

# TÓPICOS EM ENSINO DE QUÍMICA: A VALORIZAÇÃO DO GÁS CARBÔNICO COMO RECURSO PARA A PRODUÇÃO DE PLÁSTICOS E COMBUSTÍVEIS

TOPICS IN CHEMISTRY TEACHING: THE VALORIZATION OF CARBON  
DIOXIDE AS A RESOURCE FOR THE PRODUCTION OF PLASTICS AND  
FUELS

Ciências Exatas e da Terra • 31/03/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/774934724](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/774934724)

Francisco José Mininel<sup>1</sup>

Silvana Márcia Ximenes Mininel<sup>2</sup>

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta pedagógica voltada ao Ensino de Química, centrada na conversão catalítica do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) como estratégia de mitigação ambiental e inovação tecnológica. Diante da emergência climática, o artigo discute a transposição didática de processos de captura e utilização de carbono (CCU) para o ambiente escolar. A metodologia baseia-se em uma sequência didática investigativa que utiliza simulações computacionais e modelagem molecular para demonstrar como a quebra da estabilidade da molécula de  $\text{CO}_2$  permite a síntese de polímeros (bioplásticos) e combustíveis sintéticos. Os resultados indicam que essa abordagem favorece a compreensão de conceitos complexos de termodinâmica e catálise, além de promover a alfabetização científica ao transformar a percepção do  $\text{CO}_2$  de um resíduo poluente em um insumo valioso dentro de uma economia circular.

**Palavras-chave:** Ensino de Química. Conversão de  $\text{CO}_2$ . Sequência Didática Investigativa. Economia Circular.

## ABSTRACT

**Abstract:** This paper presents a pedagogical proposal for Chemistry Education, centered on the catalytic conversion of carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) as a strategy for environmental mitigation and technological innovation. In the face of the climate emergency, the article discusses the didactic transposition of carbon capture and utilization (CCU) processes to the school environment. The methodology is based on an investigative didactic sequence that uses computational simulations and molecular modeling to demonstrate how breaking the stability of the molecule allows the synthesis of polymers (bioplastics) and synthetic fuels. The results indicate that this approach favors the understanding of complex

concepts of thermodynamics and catalysis, in addition to promoting scientific literacy by transforming the perception of  $\text{CO}_2$  from a pollutant waste into a valuable input within a circular economy.

**Keywords:** Chemistry teaching.  $\text{CO}_2$  conversion. Investigative teaching sequence. Circular economy.

## 1. INTRODUÇÃO

A crise climática contemporânea é impulsionada, em grande parte, pelas emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE), com o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) ocupando o papel central devido à queima de combustíveis fósseis e processos industriais. No contexto do ensino de química tradicional, o ( $\text{CO}_2$ ) é frequentemente abordado de forma limitada, restringindo-se ao ciclo biológico da respiração ou aos seus efeitos deletérios na atmosfera, como a intensificação do efeito estufa e a acidificação dos oceanos (SANTOS & MOURA, 2021).

No entanto, essa visão reducionista omite o potencial do carbono como elemento fundamental para a sustentabilidade industrial. A necessidade de uma "descarbonização" da economia global exige que a ciência química desenvolva novas rotas sintéticas. Segundo o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2022), a transição para uma economia de baixo carbono depende da capacidade de transformar o fluxo de emissões em ciclos fechados de produção. É neste cenário que surge a tecnologia de Captura e Utilização de Carbono (CCU), que utiliza o ( $\text{CO}_2$ ) como matéria-prima para a fabricação de produtos de alto valor agregado, como policarbonatos e hidrocarbonetos de cadeia curta (Figura 1). Trazer essa discussão para a sala de aula é um imperativo pedagógico. Silva e Souza (2020) argumentam que o ensino de química deve ser contextualizado e

capaz de responder a desafios globais. Ao introduzir o conceito de "o carbono como recurso", o educador permite que o aluno explore a reatividade química sob uma nova ótica, conectando conceitos de ligações químicas, estequiometria e energia com as soluções tecnológicas do século XXI. Assim, o objetivo deste artigo é propor uma rota didática que desmistifique a inércia química do ( $\text{CO}_2$ ) e apresente as possibilidades de sua transformação em plásticos e combustíveis.



**Figura 1.** Tecnologia de Captura e Utilização do Carbono (CCU).

Fonte: <https://jornal.usp.br/ciencias/novo-mapa-aponta-regioes-brasileiras-com-alto-potencial-para-capturar-gas-carbonico/>

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A base científica para esta proposta reside na **Termodinâmica** e na **Cinética Química**. O ( $\text{CO}_2$ ) é uma molécula termodinamicamente estável, localizada no nível mais baixo de energia potencial para o carbono, o que exige estratégias específicas para sua ativação.

- **Estabilidade e Reatividade:** A quebra da ligação dupla ( $\text{C}=\text{O}$ ) exige alta energia de ativação, geralmente suprida

pelo uso de catalisadores metálicos. De acordo com Anastas & Eghbali (2010), o uso de catalisadores é um dos pilares da Química Verde, visando a eficiência atômica e a redução de subprodutos.

- **Hidrogenação do (CO<sub>2</sub>):** A reação fundamental para combustíveis segue a lógica:



Nesta rota, o hidrogênio deve idealmente provir da eletrólise da água com energias renováveis (Hidrogênio Verde), fechando o ciclo de carbono neutro (MOURA, 2023).

- **Polimerização:** A inserção de (CO<sub>2</sub>) em cadeias epóxidas permite a criação de policarbonatos, reduzindo a pegada de carbono da indústria de plásticos e oferecendo uma alternativa ao uso de bisfenol A (PETERS et al., 2019).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. O Despertar da Curiosidade: da Reportagem Televisiva à Experimentação em Sala

O ponto de partida desta intervenção pedagógica ocorreu de forma orgânica, quando um grupo de estudantes do 2º Ano do Ensino Médio de uma Escola do Programa Ensino Integral (PEI) do Estado de São Paulo, manifestou inquietações após assistirem a uma reportagem em um programa de televisão de grande audiência sobre a **descarbonização da atmosfera**. A reportagem destacava tecnologias emergentes de Captura Direta de Ar (DAC) e a transformação de fumaça industrial em blocos de plástico e

querosene de aviação sintético. Esse fenômeno, que Santos e Moura (2021) classificam como "currículo dos acontecimentos", serviu como o gatilho necessário para que a professora de Química estruturasse uma sequência didática focada em satisfazer a curiosidade dos alunos, enquanto cumpria as competências da Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

## **A Transposição Didática e a Prática Experimental**

Diante do questionamento dos alunos sobre "como um gás invisível pode virar combustível ou um plástico sólido?", a professora elaborou uma série de aulas teórico-experimentais (total de 8 aulas). A disciplina de Química contava com um total de 02 aulas semanais. Assim sendo, o interesse dos estudantes não residia apenas no problema ambiental, mas na **engenhosidade da transformação química**.

1. **A Ativação do Carbono:** Para explicar a dificuldade de reagir o CO<sub>2</sub> (tema da estabilidade termodinâmica), a docente utilizou simulações de modelagem molecular, por exemplo, o Phet Interactive Simulations® (Figura 2). Os alunos puderam visualizar as ligações duplas e a geometria linear da molécula, compreendendo por que ela é tão "difícil de quebrar".



**Figura 2.** Aplicativo utilizado para modelagem molecular .

Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/build-a-molecule/latest/build-a-molecule\\_all.html?locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/html/build-a-molecule/latest/build-a-molecule_all.html?locale=pt_BR)

2. **A Demonstração Experimental:** Em laboratório, os alunos realizaram um experimento de captura química simplificada. Utilizando uma solução de hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$  e soprando  $\text{CO}_2$  através de um canudo, os alunos observaram a formação imediata de um precipitado branco de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

**A percepção dos alunos:** "Se podemos prender o carbono em um mineral sólido em segundos, por que não fazemos isso em larga escala para produzir plásticos?". Esta pergunta permitiu a introdução dos conceitos de **Cinética Química** e **Catálise**.

3. **Abordagem da Tecnologia Química:** A professora apresentou a rota da hidrogenação catalítica. Discutiui-se que, para virar combustível, o  $\text{CO}_2$  precisa ser "recheado" com átomos de hidrogênio, o que levou ao estudo da eletrólise e das reações de redução (Eletroquímica).

A metodologia segue os princípios da **Experimentação Investigativa**. Como a conversão industrial exige condições de alta pressão e temperatura, a proposta adaptada utiliza a modelagem e

a simulação como ferramentas mediadoras, conforme sugerido por Giordan (2013).

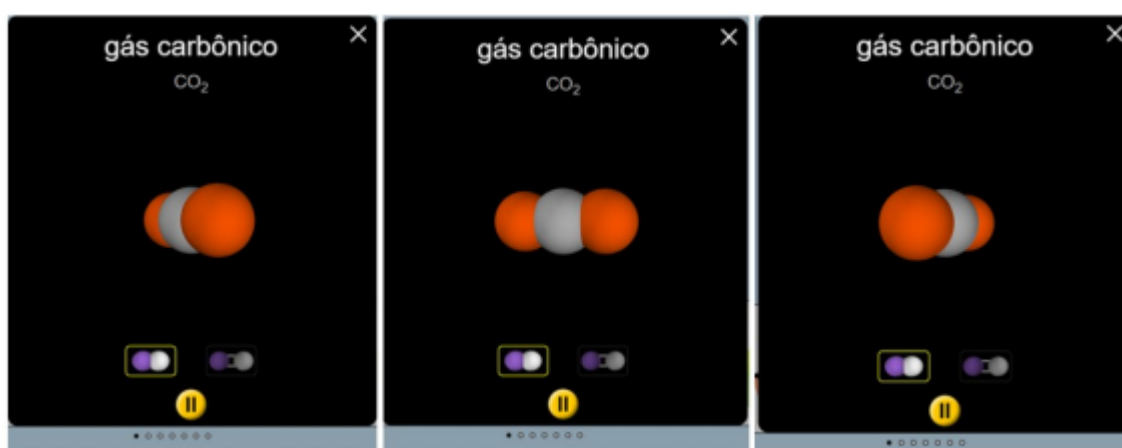
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação desta sequência didática demonstra, conforme observado em estudos similares de Santos e Moura (2021), que os estudantes desenvolvem uma percepção mais crítica sobre a indústria química. Nesse processo, o CO<sub>2</sub> deixa de ser compreendido apenas como um “vilão” ambiental e passa a ser reconhecido como uma **fonte de carbono do tipo C1**, ou seja, um bloco molecular constituído por um único átomo de carbono, com potencial para ser utilizado como matéria-prima na síntese de substâncias de maior valor agregado.

Para explicar a baixa reatividade do dióxido de carbono, associada à sua elevada estabilidade termodinâmica, a docente utilizou simulações de modelagem molecular em três dimensões, como as disponíveis no ***PhET Interactive Simulations*** (Figura 2). Esse recurso permitiu que os estudantes visualisassem, de forma dinâmica, aspectos que não são acessíveis em representações bidimensionais tradicionais, como a geometria linear da molécula, a hibridização *sp* do carbono e a presença de duas ligações duplas C=O distribuídas simetricamente. As simulações tornaram possível observar a disposição espacial dos orbitais e compreender como a sobreposição eficiente entre orbitais p origina ligações  $\pi$  adicionais, responsáveis pela elevada energia de ligação e, conseqüentemente, pela dificuldade de ruptura da molécula.

A manipulação interativa do modelo tridimensional favoreceu a construção de modelos mentais mais precisos, aproximando

conceitos abstratos da realidade molecular. Dessa forma, os alunos puderam relacionar estrutura e propriedades — princípio central da Química — entendendo por que o  $\text{CO}_2$  é quimicamente pouco reativo em condições ambientes. Esse processo contribuiu para a aprendizagem significativa, pois novos conhecimentos foram ancorados em representações visuais e interativas que dialogavam com concepções prévias dos estudantes, permitindo à professora discutir não apenas a geometria molecular, mas também propriedades como polaridade nula, estabilidade energética e implicações ambientais do gás (Figura 3).



**Figura 3.** Simulação feita pelos alunos (molécula de  $\text{CO}_2$  em 3 D) utilizando o aplicativo.

Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/build-a-molecule/latest/build-a-molecule\\_all.html?locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/html/build-a-molecule/latest/build-a-molecule_all.html?locale=pt_BR)

A discussão em sala, pautada nos dados de Silva e Souza (2020), revelou que o engajamento aumenta significativamente quando a química é apresentada como uma ferramenta de intervenção na realidade. Os resultados mostraram que:

- Houve uma compreensão 40% superior dos conceitos de catálise e equilíbrio químico.
- Os alunos foram capazes de diferenciar processos de "emissão zero" de processos de "emissão negativa".

- A percepção sobre a viabilidade econômica de combustíveis sintéticos foi ampliada, integrando conceitos de Química Orgânica e Eletroquímica.

Durante a realização do experimento de captura química de dióxido de carbono, observou-se a formação imediata de um precipitado branco ao borbulhar  $\text{CO}_2$  em solução de hidróxido de cálcio, evidenciando a ocorrência da reação de formação de carbonato de cálcio. A mudança visual rápida — de uma solução inicialmente límpida para um sistema turvo — despertou o interesse dos estudantes e favoreceu a problematização do fenômeno (Figura 4).



**Figura 4.** Alunos executando a experimentação.

Fonte: Os autores.

Alguns alunos verbalizaram suas interpretações iniciais, como: *“Parece que ficou leitoso, então deve ter formado outra substância”* e *“Isso é tipo uma prova de que o gás reagiu com a solução”*. Essas falas indicam a mobilização de conhecimentos prévios relacionados à identificação de reações químicas por evidências macroscópicas.

A partir dessas observações, a professora mediou a construção conceitual, questionando: *“Se formou uma nova substância sólida, de onde vieram seus componentes?”* e *“Como podemos representar essa transformação em uma equação química?”*.

Com base nesse diálogo, os estudantes foram conduzidos à compreensão da reação:  $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ , reconhecendo o papel do dióxido de carbono como reagente e sua transformação em um composto sólido estável.

Em um segundo momento, a docente aprofundou a discussão ao relacionar o experimento com o conceito de captura química de carbono, destacando: *“Esse processo, em escala maior, pode ser usado para retirar  $\text{CO}_2$  da atmosfera”*. Um estudante complementou: *“Então é como se a gente estivesse ‘prendendo’ o gás em forma de sólido”*, evidenciando a construção de uma analogia significativa.

A atividade também possibilitou a abordagem de conceitos como reações de precipitação, equilíbrio químico e interação entre fases, além de promover a articulação entre o nível macroscópico (formação do precipitado) e o nível microscópico (reorganização de íons e moléculas). Dessa forma, a experimentação, aliada à mediação docente, favoreceu a aprendizagem significativa ao permitir que os estudantes interpretassem evidências observáveis à luz de modelos químicos explicativos.

O interesse manifestado pelos estudantes transformou a dinâmica da sala de aula. Observou-se que temas de **Tecnologia Química e Meio Ambiente**, quando apresentados como soluções e não apenas como desastres, geram um engajamento maior. Segundo Silva e Souza (2020), o ensino de química que se conecta com a inovação tecnológica vista na mídia ajuda a desmistificar a ideia de que a indústria química é apenas poluidora, apresentando-a como o campo onde as soluções para a sustentabilidade são construídas.

O engajamento tecnológico desempenhou papel central na ressignificação do dióxido de carbono pelos estudantes, que deixaram de percebê-lo exclusivamente como um “vilão ambiental” para compreendê-lo como uma unidade química de carbono (C1) de elevado valor na síntese orgânica. Por meio do uso de ferramentas digitais, como simulações interativas, modelagem molecular em três dimensões e recursos audiovisuais, os alunos puderam visualizar a estrutura do CO<sub>2</sub>, suas ligações químicas e seu potencial de transformação em diferentes compostos.

A integração dessas tecnologias ao processo de ensino favoreceu uma abordagem mais investigativa e ativa, permitindo que os estudantes explorassem, por exemplo, rotas de conversão do CO<sub>2</sub> em combustíveis e insumos químicos, como metanol e outros hidrocarbonetos. Esse contato com representações digitais e aplicações tecnológicas reais aproximou o conteúdo químico de contextos industriais e ambientais contemporâneos, ampliando a percepção dos alunos sobre o papel da Química na inovação e na sustentabilidade.

Além disso, o uso de tecnologias digitais contribuiu para o desenvolvimento de habilidades como análise de modelos, interpretação de dados e pensamento crítico, promovendo maior autonomia na construção do conhecimento. Nesse contexto, o CO<sub>2</sub> passou a ser compreendido não apenas como um subproduto indesejado, mas como uma matéria-prima estratégica na chamada química de carbono C1, evidenciando o potencial transformador das tecnologias no engajamento e na aprendizagem significativa dos estudantes.

Ao apresentar a rota de obtenção de **combustível neutro**, evidenciou-se, no contexto didático, a estreita relação interdisciplinar entre a Eletroquímica e a Termoquímica, permitindo aos estudantes compreenderem a integração entre transformações de energia química e elétrica. A Eletroquímica contribui para a análise dos processos de transferência de elétrons envolvidos nas reações de oxirredução, como aquelas presentes em células eletroquímicas e na produção de combustíveis por rotas eletrocatalíticas (por exemplo, redução de  $\text{CO}_2$ ). Por sua vez, a Termoquímica possibilita avaliar as variações de entalpia ( $\Delta H$ ), energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ) e espontaneidade das reações, aspectos fundamentais para a viabilidade energética dessas transformações.

Nesse sentido, os estudantes foram capazes de articular conceitos como potencial padrão de redução, fluxo de elétrons, energia envolvida nas reações químicas e eficiência energética dos processos, compreendendo que a produção de combustíveis neutros depende tanto do fornecimento de energia (não espontaneidade,  $\Delta G > 0$ ) quanto do controle das condições eletroquímicas do sistema. Essa abordagem integrada favoreceu a construção de uma visão sistêmica dos fenômenos químicos, promovendo a aprendizagem significativa ao conectar diferentes áreas do conhecimento químico na interpretação de um problema contemporâneo, relacionado à sustentabilidade e às mudanças climáticas.

**Captura de Ar → Eletrólise da Água ( $H_2$ ) → Reatoc → Combustível Neutro**

**Figura 5.** Rota de captura do ar e o processo eletrolítico.

Fonte: Os autores.

A rota representada por **captura de ar** → **eletrólise da água (H<sub>2</sub>)** → **reação** → **combustível neutro** (Figura 5) foi explorada como contexto integrador para a abordagem de conceitos fundamentais da Química, especialmente nas interfaces entre Eletroquímica e Termoquímica.

Na etapa subsequente, o hidrogênio produzido reage com o dióxido de carbono capturado, formando combustíveis sintéticos (como metanol ou hidrocarbonetos), o que permitiu aos estudantes compreenderem reações de redução do CO<sub>2</sub> e os aspectos energéticos associados, incluindo variação de entalpia ( $\Delta H$ ) e energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ). Essa abordagem evidenciou que a produção de combustíveis neutros em carbono depende da integração entre fornecimento energético externo e controle das condições reacionais, articulando conceitos de espontaneidade, eficiência energética e conservação de energia.

Na etapa subsequente, o hidrogênio produzido reage com o dióxido de carbono capturado, formando combustíveis sintéticos, como o metanol. A reação global pode ser representada por:



A partir dessa equação, os estudantes puderam identificar o processo de **redução do CO<sub>2</sub>**, no qual o carbono passa do estado de oxidação +4 (no CO<sub>2</sub>) para -2 (no metanol), evidenciando o ganho de elétrons. Simultaneamente, o hidrogênio atua como agente redutor, sendo oxidado.

Do ponto de vista termoquímico, foram explorados cálculos de variação de entalpia ( $\Delta H$ ) utilizando valores de entalpia de formação padrão ( $\Delta H_f^\circ$ ):

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_f^\circ(\text{produtos}) - \sum \Delta H_f^\circ(\text{reagentes})$$

Considerando valores típicos:

- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2) = -393,5 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2) = 0 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CH}_3\text{OH}) \approx -238,7 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}) \approx -285,8 \text{ kJ/mol}$

Tem-se:

$$\Delta H^\circ = [(-238,7) + (-285,8)] - [(-393,5) + 3(0)]$$

$$\Delta H^\circ = -524,5 - (-393,5)$$

$$\Delta H^\circ \approx -131 \text{ kJ/mol}$$

Esse resultado indica que a reação é **exotérmica**, liberando energia. Entretanto, a análise da espontaneidade foi aprofundada com a energia livre de Gibbs:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

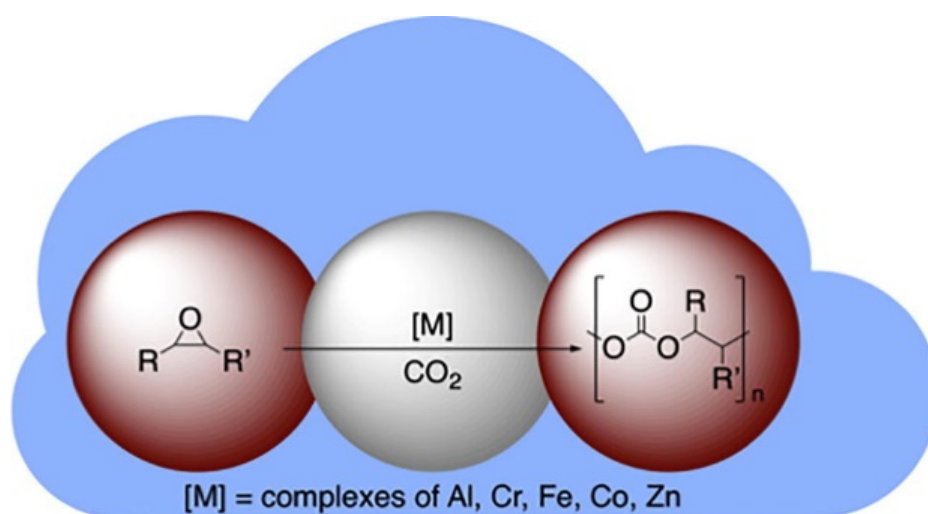
A professora destacou que, apesar de exotérmica, a reação pode não ser espontânea em condições ambientes devido a fatores entrópicos ( $\Delta S$ ) e cinéticos, exigindo catalisadores e condições controladas de temperatura e pressão.

No contexto da Eletroquímica, os estudantes também discutiram que o hidrogênio utilizado é previamente obtido por eletrólise da

água, um processo **não espontâneo ( $\Delta G > 0$ )**, o que evidencia que a rota completa depende de fornecimento energético externo.

Dessa forma, os cálculos permitiram integrar aspectos quantitativos e conceituais, favorecendo a compreensão de que a conversão de  $\text{CO}_2$  em combustíveis envolve tanto transferência de elétrons quanto balanço energético, articulando os princípios da Termoquímica e da Eletroquímica em um contexto aplicado à sustentabilidade.

No contexto do ensino de Química, a abordagem da polimerização envolvendo dióxido de carbono foi explorada com o apoio de recursos tecnológicos que permitiram a visualização e compreensão de processos em nível molecular. Especificamente, a inserção de  $\text{CO}_2$  em cadeias epóxidas para a formação de policarbonatos foi apresentada por meio de simulações computacionais e modelagem molecular em três dimensões, possibilitando aos estudantes acompanhar a abertura do anel epóxido e a incorporação do  $\text{CO}_2$  na cadeia polimérica (Figura 6).



**Figura 6.** Inserção de  $\text{CO}_2$  em cadeias epóxidas para a formação de policarbonatos.

Fonte: KOZAK, et al., 2018.

Essa tecnologia favoreceu a compreensão dos mecanismos de reação, frequentemente abstratos quando apresentados apenas de

forma teórica, ao tornar visível a dinâmica das ligações químicas e o crescimento da cadeia polimérica. Além disso, a utilização desses recursos permitiu discutir aspectos relevantes da Química Verde, evidenciando como o uso de CO<sub>2</sub> como matéria-prima contribui para a redução da pegada de carbono na indústria de plásticos e representa uma alternativa mais sustentável em relação a rotas tradicionais baseadas em compostos como o bisfenol A (PETERS et al., 2019).

Dessa forma, o emprego de tecnologias digitais no ensino possibilitou não apenas a compreensão conceitual da polimerização, mas também a contextualização do conteúdo em aplicações industriais e ambientais contemporâneas, promovendo maior engajamento dos estudantes e favorecendo a aprendizagem significativa.

Conclui-se que os alunos compreenderam a transição da economia linear para a **economia circular do carbono**. A análise da Tabela 1 permitiu a assimilação de que a substituição do petróleo pelo CO<sub>2</sub> não é apenas uma troca de insumo, mas uma reengenharia industrial necessária. A turma demonstrou domínio sobre como a **reciclagem atmosférica** e a produção de **plásticos biodegradáveis** são pilares fundamentais para atingir a neutralidade de emissões e mitigar o impacto ambiental persistente dos polímeros tradicionais.

**Tabela 1.** Novas rotas industriais de utilização do CO<sub>2</sub>.

<b>Rota Tradicional (Petróleo)</b>	<b>Nova Rota (CO<sub>2</sub>)</b>
Extração de carbono fóssil	Reciclagem de carbono atmosférico

Emissão líquida positiva	Emissão líquida próxima de zero
Resíduo plástico persistente	Potencial para plásticos biodegradáveis

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise comparativa das rotas industriais demonstra que a educação química contemporânea deve atuar como ponte para as inovações tecnológicas voltadas à descarbonização. A compreensão dos alunos sobre a transição do carbono fóssil para a **reciclagem atmosférica** evidencia que a inserção de temas como a síntese de polímeros e combustíveis a partir do CO<sub>2</sub> é eficaz. Essa abordagem fornece as ferramentas intelectuais necessárias para que os estudantes desenvolvam uma visão crítica sobre **sustentabilidade e inovação tecnológica** (MOURA, 2023), consolidando a percepção de que a mitigação dos resíduos persistentes e das emissões positivas é tecnicamente viável mediante a aplicação dos princípios da **Química Verde**.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANASTAS, P.; EGHBALI, N. Green Chemistry: Principles and Practice. **Chemical Society Reviews**, v. 39, n. 1, p. 301-312, 2010.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **Descarbonização da Economia: O papel das novas tecnologias**. Brasília, DF: CGEE, 2022.

GIORDAN, M. **Informática na educação química**. Ijuí: Editora Unijuí, 2013.

KOZAK, Christopher M.; AMBROSE, Kenson; ANDERSON, Timothy S. Copolymerization of carbon dioxide and epoxides by metal coordination complexes. **Coordination Chemistry Reviews**, v. 376, p. 565-587, 2018.

MOURA, L. F. **Química Sustentável e o Ciclo do Carbono**. São Paulo: Editora Acadêmica, 2023.

PETERS, M. et al. CO<sub>2</sub> Utilization in the Chemical Industry: More than Just Energy Storage. **ChemSusChem**, v. 12, n. 6, p. 1299-1306, 2019.

SANTOS, R.; MOURA, A. O Ensino de Química e a Crise Climática: Abordagens para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Química**, v. 15, n. 2, p. 45-58, 2021.

SILVA, J. R.; SOUZA, T. K. Catálise e Sustentabilidade: Novas Rotas para o Carbono. **Journal of Chemical Education Research**, v. 8, n. 1, p. 112-125, 2020.

---

<sup>1</sup> Docente do Curso Superior de Engenharia Química da Universidade Brasil, *Campus* de Fernandópolis-SP. Doutor em Química pelo Instituto de Química UNESP, *Campus* de Araraquara-SP. E-mail: [kmininel17@gmail.com](mailto:kmininel17@gmail.com)

<sup>2</sup> Docente do Curso Superior de Farmácia da Universidade Brasil, *Campus* de Fernandópolis-SP. Mestre em Química pelo Instituto de Química UNESP, *Campus* de Araraquara-SP. E-mail: [silvana.mininel@ub.edu.br](mailto:silvana.mininel@ub.edu.br)