



Material didático:

Ciclos biogeoquímicos

Murilo Nicolás Mombelli
Theles Segundo Moreira Falcão
Pedro Henrique da Silva
Alexander Belém Rodrigues da Silva
Victoria Lessa da Silva
Gildo Girotto Júnior
Júlio Cezar Pastre

Versão do
Aluno!

Agradecimentos



Sumário

Capítulo 1: Manual Química Verde



Química Verde no currículo07



Fundamentos da Química Verde12



Tabela Periódica da Química Verde e Sustentável16



Jogo Química Verde20

Capítulo 2: Ciclos biogeoquímicos



Ciclos biogeoquímicos24



Ciclo do carbono25



Ciclo da água36



Sistema de medição44

Sumário



Conexão com planilhas48



Realizando as medições50



Ciclo do nitrogênio52



Ciclo do enxofre59



Entendendo sobre o pH62

Capítulo 3: Avaliação



Relatório final e análise de dados68



REFERÊNCIAS73

O Material

O seguinte material é um complemento de uma **Unidade Didática Multiestratégica (UDM)**, desenvolvido por **graduandos em Licenciatura em química e Licenciatura em Física da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)**, no âmbito de um projeto de Iniciação Científica financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao **projeto Praticar Ciência**, uma iniciativa da FAPESP, Canal Futura e a Fundação Roberto Marinho. Os quatro capítulos aqui apresentados compõem um material didático suporte para as sequências didáticas propostas na UDM.

A estrutura do material de apoio foi pensada para ser utilizada durante as aulas de forma unificada. Entretanto, como cada capítulo compõe uma sequência didática diferente, também é possível fazer uso de cada um separadamente. O primeiro capítulo descreve uma apresentação da temática que permeia todo este material: **Química Verde**. Portanto, são abordados os **princípios da Química verde**, assim como sua forte conexão com a **Tabela Periódica da Química Verde e Sustentável**, bem como uma proposta de jogo para reforçar e explorar as diferentes aplicações destes conceitos.

O segundo capítulo abordará os **ciclos biogeoquímicos**(água, carbono, nitrogênio e enxofre), identificando os processos químicos naturais e também comentando sobre a influência humana. Além disso, nesta porção do material também estará contido um experimento com o uso de uma placa eletrônica e sensores para que os alunos possam, gradualmente, montar um sistema para verificar alguns fatores como quantidade de CO_2 no ar, umidade do ambiente, entre outros.

Por fim, o capítulo final conta com uma proposta de relatório, bem como com valores e gráficos com o intuito de ilustrar como as informações obtidas, em cada experimento, podem ser organizadas, comparadas e analisadas criticamente.



Capítulo 1: Manual Química Verde



Fundamentos da Química Verde

Ao se tratar de Química Verde, é importante destacar que ela pode ser definida como uma área multidisciplinar que abrange o desenho, desenvolvimento e aplicação de produtos e processos químicos que visam a redução ou eliminação do uso e da geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente. O conceito representa a busca pela substituição de processos químicos os quais geram problemas ambientais por alternativas menos poluentes ou não-poluentes, sempre visando o desenvolvimento auto-sustentável.

Diante desse contexto, foram desenvolvidos doze princípios que devem ser considerados quando se pensa em processos que envolvam a química verde, tanto em indústria, quanto em instituições de ensino e pesquisa. Desse modo, temos:



1. Prevenção (de Resíduos): É melhor evitar a produção do resíduo do que tratá-lo ou "limpá-lo" após sua geração (o conceito de resíduo é estritamente humano, já que na natureza não há desperdício).

2. Economia de Átomos: Deve-se buscar desenhar metodologias sintéticas que maximizem a incorporação de todos os materiais de partida no produto final.

3. Síntese de Produtos Menos Perigosos: Sempre que for praticável a síntese de um produto químico, deve-se utilizar e gerar substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente.

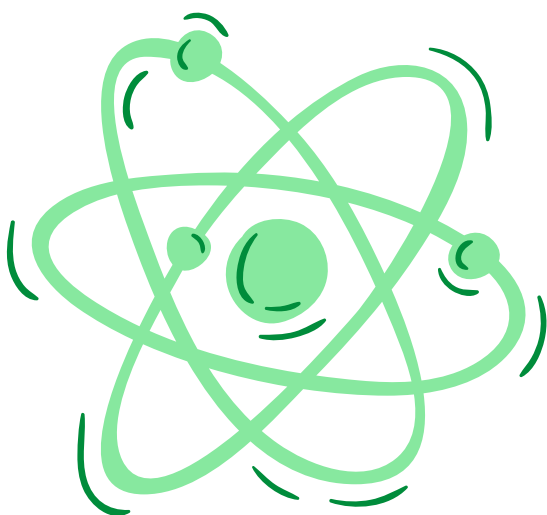
4. Desenho de Produtos Seguros: Os produtos químicos devem ser projetados de modo a realizar a função desejada e, ao mesmo tempo, não serem tóxicos.



Fundamentos da Química Verde

5. Solventes e Auxiliares mais Seguros: O uso de substâncias auxiliares (como solventes, agentes de separação ou secantes) precisa, sempre que possível, tornar-se desnecessário. Quando utilizadas, essas substâncias devem ser inócuas (incentivar o uso de solventes alternativos, verdes ou neotéricos).

6. Busca pela Eficiência de Energia: A utilização de energia pelos processos químicos deve ser minimizada, reconhecendo seus impactos ambientais e econômicos. Se possível, os processos químicos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambientes.



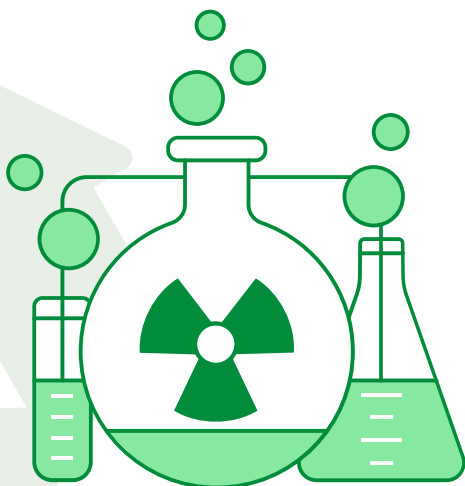
7. Uso de Fontes Renováveis de Matéria-Prima: Sempre que for técnica e economicamente viável a utilização de matérias-primas renováveis (como biomassa), deve-se escolher em detrimento de fontes não-renováveis.

8. Evitar a Formação de Derivados: A derivatização desnecessária, como o uso de grupos bloqueadores, etapas de proteção/desproteção ou modificação temporária por processos físicos e químicos, deve ser minimizada ou evitada, pois essas etapas adicionais requerem reagentes e podem gerar resíduos.

9. Catálise: Reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são melhores que reagentes estequiométricos.



Fundamentos da Química Verde



10. Desenho para a Degradação: Os produtos químicos precisam ser desenhados de tal modo que, ao final de sua função, se fragmentem em produtos de degradação inócuos e não persistam no ambiente (é importante que os produtos de degradação subsequentes sejam inócuos).

11. Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição: É necessário o desenvolvimento futuro de metodologias analíticas que viabilizem um monitoramento e controle dentro do processo, em tempo real, antes da formação de substâncias nocivas.

12. Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes: As substâncias, bem como a maneira pela qual uma substância é utilizada em um processo químico, devem ser escolhidas a fim de minimizar o potencial para acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios.

Nesse contexto, há diversos tópicos e conteúdos nos quais os princípios podem ser integrados. Assim, aqui estão alguns exemplos que podem servir de inspiração:

Síntese verde do ácido adípico: O ácido adípico é um produto químico importante utilizado na fabricação do nylon-6,6. O processo industrial clássico para sua produção tipicamente utiliza ácido nítrico como agente oxidante em uma de suas etapas. Esses processos tradicionais são responsáveis pela emissão de 5% a 8% de todo N_2O antropogênico, que é um contribuinte significativo para o efeito estufa e a destruição da camada de ozônio. Desse modo, podemos destacar os possíveis princípios presentes nesse contexto:

- 2. Economia de Átomos
- 3. Síntese Menos Perigosa
- 6. Busca pela Eficiência de Energia
- 9. Catálise

Fundamentos da Química Verde

Materiais poliméricos de fonte renováveis: A produção massiva de plásticos a partir de polímeros derivados do petróleo é um dos protagonistas quando se fala em crise ambiental. Nesse contexto, a aplicação da Química Verde neste campo propõe a substituição desses polímeros por biopolímeros (polímeros de origem renovável). Sendo assim, esta proposta é uma tentativa de tornar mais sustentável processos essenciais para a humanidade contemporânea. Dessa forma, podemos destacar os possíveis princípios presentes nesse contexto:

- 1. Prevenção (de Resíduos)
- 2. Economia de Átomos
- 7. Uso de Fontes Renováveis de Matéria-Prima
- 10. Desenho para a Degradação



Assim, apresentamos um resumo, de maneira concisa, dos 12 princípios da Química Verde :



Figura 1: Os 12 princípios da Química Verde propostos por John C. Warner e Paul T. Anastas

Fonte: Anastas e Warner (2025, p. 42).





Tabela Periódica da Química Verde e Sustentável

Com o objetivo de ampliar ainda mais os estudos voltados à Química Verde, pode-se também explorar o conceito da Tabela Periódica dos Elementos Figurativos da Química Verde e Sustentável (TPQVS), que é um recurso didático e interdisciplinar que trabalha com elementos figurativos (EFs) os quais desenvolvem aspectos humanitários, elementos de Química Verde e Engenharia Verde, e elementos de condições sistemáticas/políticas. O principal objetivo desta ferramenta é sistematizar os múltiplos conceitos, aspectos e métricas em Química Verde e auxiliar o desenvolvimento sustentável em todas as suas dimensões.

Pensando na tabela apresentada pela **Figura 2**, é importante que destacar que o número de colunas em cada bloco deve ser visto metaforicamente, sem qualquer relação acurada com a distribuição eletrônica ou propriedades químicas. Assim, A Tabela está organizada em 90 elementos figurativos, organizados em 7 linhas horizontais e 18 colunas verticais ou grupos como apresentado a seguir:

Elementos humanitários		Elementos da Química Verde e da Engenharia Verde										Elementos de habilitação das condições de sistema				Elementos nobres	
1 A																	2 Ho
3 Cw	4 Dd																10 P
11 Sw	12 Fg																18 Lp
19 Bf	20 Tc	21 Wu	22 Sa	23 Ru	24 Dg	25 Aq	26 Ee	27 Ib	28 E	29 Bm	30 Sn	31 Bd	32 Hc	33 Ff	34 Ct	35 Lc	36 Z
37 J	38 Cs	39 Op	40 Ip	41 Gc	42 Cm	43 Il	44 R	45 C	46 Ac	47 Md	48 Co	49 Ie	50 Dc	51 Ql	52 Cl	53 So	54 Fi
55 Pc	56 Ic	57 Pi	58 As	59 Ch	60 Ba	61 Sc	62 Es	63 Sb	64 Ht	65 Dp	66 Ex	67 Tg	68 Rf	69 Qn	70 Se	71 Cf	72 De
73 Wo	74 Nc	75 Ss	76 W	77 Is	78 Ts	79 S	80 V	81 Bt	82 Hm	83 Pd	84 Ga	85 Be	86 Cl	87 Bb	88 I	89 Et	90 K

Figura 2: Tabela Periódica dos Elementos Figurativos da Química Verde e Sustentável.

Fonte: Da Silva Júnior et al. (2022, p. 1010).

Assim, é possível observar que a tabela está dividida em 4 blocos específicos, apresentados como:

- Elementos Humanitários
- Elementos da Química Verde e da Engenharia Verde
- Elementos de Habilitação das Condições do Sistema
- Elementos Nobres

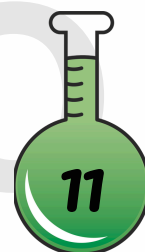


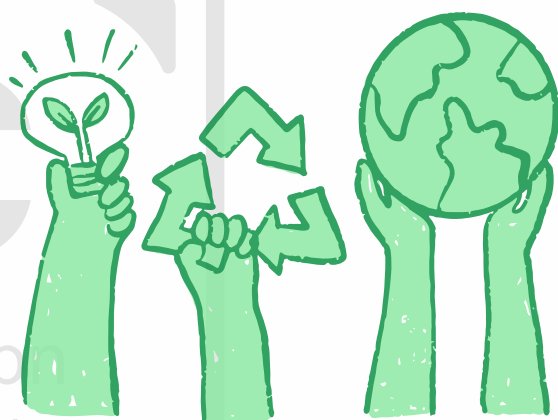
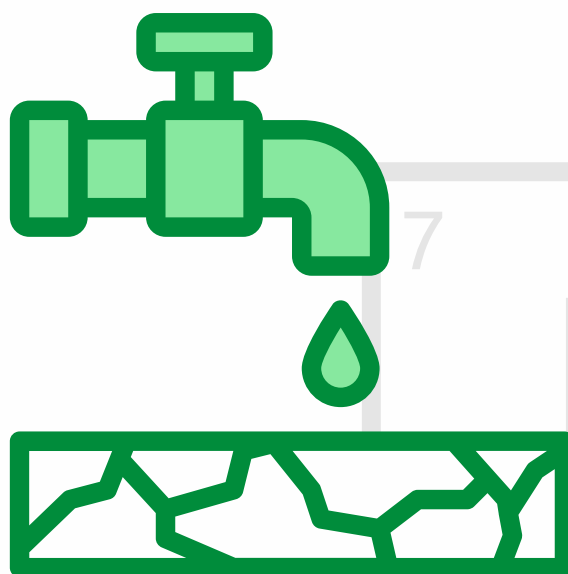


Tabela Periódica da Química Verde e Sustentável

Estudo de Caso: Aplicação da TPQVS sobre Escassez Hídrica

Este estudo de caso aborda a questão da escassez de água em determinadas regiões do Brasil. O objetivo dessa atividade é que os alunos desenvolvam hipóteses sobre os fatores que contribuem para a falta de água na área selecionada, utilizando a TPQVS, além de materiais complementares e textos de referência sobre a escassez hídrica local.

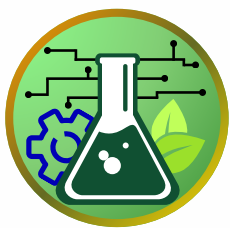
Logo após a formulação das hipóteses, recomenda-se que os alunos elaborem um texto argumentativo, sugerindo soluções viáveis para o problema, fundamentadas em, pelo menos, dois Elementos Figurativos da TPQVS.



Debate: Os Princípios Inegociáveis

O debate, envolvendo a TPQVS, pode propor a discussão sobre ética, implicações socioambientais e responsabilidade, adotando uma abordagem crítica, contextualizada e transversal, alinhada aos EFs. Desse modo, sugere-se dividir a sala em grupos e propor por exemplo:

“Imagine que somos integrantes do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima e, por limitações adversas, só podemos escolher 9 dos 13 EFs do bloco dos Elementos Humanitários para seguir. Quais 9 EFs iremos manter?”



Jogo Química Verde

Boas-vindas ao Jogo

O presente jogo didático integra um projeto de pesquisa realizado por estudantes da graduação de Licenciatura em Química e de Licenciatura em Física da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), além de ser financiado pelo projeto Praticar Ciência, uma iniciativa da FAPESP, Canal Futura e a Fundação Roberto Marinho. Este jogo didático tem como objetivo principal desenvolver e aplicar os conhecimentos voltados à Química Verde na perspectiva STEAM: **S**cience (Ciência), **T**echnology (Tecnologia), **E**ngineering (Engenharia), **A**rts (Artes) e **M**athematics (Matemática). Ele visa atuar como um incentivo extra para a aprendizagem dos conceitos que acompanham esses temas. Para mais informações sobre essas perspectivas, você pode acessar o material completo pelo QR Code abaixo.

Como jogar

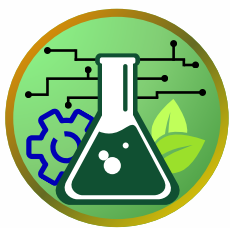
Antes de começar o jogo, todos os jogadores (ou grupos de até 4 jogadores) devem sortear um dado. O jogador que tirar o maior número no dado será o primeiro a começar e, a partir dele, a ordem seguirá no sentido anti-horário da mesa.

Todos os jogadores devem começar na casa “Início”, no topo do tabuleiro. Para avançar no tabuleiro, o jogador do turno deverá sortear um dado e andar o número de casas mostrado no dado. Quando o jogador estiver diante de mais de uma possibilidade de caminho, ele poderá escolher qual direção seguir, como ilustrado no esquema abaixo. Isso vale para todas as possibilidades de caminhos, incluindo os que levam para casas de “Desafios”. Um jogador nunca poderá andar “para trás”, mas poderá refazer um caminho já feito se ele conseguir contornar o tabuleiro.



SCAN ME





Jogo Química Verde

Após andar seu número sorteado de casas, o jogador deverá tomar uma ação a partir da casa que ele caiu:

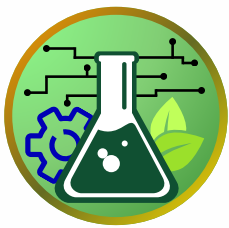
- **Casas de letras S, T, E, A ou M:** *outro jogador* deverá pegar uma carta da mesma letra da casa e ler para o jogador do turno tentar responder individualmente à questão. Caso o jogador acerte a questão, ele ganha a carta que respondeu e deve colocá-la com o verso virado para cima à sua frente. Caso o jogador erre a questão, deverá descartar a carta do baralho. Há questões que são de resposta aberta, não sendo de alternativa - nesse caso, a “resposta esperada” estará, também, indicada na carta, cabendo ao leitor da carta decidir se o jogador respondeu corretamente (outros jogadores podem participar dessa avaliação da resposta);

(Atenção!! Quem deverá ler as questões STEAM será outro jogador além daquele que está no turno de jogada, pois as respostas se encontram na mesma carta!)

- **Casa bônus (estrela):** pegar uma carta bônus. O jogador poderá utilizar imediatamente seu bônus ou guardá-lo para usar em um futuro turno;
- **Casa de desafio (pontos de exclamação):** pegar e resolver uma carta desafio. Cada carta da sigla STEAM possui uma dificuldade diferente, sendo decidida pela sorte do jogador o nível de dificuldade que ele enfrenta.

Casas e Cartas especiais

- **Carta de Desafios:** Os desafios são questões mais complexas, de resposta aberta, que podem ser respondidas em conjunto com todos os jogadores. A carta poderá ser lida por qualquer jogador. Quem decidirá se a resposta será “suficiente” ou “insuficiente” será o professor mediador, com as orientações recebidas no material “Manual do Professor”. Caso os jogadores apresentem uma solução considerada suficiente ao problema, eles receberão um bilhete de passagem. A solução para o desafio pode ser proposta por todos os jogadores, mas somente aqueles que o professor mediador julgar que contribui suficientemente para a solução serão os que ganharão o bilhete, ou seja, se todos contribuírem, todos ganham. No final da carta, encontram-se “Conceitos Abordados” no problema, que servem como guia para os alunos responderem melhor o desafio;



Jogo Química Verde

- **Casa de transportes rápidos:** Ao cair em uma casa de desafio adjacente à uma casa de transporte rápido, representada por um hexágono (contendo um avião, um ônibus ou um barco) e caso o jogador possua um bilhete de passagem, ele poderá pular o desafio para utilizar a casa de transporte rápido. Essa casa funciona como um atalho para outras casas de mesmo símbolo: por exemplo, se um jogador utilizar uma casa de transporte rápido de avião, ele poderá se deslocar para outra casa do mesmo tipo localizada em qualquer lugar do mapa, contanto que contenha um avião também. O mesmo vale para a casa de barco e de ônibus. Ao se deslocar, o jogador colocará sua peça na casa de desafio adjacente à casa de transporte rápido que escolheu e, somente na próxima jogada se movimentará saindo dali;
- **Carta de bilhete de passagem:** Essa carta permite a utilização dos transportes rápidos presentes no mapa.

Condição de Vitória

Vence o jogador que conseguir juntar todas as letras da sigla STEAM primeiro.



Capítulo 2: Ciclos biogeoquímicos



Ciclos biogeoquímicos

O que são ciclos biogeoquímicos?

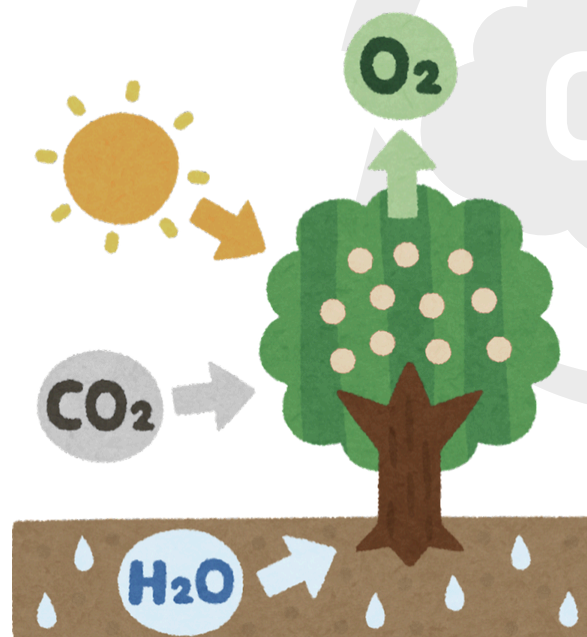
Os ciclos são processos naturais de circulação e reciclagem de elementos químicos entre seres vivos (biosfera) e ambiente físicos (planeta terra). Assim, estes processos permitem a constante reutilização dos mesmos átomos, a partir de organismos passados, para criação de nova vida. Nesse sentido, para que os ciclos ocorram de maneira eficiente, são necessários três componentes básicos: um reservatório (atmosfera ou crosta terrestre), seres vivos que auxiliem no movimento dos elementos e os decompositores (geralmente fungos e bactérias) os quais degradam a matéria orgânica.

Assim, os principais ciclos que são fundamentais para a formação de moléculas essenciais à vida, como proteínas e ácidos nucleicos (DNA e RNA), são: Nitrogênio, Carbono, Enxofre e a Água.

Como os ciclos influenciam no crescimento de seres vivos?

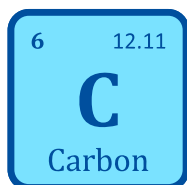
A, por exemplo, Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata*), planta alimentícia não convencional brasileira, necessita de diversos nutrientes para crescer e se desenvolver através de uma disponibilidade contínua.

Nesse cenário, a planta precisa do fornecimento de macronutrientes, os quais possuem principalmente, em sua composição molecular, átomos de carbono, oxigênio, enxofre e nitrogênio. Dessa forma, torna-se essencial a regulação dos ciclos naturais da matéria, afinal, sendo a terra praticamente um sistema fechado, os átomos precisam ser reciclados.



Parâmetros físicos, químicos e biológicos que influenciam o desenvolvimento dos ciclos da vida

Inicialmente, é importante observar o processo da vida a partir do funcionamento dos ciclos biogeoquímicos de modo a possibilitar uma compreensão mais ampla e integrada dos processos que sustentam a dinâmica da vida.



Ciclo do carbono

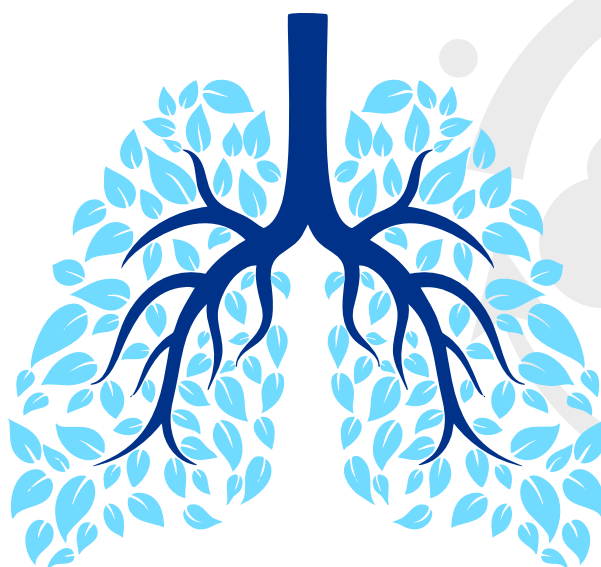
Ciclo biogeoquímico do carbono

A circulação do elemento carbono entre a atmosfera, os oceanos, o solo e os seres vivos é imprescindível, afinal, o carbono é o elemento-base de todas as moléculas orgânicas, permitindo a formação de combinações complexas fundamentais para a vida. Assim, o ciclo, de modo geral, baseia-se em três processos biológicos principais que governam a reciclagem do carbono: respiração celular, decomposição de matéria orgânica e a fotossíntese.

Respiração Celular

A respiração celular caracteriza-se como um processo biológico fundamental para a manutenção da vida. Nesse sentido, ela age na obtenção de oxigênio, através da respiração, realizando transformações químicas com a matéria orgânica (glicose) para gerar energia necessária aos processos vitais e ao crescimento dos organismos.

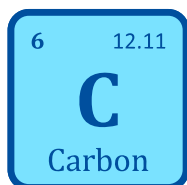
Assim, praticamente todos os seres vivos consomem moléculas orgânicas para obter energia, liberando gás carbônico (CO_2) como subproduto de volta ao ambiente, funcionando como o inverso da fotossíntese como veremos futuramente.



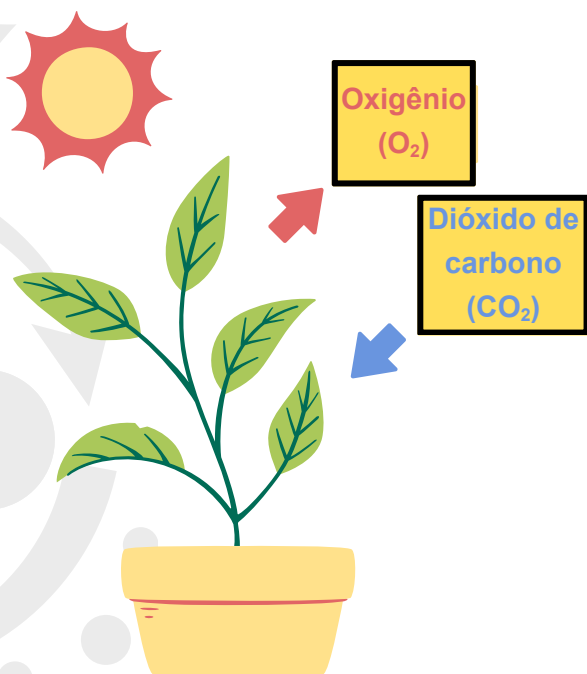
Decomposição de matéria orgânica

Os decompositores, principalmente fungos e bactérias, são organismos heterótrofos, incapazes de produzir seu próprio alimento, os quais se alimentam de matéria orgânica morta. Desse modo, ao degradarem a matéria morta, promove-se uma reciclagem de nutrientes, liberando CO_2 de volta para o solo e, principalmente, para a atmosfera.





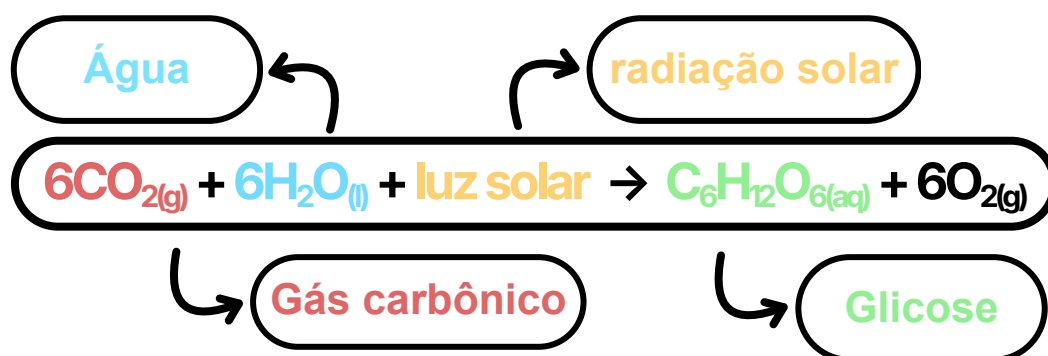
Ciclo do carbono



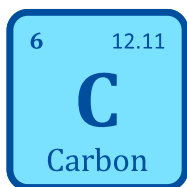
Fotossíntese

A fotossíntese, nesse ciclo, funciona como o principal mecanismo de entrada e fixação de elementos de carbono na biosfera, retirando-o de sua forma inorgânica, na atmosfera ou na água, e transformando-o em matéria orgânica.

Dessa maneira, as plantas, algas e cianobactérias (organismos autotróficos) utilizam-se da energia solar para converter o dióxido de carbono (CO_2) em moléculas orgânicas complexas, como os açúcares. Vejamos, por exemplo, a reação para a formação da molécula de glicose à seguir:

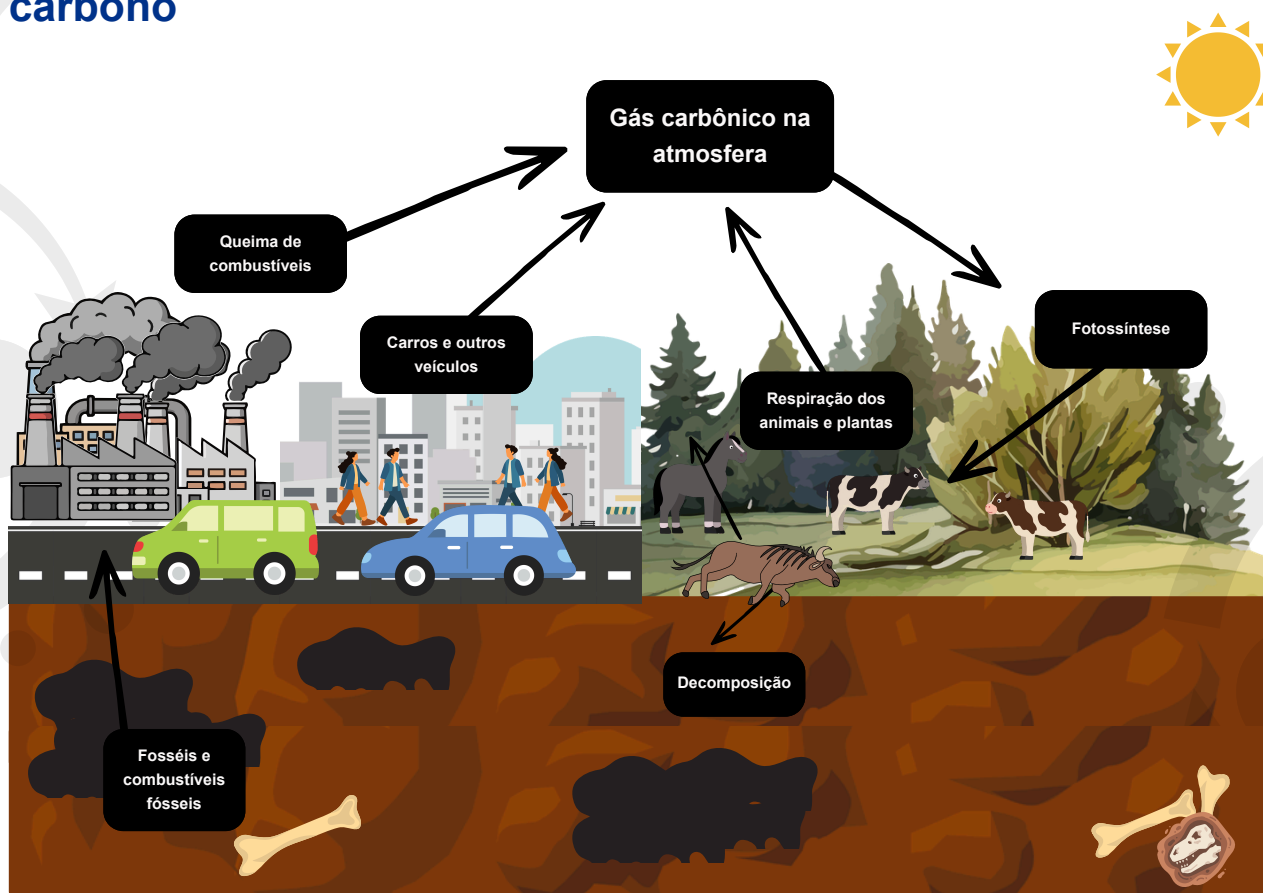


Uma vez fixado nos tecidos dos organismos através da fotossíntese, o carbono atua como base energética e estrutural para toda a cadeia alimentar subsequente. Sendo assim, ele passa para os animais e, eventualmente, para os microrganismos (decompositores) através da alimentação, circulando por toda a cadeia viva antes de ser eventualmente devolvido ao ambiente pela respiração celular ou pela decomposição.



Ciclo do carbono

Esquema representando os principais agentes do ciclo do carbono

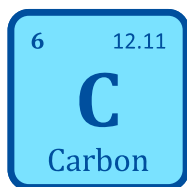


Processos que utilizam o carbono

- Fotossíntese

Processos que liberam carbono

- Queima de combustíveis;
- Carros e outros veículos;
- Respiração dos animais e plantas;
- Decomposição;



Ciclo do carbono

Ação Humana - o preço dos combustíveis fósseis

Com o aprimoramento do uso dos combustíveis fósseis e a intensificação da Revolução industrial desencadeou uma transferência de grandes quantidades de carbono, que estavam armazenadas de forma estável no subsolo terrestre por milhões de anos, para a atmosfera em um curtíssimo período de tempo.

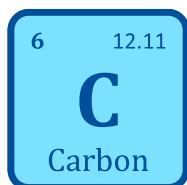
Portanto, ao adicionar um excedente de carbono ao sistema atual, aumenta-se a concentração de CO_2 na atmosfera e eleva o aprisionamento de calor, resultando na intensificação do Efeito estufa e, portanto, no aquecimento global.



Efeito estufa

Definido como um fenômeno natural, o Efeito estufa é um mecanismo da atmosfera terrestre a qual permite a passagem da radiação solar e a absorção de grande parte do calor emitido pela superfície da Terra após ser aquecida. Do total da radiação solar, apenas 51% atinge efetivamente a superfície do globo, enquanto que cerca de 90% dessa radiação terrestre é absorvida por gases na atmosfera, os quais irradiam cerca de 80% de volta para o solo.

Assim, na ausência desse fenômeno, a temperatura média da Terra seria de -18°C . Graças ao Efeito estufa, a média mantém-se em cerca de 15°C , propiciando condições para a existência e manutenção da vida.



Ciclo do carbono

Aquecimento global

Classificado pelo aumento gradual da temperatura da superfície terrestre, o aquecimento global ocorre devido à intensificação do efeito estufa por ações antrópicas (ações humanas). Desse modo, a alta emissão dos chamados Gases de Efeito Estufa (GEE), tais como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e clorofluorcarbonos (CFCs), influenciam diretamente no aumento do fenômeno.

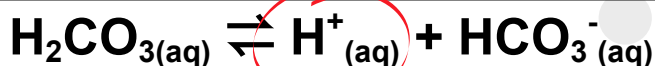
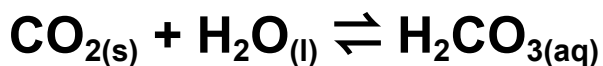
Assim, ao elevar as concentrações de GEEs na atmosfera, intensifica-se o aprisionamento do calor, impedindo que a radiação escape para o espaço e, portanto, aumentando a temperatura do planeta.

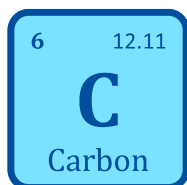


Acidificação dos oceanos

Nesse sentido, elevando-se especificamente a concentração de um dos GEEs na atmosfera, o dióxido de carbono (CO_2), observou-se um outro fenômeno associado. Dessa forma, a acidificação dos oceanos surge ao se alterar a composição química dos mares, elevando a concentração de íons de hidrogênio, deixando-a mais ácida. Em suma, os oceanos absorvem parte do CO_2 presente no ar, e o aumento desse gás no ambiente aéreo, reflete diretamente em sua concentração no meio marinho.

Desse modo, a alteração de pH (mede o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade o qual iremos abordar mais detalhadamente no futuro) na água compromete organismos marinhos sensíveis à variação de pH, alterando o ecossistema e a cadeia alimentar marítima. A seguir, apresentamos a reação padrão para a acidificação dos oceanos:





Ciclo do carbono

Análise no âmbito experimental

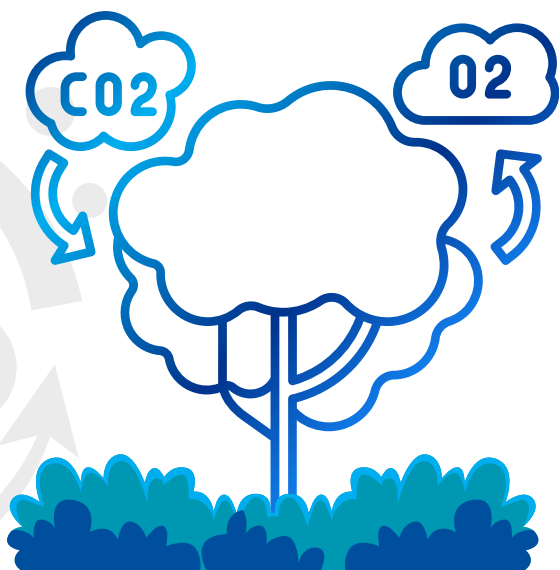
É fundamental observar como as ações humanas, e os fenômenos decorrentes das ações antrópicas, influenciam na biosfera ao nosso redor, além de compreender como podemos utilizar da nossa conscientização para conviver, em harmonia, com os ecossistemas à nossa volta.

Desse modo, considerando a ora-pro-nóbis sobre a ótica do ciclo do carbono, como podemos avaliar os efeitos e consequências de seu ciclo sobre ela? Sendo assim, podemos pensar em uma atividade experimental que verifique a quantidade de gás carbônico (CO_2) do ambiente, uma vez que este incorpora diversos processos do ciclo do carbono

Como saber a quantidade de CO_2 no ambiente?

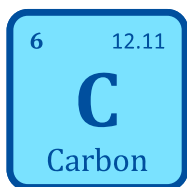
A medida da quantidade de CO_2 no ambiente é uma informação muito relevante, uma vez que o excesso desse gás no ar pode causar diversos sintomas, como por exemplo: Dores de cabeça, tontura, fadiga, sonolência, entre outros.

Em plantas, o aumento descontrolado pode influenciar no desequilíbrio nutricional, ocasionado pelo crescimento acelerado da planta, em um processo denominado: Fertilização por CO_2 . Portanto, uma forma de quantificar o CO_2 do ambiente em que você se encontra é através da utilização de uma placa eletrônica, popularmente conhecida como Arduino, e um sensor de gás MQ-135 que é um dos possíveis sensores para a medição do gás carbônico.



Materiais necessários:

- (1) Placa eletrônica;
- (1) Sensor de gás **MQ-135** ou similar;
- (3) Fios conectores Macho-Fêmea (*Jumpers*);
- (1) Computador com o *software* **Arduino IDE** instalado;



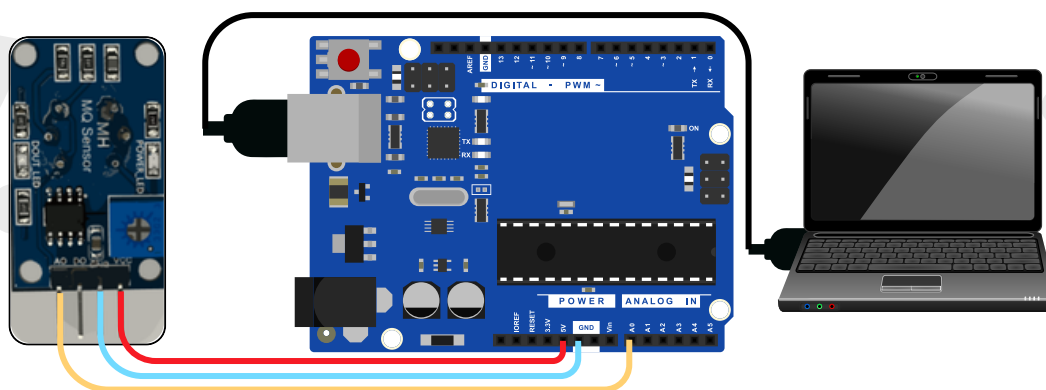
Ciclo do carbono

Como realizar as conexões?

Para este sistema, vamos utilizar as conexões **5.0V, GND e A0** do Arduino e as entradas **VCC, GND e A0** do sensor MQ-135. Para iniciarmos, realize as seguintes conexões **Sensor** □ **Arduino** e depois conecte a placa eletrônica no computador:

- VCC 5.0V;
- GND GND;
- A0 A0.

Caso necessite, utilize o seguinte diagrama como consulta:

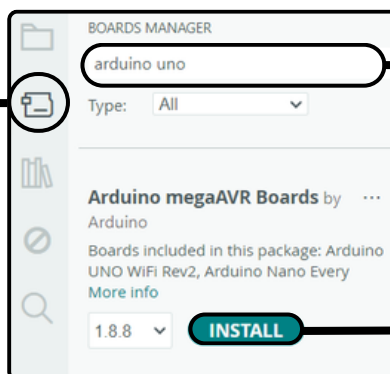


Utilizando o Software:

Ao iniciar o *software* Arduino IDE, faça a instalação das bibliotecas da placa eletrônica e do sensor MQ-135 seguindo os seguintes passos:

Instalação das bibliotecas referentes às placas eletrônicas:

1° Clique neste ícone que se assemelha a uma placa eletrônica;

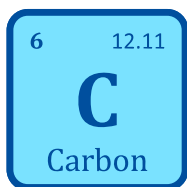


2° Pesquise o modelo de sua placa;

3° Clique em Instalar e aguarde.

Figura XX: Captura de tela feita no *software* Arduino IDE.

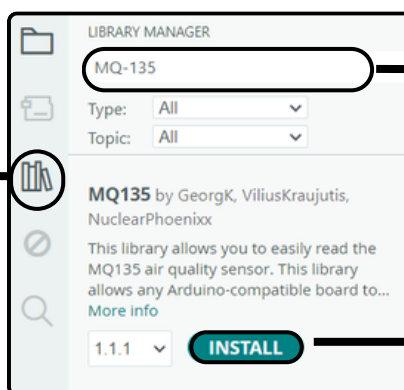
Fonte: Autoria própria



Ciclo do carbono

Instalação das bibliotecas referentes aos demais componentes:

1º Clique neste ícone que se assemelha com livros;



2º Pesquise o modelo de seu componente;

3º Clique em Instalar e aguarde.

Figura XX: Captura de tela feita no software Arduino IDE.
Fonte: Autoria própria

Seleção da placa eletrônica e porta de saída

Com o Arduino já conectado via USB no seu computador, é necessário indicar ao programa, tanto a placa que está conectada, quanto a saída USB que a mesma se encontra. Para realizar esta etapa, siga os seguintes passos:

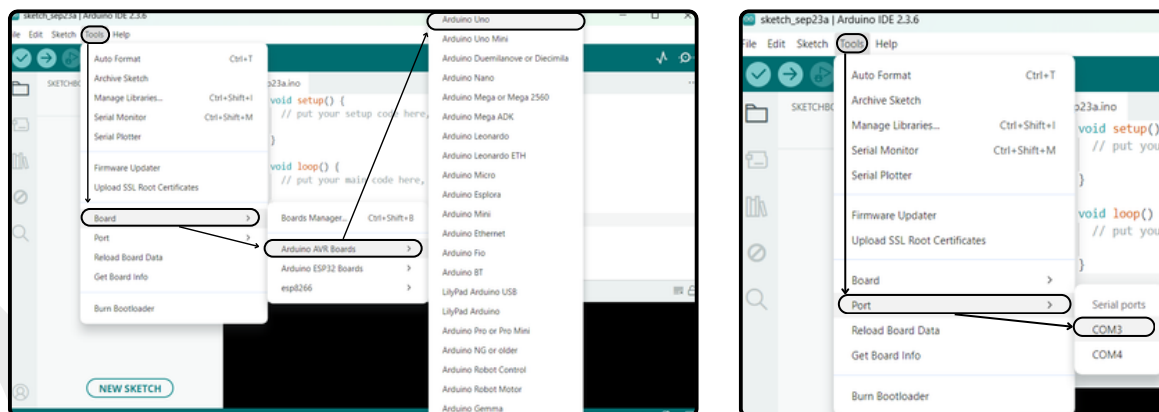
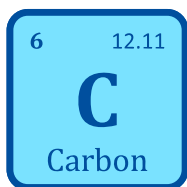


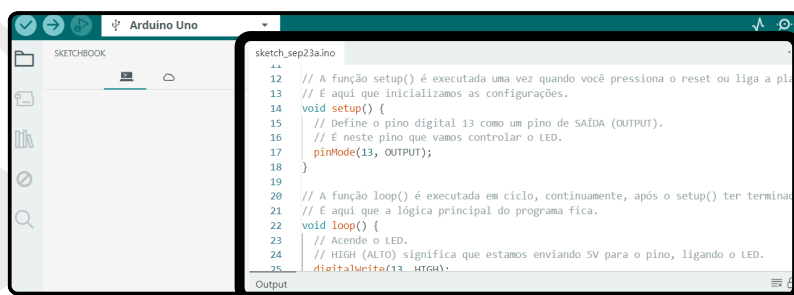
Figura XX e XX: Guia para seleção de placa eletrônica e porta de saída, respectivamente.
Fonte: Autoria própria



Ciclo do carbono

Indicação de código e início das medições:

Após a instalação de todas as bibliotecas necessárias, bem como a seleção da placa e porta a serem utilizadas, trataremos da incorporação, verificação e execução do código, que pode ser encontrado clicando [aqui](#) ou via QR code no final da página.



Apague os caracteres iniciais, utilize a função “copiar” no código que será utilizado e, em sequência realize a função “colar” no espaço indicado.

Figura XX: Captura de tela feita no software Arduino IDE.

Fonte: Autoria própria

Em seguida da adição do código, clique no ícone com o símbolo ✓ para realizar a verificação. Caso não exista nenhum problema no código fornecido, utilize o ícone com o símbolo ▶ para executá-lo na placa eletrônica.

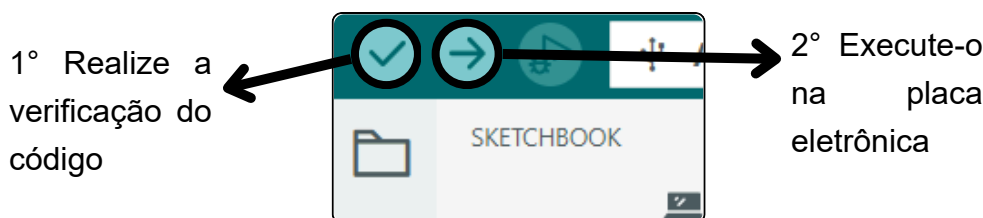


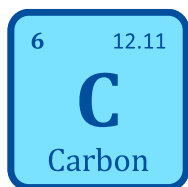
Figura XX: Captura de tela feita no software Arduino IDE.

Fonte: Autoria própria

Logo após seguir todos os passos descritos, você poderá criar e executar qualquer código de seu projeto. Além disso, dependendo da forma que seu código for escrito, ele poderá oferecer retornos e/ou solicitar algum comando. Nesse sentido, ambas opções podem ser feitas através do “Serial Monitor”, como mostra o exemplo a seguir:



Este ícone, abre o menu “Serial Monitor” localizado a baixo



Ciclo do carbono

Questões sobre o ciclo do carbono

1. Como o uso de combustíveis fósseis, iniciados a partir da Revolução Industrial modificou e impactou a estabilidade do ciclo do carbono armazenado no subsolo?
2. Como o aumento da concentração de CO_2 na atmosfera impacta no processo de acidificação dos oceanos? Utilize equações químicas para fundamentar sua resposta
3. A média normal de CO_2 em um ambiente é de 400 partes por milhão, ou ppm, em média. Caso o valor de ppm de CO_2 estivesse 30% mais alto que a média, qual seria o valor que encontraríamos no sensor de CO_2 ?
4. Pensando na fotossíntese e na respiração, explique o porquê do CO_2 ter um papel fundamental nestes mecanismos complementares.
5. O que significa a afirmação "O efeito estufa é um processo natural"? Como a humanidade impactou neste ciclo e cite 5 processos industriais que liberam uma grande quantidade de CO_2 na atmosfera.

Teste o seu sensor e responda as perguntas

1. Após o carregamento, identifique os valores no monitor serial que demonstram a quantidade de CO_2 em ppm;
2. Teste o sensor, assopre bem perto do mesmo e veja se o valor de CO_2 sobe? Qual o motivo deste fenômeno?
3. Se o sensor apresentar valores absurdos, não se preocupe! Esse tipo de sensor precisa ficar um tempo ligado para que seja calibrado, então deixe o sensor funcionando por um tempo. Nesse meio tempo, pesquise sobre como funciona o sensor mencionado e explique o efeito denominado "Burn In" utilizado para a calibração;
4. Durante o processo de "Burn In", um sensor marcou 1200 ppm. Após 20 minutos estabilizou em 400 ppm. Qual foi a redução percentual da medição inicial até atingir a medição já calibrada?



Ciclo da água

Mecanismo de circulação da água na natureza

Também conhecido como ciclo hidrológico, o mecanismo representa o movimento contínuo da água na Terra entre a atmosfera, a superfície e o subsolo. Esse processo decorre da influencia da energia solar, aquecendo oceanos, rios e lagos até a água esteja no estado de vapor, em simultâneo, a vegetação possui papel fundamental ao regular todo o processo através da transpiração.

Nesse contexto, à medida que o vapor de água sobe e encontra camadas mais frias da atmosfera, ele se resfria e condensa, resultando na formação de nuvens. Assim, quando as nuvens, que são compostas por minúsculas gotas de água, tornam-se pesadas o suficiente, ocorre a precipitação em forma de chuva, neve ou granizo.

Ao atingir o solo, parte da água infiltra-se até chegar aos lençóis freáticos (reservatório natural raso o qual alimenta nascentes) ou aos aquíferos subterrâneos (formações geológicas compostas por rochas, sedimentos ou areias porosas e permeáveis).

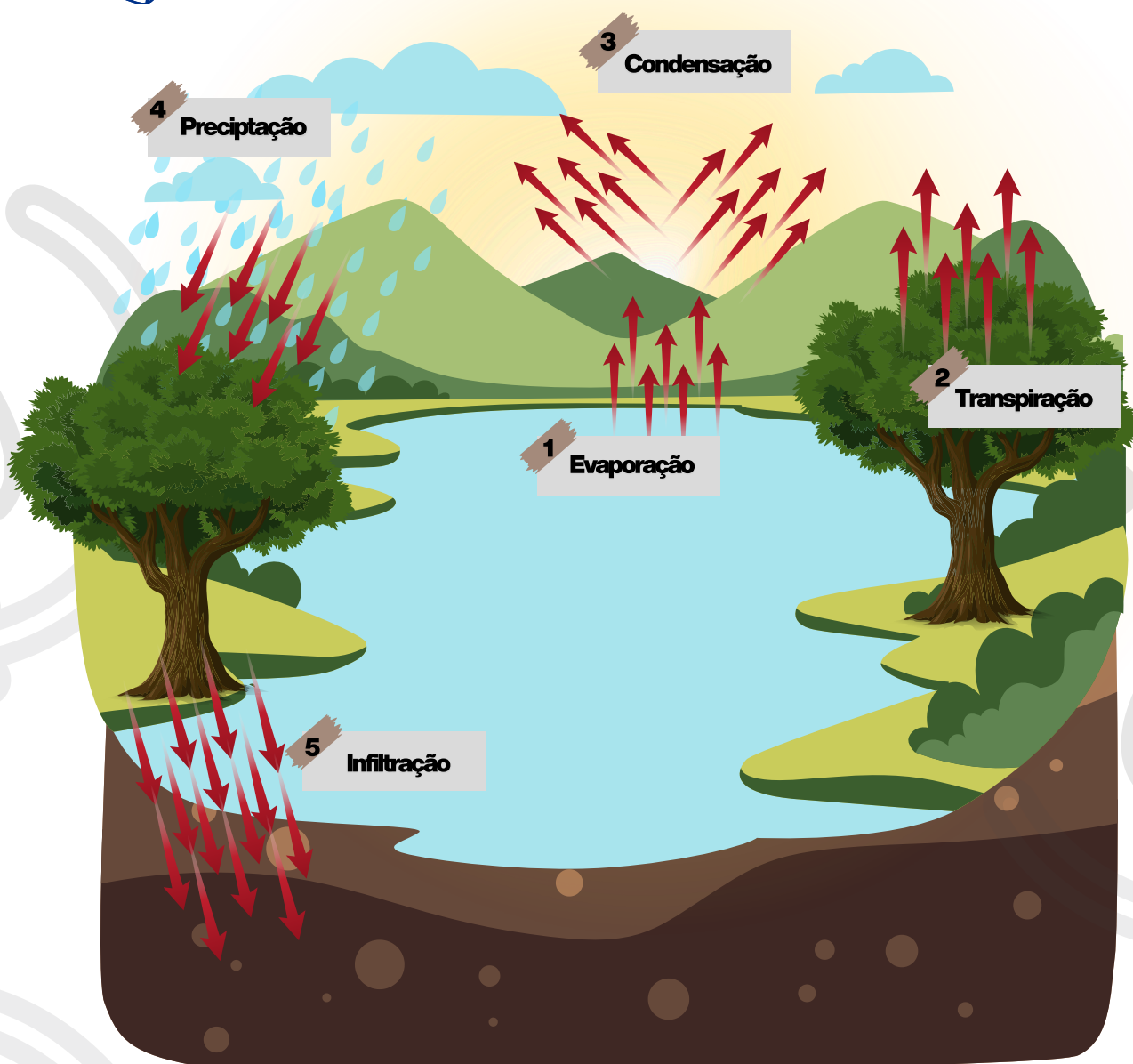
Assim, essenciais para proporcionar o processo cíclico, a vegetação, com suas raízes, ajudam a redistribuir a água do solo através da transpiração, e a manter a umidade do solo constante. Dessa forma, ao existir uma intensidade de água maior em relação ao que o solo consegue absorver, a água redistribui-se pela superfície, formando rios e córregos que, eventualmente, transportam-se de volta para o oceano, reiniciando o ciclo.

Dentro dessa perspectiva, o ciclo biogeoquímico da água, desempenha um papel essencial na dissolução de substâncias na natureza. Elas contribuem para o transporte e distribuição de nutrientes nos ecossistemas, garantindo sua constante disponibilidade e, portanto, proporcionando transformações essenciais da matéria em toda a biosfera.





Ciclo da água



- 1- Evaporação:** Processo de transformação da água do estado líquido para o estado gasoso;
- 2- Transpiração:** Liberação do vapor de água através dos poros das plantas;
- 3- Condensação:** Resfriamento do vapor de água nas camadas mais altas da atmosfera;
- 4- Precipitação:** Retorno da água para rios, lagos e oceanos através da chuva;
- 5- Infiltração:** Parte da água que cai no solo penetra na terra, com a função de reabastecer os lençóis freáticos.

Para refletir

Quais ações humanas podem afetar este ciclo? Pense em fatores como poluição, assoreamento e desmatamento.



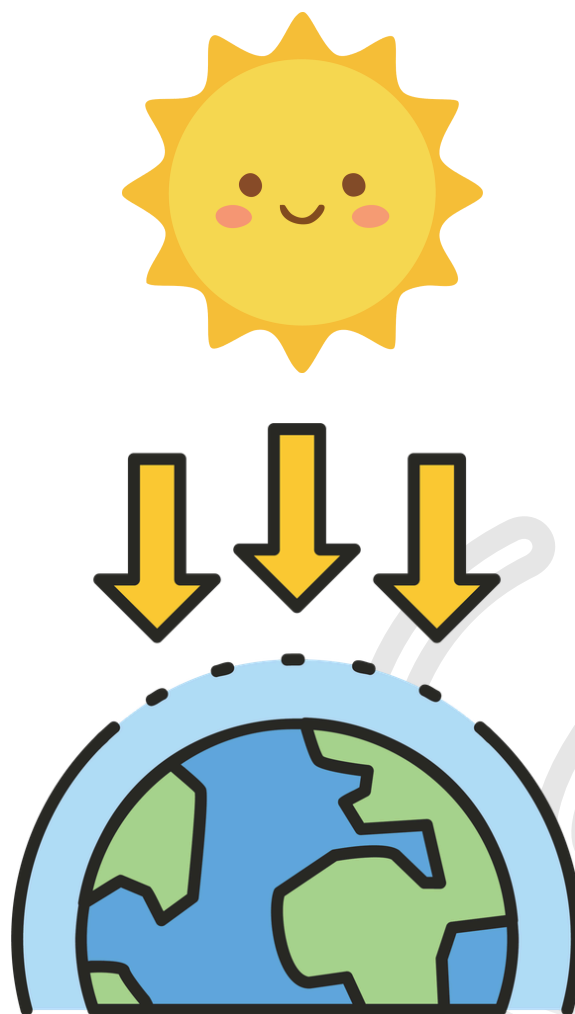
Ciclo da água

Curiosidade

“Buraco” na Camada de ozônio - O fenômeno do “buraco” na camada de ozônio é dado como a redução drástica e sazonal da concentração do **gás ozônio (O₃)** na região da estratosfera terrestre, o qual desempenha uma função vital na proteção da vida ao filtrar radiações solares nocivas.

Desse modo, há áreas onde a densidade do gás cai a níveis muito baixos, diminuindo a capacidade da atmosfera de filtrar radiação. A destruição da camada é influenciada por substâncias artificiais, dentre elas, os **CFCs (Clorofluorcarbonetos)** os quais eram utilizados em sprays e geladeiras.

Assim, para o ser humano, esse fenômeno exibe, sobretudo, aumento dos casos de câncer de pele, queimaduras graves, envelhecimento precoce.



Curiosidade

Protetor Solar - Também conhecido como filtro solar, é um produto desenvolvido para atuar como uma barreira de defesa para a pele contra os efeitos nocivos da radiação ultravioleta (UV) emitida pelo Sol.

Desse modo, com o aumento da destruição da camada de ozônio, que funciona como o **filtro natural do planeta**, a incidência de radiação UV na superfície terrestre tem crescido, tornando o uso desses produtos uma necessidade real para a prevenção de doenças como o **câncer de pele**.





Ciclo da água

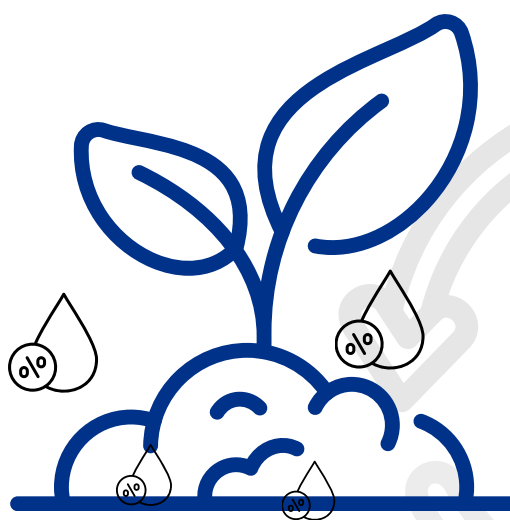
Análise no âmbito do experimento

A partir do nosso experimento, para estudar um sistema com uma planta, a análise de componentes do ciclo da água é indispensável. Dessa forma, a informação sobre a temperatura do sistema é essencial para verificarmos se as condições do ambiente estão favoráveis ao crescimento da planta e, por isso, incorporaremos um sensor de temperatura e pressão em nosso sistema.

Umidade do solo

Outro fator também muito relevante, considerando que colocaremos água no sistema, é a umidade do solo. Nesse sentido, precisamos identificar se a planta está conseguindo manter a umidade do solo constante, fator que favorece o seu desenvolvimento e que também é um dos fatores estudados no ciclo da água. Mas, afinal, **o que exatamente é umidade e como podemos analisá-la?**

Nesse contexto, pode-se descrever a umidade do solo como **a capacidade de água que pode ser retida, representando uma razão entre a massa de água e a massa da partículas sólida do solo**, podendo ser expressa por sua massa/massa ou volume/volume.



Umidade do ar

Além do solo, a umidade do ar também interfere no ciclo da água e, conseqüentemente, afeta também o crescimento da planta em nosso sistema. Portanto, podemos também incorporar o sensor de umidade do ar em nosso sistema para fazer as análises necessárias.

E o nosso sistema?

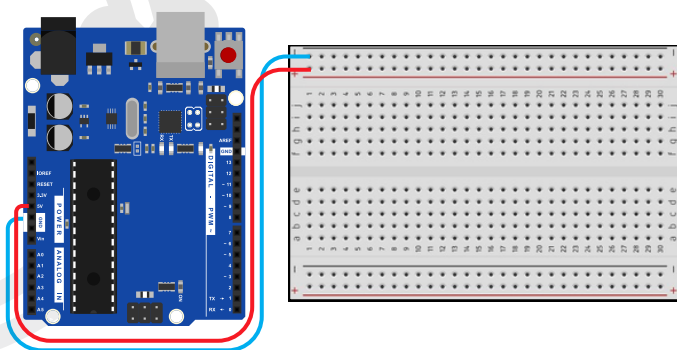
Pensando em nosso sistema de medição de CO₂, podemos incorporar outros 3 sensores: **I) Sensor de pressão e temperatura (BMP180); II) Sensor de Umidade do ar (DHT11) e III) Sensor de umidade do solo (HW-103 V0.1).**



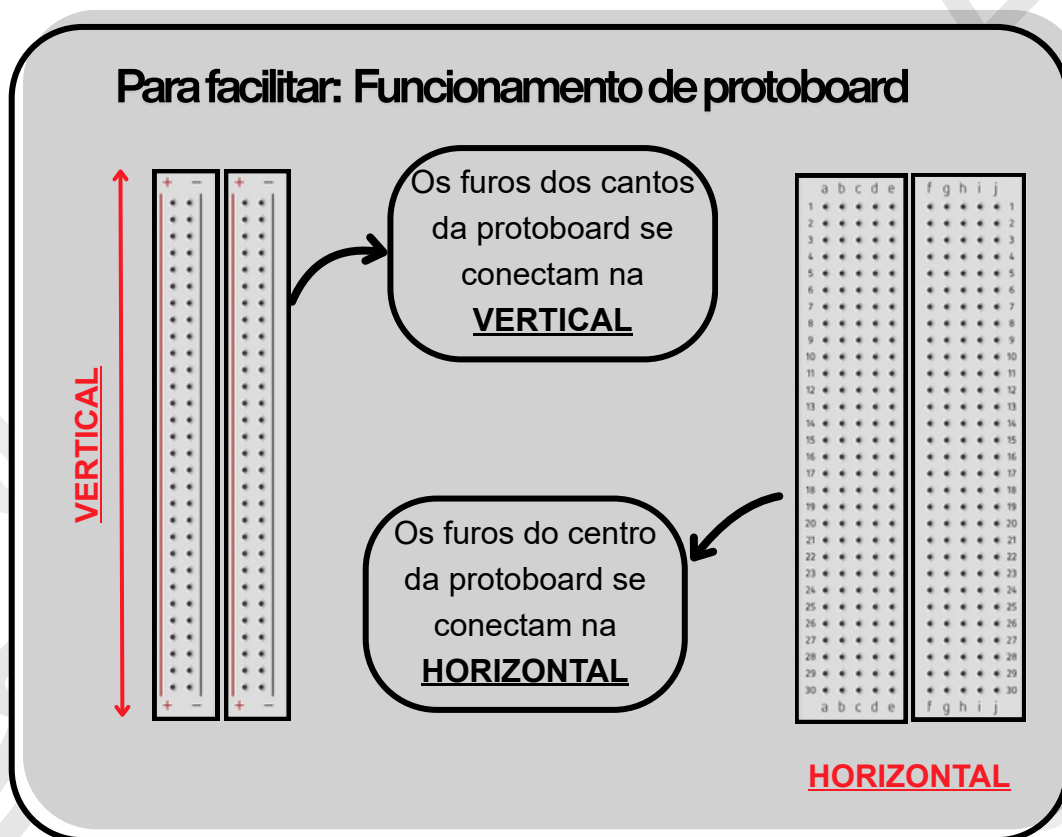
Ciclo da água

Como realizar as conexões?

Nosso sistema com o sensor de CO₂ será agora aprimorado com mais sensores. Por isso, as duas entradas de energia do Arduino não serão suficientes para ligar todos os sensores. Portanto, vamos fazer uso de uma ferramenta chamada *Protoboard* que permite a dispersão de energia por um trilho. Nosso primeiro passo é fornecer energia à protoboard como segue o exemplo:



Assim, garantimos que **todos** os sensores conectados **ao logo deste trilho** possam usar da energia 5.0V.





Ciclo da água

Ajustes e novas conexões

Agora, explicitaremos as conexões, tanto dos novos sensores, quanto dos sensores antigos e forneceremos um diagrama para acompanhamento. É de suma importância que o processo seja feito com calma e atentando-se para as ligações para que não ocorram erros que possam interferir no funcionamento dos sensores!

Sensor de Umidade

O sensor escolhido para fazer a medição da umidade do ar no sistema é o sensor **DHT11**. Para incorporá-lo, você necessitará de instalar a biblioteca **DHT Sensor Library by Adafruit** (seguindo os mesmos passos da página XX) e, além disso, utilizar **(4) Jumpers (Macho - Macho)** e **1 resistor de 10kΩ**.

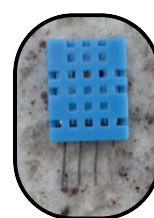


Figura XX: Sensor DHT11.
Fonte: Autoria própria



Figura XX: Sensor BMP180
Fonte: Autoria própria

Sensor de Temperatura e pressão

O sensor a ser utilizado é o **BMP180** que pode medir a temperatura e a pressão do sistema projetado. Para incorporá-lo, é necessário instalar a biblioteca **Adafruit BMP085 Library by Adafruit** (seguindo os mesmos passos dos dois últimos sensores) e, além disso, utilizar **(4) Jumpers (Macho - Fêmea)**.

Sensor de Umidade do solo

O sensor escolhido para realizar a medição da umidade do solo sistema é o sensor **HW-103 V0.1**. Para incorporá-lo ao sistema, você precisará de **(3) Jumpers (Macho - Fêmea)**.

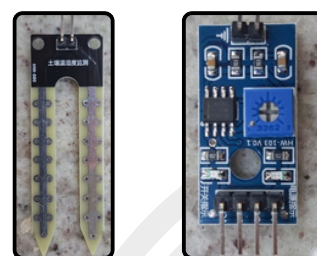


Figura XX: Sensor HW-103 V0.1 e seu módulo.
Fonte: Autoria própria



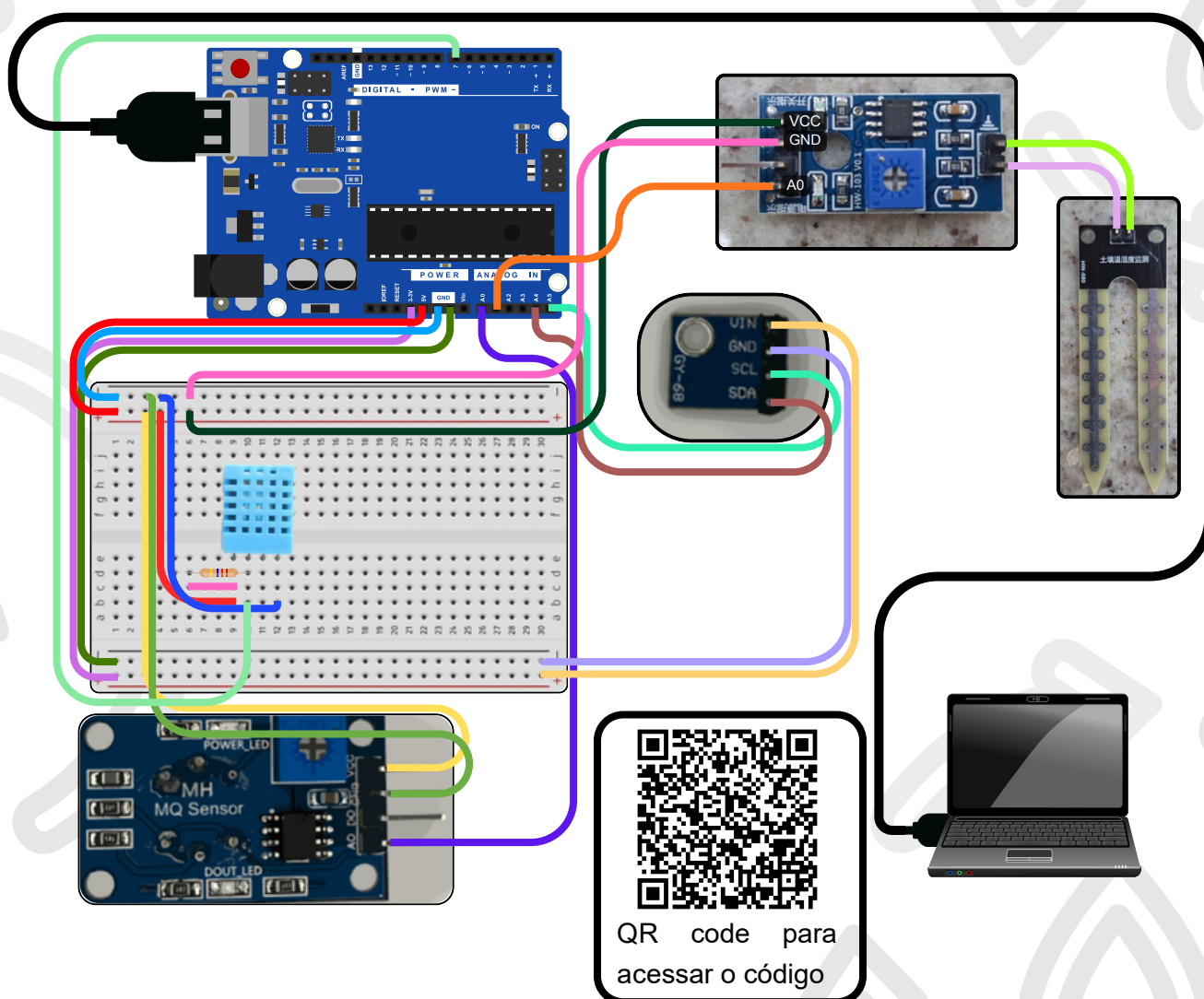
Ciclo da água

Diagrama de conexões:

Neste momento, vamos demonstrar um diagrama de conexões e o código necessário para a incorporação dos 3 sensores apresentados em nosso sistema. Portanto, atente-se para a posição de cada *jumper* e do resistor. **Segue o diagrama de conexão Sensor**

■ **Placa eletrônica.**

Sensor de Umidade do ar	Sensor de Temp e Pressão	Sensor de Umidade do solo
<ul style="list-style-type: none"> • VCC 5.0V; • GND GND; • DATA Pino digital 7; • NC Vazio. 	<ul style="list-style-type: none"> • VCC 3.3V; • GND GND; • SCL A5; • SDA A4. 	<ul style="list-style-type: none"> • VCC 3.3V; • GND GND; • A0 A1; • D0 A4.





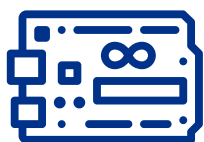
Ciclo da água

Questões sobre o ciclo da água

1. Como as atividades industriais e agrícolas exageradas impactam de forma negativa o ciclo da água?
2. Um escoamento agrícola de pesticidas contaminou 4% do volume de uma lagoa fechada que continha 500.000 Litros de água. Quantos litros de água foram contaminados nesse impacto ambiental local?
3. De que maneira fungos e bactérias dependem do ciclo da água para realizar suas atividades descritas no ciclo do carbono?
4. A umidade do solo e do ar podem ser consideradas as mesmas medidas? Como é feito o cálculo de umidade do solo?
5. Duas cidades A e B ficam na encosta de um rio. A cidade A resolveu retirar toda a mata nativa para a construção de condomínios à beira deste rio, enquanto a cidade B procurou realizar o processo mais cuidadosamente, deixando um espaço maior entre as construções e a margem do rio. Qual dessas cidades poderá sofrer mais durante a época das cheias dos rios? Por quê? Cite uma possível medida para auxiliar a cidade A.

Teste o seu sensor e responda as perguntas

1. Quais são as informações encontradas no experimento?
2. A unidade de medida escolhida para medir a pressão é Pa. Qual a diferença se tivéssemos escolhido atm? Como converter Pa para atm?
3. Verifique a umidade do solo antes e depois de regar a planta, qual o valor (em %) de umidade que foi elevado? Caso esse valor fosse próximo de 100%, quais seriam as possíveis consequências para a planta?
4. De que forma a umidade pode influenciar no ambiente da planta? E a temperatura e pressão?
5. O valor de temperatura é constante durante todo o dia? E o valor de pressão? Por que isso acontece?
6. PESQUISA: Considere a planta utilizada no experimento(ou utilize a Ora-pro-nóbis), qual a temperatura ideal para o seu desenvolvimento? De que forma o aumento ou diminuição dessa temperatura pode interferir nesse crescimento?



Sistema de medição

Medição e análise do Índice UV

Após o estudo dos ciclos, o último sensor a ser alocado trata-se de um **sensor de UV**, no qual utilizaremos para verificar se a planta está recebendo a quantidade adequada de raios UV e como esses valores podem interferir em seu crescimento. Ademais, vamos também incorporar um **painel de LCD** para facilitar a visualização das informações em tempo real e aprender a como transportá-las para um **aplicativo de planilhas**.

Sensor de UV

O sensor escolhido para fazer a medição do UV é um sensor genérico, uma vez que sensores mais sensíveis são mais caros e não necessários para o escopo do projeto. Para incorporá-lo você utilizará **(3) Jumpers (Macho - Fêmea)**.

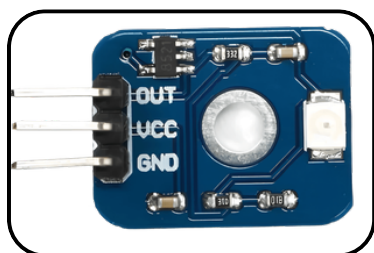


Figura XX: Sensor de UV
Fonte: Autoria própria

Conexões

- VCC 3.3V;
- GND GND;
- OUT A2.

Display de LCD

O emprego de vários sensores pode dificultar a visualização das informações geradas, por isso vamos indicar a adição de um **display de LCD** facilitar esse processo. Para incorporá-lo você utilizará **(3) Jumpers (Macho - Fêmea)**.

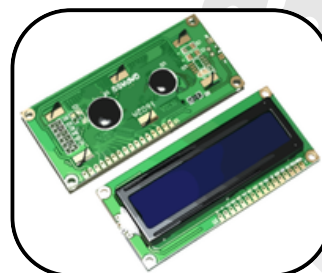


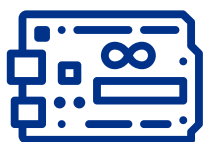
Figura XX: Display Lcd 16x4.
Fonte: Autoria própria

Conexões

- VCC 5.0V;
- GND GND;
- SCL A5;
- SDA A4.

Conexões na mesma saída analógica

Note que, tanto o **Display de LCD**, quanto o sensor **BMP180** utilizam das entradas analógicas **A4 e A5 do Arduino**. Por isso, como só temos **uma entrada para cada saída analógica**, vamos usar as entradas na **vertical e horizontal da protoboard**, conforme explicitamos na página 38.



Sistema de medição

Diagrama de conexões:

A seguir, demonstraremos o diagrama final das conexões em duas formas: **I) Uma tabela com todas as conexões; II) Um diagrama visual explicando cada uma delas.** e o último código a ser utilizado. Neste momento, é importante atentar-se para todas as conexões realizadas. **Segue o diagrama de conexão Sensor □ Placa eletrônica.**

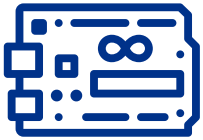
Além do diagrama de conexões, você pode encontrar o código para o experimento neste [link](#) ou no **QR code** a baixo:



QR code para acessar o código

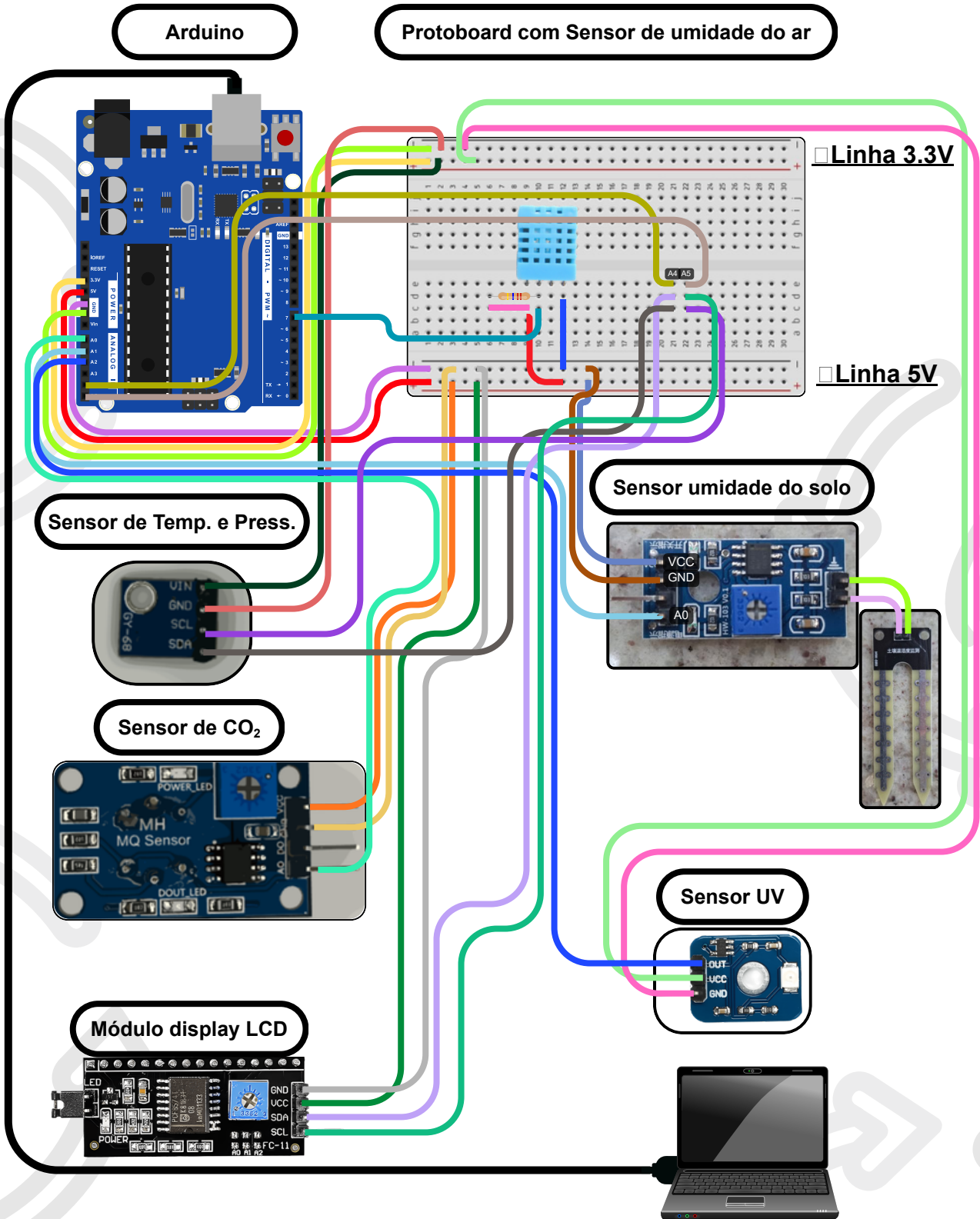
Como este é o sistema final projetado para este material, vamos aprender também como conectar a placa eletrônica a um sistema de planilhas para que você possa organizar as suas medições!

Diagrama de conexões		
Componente	Pino sensor	Pino placa eletrônica
Sensor de CO ₂ (MQ-135)	VCC	Linha 5V
	GND	Linha GND
	A0	Pino Analógico A0
	D0	<i>(Deixar Vazio)</i>
Sensor de umidade do solo (HW-103 V0.1.)	VCC	Linha 5V
	GND	Linha GND
	A0	Pino Analógico A1
	D0	<i>(Deixar Vazio)</i>
Sensor UV	VCC	Linha 3.3V
	GND	Linha GND
	OUT	Pino Analógico A2
Sensor de pressão e temperatura (BMP180)	VIN	Linha 3.3V
	GND	Linha GND
	SCL	Pino Analógico A5
	SDA	Pino Analógico A4
Display LCD	VIN	Linha 5V
	GND	Linha GND
	SCL	Pino Analógico A5
	SDA	Pino Analógico A4
Sensor de umidade do ar (DHT11)	VCC	Linha 5V
	GND	Linha GND
	DATA	Pino Digital 7
	NC	<i>(Deixar Vazio)</i>



Sistema de medição

Diagrama de conexões:





Conexão com planilhas

Uma forma de organizar os dados e facilitar sua análise consiste em integrar a placa eletrônica em um sistema de planilhas. Neste material, vamos utilizar o *software* **Microsoft Excel** como exemplo. Para isso, você precisará ativar a opção no programa, seguindo os passos:

Passo 1:

Para iniciar, abra uma nova planilha no Excel. No canto superior esquerdo clique em **“Arquivo”**. Depois, clique em **“opções”** no canto inferior esquerdo. Essa sequência de cliques abrirá uma nova janela. Aqui, selecione a opção **“Suplementos”**. Na aba gerenciar, selecione **“Suplementos COM”** e clique na opção **“Ir”**.

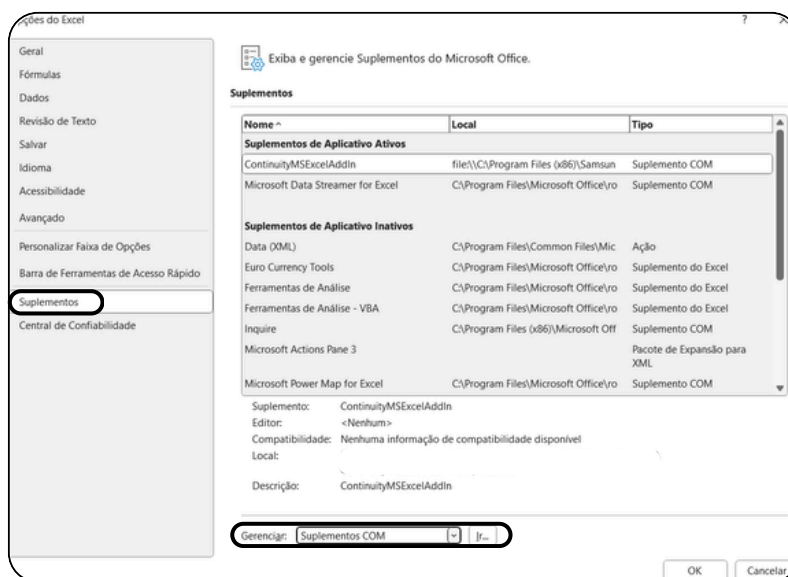


Figura XX: Captura de tela feita no *software* Microsoft Excel.

Fonte: Autoria própria

Passo 2:

Na nova tela, selecione a opção: **“Microsoft Data Streamer for Excel”** e clique em **“OK”**.

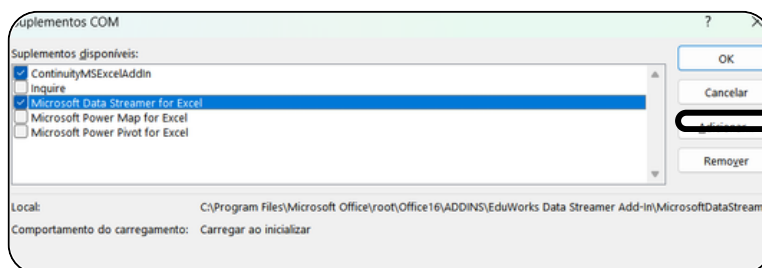


Figura XX: Captura de tela feita no *software* Microsoft Excel.

Fonte: Autoria própria



Conexão com planilhas

Passo 3:

Ao terminar o passo anterior, você notará o surgimento de um novo menu chamado **“Streamer de dados”**, clique nesta aba e depois vá em **“Conectar a um dispositivo”** e selecione a porta a qual sua placa eletrônica está conectada.

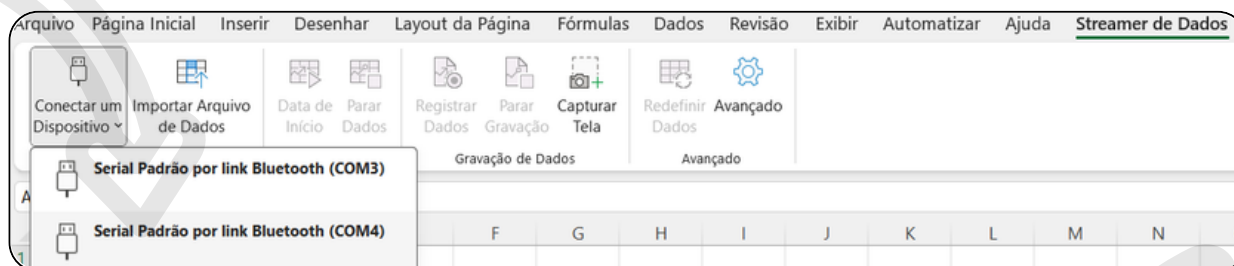


Figura XX: Captura de tela feita no *software* Microsoft Excel.

Fonte: Autoria própria

Passo 4:

Após a conexão, clique na opção **“Data de início”** e pronto, seus dados começarão a ser registrados no *software* automaticamente. Caso julgue necessário, você pode trocar os canais **“CHX”** para os nomes das medições.

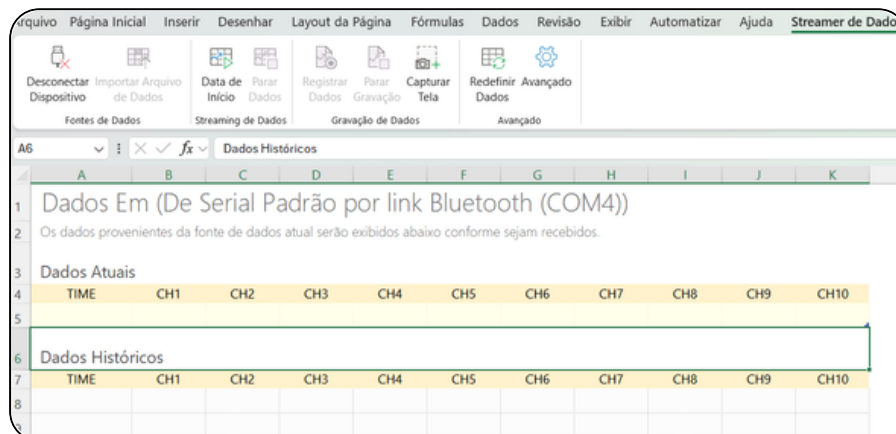
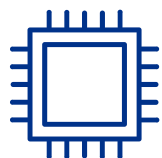


Figura XX: Captura de tela feita no *software* Microsoft Excel.

Fonte: Autoria própria



Realizando as medições

Uso do sistema

Com nosso sistema montado, poderemos começar a realizar as medições do nosso experimento. Até este ponto, utilizando o código fornecido, estamos realizando as seguintes medições:

- Temperatura (em °C)
- Pressão (em atm)
- Umidade do solo (em %)
- Umidade do ar (em %)
- Concentração de CO₂ no ambiente (em ppm)
- Índice UV (0 a 12)

Pensando nas medidas

A unidade de medida foi definida previamente no código, mas ela poderia ser mudada, reflita e descreva como as mudanças de unidades: **I) Pressão em atm para kPa e II) temperatura de °C para K** poderiam afetar os dados obtidos.

Onde colocar o sistema?

Baseado na forma que foi demonstrado o experimento e considerando a necessidade de controle das variáveis, qual a melhor escolha de sistema para estudar essas variáveis no crescimento de uma planta? Discuta com seus colegas se este sistema deveria ser aberto ou fechado e o porquê de sua escolha.

Sistema aberto

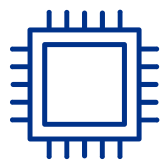
Suponha que a planta que você escolheu esteja inserida em um sistema aberto em uma janela que recebe sol periodicamente durante o dia:



Sistema com arduino

Como você esperaria que as medições realizadas variassem durante um dia?





Realizando as medições

Sistema fechado

Suponha que em outro momento, você optou por comportar uma planta em um terrário.



Como você esperaria que as medições realizadas variassem durante um dia?



I) Criando um Referencial

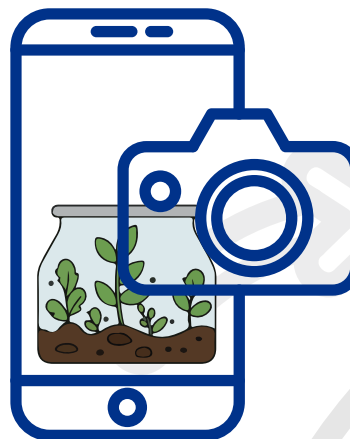
Para que a medição seja realizada de forma coerente, deixe o sistema funcionando por um tempo sem nenhuma alteração, essa medida funcionará para determinarmos as variações normais de um ambiente e assim, poderemos notar se há alguma mudança significativa quando realizarmos a etapa 2.

Registro de imagens

Comentamos anteriormente que o aumento de CO_2 , para além de afetar os ciclos biogeoquímicos de diferentes formas, promovem um crescimento acelerado de algumas plantas. Dessa forma tire fotos diariamente para identificar essas diferenças!

II) Adicionando CO_2

Uma das formas mais fáceis de fazer a adição de CO_2 de forma constante é posicionar uma garrafa de água com gás no seu sistema. Dessa forma, faça essa leva de medições após a etapa anterior de criação do referencial e compare os resultados.





Ciclo do Nitrogênio

Ciclo biogeoquímico do Nitrogênio

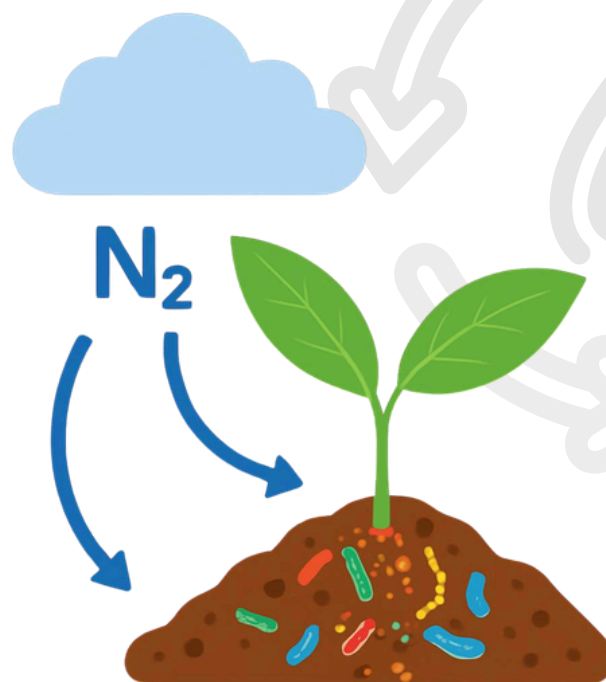
Dado como um dos processos mais complexos e essenciais para a biosfera, o nitrogênio é um componente indispensável de enzimas, proteínas e da molécula que fundamenta a vida, o DNA. Nesse sentido, mesmo o nitrogênio (N_2) compondo cerca de 78% do ar atmosférico, a esmagadora maioria dos organismos não conseguem incorporá-lo diretamente devido, principalmente, à força da sua tripla ligação covalente, tornando-o um gás extremamente inerte.

Desse modo, para que o ciclo possa ocorrer em sua totalidade, é necessário que o nitrogênio passe por uma série de transformações químicas mediadas, em sua maioria, por microrganismos. Portanto, as principais etapas são:

Fixação (Disponibilização)

Inicialmente, a fixação decorre de um processo de quebra da ligação do N_2 para transformá-lo em moléculas reativas como, por exemplo, a amônia (NH_3), o amônio (NH_4^+) ou o nitrato (NO_3^-). Portanto, identificam-se três tipos de fixação.

- **Fixação Biológica** - Sendo a principal fonte natural de fixação do Nitrogênio, ela ocorre através da conversão de N_2 em formas assimiláveis sendo, desse modo, realizadas por bactérias de vida livre (não dependem de hospedeiro para sobreviver) e por bactérias simbiotes do solo (também conhecidas como "bactérias do bem").



- **Fixação Atmosférica** - Devido aos fenômenos naturais, descargas elétricas (raios) convertem o N_2 em óxidos de nitrogênio, sendo solubilizados pela chuva durante o processo.



Ciclo do Nitrogênio

- **Fixação Industrial** - Em razão das ações humanas, os processos industriais produzem grandes quantidades de fertilizantes nitrogenados, principalmente para atender às demandas de cultivos em larga escala.

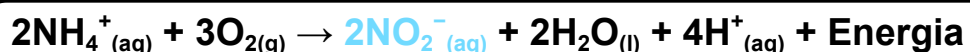


Além da fabricação de fertilizantes, a queima de combustíveis fósseis, mesmo não sendo uma forma clássica de fixação, também participa como um processo antropogênico. Nesse caso, em vez de retirar N_2 da atmosfera, ocorre a liberação de nitrogênio através de bacias sedimentares profundas (onde o petróleo é extraído). Esse processo, o qual envolve temperaturas muito altas, resulta na formação óxidos de nitrogênio (NO_x).

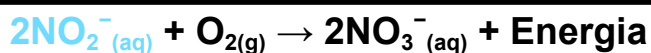
Nitrificação

De início, a nitrificação é o processo de conversão da amônia em nitratos por meio de bactérias, no solo, quimiossintetizantes, que obtêm energia de reações químicas sem depender da luz solar. Esse processo ocorre em duas etapas:

- **Nitrosação** - Bactérias convertem a amônia/amônio em **nitrito** (NO_2^-).



- **Nitração** - Bactérias transformam o nitrito em **nitrato** (NO_3^-).



Observação - **Nitrato** (NO_3^-) é a forma de nitrogênio mais facilmente absorvida pelas plantas!!!



Ciclo do Nitrogênio

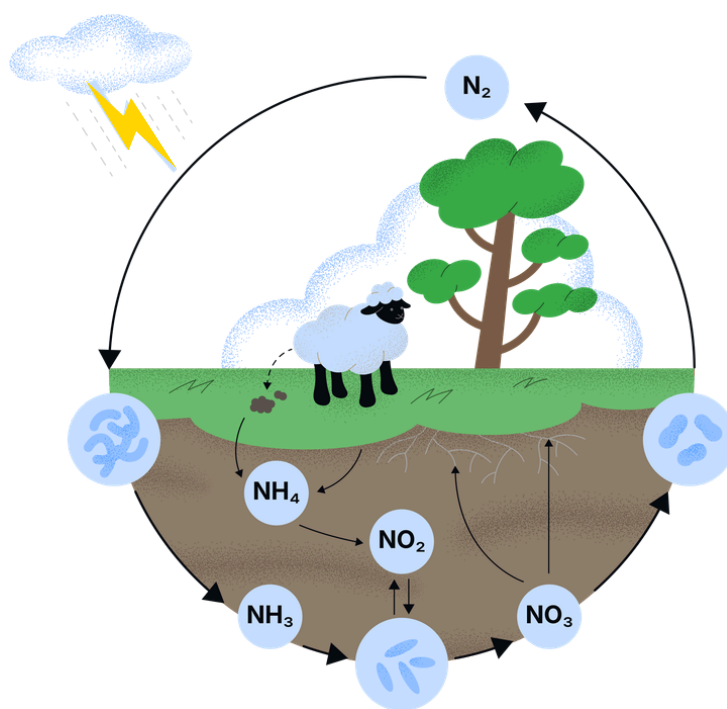
Assim, as plantas incorporam os íons de nitrato ou amônio presentes do solo e os absorvem em sua composição, especialmente nas proteínas e ácidos nucleicos. Posteriormente, os animais adquirem esse nitrogênio ao se alimentarem de plantas ou de outros animais, garantindo o constante acesso desses nutrientes na cadeia alimentar.

Desnitrificação (Indisponibilização)

Para concluir o ciclo e impedir o acúmulo de nitratos no solo, as bactérias desnitrificantes convertem, em ambientes anaeróbicos (sem oxigênio), nitrato de volta em nitrogênio gasoso (N_2), retornando à atmosfera.



Desse modo, é possível observar que o ciclo do nitrogênio é composto por 3 fases essenciais: Fixação, Nitrificação e Desnitrificação. É importante ressaltar que todas essas fases precisam operar de maneira constante e equilibrada para que o ciclo funcione de forma saudável. Assim, apresentamos abaixo um resumo completo do ciclo.



A interferência humana no ciclo do nitrogênio é considerada uma das mais drásticas dentre os ciclos biogeoquímicos. Provocada pela atividade industrial e pelo uso intensivo de fertilizantes, resultou-se em um acúmulo alarmante de nitratos no solo e na água, provocando fenômenos ambientais prejudiciais à biodiversidade. A seguir, destacamos os principais fenômenos:



Ciclo do Nitrogênio

Chuva ácida

A chuva ácida refere-se como a precipitação atmosférica (chuva, neblina, neve) com pH inferior ao normal, resultante da dissolução de substâncias ácidas. Embora a maioria das chuvas sejam levemente ácidas, considera-se "chuva ácida" aquela que apresenta valor de pH inferior a 5.

Nesse sentido, no cenário do ciclo do nitrogênio, os Óxidos de Nitrogênio (NO_x) são os responsáveis pela queda do pH das precipitações. Emitidos sobretudo por **veículos automotores** (motores de combustão interna) e por queima de biomassa, eles dão origem ao ácido nítrico (HNO_3):



A deposição dessas substâncias causa uma degradação severa e cumulativa nos ecossistemas e no patrimônio humano:

- **Ecossistemas Aquáticos** - Acidificação de rios e lagos, matando algas, plâncton, insetos e peixes;
- **Solos e Florestas** - A acidez infiltra-se no solo, destruindo vegetações e alterando a disponibilidade de nutrientes. Além disso, libera metais potencialmente tóxicos;
- **Patrimônio Histórico e Materiais** - A chuva ácida corrói metais, borrachas, tintas e mármore. Monumentos como o **Taj Mahal** perderam sua cor branca aos poucos pela acidez, sendo necessário os processos de restauração para conservação do monumento;





Ciclo do Nitrogênio

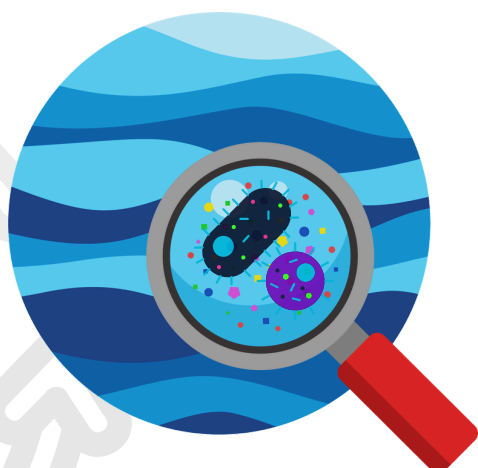
Eutrofização

A eutrofização é um fenômeno que transforma ecossistemas aquáticos, como lagos e rios, e é caracterizada pelo aumento excessivo da produtividade biológica. Assim, esse fenômeno ocorre devido ao aporte elevado de nutrientes, especialmente nitrogênio (N).

Dessa forma, compreenderemos com maior clareza o mecanismo da eutrofização conforme apresentamos a seguir:

Mecanismo do Processo

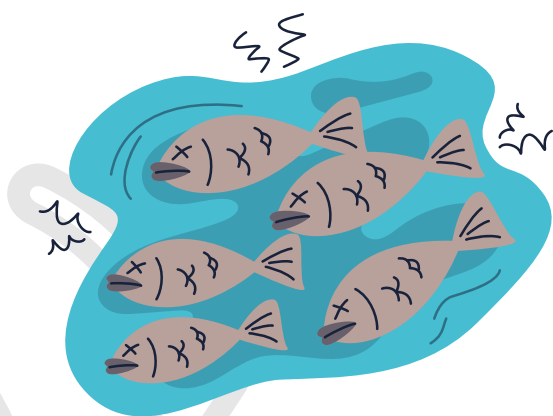
- **Proliferação de Algas (Floração)** - O excesso de nutrientes provoca um crescimento explosivo de fitoplâncton (conjunto de microorganismos aquáticos) e algas verdes na superfície;
- **Bloqueio da Luz** - Forma-se uma densa camada de algas, bloqueando a passagem da luz solar e impedindo a fotossíntese de plantas enraizadas nas camadas mais profundas;



- **Morte das Algas** - Observa-se que as algas possuem ciclo de vida curto. Desse modo, com a grande quantidade de indivíduos morrendo em pouco tempo, acumula-se um volume massivo de matéria orgânica morta;
- **Decomposição Aeróbia** - Organismos decompositores aeróbios crescem rapidamente para degradar essa matéria morta e, portanto, **consumindo quase todo o oxigênio dissolvido na água**;



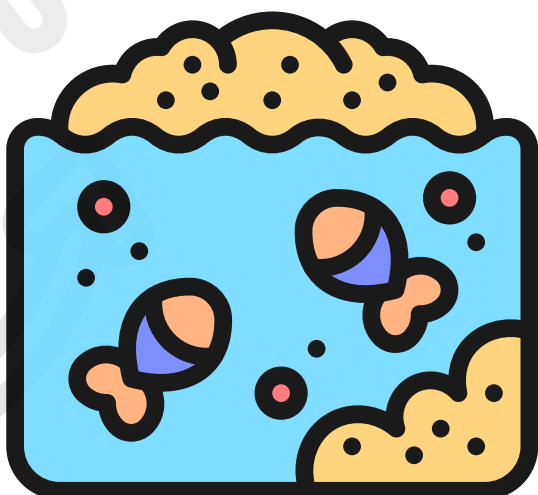
Ciclo do Nitrogênio



- **Morte da Fauna e Hipóxia** - A falta de oxigênio provoca a morte por asfixia de peixes e outros seres aeróbios, gerando ainda mais matéria orgânica para ser decomposta. Assim, Com o esgotamento do oxigênio, proliferam-se decompositores anaeróbios, os quais lançam toxinas (como metano e gás sulfídrico) no meio, inviabilizando quase todas as formas de vida, alterando o ambiente à chamada “zona morta”.

Embora seja possível ocorrer de forma natural e lenta ao longo de milhares de anos, a eutrofização artificial (ou antrópica) é induzida pela atividade humana e manifesta-se em uma escala de tempo muito menor, superando a capacidade de regeneração do ambiente. Nesse sentido, apresentamos as principais causas antrópicas da eutrofização:

- **Esgoto Doméstico** - Em razão das ações humanas, o esgoto doméstico é o poluente orgânico mais comum, rico em matéria orgânica, além de conter altas concentrações de nitratos;
- **Efluentes Industriais** - Em consequência do descarte de resíduos químicos e industriais sem tratamento adequado;



- **Atividades Agrícolas** - O transporte de fertilizantes químicos nitrogenados pela água da chuva ou erosão do solo é uma causa primária;
- **Piscicultura e Aquicultura** - A expansão dessas atividades aumenta a carga de dejetos metabólicos dos peixes e restos de ração não consumida na água.

7 14.006

N

Nitrogen

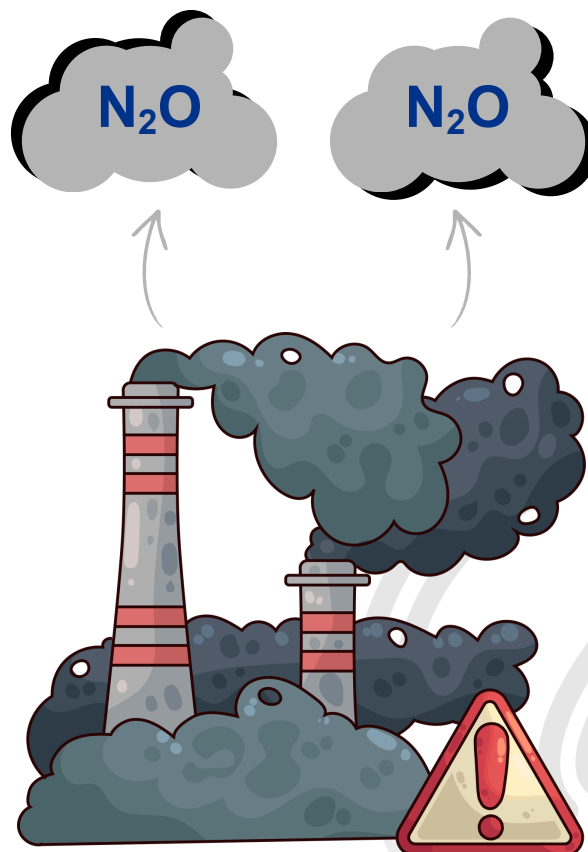
Ciclo do Nitrogênio

Curiosidade

Como citado no capítulo do ciclo do carbono, o óxido nitroso (N_2O) é um potente intensificador do **efeito estufa**. Dessa forma, o óxido nitroso possui um potencial de aquecimento 296 vezes superior ao do dióxido de carbono (CO_2).

Embora o CO_2 seja o gás mais discutido, o óxido nitroso tem sua concentração atmosférica afetada por diversas atividades humanas. As principais incluem:

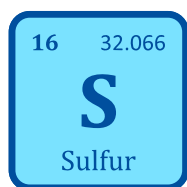
- Uso intensivo de fertilizantes nitrogenados sintéticos na agricultura;
- Processos industriais que utilizam amônia e ácido nítrico, resultando em subprodutos gasosos prejudiciais.



Curiosidade

Síndrome do bebê azul - O uso intensivo de fertilizantes nitrogenados na agricultura acaba contaminando as águas subterrâneas e os poços rasos. Desse modo, quando os bebês ingerem água ou alimentos com altos teores de nitrato, converte-se nitrato em nitrito e, assim, o nitrito entra na corrente sanguínea e reage com a hemoglobina, tornando-a incapaz de transportar oxigênio para as células e tecidos do organismo. Em condições graves, pode-se levar ao coma e à morte por asfixia depressa.





Ciclo do enxofre

Ciclo biogeoquímico do enxofre

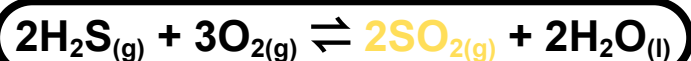
O enxofre é indispensável para a vida, compondo cerca de 0,5% da massa seca (organismo após a remoção de toda a água) de plantas e microrganismos, e 1,3% do tecido animal, sendo um constituinte fundamental de aminoácidos e proteínas.

Desse modo, a fonte principal de enxofre encontra-se na crosta terrestre em rochas e sedimentos profundos. Há também uma baixa concentração na atmosfera, porém a circulação global é geralmente lenta devido à dependência de processos geológicos como a erosão. Nesse sentido, destacaremos as particularidades desse ciclo:

Litosfera e Solo

Inicialmente, no solo e nos sedimentos, microrganismos desempenham um papel fundamental ao realizar transformações químicas no próprio enxofre, favorecendo sua circulação a partir de camadas profundas.

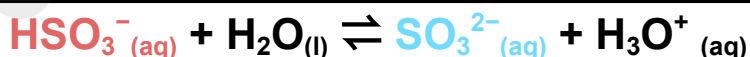
Assim, chegando na atmosfera na forma de gases como o **dióxido de enxofre (SO₂)**, **sulfeto de hidrogênio (H₂S)** e **compostos orgânicos**, os organismos autótrofos incorporam o enxofre na forma de **sulfatos (SO₄²⁻)** para a síntese de proteínas. A seguir, pode-se observar melhor essas transformações nas equações apresentadas:



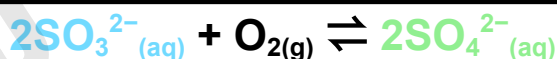
Oxidação



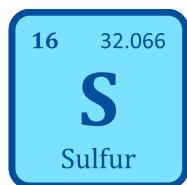
Ionização



Desprotonação



Oxidação



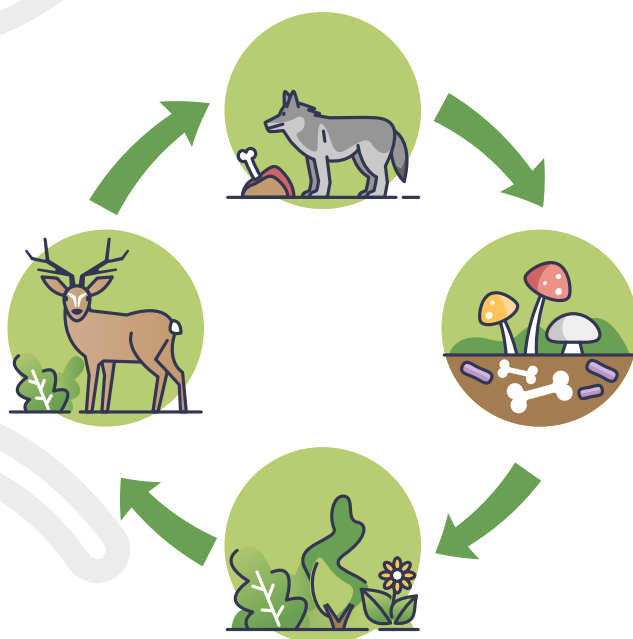
Ciclo do enxofre

Fase Atmosférica

É possível observar que uma outra fonte natural de enxofre são as emissões vulcânicas que liberam cinzas e dióxido de enxofre (SO_2). Além disso, certas algas marinhas, nos oceanos, emitem compostos orgânicos que contribuem para o bom funcionamento do ciclo.



Desse modo, a atmosfera atua como um meio oxidante, convertendo gradualmente em SO_2 os compostos de enxofre e, posteriormente, em ácido sulfúrico (H_2SO_4) ou partículas de sulfato.



Desse modo, os organismos autótrofos (plantas e algas) absorvem o enxofre que, eventualmente, acumula-se no solo ou na água, principalmente na forma de sulfatos (SO_4^{2-}). Uma vez incorporado, o enxofre é utilizado na síntese de proteínas e transferido aos animais através da cadeia alimentar.

Dessa maneira, após a morte dos organismos, decompositores devolvem o enxofre ao ambiente através de um processo de reciclagem biológica e química, transformando o enxofre orgânico em formas inorgânicas assimiláveis ou voláteis.

Observação

Nos sedimentos, o enxofre pode realizar interações e se ligar a íons metálicos (como o ferro), constituindo sulfetos e incorporando a litosfera. Este enxofre pode permanecer "preso" por longos períodos geológicos até que processos como erosão ou atividade vulcânica o devolvam à circulação.

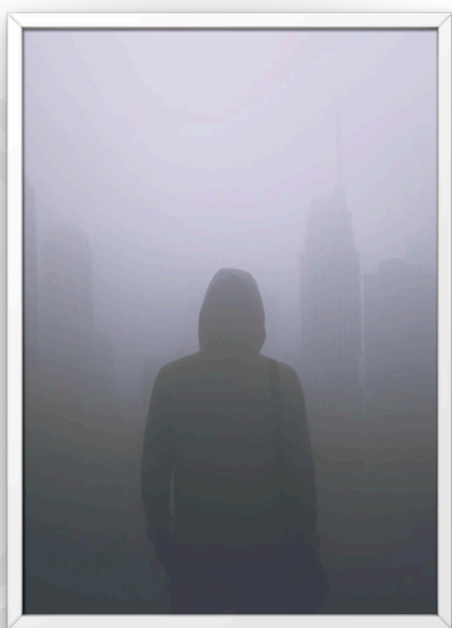
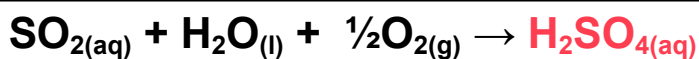
16	32.066
S	
Sulfur	

Ciclo do enxofre

Curiosidade

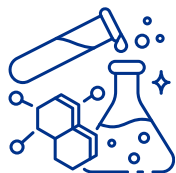
A atividade humana, em especial, a queima de combustíveis fósseis e os processos industriais (como metalurgia e refino), lançam anualmente cerca de **99 MtS/ano** (megatoneladas de enxofre) na forma de dióxido de enxofre (SO_2), sendo esse aporte massivo o principal motor da acidez excessiva nas precipitações denominadas como **chuva ácida**.

Assim, o dióxido de enxofre reage com a água, como visto anteriormente, transformando-se, no final, em ácido sulfúrico (H_2SO_4) como visto à seguir na equação global:



Curiosidade

Smog industrial - Também conhecido como "nevoeiro cinzento", trata-se de uma forma grave de poluição atmosférica que ocorre, sobretudo, em climas úmidos e frios. Nesse sentido, esse fenômeno resulta da combinação de material particulado e gases derivados da queima de combustíveis fósseis, liberando dióxido de enxofre (SO_2) e outras substâncias poluentes em quantidades massivas. Assim, forma-se uma fumaça industrial retida por uma camada de nevoeiro, impedindo a dispersão dos poluentes.



Entendendo sobre o pH

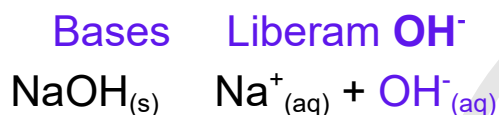
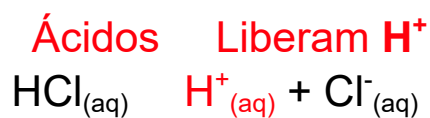
Ciclo do Enxofre e Ciclo do Nitrogênio

Vimos nos últimos dois ciclos que, um tema que é frequentemente descrito nestes processos é acidez e a basicidade, mas o que significam essas nomenclaturas e como eu consigo saber se uma determinada substância é ácida ou básica?

O pH

O pH, que significa **Potencial Hidrogeniônico**, é uma medida usada para determinar se uma solução é ácida, neutra ou básica. Para isso, utilizamos o conceito de **ácido e base** descritos por **Svante Arrhenius** em (1887) descrevem que:

Em soluções aquosas:



Como calcular, em valores, o pH?

De forma direta:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

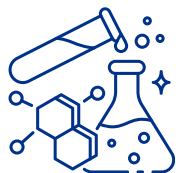
Valor resultante (aponta para o pH)
 Concentração de H⁺ no meio (aponta para [H⁺])
 Função logarítmica (aponta para -log)

Exemplo:

Uma solução aquosa apresenta uma concentração de íons de hidrogênio $[\text{H}^+] = 1 \times 10^{-5}$ mol/L. Qual o pH dessa solução? Ela é ácida ou básica?

Utilizando a equação descrita, temos que:

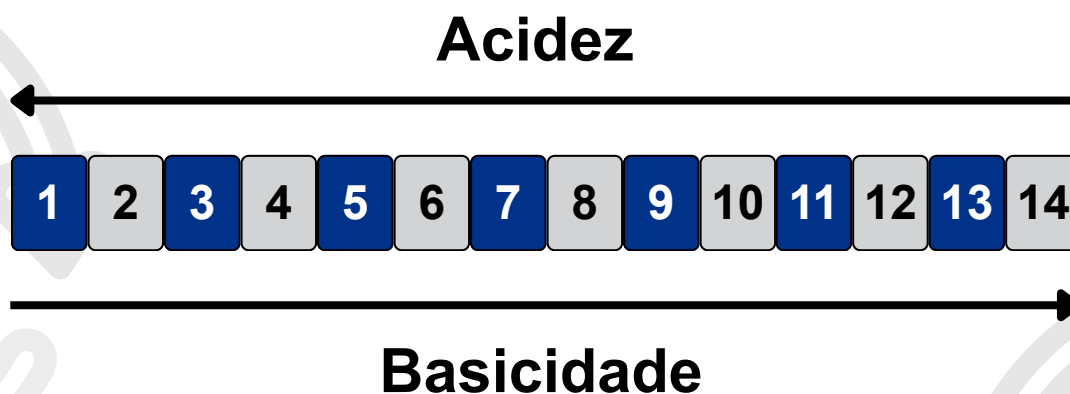
$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log [\text{H}^+] \\ \text{pH} &= -\log 1 \times 10^{-5} \\ \text{pH} &= 5 \end{aligned}$$



Entendendo sobre o pH

Escala de pH

Na página anterior, calculamos que o pH da solução do exemplo é 5. Todavia, como podemos inferir se a mesma é ácida ou básica? Uma forma de fazer isso, é comparando os valores em uma escala que comumente distribui valores de 1 a 14.



Distribuição dos valores na escala

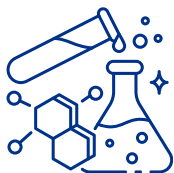
Os valores da escala apresentada foram formulados a partir da análise da água pura à 25°C. Nessas condições, o pH da água é considerado neutro e é delimitado como 7. Dessa forma segue-se a lógica de que: Se o $\text{pH} > 7$, a substância é básica (ou alcalina). Se o $\text{pH} < 7$, a substância é ácida.

Análise de valores

Primeiramente, trabalhando com uma escala, podemos definir, mesmo entre substâncias que são consideradas ácidas, qual o nível de acidez de cada uma. A seguir, você encontrará algumas afirmações diferentes sobre algumas substâncias e você deverá dizer se elas são verdadeiras ou falsas, além de explicar o porquê de sua escolha.



- Uma substância de $\text{pH}=6,0$ é mais ácida que uma de $\text{pH}=7,0$;
- Uma substância de $\text{pH}=12,0$ é mais alcalina do que uma de $\text{pH}=14$;
- Uma substância de $\text{pH}=9,0$ é mais ácida que uma de $\text{pH}=10,0$;
- Uma substância de $\text{pH}=3,0$ é mais alcalina que uma de $\text{pH}=1,0$



Entendendo sobre o pH

Proposta de experimento

Como o nosso experimento principal não contém uma forma de verificar variações de pH, vamos propor uma forma que, além de ser clássica, é possível de ser feito com facilidade para estudar os efeitos descritos na página anterior.

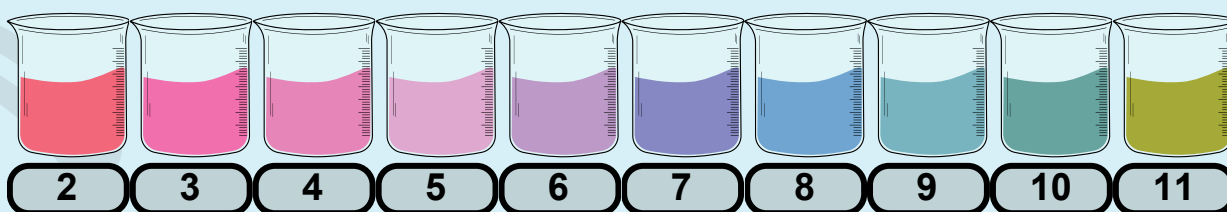
Materiais necessários:

- **(350ml de)** caldo de repolho roxo;
- **(7)** frascos com suporte para 80ml cada;
- **(1)** Limão espremido;
- **(20ml de)** Vinagre de álcool;
- **(Uma colher de)** Sabão em pó;
- **(Uma colher de)** Bicarbonato de sódio;
- **(Uma colher de)** Açúcar;
- **(20ml de)** Detergente;
- **(Uma colher de)** Hidróxido de magnésio.

Procedimento experimental:

- Separe os 350ml de caldo de repolho roxo em alíquotas de 50ml;
- Prepare cada um dos materiais;
- Misture uma alíquota de caldo de repolho com cada um dos ingredientes;
- Verifique a cor resultante da mistura;
- Anote o resultado.

Escala de pH com o caldo de repolho roxo



Anote seus resultados

- Com base na escala fornecida, estime o valor de pH de cada substância e anote em seu caderno.



Entendendo sobre o pH

Questões sobre o ciclo do Enxofre, Nitrogênio e sobre pH

1. No estado natural, o suco de repolho roxo possui cor roxa (pH em torno de 7). O que deve acontecer visualmente com esta cor se adicionarmos água da chuva coletada em uma região com alta emissão industrial de óxidos de enxofre (SO_n)?
2. Ao montar a bancada com os copos de caldo de repolho roxo para testar diferentes amostras, por que o experimento indica que um copo contenha apenas caldo de repolho, sem nenhuma adição extra?
3. Diferente do enxofre, o nitrogênio da chuva ácida não altera apenas o pH da água. Quando os nitratos (NO_3^-) atingem rios e lagos, eles atuam como nutrientes para as algas. Qual o possível problema ambiental proveniente desse excesso de nutrientes?
4. Baseado nas observações das implicações da poluição, sugira duas medidas industriais alinhadas aos Princípios da Química Verde que poderiam auxiliar na diminuição do excesso de enxofre e do nitrogênio na atmosfera.
5. Você tem 100 mL de uma solução que simula chuva ácida. O índice de pH desta chuva indica $\text{pH} = 3$. Se você adicionar 900 mL de água destilada nesse copo, o que acontecerá com o valor do pH? Usando o indicador de repolho roxo, qual seria a mudança de cor percebida?



Capítulo 4: Avaliação



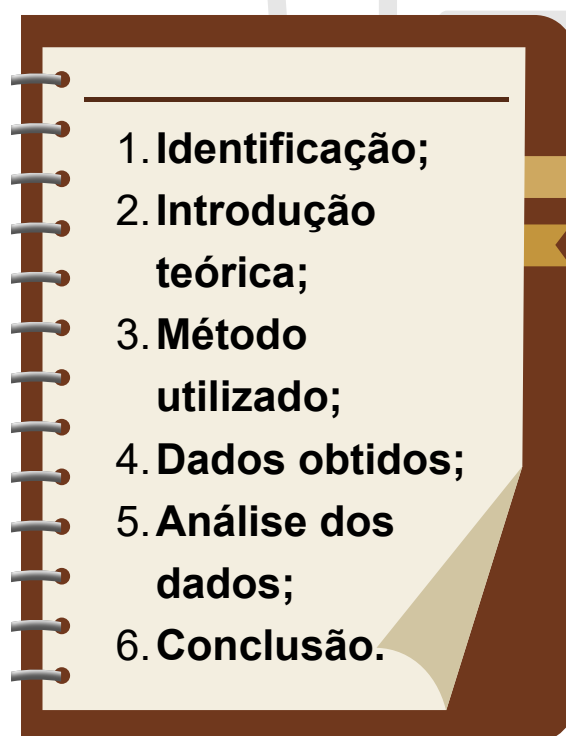
Relatório final e análise de dados

Revisão dos dados obtidos

Ao longo dos capítulos e das resolução das questões disponibilizadas vimos que existem fatores que interferem diretamente no crescimento das plantas e incorporamos uma forma de realizar a medição de alguns destes fatores. Portanto, neste momento, propomos a elaboração de um relatório, com o objetivo de detalhar os resultados obtidos durante todo o processo.

Como fazer um relatório científico?

Preliminarmente, parte do processo científico é detalhar suas descobertas e as etapas que você utilizou durante o seu estudo. Dessa forma, realizando esta etapa de forma eficiente, contribuímos para que qualquer pessoa do mundo possa repetir este procedimento experimental, buscando aprimorá-lo e/ou compartilhando os dados obtidos com demais colegas cientistas em diferentes locais, com diferentes ambientes, climas e plantas. Por isso, um relatório científico precisa conter:



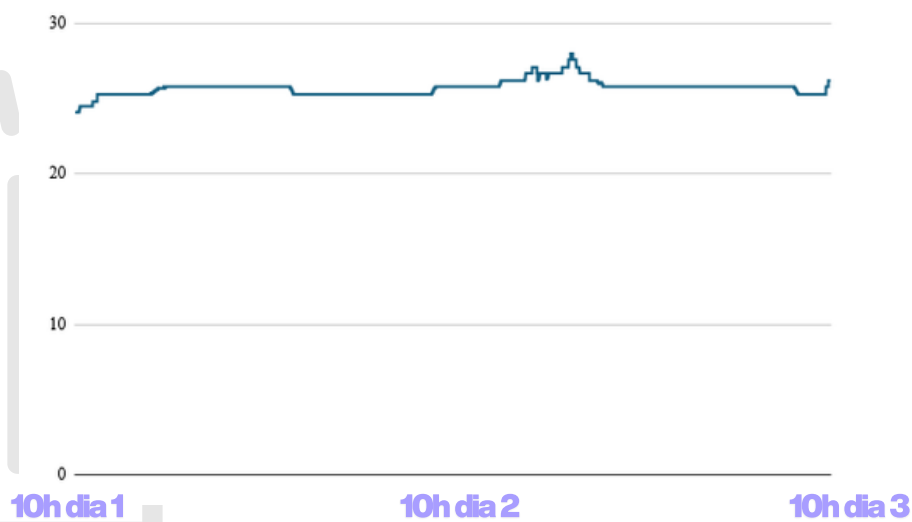
Dados de parâmetro

Caso o tempo de atividade não seja suficiente para realizar ambas as medições, forneceremos aqui dados de parâmetro para serem utilizados como efeito comparativo. Atente-se que, ao utilizar estes dados, todos os processos e o motivo desta decisão precisam, necessariamente, estar na seção de metodologia do seu relatório!

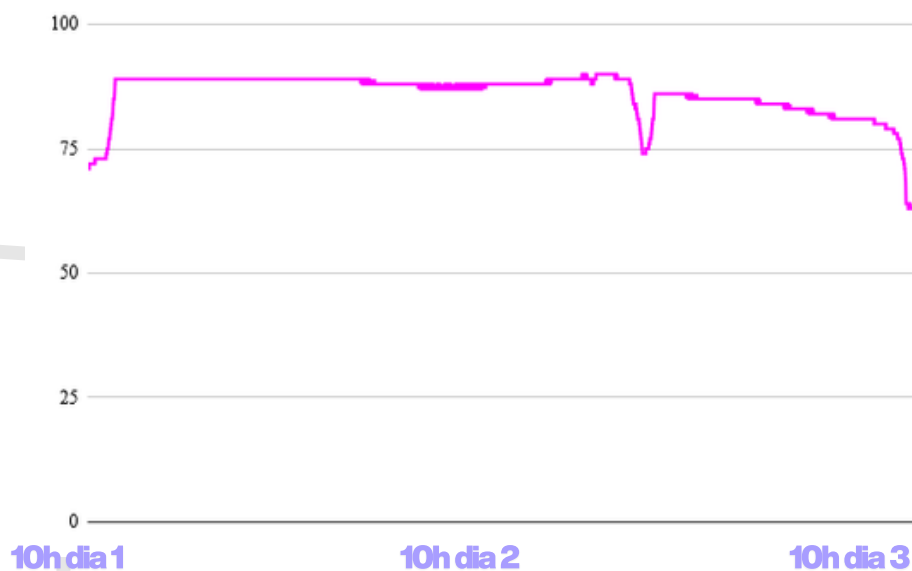


Relatório final e análise de dados

Temperatura (°C)



Umidade do ar (%)



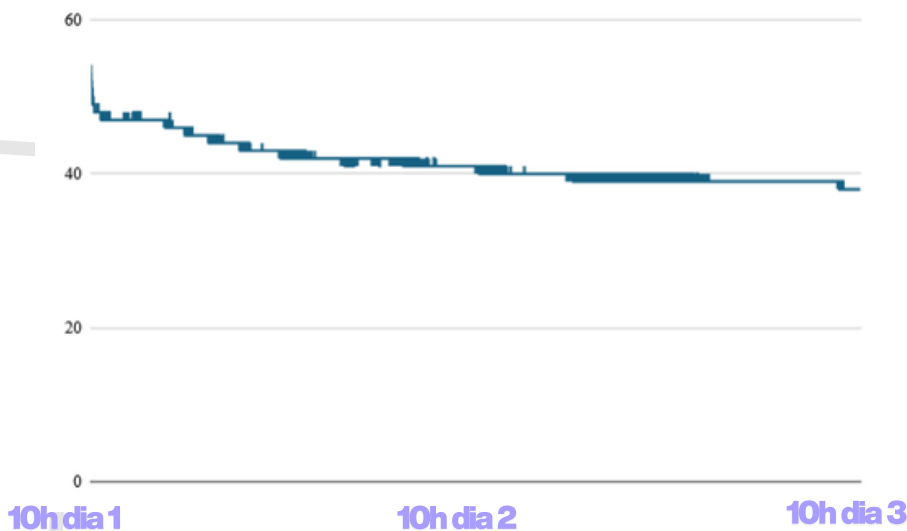


Relatório final e análise de dados

Pressão (atm)



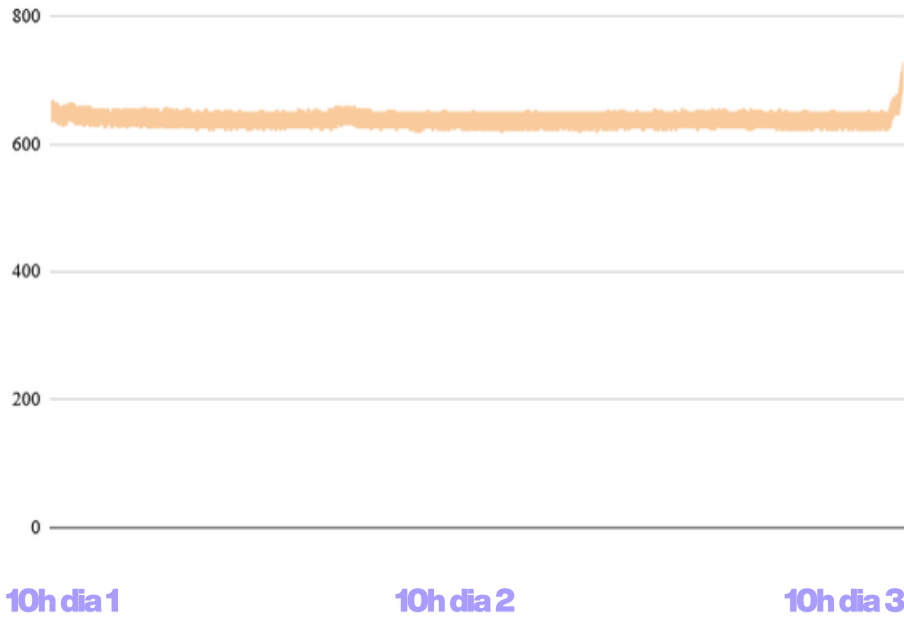
Umidade do Solo (%)





Relatório final e análise de dados

Quantidade de CO₂ (ppm)



REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <https://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 17 out. 2025.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Educação do Estado de São Paulo. Currículo Paulista: Etapas da Educação Infantil e Ensino Fundamental. São Paulo: SEE-SP / EFAPE, 2019. Disponível em: <https://efape.educacao.sp.gov.br/curriculopaulista/>. Acesso em: 17 out. 2025.

Fonte: LENARDÃO, Eder João; FREITAG, Rogério Antônio; DABDOUB, Miguel J.; BATISTA, Antônio C. Ferreira; SILVEIRA, Claudio da Cruz. “Green Chemistry” – Os 12 princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. Química Nova, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 123-129, 2003.

SANTANA-FAUBLA, María Dolores; YÉPEZ-NAVARRETE, Kenia Valeria; MOLINA-BRAVO, Maria Vicenta; TUMBACO-MERA, Oscar Ruben. Aplicación de la química verde a través del uso de materiales poliméricos como fuente renovable. Journal Scientific MQRInvestigar, v. 8, n. 4, p. 2450-2463, 2024.

ANASTAS, Paul T.; WARNER, John C. Química verde: Teoria e prática. Tradução de Cintia de Freitas Duarte Milagre, Dulce Helena Siqueira Silva e Juliana Vidal. São Paulo: Editora Unesp, 2025.

DA SILVA Júnior, Carlos Alberto; JESUS, Dosil Pereira de; GIROTTO Júnior, Gildo. Química Verde e a Tabela Periódica de Anastas e Zimmerman: tradução e alinhamentos com o desenvolvimento sustentável. Química Nova, Campinas, v. 45, n. 8, p. 1010-1019, 2022

DA SILVA JÚNIOR, Carlos Alberto. Tabela Periódica dos Elementos Figurativos da Química Verde e Sustentável (TPQVS) como recurso didático e interdisciplinar: desafios e contribuições na compreensão sobre e para a Química Verde no ensino médio. 2024. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, 2024.

VAZ, Carlos Renato Strombeck et al. Teaching Green Chemistry in Higher Education: Contributions of a Problem-Based Learning Proposal for Understanding the Principles of Green Chemistry. Sustainability, v. 17, n. 5, p. 2004, 2025.

REFERÊNCIAS

NADUAN, Roberto Engel; VILELA, M. de F.; DOS REIS JÚNIOR, F. B. Os grandes ciclos biogeoquímicos do planeta. 2004.

DA SILVA ROSA, Rogério; MESSIAS, Rossine Amorim; AMBROZINI, Beatriz. Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável. IQSC-USP, 2003.

BATISTA, Carolina. Ciclos Biogeoquímicos: quais são, como funcionam e exercícios. Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/ciclos-biogeoquimicos/>. Acesso em: 27 mar. 2026

NEIVERTH, Cristhiane Anete. Lixiviação de nitrato e amônio em colunas indeformadas de solos de uma pedossequência do Estado do Paraná. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MOREIRA, Aline TR et al. O impacto da ação antrópica no meio ambiente: aquecimento global. Revista Educação em foco, v. 14, p. 22-27, 2022.

MACEDO, Carla Fernandes; SIPAÚBA-TAVARES, Lúcia Helena. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. Boletim do instituto de Pesca, v. 36, n. 2, p. 149-163, 2010.

MARTINS, Claudia Rocha et al. Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, v. 5, p. 28-41, 2003.

KNOBELOCH, Lynda et al. Blue babies and nitrate-contaminated well water. Environmental health perspectives, v. 108, n. 7, p. 675, 2000.

DOS SANTOS, Elaine Teresinha Azevedo. Educação ambiental na escola: conscientização da necessidade de proteção da camada de ozônio. 2007.

ROCHA, Carolina G.; CARDOSO, Arnaldo A. Gases de nitrogênio reativo como precursores do aerossol atmosférico: reações de formação, processos de crescimento e implicações ambientais. Química Nova, v. 44, p. 460-472, 2021.

REFERÊNCIAS

ALABURDA, Janete; NISHIHARA, Linda. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. Revista de Saúde Pública, v. 32, p. 160-165, 1998.

FLOR, Juliana; DAVOLOS, Marian Rosaly; CORREA, Marcos Antonio. Protetores solares. Química nova, v. 30, n. 1, p. 153-158, 2007.

FORNARO, Adalgiza. Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil?. Revista USP, n. 70, p. 78-87, 2006.

RODRIGUES, Brenda Rocha. ACIDIFICAÇÃO DOS OCEANOS: CONSEQUÊNCIAS NO AMBIENTE MARINHO.

CAI, Hua; WANG, Chen. Surviving with smog and smoke: precision interventions?. Chest, v. 152, n. 5, p. 925-929, 2017.

SOARES, Márlon Herbert Flora Barbosa; DE MELO REZENDE, Felipe Augusto. Concepções teóricas/epistemológicas do jogo e a epistemologia genética de Jean Piaget: delineamentos para um ensino de química lúdico. Debates em Educação, v. 13, p. 289-305, 2021.

