

Fontes termais submarinas podem ter originado os primeiros precursores moleculares da vida

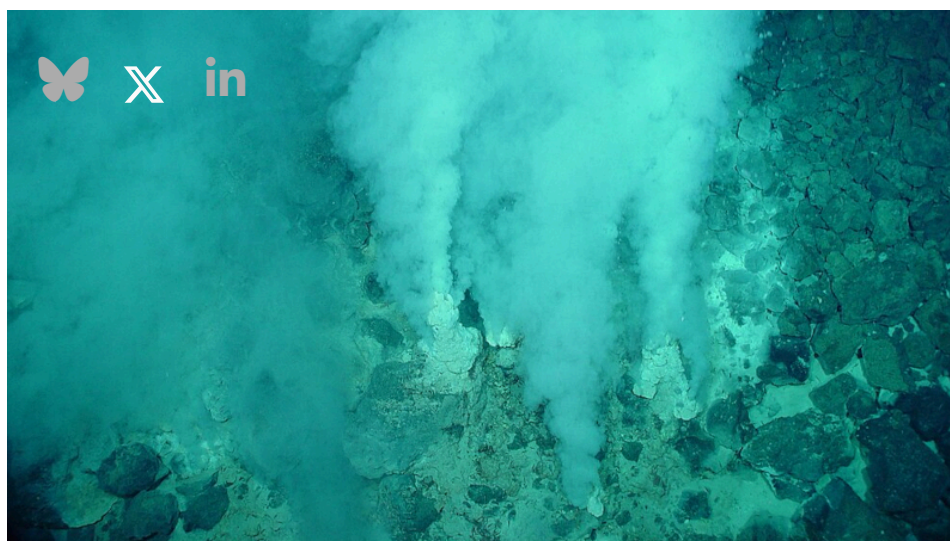
Para testar a hipótese, pesquisadores do Brasil, Estados Unidos e Japão construíram reatores de bancada que simulam o encontro entre os fluidos hidrotermais e a água oceânica primitiva

22 de setembro de 2025

EN ES



José Tadeu Arantes | Agência FAPESP – Estudo [publicado](#) no *Journal of the American Chemical Society* recriou em laboratório reações químicas que podem ter ocorrido no planeta há cerca de 4 bilhões de anos, produzindo os primeiros precursores moleculares para o surgimento da vida. O experimento demonstrou que, sem a presença de enzimas, gradientes naturais de pH, potencial redox e temperatura presentes em fontes hidrotermais submarinas podem ter promovido a redução de dióxido de carbono (CO_2) a ácido fórmico (CH_2O_2) e a subsequente formação de ácido acético ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$). Potencial redox é a medida da tendência de uma substância ganhar ou perder elétrons em uma reação de oxirredução. Os resultados confirmaram a hipótese de que as fontes termais submarinas teriam desempenhado papel fundamental no processo.



Fonte hidrotermal Champagne, no Oceano Pacífico: embora o foco do estudo tenha sido ciência básica, a abordagem também inspira aplicações tecnológicas em eletrocatalise e produção de hidrogênio (imagem: NOAA/[Wikimedia Commons](#))

“A hipótese é a de que esses contrastes físico-químicos presentes nas vizinhanças das fontes termais geram uma voltagem natural – como acontece entre o lado de dentro e o de fora da mitocôndria. É essa voltagem que sustenta as reações químicas”, diz o primeiro autor do trabalho, [Thiago Altair Ferreira](#). Doutor em ciências pelo Departamento de Físico-Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo (IQSC-USP), Ferreira é atualmente pesquisador no Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), em Wako, Japão.

As fontes hidrotermais alcalinas liberam fluidos quentes (tipicamente da ordem de 70 °C), básicos (com pH entre 9 e 12) e ricos em hidrogênio molecular (H_2). Estes se encontram com a água do oceano primitivo, mais fria (cerca de 5 °C) e levemente ácida (com pH em torno de 5,5). Entre esses ambientes, formam-se paredes minerais de sulfetos de ferro e níquel, ricas em microporos e capazes de conduzir elétrons. O contraste gera gradientes naturais análogos aos que, hoje, sustentam o metabolismo celular.

“No Hadeano, haveria um oceano mais frio e ácido e, emanando das fontes hidrotermais, um fluido quente e alcalino. Só isso já produziria uma voltagem certa, comparável à que sabemos existir em processos celulares hoje em dia. O nosso experimento buscou saber se essa voltagem, por si só, conseguiria acionar uma reação de fixação de carbono. E verificamos que sim”, resume Ferreira.

O Hadeano é o éon mais antigo da história da Terra. Um éon geológico é a maior unidade de tempo na escala geológica. Pode durar centenas de milhões a bilhões de anos e é subdividido em éras geológicas. O Hadeano corresponde ao período que vai aproximadamente de 4,6 bilhões de anos atrás (quando teria ocorrido a formação do planeta) até cerca de 4 bilhões de anos atrás, quando começou o éon seguinte, o Arqueano.

Para testar a hipótese, os pesquisadores construíram reatores de bancada que simulam o encontro entre os fluidos hidrotermais e a água oceânica primitiva, com controle independente de temperatura, composição mineral e passagem de correntes elétricas – espontâneas ou induzidas. Foram utilizados minerais de ferro-enxofre (Fe-S) e suas variantes contendo

metabolismo sem enzimas, como desencadeador do processo”, afirma Ferreira.

Nos experimentos, sob gradientes de pH e na presença de Fe-S ou Fe-Ni-S, foram detectadas concentrações micromolares de ácido fórmico e ácido acético no lado “oceânico” do reator. Isso é um indicativo do acoplamento entre a oxidação de H₂ (no lado “hidrotermal”) e a redução de CO₂ (no lado “oceânico”), através da barreira mineral condutora. Trata-se de duas etapas iniciais da via de Wood-Ljungdahl.

Baseada nas descobertas do bioquímico norte-americano Harland Wood (1907-1991) e do bioquímico sueco Lars Ljungdahl (1926-2023), a via de Wood-Ljungdahl constitui rota metabólica de fixação de carbono, usando hidrogênio como doador de elétrons, na qual bactérias metanogênicas e acetogênicas convertem CO₂ em acetilcoenzima A (acetil-CoA), que possui ligações de fosfato, conhecidas por armazenarem considerável quantidade de energia, iguais às que ocorrem na adenosina trifosfato (ATP), a principal molécula responsável pelo armazenamento e transporte de energia em todas as células vivas. A via de Wood-Ljungdahl é considerada uma das vias bioquímicas mais antigas da Terra, possivelmente já ativa no Hadeano.

“Focamos em dois produtos: ácido fórmico e ácido acético. A primeira etapa – conversão de CO₂ em ácido fórmico e, depois, em ácido acético – é a limitante do processo, a parte mais difícil em termos energéticos. Nós a resolvemos usando apenas minerais”, explica Ferreira.

O estudo também mediu o papel de correntes elétricas, mostrando que correntes ínfimas, da ordem de nanoampères (10⁻⁹ A), bastaram para sustentar a redução de CO₂ com excelente eficiência. “Isso sugere que fluxos elétricos muito pequenos, mas constantes, no fundo do mar primitivo, seriam suficientes para sustentar um protometabolismo”, comenta Ferreira.

Os resultados do estudo reforçam o papel das fontes hidrotermais alcalinas na Terra primitiva, mostrando que duas etapas protometabólicas podem emergir de gradientes naturais e superfícies minerais, sem a necessidade de maquinarias biológicas complexas. “A condição inicial para a vida não é uma ‘sopa’ de moléculas orgânicas, mas ordem no lugar e no tempo certos, mantida por trocas de energia e de entropia. Trabalhamos a lógica de gradientes físico-químicos acionando reações, na presença de superfícies minerais que lembram os sítios ativos de enzimas”, resume Ferreira.

Embora o foco do estudo tenha sido ciência básica, com possível aplicação em astrobiologia (mediante a proposição de cenários para os contextos oceânicos da lua de Júpiter, Europa, e da lua de Saturno, Encélado), a abordagem inspira também aplicações tecnológicas. “A partir da importância dos sítios metálicos análogos aos das enzimas, podemos pensar em materiais e condições mais estáveis e eficazes para a eletrocatalise e a produção de hidrogênio, que é hoje uma grande aposta como alternativa energética sustentável, bem como para a redução do CO₂ atmosférico, que é um problema fundamental no contexto das mudanças climáticas”, sugere Ferreira.

O estudo reuniu pesquisadores do Brasil, Japão, Reino Unido e Estados Unidos. Entre eles, o professor [Hamilton Varela](#), orientador do [doutorado](#) de Ferreira.

“O trabalho, desenvolvido por Ferreira durante o seu doutorado, e em seguida maturado no pós-doutoramento, trouxe evidências experimentais do papel de gradientes de temperatura, pH e potencial na redução de CO₂ e abriu importantes perspectivas na área. Esse estudo foi desenvolvido no âmbito de um [projeto temático](#) do Grupo de Eletroquímica do IQSC-USP e corrobora o aspecto transdisciplinar da eletrocatalise – e a importância da pesquisa básica”, afirma Varela.

O estudo ainda recebeu apoio da FAPESP por meio de [estágio de pesquisa no exterior](#).

O artigo *Carbon reduction powered by natural electrochemical gradients under submarine hydrothermal vent conditions* pode ser lido em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.5c01948>.

– [Republicar](#)