervenção não apenas evidencia a importância dos conhecimentos químicos, como também propicia soluções sustentáveis e replicáveis em diferentes contextos, incluindo espaços escolares e comunitários.

A capacidade da Química em promover soluções ambientais torna-se ainda mais relevante quando vinculada a processos educativos. A introdução de práticas de coleta seletiva em ambientes escolares, acompanhadas do estudo das propriedades químicas dos materiais, transforma a compreensão teórica em experiência concreta e crítica. A utilização de resíduos recicláveis como recursos didáticos favorece a interdisciplinaridade entre Química, Biologia, Geografia e Ciências Ambientais, ampliando a noção de responsabilidade socioambiental entre estudantes e professores. Tal abordagem contribui para a formação de sujeitos mais conscientes sobre os impactos das ações humanas sobre os ciclos da matéria e da energia, promovendo, ao mesmo tempo, o desenvolvimento de uma cultura científica voltada à sustentabilidade (Gonçalves, 2022).

Além das práticas educativas, o papel da Química é determinante na formulação e execução de políticas públicas voltadas à gestão integrada de resíduos. Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), por exemplo, exigem o mapeamento químico dos materiais gerados, o que possibilita sua categorização, escolha das melhores técnicas de tratamento e estabelecimento de medidas preventivas contra contaminações. A gestão eficiente desses resíduos, ancorada em

análises químicas e ambientais, permite ainda a definição de indicadores de impacto, subsidiando decisões governamentais e empresariais alinhadas aos princípios do desenvolvimento sustentável (Silva, 2020).

A relevância social e ambiental do conhecimento químico também se manifesta em comunidades rurais e periféricas, onde a ausência de infraestrutura adequada agrava os efeitos do descarte inadequado de resíduos. Em tais contextos, estudos demonstram que ações educativas integradas ao ensino de Química, com foco na valorização do conhecimento local e na aplicabilidade de soluções de baixo custo, como a compostagem doméstica e a reutilização de resíduos orgânicos, podem reduzir significativamente os riscos ambientais e estimular práticas coletivas de cuidado com o território (Rocha; Castro; Oliveira, 2023). A Química, assim, atua como um catalisador da justiça ambiental, conectando o saber científico com as necessidades reais das populações vulneráveis.

Outro aspecto que reforça a importância da Química na gestão de resíduos é a sua relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial os que tratam de saúde, educação, água potável, energia limpa e cidades sustentáveis. A análise de resíduos por técnicas químicas como cromatografia, espectrofotometria ou titulações complexométricas permite identificar contaminantes e propor soluções seguras para seu reaproveitamento ou neutralização. Em paralelo, o sensoriamento remoto e a análise geoquímica vêm sendo utilizados para mapear áreas contaminadas, subsidiando medidas de recuperação ambiental com base em dados técnicos e científicos precisos (Pimentel; Frigo, 2024).

A intersecção entre ciência e cidadania, proposta por autores que defendem a inserção da temática ambiental no currículo escolar, ressalta que o ensino de Química deve ser compreendido não como um fim em si mesmo, mas como uma ferramenta para a construção de uma sociedade mais equitativa e sustentável. A formação de professores e estudantes nesse viés requer metodologias ativas, que aproximem os conteúdos químicos das vivências cotidianas e dos problemas reais enfrentados pelas comunidades, o que se evidencia em projetos interdisciplinares que articulam saber científico, cultura local e protagonismo estudantil (Silva, 2021).

Considerando as dimensões científicas, educativas e sociais envolvidas, torna-se evidente que a Química desempenha papel essencial no enfrentamento das problemáticas ligadas ao tratamento de resíduos sólidos. Ao mesmo tempo em que fornece os fundamentos técnico-científicos para a transformação de resíduos em

recursos, a disciplina também fomenta uma postura crítica diante do consumo e do descarte, contribuindo para a emergência de uma cultura de sustentabilidade. Assim, a articulação entre teoria e prática, entre ciência e comunidade, configura-se como estratégia indispensável para promover a inovação social e ambiental por meio da Química (Beltrame *et al.*, 2016).

Certas iniciativas em território nacional evidenciam o papel transformador da Química na gestão de resíduos sólidos por meio de ações concretas que integram conhecimento técnico e impacto social. Um exemplo notável ocorre na cidade de Florianópolis, onde um projeto de compostagem comunitária promovido por meio de cooperação entre instituições de ensino, prefeituras e catadores resultou na criação de biodigestores alimentados com resíduos orgânicos domésticos. Nesse processo, a decomposição anaeróbica dos resíduos gera biogás e biofertilizante, ambos utilizados em hortas comunitárias urbanas, demonstrando como reações químicas podem ser aplicadas à geração de energia limpa e agricultura urbana sustentável (Melo, 2021).

No ambiente escolar, experiências com coleta seletiva e análise laboratorial de resíduos também têm demonstrado o potencial educativo e transformador da Química. Em uma escola pública do interior de São Paulo, professores de Ciências e Química implementaram um projeto interdisciplinar em que os estudantes foram orientados a coletar resíduos domésticos e analisá-los quanto à sua composição. Através de ensaios de pH, testes de solubilidade e caracterização de materiais, os alunos desenvolveram noções de classificação de substâncias, propriedades físico-químicas e reações de degradação, conectando os conteúdos curriculares a um problema concreto do cotidiano (Gonçalves, 2022). Além da aquisição de saberes, a prática resultou na elaboração de um plano de gestão de resíduos escolares que foi apresentado à comunidade, demonstrando como o conhecimento químico pode ser motor de ação social e ambiental.

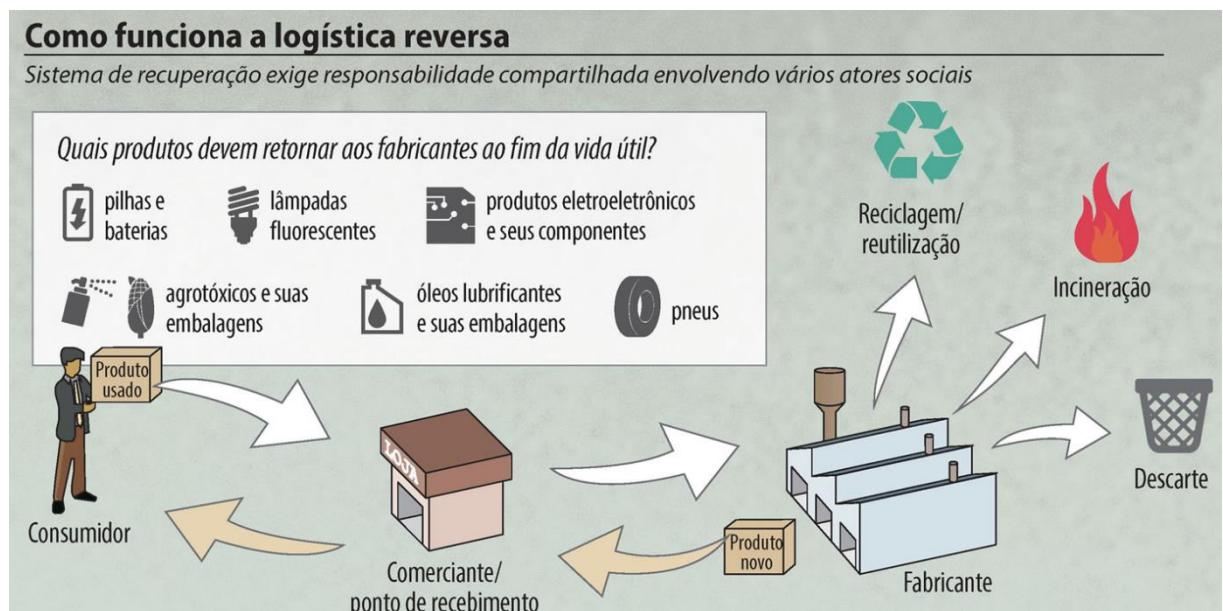
Tais iniciativas revelam que o tratamento de resíduos sólidos por meio da Química não se restringe ao laboratório ou à teoria acadêmica. Pelo contrário, trata-se de um campo dinâmico e interdisciplinar, cujos resultados concretos demonstram que, ao compreender e dominar os processos químicos envolvidos na transformação da matéria, é possível conceber soluções práticas que alinham preservação ambiental, geração de renda, educação crítica e inovação. A multiplicação desses exemplos depende da formação de profissionais capazes de articular saber técnico,

consciência ética e compromisso social, destacando, mais uma vez, o papel central da Química na construção de um futuro mais sustentável e justo (Abreu, 2003).

2.3 TÉCNICAS QUÍMICAS APLICADAS: RECICLAGEM, COMPOSTAGEM E RECUPERAÇÃO

A aplicação de técnicas químicas no tratamento de resíduos sólidos representa um dos pilares fundamentais para a transição de uma economia linear para uma economia circular, onde os materiais descartados são reinseridos nos ciclos produtivos, minimizando o consumo de recursos naturais e a geração de rejeitos. Entre as abordagens mais consolidadas nesse processo, destacam-se a reciclagem, a compostagem e a recuperação de materiais, todas sustentadas pelo conhecimento das propriedades físico-químicas dos resíduos. A Química, nesse sentido, não apenas permite identificar a natureza dos materiais, como também possibilita transformações controladas por meio de reações específicas, separações seletivas, catalisação e mudanças estruturais, fundamentais para a reutilização segura e eficiente desses resíduos (Silva, 2020).

Figura 1: Croqui Esquemático do Funcionamento da Logística Reversa



Fonte: SENADO FEDERAL. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/residuos-solidos/realidade-brasileira-na-pratica-a-historia-e-outra/logistica-reversa-envolve-industria-comerciante-e-consumidor>>. Acesso em 5/12/2025.

No campo da reciclagem, as técnicas químicas têm sido especialmente relevantes no tratamento de polímeros, como o PET (polietileno tereftalato) e o PS (poliestireno), amplamente utilizados em embalagens descartáveis. Um dos processos mais utilizados é a despolimerização, que quebra as longas cadeias de polímeros em monômeros ou oligômeros, por meio de reações como hidrólise, glicólise e metanolise. Na prática, isso permite que os materiais retornem à cadeia produtiva com propriedades semelhantes às de resinas virgens, o que reduz a necessidade de produção a partir do petróleo. Em indústrias localizadas no estado de São Paulo, esse processo é realizado com o uso de catalisadores alcalinos sob aquecimento controlado, com rendimento superior a 80%, gerando matérias-primas para novos produtos plásticos, têxteis e filmes de embalagem (Freitas, 2023). O domínio da cinética e da termodinâmica envolvidas na despolimerização é essencial para garantir a eficiência, a seletividade e a sustentabilidade energética do processo.

Ainda no contexto da reciclagem, a extração de metais nobres de resíduos eletrônicos representa uma aplicação sofisticada da Química inorgânica e analítica. Placas de circuito impresso descartadas, que compõem celulares, computadores e eletrodomésticos, contêm pequenas quantidades de metais como ouro, prata, cobre e platina. Para a recuperação desses elementos, utiliza-se frequentemente a lixiviação química, com reagentes como ácido nítrico, peróxido de hidrogênio e cianeto, seguidos por etapas de precipitação seletiva e purificação. A startup brasileira Green Mining, por exemplo, desenvolveu um método de recuperação de ouro usando tiossulfato de sódio como alternativa ao cianeto, reduzindo o impacto ambiental e aumentando a segurança operacional. Esses procedimentos exigem controle rigoroso dos parâmetros químicos e da toxicidade envolvida, o que reforça a importância da formação técnica especializada e da regulamentação ambiental rigorosa (Pimentel; Frigo, 2024).

A compostagem, por sua vez, é uma técnica amplamente difundida para o tratamento de resíduos orgânicos, especialmente restos alimentares, resíduos agrícolas e podas de vegetação. O processo é conduzido por microrganismos aeróbicos que metabolizam a matéria orgânica, promovendo sua degradação e transformação em um composto estável e rico em nutrientes, conhecido como húmus. A Química atua na compreensão e controle das variáveis que influenciam o processo, como a relação C/N (carbono/nitrogênio), a umidade, o pH e a temperatura. Quando

essas condições estão otimizadas, ocorre a mineralização dos compostos orgânicos, com formação de CO₂, água e nutrientes assimiláveis pelas plantas. Projetos desenvolvidos em escolas públicas de Belo Horizonte, por exemplo, incorporaram a compostagem ao currículo de Ciências e Química, permitindo que os alunos participassem da análise laboratorial dos resíduos e da monitoração da decomposição, aplicando conceitos como reações de oxidação, estequiometria e balanço energético em situações reais (Gonçalves, 2022).

A compostagem comunitária também se destaca em contextos urbanos, como no bairro do Córrego Grande, em Florianópolis, onde residências se organizam em torno de pátios de compostagem coletiva. Os resíduos orgânicos são triturados e distribuídos em leiras cobertas, sendo revolvidos periodicamente e monitorados quanto à temperatura e liberação de gases. O acompanhamento químico do processo, com análise da acidez, condutividade elétrica e concentração de nutrientes no composto final, garante sua qualidade como fertilizante orgânico e evita a liberação de substâncias tóxicas no meio ambiente. A experiência, além de promover a redução dos resíduos enviados a aterros, estimula a educação ambiental, a autonomia alimentar e o fortalecimento de vínculos sociais nas comunidades envolvidas (Melo, 2021).

Figura 3: Compostagem comunitária



Fonte: ONU Brasil. Iniciativa brasileira de compostagem comunitária é premiada na Alemanha. Nações Unidas Brasil, 30 jan. 2019. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/82278-iniciativa-brasileira-de-compostagem-comunit%C3%A1ria-%C3%A9-premiada-na-alemanha>. Acesso em: 05 dez. 2025.

Já a recuperação de materiais envolve o reaproveitamento de substâncias sem a necessidade de conversão estrutural completa, sendo particularmente relevante na indústria alimentícia e na agricultura. Um exemplo relevante ocorre em comunidades pesqueiras da Amazônia, onde resíduos de pescado como escamas, peles e cabeças ricos em colágeno e lipídeos são submetidos a processos químicos de hidrólise e extração com solventes, produzindo suplementos nutricionais e matéria-prima para a indústria cosmética. A extração de colágeno, por exemplo, envolve etapas de desmineralização com ácido acético e solubilização com enzimas proteolíticas, técnicas que exigem conhecimento preciso sobre pH, tempo de reação e pureza das soluções. Além de evitar a poluição hídrica por resíduos não tratados, essas iniciativas geram renda local, empoderam comunidades e promovem o uso integral dos recursos naturais, alinhando-se aos princípios da química verde (Pinto et al., 2017).

Outro campo promissor de recuperação é o tratamento de efluentes industriais. Resíduos líquidos provenientes de fábricas de papel, curtumes ou indústria têxtil contêm compostos tóxicos que, se não tratados, comprometem a qualidade dos corpos d'água. Técnicas químicas como coagulação-flocação, precipitação seletiva, adsorção em carvão ativado e oxidação avançada são aplicadas para remover contaminantes como metais pesados, corantes e substâncias orgânicas persistentes. No polo industrial de Paulínia (SP), empresas realizam o tratamento in loco dos seus efluentes com reatores químicos contínuos, monitorando as concentrações por meio de espectrofotometria e cromatografia líquida, garantindo que os efluentes tratados atendam aos parâmetros da Resolução CONAMA nº 430/2011 antes de seu lançamento no meio ambiente (Beltrame et al., 2016).

Portanto, o aprofundamento das técnicas químicas aplicadas ao tratamento de resíduos sólidos evidencia o potencial dessa ciência para não apenas mitigar os impactos ambientais do descarte inadequado, mas também transformar passivos em ativos econômicos e educativos. Seja na despolimerização de plásticos, na compostagem de resíduos orgânicos, na recuperação de metais ou na purificação de efluentes, a Química fornece as ferramentas teóricas e práticas para a construção de um modelo sustentável de desenvolvimento. A consolidação dessas práticas, no

entanto, depende da articulação entre pesquisa científica, políticas públicas, iniciativas comunitárias e, sobretudo, da formação de sujeitos capazes de compreender e aplicar o conhecimento químico de forma crítica, ética e transformadora (Abreu, 2003).

2.4 EDUCAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA AO ENSINO DE QUÍMICA

A educação ambiental constitui um instrumento essencial para a formação de cidadãos conscientes e comprometidos com a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável. Ao promover a reflexão crítica sobre as relações entre sociedade e natureza, ela permite compreender os impactos ambientais gerados pelos padrões de consumo e produção vigentes. Seu papel educativo vai além do conhecimento técnico, pois busca a transformação de valores, atitudes e comportamentos em favor de uma convivência mais harmônica com o planeta. Esse entendimento está em consonância com os princípios definidos pela Conferência Intergovernamental de Tbilisi, de 1977, que estabeleceu diretrizes para ações educativas voltadas ao fortalecimento de uma consciência ecológica global (Nações Unidas, 1977).

A partir da década de 1990, com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92), a educação ambiental ganhou força como eixo estruturante de políticas públicas e como parte indispensável da agenda educacional mundial. Essa perspectiva foi aprofundada com a formulação da Agenda 2030 e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que reafirmam a importância da educação de qualidade como base para a construção de sociedades sustentáveis, inclusivas e resilientes. No Brasil, a Política Nacional de Educação Ambiental, instituída pela Lei nº 9.795/1999, consolidou esse compromisso ao integrar a temática ambiental ao currículo escolar e às ações educativas em diferentes contextos sociais (Nações Unidas, 1992; Nações Unidas, 2015; Brasil, 1999).

A integração da educação ambiental ao ensino de Química constitui uma estratégia essencial para a formação de indivíduos críticos, capazes de compreender as interações entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente. A Química, enquanto ciência que estuda a matéria e suas transformações, ocupa uma posição estratégica na construção de uma consciência ambiental sólida, uma vez que oferece fundamentos para entender os processos de degradação, poluição, reciclagem e

recuperação de materiais. Ao abordar os conteúdos curriculares com foco em problemáticas reais, como o acúmulo de resíduos sólidos e seus impactos ecológicos, o ensino de Química pode contribuir para a promoção de uma cidadania ambiental ativa e engajada, ampliando o alcance das ações educativas para além do espaço escolar (Silva, 2021).

A partir da articulação entre os conteúdos químicos e temas transversais, como sustentabilidade, consumo consciente e gestão de resíduos, os estudantes desenvolvem competências que transcendem a memorização de fórmulas ou a reprodução de procedimentos laboratoriais. Projetos pedagógicos baseados em investigação científica, como a análise da composição química do lixo produzido na escola ou a produção de sabão a partir de óleos residuais, exemplificam práticas que associam conhecimento químico, responsabilidade social e protagonismo estudantil, favorecendo o desenvolvimento de atitudes e valores alinhados à conservação ambiental (Gonçalves, 2022).

Experiências realizadas em diversas escolas públicas brasileiras têm demonstrado que a inserção da temática ambiental no ensino de Química pode gerar resultados concretos na mudança de comportamento dos estudantes. Em ações que envolvem coleta seletiva, compostagem e análise de resíduos, os alunos não apenas aplicam conceitos como pH, reações de oxidação-redução e propriedades físico-químicas da matéria, como também se envolvem em processos de reflexão sobre os impactos do consumo e do descarte inadequado. A formação de multiplicadores ambientais dentro do espaço escolar é potencializada quando os projetos são construídos de forma colaborativa entre professores, estudantes e comunidade, promovendo uma aprendizagem significativa e engajada (Rocha; Castro; Oliveira, 2023).

O currículo tradicional da Química, frequentemente centrado em conteúdos abstratos e desvinculados da realidade cotidiana, representa um obstáculo à construção de uma educação crítica e ambientalmente responsável. A superação dessa limitação requer a adoção de metodologias ativas que estimulem o pensamento crítico e a resolução de problemas reais. Atividades como experimentos com resíduos orgânicos, simulações de tratamento de efluentes ou análise qualitativa de materiais recicláveis não apenas contextualizam os conteúdos, como também evidenciam o papel da Química na busca por soluções sustentáveis. A utilização de recursos tecnológicos e midiáticos, como plataformas digitais e vídeos educativos, amplia as

possibilidades didáticas e permite a abordagem de questões ambientais em múltiplas linguagens, adaptadas às realidades dos estudantes (Lutif; Oliveira; Gonçalves, 2023).

A formação continuada de professores é outro fator determinante para a efetivação da educação ambiental no ensino de Química. Muitos docentes ainda enfrentam dificuldades em integrar conteúdos curriculares e temas ambientais por falta de preparo técnico ou suporte institucional. Iniciativas como oficinas pedagógicas, grupos de estudo e cursos de extensão têm se mostrado eficazes na capacitação de professores para o planejamento de aulas mais contextualizadas, críticas e participativas. A produção e o compartilhamento de materiais didáticos, como folhetos, e jogos educativos sobre resíduos sólidos e sustentabilidade, fortalecem as redes de colaboração entre docentes e ampliam o repertório de estratégias de ensino (Freitas, 2023).

A educação ambiental, quando articulada à Química, também favorece a compreensão dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS - conjunto de metas globais estabelecidas pela ONU para orientar ações que promovam justiça social, proteção ambiental e desenvolvimento econômico sustentável até 2030), especialmente aqueles relacionados ao consumo responsável, saúde ambiental, inovação e qualidade da educação. Ao estudar, por exemplo, os impactos da liberação de metais pesados nos corpos d'água ou o ciclo químico do carbono nos processos de compostagem, os alunos estabelecem conexões entre o conhecimento científico e as metas globais de preservação ambiental. Isso reforça a ideia de que a ciência deve estar a serviço da vida, da equidade e da sustentabilidade, rompendo com uma visão tecnicista e excludente do ensino científico (Pimentel; Frigo, 2024).

Além de seu papel formativo, o ensino de Química voltado à educação ambiental pode ser uma importante ferramenta de transformação social, especialmente em contextos marcados pela vulnerabilidade socioeconômica. Escolas localizadas em áreas periféricas ou rurais, muitas vezes impactadas diretamente por problemas de saneamento, descarte irregular de lixo ou poluição, podem se tornar espaços privilegiados para o desenvolvimento de projetos que aliam ciência e cidadania. A partir do estudo dos resíduos gerados na própria comunidade, é possível desenvolver propostas de intervenção que envolvem desde a conscientização da população até a implementação de soluções de baixo custo, como filtros artesanais, hortas agroecológicas e oficinas de reaproveitamento de materiais (Beltrame *et al.*, 2016).

A efetiva integração entre educação ambiental e ensino de Química exige, portanto, uma mudança de paradigma na prática pedagógica, que deve deixar de ser centrada na transmissão de conteúdos fragmentados e assumir uma postura investigativa, dialógica e transformadora. O professor, nesse contexto, atua como mediador de processos que envolvem não apenas o conhecimento científico, mas também a ética, a criatividade e o compromisso com a coletividade. Ao compreender os fenômenos químicos não apenas como abstrações laboratoriais, mas como parte de processos sociais e ecológicos mais amplos, os estudantes desenvolvem uma nova percepção de mundo, pautada na complexidade e na responsabilidade ambiental (Abreu, 2003).

Essa abordagem crítica do ensino de Química, fundamentada na educação ambiental, é capaz de promover a autonomia intelectual e a ação consciente dos indivíduos frente às crises ambientais contemporâneas. Por meio da problematização, da experimentação e da valorização dos saberes locais, forma-se uma base sólida para que as futuras gerações atuem como agentes de transformação, capazes de propor soluções inovadoras, sustentáveis e socialmente justas. Assim, ao se articular com os princípios da educação ambiental, a Química cumpre não apenas sua função científica, mas também seu papel ético e político na construção de um futuro mais equilibrado (Carvalho, 2019).

2.5 EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A educação ambiental, quando integrada à gestão de resíduos sólidos, desempenha papel fundamental no enfrentamento das crises ecológicas contemporâneas, promovendo uma consciência crítica sobre os impactos gerados pelo consumo e descarte inadequado de materiais. Essa abordagem fomenta a compreensão da interdependência entre os sistemas naturais e a ação humana, especialmente no contexto do desenvolvimento sustentável, ao incentivar a reflexão sobre práticas cotidianas que contribuem para a degradação ambiental (El-Deir; Aguiar; Pinheiro, 2016).

No contexto da formação de cidadãos ambientalmente responsáveis, a inserção de temas ligados à gestão de resíduos sólidos nas práticas pedagógicas permite que estudantes se posicionem criticamente frente às suas ações e

desenvolvam uma postura proativa em relação ao meio ambiente. A articulação entre educação e sustentabilidade passa, nesse sentido, pela problematização dos sistemas de produção e descarte, questionando o modelo linear de consumo ainda predominante na sociedade atual (Rocha; Santos; Navarro, 2012).

A atuação pedagógica voltada para essa temática deve ser estruturada de modo a não apenas transmitir conhecimentos técnicos, mas também provocar mudanças atitudinais duradouras. O ensino de química, nesse cenário, torna-se um instrumento potente para promover essa transformação, na medida em que permite explicar os processos físico-químicos envolvidos na decomposição, reciclagem e reaproveitamento dos materiais, contextualizando os conteúdos escolares em situações reais (Cortés; Fernandez, 2016).

Ao se considerar a complexidade do contexto sociambiental em que vivemos, marcado por eventos extremos e pela intensificação da exploração dos recursos naturais, é imprescindível que a educação ambiental vá além de campanhas pontuais e seja efetivamente incorporada às propostas curriculares. A partir da compreensão do conceito de Antropoceno (período recente da história da Terra em que as atividades humanas passaram a influenciar de forma significativa os sistemas naturais, alterando o clima, a biodiversidade e os ciclos biogeoquímicos em escala global), torna-se evidente a urgência de práticas educativas que contribuam para a formação de sujeitos comprometidos com a preservação ambiental e capazes de intervir criticamente nas dinâmicas sociais que sustentam a lógica do descarte (Miranda *et al.*, 2018).

A articulação entre educação ambiental e gestão de resíduos sólidos precisa ser compreendida como um processo contínuo de construção de saberes que envolve múltiplos atores, saberes e experiências. O desenvolvimento de políticas públicas educacionais que contemplem a dimensão ambiental de forma transversal é fundamental para garantir a formação de profissionais preparados para enfrentar os desafios ecológicos do século XXI. A formação docente, sobretudo nas licenciaturas em química, deve ser reformulada para contemplar esses aspectos de maneira efetiva e integrada ao ensino disciplinar (Cortés; Fernandez, 2016).

Ao promover o diálogo entre teoria e prática, a educação ambiental voltada à gestão de resíduos proporciona um espaço fértil para a construção coletiva de soluções para os problemas ambientais locais, ao mesmo tempo em que estimula a

inovação pedagógica e o fortalecimento da cidadania ambiental. Dessa forma, contribui-se não apenas para a mitigação dos impactos ambientais, mas também para o desenvolvimento de uma cultura de sustentabilidade que valorize o cuidado com o meio ambiente em todas as esferas da vida (Rocha; Santos; Navarro, 2012).

2.6 ECONOMIA CIRCULAR E SUSTENTABILIDADE

A compreensão da economia circular como modelo alternativo ao sistema linear de produção e consumo representa um avanço significativo no enfrentamento das crises ambientais, econômicas e sociais que afetam a contemporaneidade. Diferentemente do modelo linear, baseado em extração, transformação, uso e descarte, a economia circular propõe o reaproveitamento contínuo de materiais e energia por meio da reciclagem, reutilização, manutenção e revalorização dos resíduos. A Química ocupa posição central nesse novo paradigma, visto que possibilita a transformação de resíduos em recursos por meio de processos controlados que respeitam os limites ecológicos, favorecendo o uso racional dos elementos químicos e minimizando os danos ao meio ambiente. Essa perspectiva exige não apenas inovação tecnológica, mas também uma mudança profunda de mentalidade que associe desenvolvimento à preservação ambiental (Silva, 2020).

No âmbito da sustentabilidade, a economia circular fundamenta-se em três princípios basilares: o redesenho de produtos e processos, a eliminação de resíduos desde a origem e a regeneração de sistemas naturais. A aplicação desses princípios passa, necessariamente, pela intervenção da Química, que fornece os conhecimentos necessários para modificar composições moleculares, formular materiais biodegradáveis, catalisar reações menos poluentes e criar produtos com maior vida útil. Um exemplo claro dessa atuação é o desenvolvimento de biopolímeros a partir de fontes renováveis, como o ácido polilático (PLA), derivado do amido de milho, que pode substituir plásticos convencionais em embalagens, sem comprometer a biodegradabilidade. A reação de polimerização do PLA, mediada por catálise metálica, é um processo que evidencia o papel da Química Verde na construção de produtos alinhados aos princípios da circularidade (Freitas, 2023).

As estratégias de economia circular são particularmente relevantes no contexto da gestão de resíduos sólidos, pois transformam o que antes era considerado lixo em

ativos econômicos e sociais. A prática de compostagem, por exemplo, além de reduzir o volume de resíduos orgânicos, reintegra ao solo nutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo e potássio, fechando ciclos bioquímicos que, no modelo linear, são interrompidos com o envio de resíduos aos aterros. A transformação controlada da matéria orgânica envolve reações de oxidação, degradação microbiana e mineralização, todas compreendidas a partir dos fundamentos da Química ambiental. Projetos comunitários de compostagem em cidades como Curitiba e Belo Horizonte demonstram que, mesmo em escalas reduzidas, é possível construir sistemas circulares viáveis, com impacto direto na saúde pública, na segurança alimentar e na educação ambiental (Melo, 2021).

Além do reaproveitamento de resíduos orgânicos, o conceito de circularidade também se aplica à recuperação de recursos de resíduos industriais e eletrônicos. A recuperação de metais como cobre, lítio e ouro a partir de sucata eletrônica não só evita a extração mineral predatória como também economiza energia e reduz emissões de carbono. O processo de separação química seletiva, com base em propriedades como solubilidade, afinidade eletrônica e reatividade com complexantes específicos, permite extrair esses elementos com alta pureza, reinserindo-os em cadeias produtivas e diminuindo a dependência de matérias-primas virgens. O domínio das técnicas analíticas e da química de coordenação é indispensável para a eficiência dessas etapas, como mostram os projetos de mineração urbana desenvolvidos na USP e em centros de inovação em São Paulo (Pimentel; Frigo, 2024).

A implementação da economia circular também depende de políticas públicas que incentivem a pesquisa científica, a inovação e a mudança de práticas industriais. Programas como o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e o Marco Legal do Saneamento preveem ações que se alinham aos princípios circulares, como o incentivo à logística reversa e a obrigatoriedade de Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) em empresas e instituições. A aplicação dessas diretrizes requer o conhecimento técnico para diagnosticar, tratar e reaproveitar resíduos com base em suas características químicas, o que reforça o papel dos profissionais da Química na execução e monitoramento de tais medidas. As decisões relacionadas ao uso de reagentes, à neutralização de efluentes e à destinação de resíduos perigosos envolvem critérios estritamente químicos e precisam ser tomadas com base em evidências científicas (Silva Pereira *et al.*, 2020).

No plano internacional, a economia circular tem sido reconhecida como estratégia fundamental para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente os que dizem respeito à produção e consumo responsáveis, à inovação industrial e à ação contra a mudança climática. Ao reduzir o desperdício e prolongar o ciclo de vida dos produtos, as práticas circulares diminuem a pressão sobre os ecossistemas, conservam recursos não renováveis e reduzem as emissões associadas à degradação ambiental. A Química, ao oferecer ferramentas para modificar, preservar e recuperar materiais, torna-se uma aliada indispensável na transição para uma sociedade mais resiliente e regenerativa, capaz de se adaptar aos limites do planeta sem comprometer o bem-estar das gerações futuras (Beltrame et al., 2016).

O alinhamento entre Química, economia circular e sustentabilidade exige, portanto, uma atuação comprometida com os princípios da inovação responsável, da justiça ambiental e da ética científica. A formação de profissionais e estudantes com essa visão integrada é essencial para que a ciência química deixe de ser vista apenas como instrumento técnico e passe a ser reconhecida como ferramenta transformadora, capaz de promover a equidade, a conservação ambiental e o desenvolvimento econômico sustentável. Ao incorporar esses princípios no ensino, na pesquisa e na prática profissional, constrói-se um caminho sólido para um modelo de sociedade que valorize o conhecimento, respeite os limites ecológicos e promova a vida em todas as suas formas (Abreu, 2003).

3 METODOLOGIA

3.1. TIPO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA DE COLETA DE DADOS

Este trabalho utilizou como método principal a pesquisa bibliográfica de caráter qualitativo, com o objetivo de investigar as técnicas químicas aplicadas ao tratamento de resíduos sólidos e suas contribuições para a sustentabilidade ambiental. A escolha por esse percurso metodológico justificou-se pela natureza do objeto de estudo, que demandou o levantamento, a sistematização e a análise crítica de conhecimentos já produzidos por outros pesquisadores, possibilitando uma abordagem comparativa e reflexiva a partir de fontes acadêmicas confiáveis. Dessa forma, buscou-se compreender, à luz da literatura científica recente, como a Química tem sido aplicada em soluções sustentáveis no contexto da gestão de resíduos sólidos urbanos, industriais e escolares, com ênfase em publicações do período entre 2020 e 2025.

A coleta de dados foi realizada exclusivamente por meio de materiais previamente publicados, como artigos científicos, dissertações, teses, relatórios técnicos e documentos institucionais, localizados em bases de dados acadêmicas amplamente reconhecidas, tais como Google Acadêmico, Scopus, SciELO e Science.gov. Para a busca, utilizaram-se palavras-chave em português e inglês, como “química no tratamento de resíduos sólidos”, “técnicas químicas sustentáveis”, “compostagem química”, “reciclagem e recuperação de materiais”, “educação ambiental” e “economia circular”, combinadas por operadores booleanos (“AND”, “OR”) com o intuito de refinar os resultados e garantir a amplitude e a especificidade necessárias à análise proposta.

3.2. CRITÉRIOS DE INCLUSÃO, EXCLUSÃO E TÉCNICA DE ANÁLISE

Os critérios de inclusão envolveram publicações compreendidas entre os anos de 2020 a 2025, disponíveis em acesso aberto ou institucional, redigidas em português ou inglês, e que apresentassem alinhamento direto com os objetivos da pesquisa, especialmente aquelas que descrevessem, analisassem ou avaliassem os processos químicos aplicados à gestão de resíduos sólidos e sua relação com práticas sustentáveis. Foram excluídos materiais opinativos, textos sem rigor metodológico, resumos sem o artigo completo disponível, documentos com viés comercial ou que

não abordassem especificamente a interface entre química, resíduos e sustentabilidade.

A análise dos dados coletados ocorreu por meio de uma abordagem qualitativa, utilizando a técnica de análise de conteúdo, com foco na identificação de categorias temáticas emergentes da leitura interpretativa dos textos. Os dados extraídos dos artigos foram organizados em síntese descritiva (tabela 1), com a finalidade de mapear as principais técnicas químicas aplicadas ao tratamento de resíduos sólidos, suas características, impactos ambientais e sociais, e os contextos em que foram aplicadas. Com base nessa organização, elaborou-se uma discussão crítica capaz de responder à questão-problema e alcançar os objetivos traçados, evidenciando os pontos de convergência, lacunas existentes e perspectivas para pesquisas futuras.

Com essa metodologia, o estudo garantiu um percurso de investigação consistente, sustentado por fontes confiáveis e critérios claros de seleção e análise, permitindo não apenas a sistematização do conhecimento existente sobre o tema, mas também a criação de um material de caráter educativo e aplicável, reforçando o compromisso do trabalho com a promoção da educação ambiental por meio da Química.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão sistemática da literatura, conduzida em bases de dados acadêmicas no intervalo compreendido entre os anos de 2020 e 2025, permitiu a identificação de um conjunto representativo de estudos que abordaram de forma direta, aplicada e analítica a utilização de processos químicos no tratamento de resíduos sólidos. A partir da análise criteriosa do material selecionado, emergiram três grandes categorias de técnicas predominantemente adotadas: a reciclagem química de polímeros, a compostagem baseada em reações bioquímicas controladas e a recuperação seletiva de materiais de alto valor agregado, com ênfases e abordagens distintas conforme a natureza do resíduo tratado, os recursos tecnológicos disponíveis e os objetivos de sustentabilidade envolvidos em cada contexto (Tabela 1).

Tabela 1 – Publicações selecionadas

Ano de Publicação	Autores	Revista	Tipo de publicação	Estratégia Sustentável/Educação Ambiental
2024	Joara de O. C. Pimentel; Jiam P. Frigo	Revista do Departamento de Geografia (v. 44, 2024)	Artigo (revisão)	Revisão sistemática de gestão de resíduos sólidos urbanos/ relação com ODS / planejamento e gestão ambiental
2023	FREITAS, José Adilson de	Não especificada (revisão sistemática)	Periódico	Revisão sistemática de ações socioambientais para gestão de resíduos sólidos em contexto escolar
2023	LUTIF, Herickson A. S.; DE OLIVEIRA, Tiago; GONÇALVES, Maraisa	Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – ENCITEC	Periódico	Revisão sistemática sobre a aplicação da educação ambiental em escolas com foco nos resíduos sólidos urbanos
2021	MELO, Selma Regina	Anais do XXIX Seminário de Educação	Periódico	Uso da compostagem de resíduos sólidos orgânicos urbanos como recurso didático

Fonte: elaborado pela autora, 2025.

No âmbito da reciclagem química, observou-se que as 5 publicações analisadas revelam um avanço significativo no desenvolvimento e aplicação de métodos que promovem a despolimerização de resíduos plásticos sintéticos, especialmente aqueles compostos por polietileno tereftalato (PET), polietileno de alta densidade (PEAD) e policloreto de vinila (PVC). Os estudos revisados evidenciaram o uso sistemático de reações como a hidrólise, a metanolise e a glicólise, com o objetivo de quebrar as macromoléculas poliméricas em seus respectivos monômeros constituintes, permitindo seu reaproveitamento na fabricação de novos produtos sem a perda significativa de propriedades físico-químicas. Esses processos envolveram variáveis críticas como o controle preciso da temperatura, a aplicação de catalisadores homogêneos ou heterogêneos e a otimização do tempo de reação, fatores que foram amplamente discutidos e testados pelos pesquisadores para assegurar o desempenho energético e a viabilidade econômica dos métodos adotados.

Quanto à compostagem, os resultados demonstraram a consolidação de práticas sustentáveis voltadas à conversão de resíduos orgânicos em composto estabilizado, especialmente em comunidades urbanas, instituições escolares e programas de agricultura urbana. Os estudos analisados ressaltaram que o sucesso do processo depende da manutenção de parâmetros químicos específicos, como a razão entre carbono e nitrogênio (C/N), a umidade relativa dos resíduos e a oxigenação adequada das leiras, os quais influenciam diretamente o metabolismo microbiano e a eficiência da mineralização da matéria orgânica. A literatura destacou, ainda, experiências pedagógicas conduzidas por professores de Química, que integraram o manejo da compostagem às atividades curriculares, transformando o processo em um recurso didático interdisciplinar e aplicável à realidade dos estudantes. Essas iniciativas contribuíram para o fortalecimento da educação ambiental crítica, ao vincular conceitos químicos com a prática cotidiana de gestão de resíduos.

A cidade de Curitiba, reconhecida por seu histórico de políticas públicas voltadas à sustentabilidade, é outro exemplo de aplicação prática da Química na gestão de resíduos. O município desenvolveu programas de reciclagem química de resíduos eletrônicos em parceria com universidades e startups. Componentes como placas-mãe, baterias e fios são submetidos a processos de separação eletroquímica e lixiviação seletiva, nos quais ácidos e solventes específicos são utilizados para recuperar metais nobres como cobre, ouro e níquel. Essa técnica, conhecida como

mineração urbana, destaca-se por transformar lixo eletrônico em recursos econômicos valiosos e reduzir a dependência da extração mineral convencional, promovendo uma abordagem mais sustentável e circular para o uso de elementos químicos na sociedade contemporânea (Freitas, 2023).

No que se refere à recuperação de materiais, os dados revelaram a aplicação intensiva de técnicas químicas de separação, purificação e reaproveitamento de componentes provenientes de resíduos eletroeletrônicos e da indústria pesqueira. No setor de resíduos eletrônicos, os métodos de lixiviação com ácidos fortes e precipitação seletiva têm sido empregados para a extração de metais nobres como ouro, cobre, prata e paládio, os quais são reintroduzidos em circuitos industriais após o refino. Esses procedimentos, embora eficazes, exigem elevada precisão na manipulação de reagentes, controle do pH, e gerenciamento de efluentes, destacando a necessidade de um domínio aprofundado da Química analítica e inorgânica. Por outro lado, a recuperação de biomassa na indústria pesqueira tem envolvido a utilização de hidrólise ácida e enzimática para a extração de colágeno e proteínas de alto valor nutricional a partir de resíduos como escamas, peles e vísceras, demonstrando a aplicabilidade dos princípios da química ambiental na valorização de subprodutos outrora descartados.

Complementarmente às técnicas químicas mapeadas, os resultados evidenciaram um movimento crescente no campo da produção de materiais educativos voltados à divulgação científica e à conscientização ambiental. Diversos estudos relataram a criação de folhetos digitais, vídeos instrutivos, jogos didáticos e experimentos simples com resíduos reutilizáveis como estratégias eficazes para aproximar o ensino de Química dos desafios ambientais enfrentados pela sociedade contemporânea. Essas iniciativas têm contribuído para democratizar o conhecimento científico, estimular práticas sustentáveis no espaço escolar e ampliar o acesso à informação qualificada sobre o papel da Química na transformação dos resíduos em recursos úteis. Esse panorama reafirma a centralidade da ciência na promoção de soluções integradas, com potencial de gerar impactos positivos tanto do ponto de vista ambiental quanto educacional e social.

A análise qualitativa dos dados obtidos a partir da revisão sistemática revelou que as técnicas químicas aplicadas ao tratamento de resíduos sólidos transcendem a mera função operacional de mitigação dos impactos ambientais, posicionando-se como instrumentos fundamentais de transformação estrutural nos sistemas de

produção, consumo e educação. Ao examinar criticamente os estudos selecionados, foi possível constatar que a Química não apenas fornece os meios para a decomposição, modificação ou recuperação de materiais, mas também promove a articulação entre ciência, tecnologia e cidadania, consolidando-se como eixo central para o avanço de práticas sustentáveis em múltiplos contextos.

As evidências demonstraram que a reciclagem química, especialmente no caso dos polímeros sintéticos, vem ganhando destaque como alternativa de maior valor agregado em comparação à reciclagem mecânica tradicional. A capacidade de despolimerizar materiais complexos até seus monômeros originais possibilita a reintrodução desses insumos na indústria com níveis de pureza elevados, reduzindo a dependência de recursos fósseis e evitando a degradação progressiva da qualidade do material. Tais desafios apontam para a importância do investimento em pesquisa e inovação, bem como na formação de profissionais com competências químicas voltadas à sustentabilidade (Freitas, 2023).

Diante disso, comprehende-se que a integração entre Química, educação ambiental e gestão de resíduos sólidos constitui um campo fértil para o desenvolvimento de ações pedagógicas inovadoras, políticas públicas comprometidas e práticas científicas eticamente orientadas.

No que tange à compostagem, os estudos evidenciaram uma relação direta entre o sucesso do processo e a compreensão dos fenômenos químicos que o sustentam. O equilíbrio estequiométrico entre carbono e nitrogênio, a regulação da atividade microbiana por meio do pH e da temperatura, e o controle da aeração foram apontados como fatores cruciais para a obtenção de um composto final de qualidade. A análise dos dados mostrou que, quando esses parâmetros são ignorados ou mal gerenciados, há aumento na emissão de gases de efeito estufa, proliferação de patógenos e perda de nutrientes, comprometendo os benefícios ecológicos e agronômicos do composto. Por outro lado, projetos que aliaram a compostagem à educação ambiental, sobretudo em ambientes escolares, mostraram resultados expressivos na formação de estudantes conscientes, críticos e aptos a intervir positivamente em suas comunidades (Gonçalves, 2022).

A recuperação de materiais, especialmente metais de resíduos eletroeletrônicos e subprodutos da indústria alimentícia, foi analisada sob a ótica da Química analítica e ambiental, revelando tanto o potencial técnico quanto os riscos associados. No caso da recuperação de metais, os dados apontaram que os métodos

de lixiviação e precipitação, embora eficientes, implicam o uso de reagentes agressivos e exigem protocolos rigorosos de segurança e controle de poluição secundária. A sustentabilidade desses processos depende, portanto, da adoção de princípios da Química Verde, como a substituição de solventes tóxicos por reagentes menos agressivos e a integração de sistemas de tratamento de efluentes. Já a recuperação de biomassa animal por hidrólise controlada demonstrou ser viável tanto economicamente quanto ecologicamente, especialmente quando integrada a cadeias produtivas regionais, agregando valor a resíduos orgânicos e promovendo cadeias curtas de produção (Pimentel; Frigo, 2024).

Outro caso emblemático é o aproveitamento de resíduos industriais, como no estado do Pará, onde indústrias de beneficiamento de pescado têm investido em processos químicos para transformar os rejeitos orgânicos – cabeça, pele e vísceras de peixe – em produtos com valor agregado, como farinha proteica, óleos e colágenos. Através de etapas como hidrólise enzimática e tratamento térmico, resíduos que seriam destinados a aterros ou ao descarte irregular passam a ser fonte de rendimento econômico, promovendo tanto a valorização da biomassa quanto a redução da pressão sobre os recursos pesqueiros e o meio ambiente (Pinto *et al.*, 2017). Esse tipo de transformação só é possível com a compreensão da composição química dos resíduos e da aplicabilidade de técnicas de separação e conversão que garantam a qualidade dos coprodutos gerados.

No campo educacional, a análise indicou uma crescente valorização de materiais didáticos que explorem a interface entre Química e meio ambiente. Folhetos digitais, vídeos tutoriais e atividades práticas com resíduos foram apontados como estratégias eficazes para potencializar o processo de ensino-aprendizagem, principalmente quando contextualizados à realidade local dos estudantes. Os dados sugerem que tais recursos, ao incorporar linguagem acessível, visualidades pedagógicas e problematização de situações concretas, favorecem não apenas a assimilação de conteúdos conceituais, mas também a formação de valores éticos e a capacidade de tomada de decisão responsável. A criação de materiais educativos baseados na pesquisa, como o folheto digital produzida neste trabalho, confirma a importância de democratizar o conhecimento científico e torná-lo aplicável a diferentes faixas etárias e realidades escolares (Abreu, 2003).

A análise global dos dados também permitiu identificar lacunas importantes, como a ausência de padronização nas metodologias utilizadas nos estudos, a

limitação de pesquisas empíricas voltadas ao ensino de Química e resíduos sólidos no ensino básico e a necessidade de políticas públicas mais incisivas na promoção da economia circular. A carência de incentivos à inovação e à transposição didática de conteúdos científicos ainda limita a implementação de práticas integradas em escolas e comunidades. Apesar disso, os estudos analisados evidenciaram que, quando há articulação entre conhecimento técnico, engajamento docente e recursos didáticos adequados, é possível transformar o ensino de Química em uma ferramenta poderosa de intervenção socioambiental.

Durante o processo analítico, foram identificadas contradições importantes entre o discurso da sustentabilidade e a realidade prática das políticas públicas e das práticas industriais. A falta de incentivo à pesquisa aplicada, a ausência de estrutura laboratorial em muitas escolas, a fragmentação curricular e o distanciamento entre teoria e prática no ensino de Química representam obstáculos concretos à implementação de propostas verdadeiramente transformadoras. Contudo, os estudos analisados também apontaram caminhos viáveis de superação dessas barreiras, sobretudo por meio de projetos interdisciplinares, iniciativas locais de educação ambiental e desenvolvimento de materiais didáticos acessíveis.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos dados permitiu afirmar que a Química, ao ser aplicada no tratamento de resíduos sólidos, contribui de forma estratégica para o desenvolvimento de práticas sustentáveis, fomenta a inovação científica, qualifica a formação cidadã e amplia as possibilidades de atuação pedagógica crítica e transformadora. A tríade composta por ciência, educação e sustentabilidade revela-se, assim, como o alicerce para uma abordagem integrada dos desafios contemporâneos, cuja complexidade exige respostas técnicas aliadas ao compromisso ético e à ação coletiva.

Com a realização da pesquisa constatou-se que os processos químicos aplicados ao tratamento de resíduos não se limitam à resolução técnica de problemas ambientais, mas se inserem em um contexto mais amplo de transformação de paradigmas. A reciclagem química, por meio de processos de despolimerização e purificação, mostrou-se eficaz na valorização de resíduos poliméricos, embora ainda enfrente desafios relacionados a custo e infraestrutura. A compostagem, quando gerida com base em princípios químicos e bioquímicos, revelou-se uma prática acessível e educativa, com potencial de formação crítica e mobilização comunitária. Já a recuperação de materiais, principalmente em setores industriais, destacou-se pela capacidade de reinserção de insumos no ciclo produtivo, promovendo a circularidade econômica e a redução do impacto ambiental.

A construção do folheto digital a partir desta pesquisa simboliza o compromisso com a democratização do conhecimento e a difusão de práticas sustentáveis no contexto escolar. Essa produção representa não apenas um recurso pedagógico, mas também uma proposta de intervenção educativa, alinhada aos princípios da Química Verde, da economia circular e da educação crítica. Ao apresentar, de forma acessível e cientificamente fundamentada, técnicas aplicáveis ao cotidiano, o folheto visa aproximar estudantes, educadores e comunidade da ciência como ferramenta de emancipação social e ambiental.

Os resultados alcançados indicam que é possível transformar o tratamento de resíduos em uma oportunidade de formação cidadã, protagonismo juvenil e desenvolvimento sustentável.

Como desdobramento futuro, recomenda-se a ampliação de estudos empíricos voltados à aplicação prática das técnicas químicas em escolas, comunidades e centros de reciclagem, bem como o investimento na formação continuada de professores para atuação crítica e contextualizada. Sugere-se ainda que pesquisas

posteiros explorem o impacto direto da educação ambiental mediada pela Química na mudança de comportamento individual e coletivo frente ao consumo, descarte e reaproveitamento de materiais.

Este trabalho, portanto, reafirma a Química como ciência da transformação não apenas da matéria, mas também das consciências, destacando seu papel essencial na construção de uma sociedade mais justa, sustentável e solidária.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Daniela Gonçalves de. **Tratamento de resíduos como ferramenta para promoção da educação ambiental no ensino de química**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BELTRAME, Thiago Favarini et al. Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: Uma discussão sobre o tema. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 283-294, 2016.
- CARVALHO, Yuri Mariano. Do velho ao novo: a revisão de literatura como método de fazer ciência. *Revista Thema*, v. 16, n. 4, p. 913-928, 2019.
- FREITAS, José Adilson de. Estratégias socioambientais na escola: revisão sistemática de ações para a gestão de resíduos sólidos em Tobias Barreto/SE. 2023.
- GONÇALVES, Eloisa Baldo. Coleta seletiva em casa: uma estratégia para integrar educação ambiental e ensino de química. 2022.
- GONÇALVES, Jonas Rodrigo. Como fazer um projeto de pesquisa de um artigo de revisão de literatura. *Revista JRG de Estudos Acadêmicos*, v. 2, n. 5, p. 01-28, 2019.
- LUTIF, Herickson Akihito Sudo; DE OLIVEIRA, Tiago; GONÇALVES, Maraisa. Educação ambiental em escolas aplicada aos resíduos sólidos urbanos: uma revisão sistemática. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista–ENCITEC**, v. 13, n. 3, p. 11-29, 2023.
- MELO, Selma Regina. Compostagem como Método Apropriado ao Tratamento dos Resíduos Sólidos Orgânicos Urbano como Recurso Didático. In: **Anais do XXIX Seminário de Educação**. SBC, 2021. p. 874-878.
- PIMENTEL, Joara de Oliveira Cardoso; FRIGO, Jiam Pire. Sensoriamento remoto aplicado na sustentabilidade ambiental e sua relação com os ODS visando a gestão dos resíduos sólidos: uma revisão. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 44, p. e217530-e217530, 2024.
- PINTO, Bruno Vilarinho Victorino Pinto Victorino et al. O resíduo de pescado e o uso sustentável na elaboração de coprodutos. **Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias (ISSN: 2525-4790)**, v. 2, n. 2, 2017.
- ROCHA, SÉRGIO ANUNCIAÇÃO; CASTRO, JACIRA TEIXEIRA; OLIVEIRA, NAIARA SILVA. Estudo sobre a destinação dos resíduos sólidos gerados na comunidade rural do Capim, distrito Ipuaçu, no município de Feira de Santana (BA). **Scientia: Revista Científica Multidisciplinar**, v. 8, n. 3, p. 136-156, 2023.
- SILVA PEREIRA, Cristina et al. Identificação de impactos ambientais provocados pelo lançamento de resíduos sólidos e líquidos no Rio Itapecuru. **Nature and Conservation**, v. 13, n. 2, p. 58-66, 2020.

SILVA, Letícia. Plano de gerenciamento de resíduos sólidos-pgrs. **Tcc-Engenharia Ambiental**, 2020.

SILVA, Marcelo Bueno da. Educação ambiental na formação do técnico em química a partir de um projeto interdisciplinar sobre resíduos sólidos. 2021.

SANTOS, Wendel Mombaqué dos; SECOLI, Silvia Regina; PÜSCHEL, Vilanice Alves de Araújo. The Joanna Briggs Institute approach for systematic reviews. Revista latino-americana de enfermagem, v. 26, p. e3074, 2018.

EL-DEIR, Soraya Giovanetti; AGUIAR, WJ de; PINHEIRO, Sara Maria Gomes. Educação ambiental na gestão de resíduos sólidos. Recife: EDUFRPE, 2016.

ROCHA, Marcelo Borges; DOS SANTOS, Nathalia de Paula; NAVARRO, Silvana Salgado. Educação ambiental na gestão de resíduos sólidos: concepções e práticas de estudantes do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental. Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental, v. 17, n. 1, p. 99-122, 2012.

CORTES, Lailton Passos; FERNANDEZ, Carmen. A educação ambiental na formação de professores de química: estudo diagnóstico e representações sociais. Química Nova, v. 39, n. 6, p. 748-756, 2016.

MIRANDA, Jussara Lopes de et al. O Antropoceno, a educação ambiental e o ensino de química. Revista Virtual de Química, v. 10, n. 6, p. 1990-2004, 2018.

LUCENA, Kássio Alencar de Medeiros. Problemas ambientais gerados por aterros de resíduos sólidos não controlados: o caso de Ipueira-RN. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SILVA, Maria Lígia da et al. Processos de degradação ambiental decorrentes da disposição dos resíduos sólidos na cidade de Barro-Ceará. 2017.

QUERINO, Luana Andrade Lima; PEREIRA, Jóberson Pinto Gomes. Geração de resíduos sólidos: a percepção da população de São Sebastião de Lagoa de Roça, Paraíba. Revista Monografias Ambientais, v. 15, n. 1, p. 404-415, 2016.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 28 abr. 1999.

NAÇÕES UNIDAS. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano: Declaração de Tbilisi, 1977. Tbilisi: UNESCO/PNUMA, 1977.

NAÇÕES UNIDAS. Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: ECO-92, 1992. Disponível em:
https://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/declaracao_rio.pdf. Acesso em: 15 jul. 2025.

NAÇÕES UNIDAS. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Tradução da ONU Brasil. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 15 jul. 2025.

APÊNDICE A – Folheto digital de divulgação do projeto

TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Química como aliada na promoção da sustentabilidade

PROCESSOS

- Despolimerização e Purificação
- Recuperação de materiais de alto valor
- Compostagem

Técnicas químicas como coagulação-flocação, precipitação seletiva, adsorção em carvão ativado e oxidação avançada são aplicadas para remover contaminantes como metais pesados, corantes e substâncias orgânicas persistentes.

Utiliza-se frequentemente a lixiviação química, com reagentes como ácido nítrico, peróxido de hidrogênio e cianeto, seguidos por etapas de precipitação seletiva e purificação.

Técnica amplamente difundida para o tratamento de resíduos orgânicos, especialmente restos alimentares, resíduos agrícolas e podas de vegetação. O processo é conduzido por microrganismos aeróbicos que metabolizam a matéria orgânica, promovendo sua degradação e transformação em um composto estável e rico em nutrientes, conhecido como húmus. A Química atua na compreensão e controle das variáveis que influenciam o processo, como a relação C/N (carbono/nitrogênio), a umidade, o pH e a temperatura.

BENEFÍCIOS

- Práticas sustentáveis
- Impacto social positivo
- Geração de debates críticos
- Cidadãos conscientes
- Fomento a inovação científica
- Fomento de políticas públicas

APLICAÇÕES

```

    graph TD
      Residencias[Residências] --> Espacos[Espaços Comunitários]
      Residencias --> Escolas[Escolas e Universidades]
      Residencias --> Ambientes[Ambientes fabris]
      Espacos --> Escolas
      Espacos --> Ambientes
      Escolas --> Ambientes
  
```