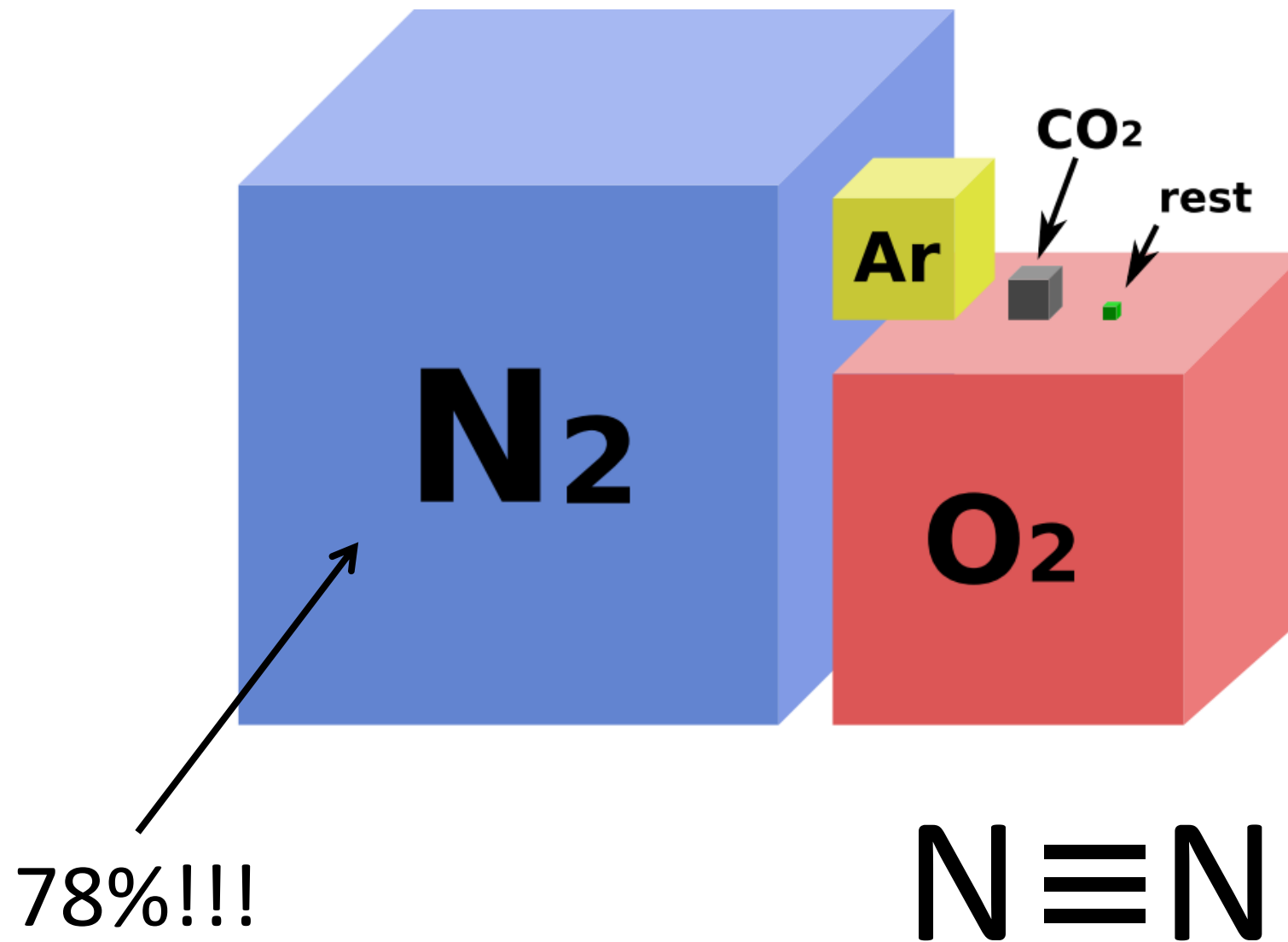




Nitrogênio é abundante no planeta...



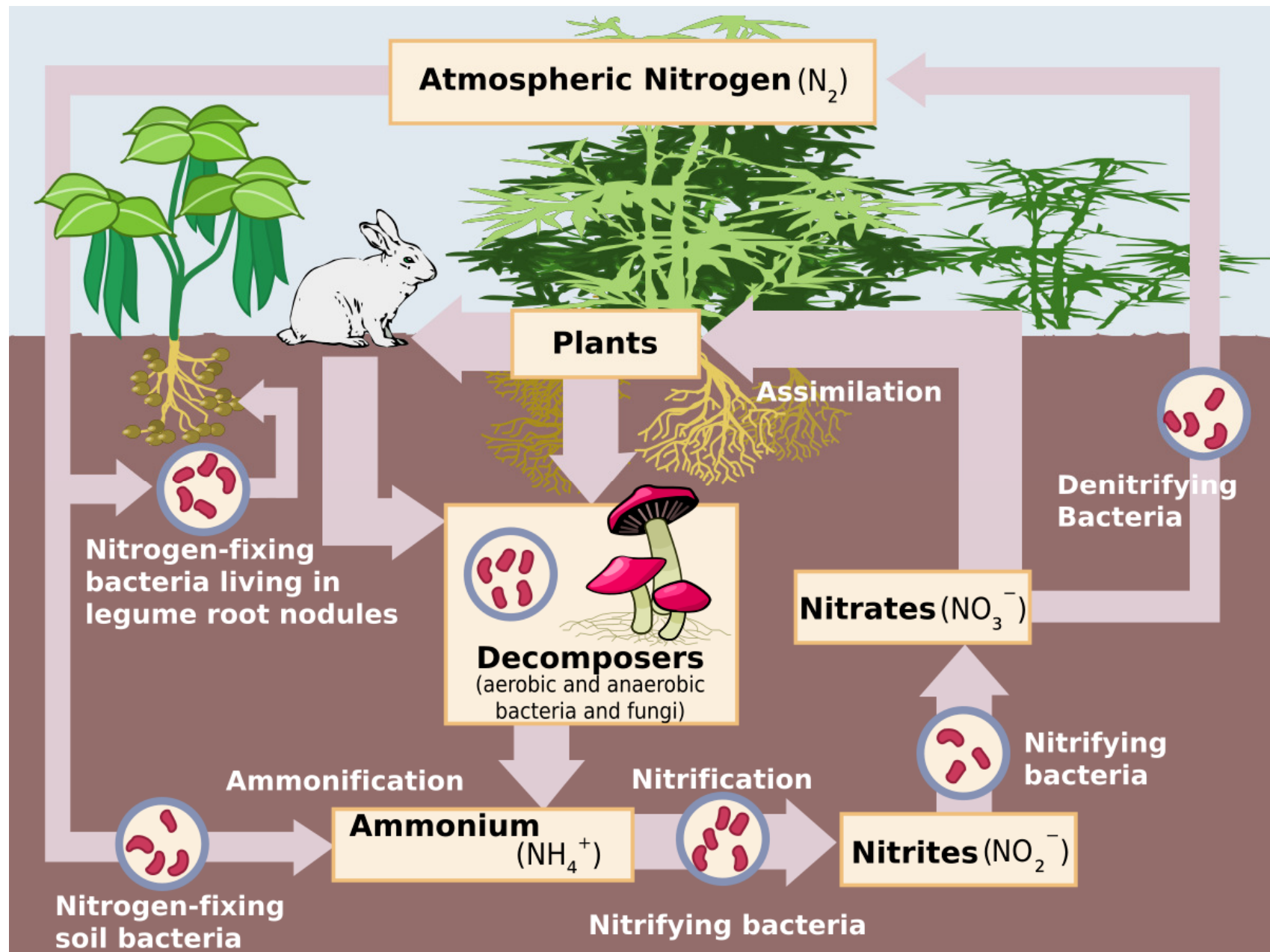
... mas é de difícil acesso a organismos

Nitrogênio é essencial para a vida mas frequentemente é um fator limitante

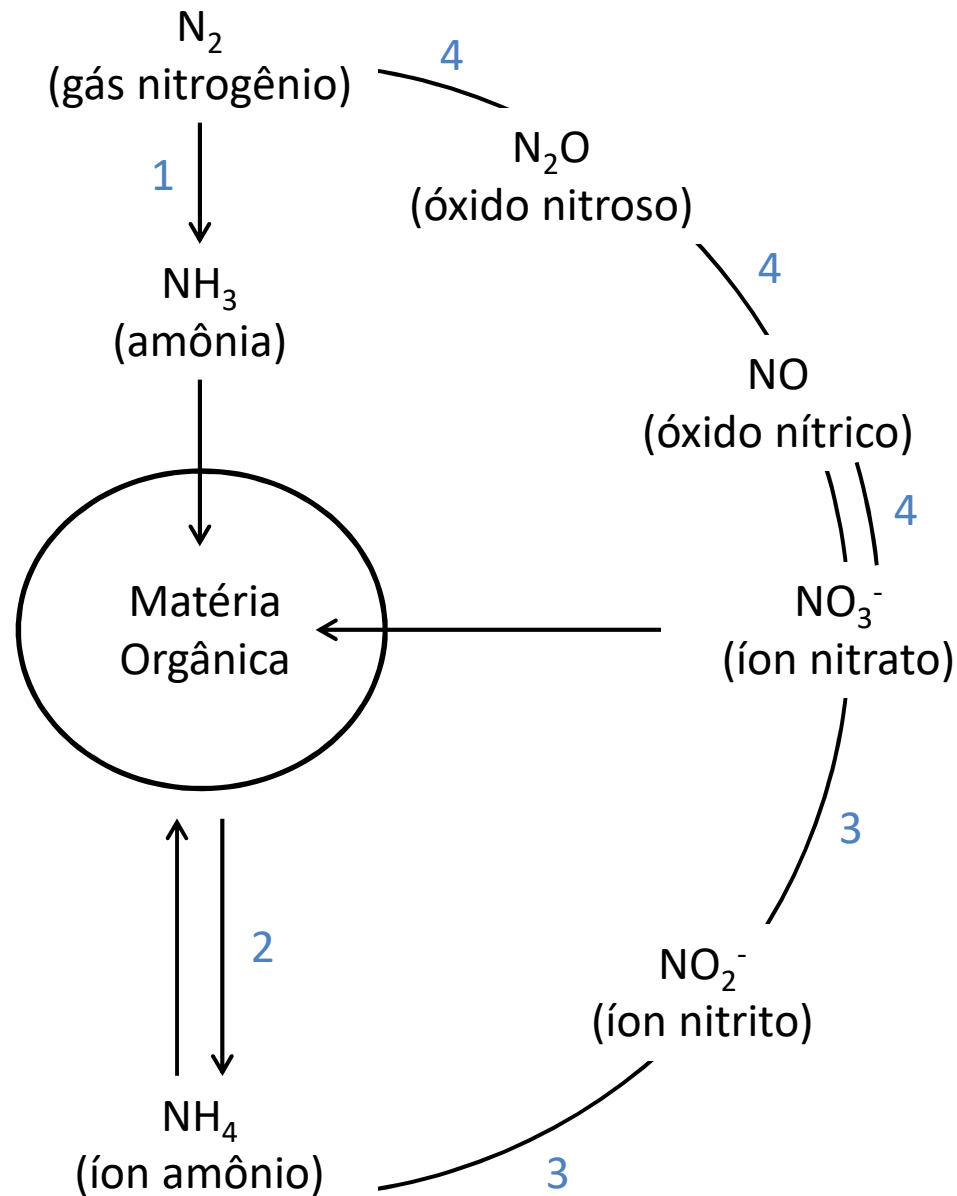
- Aplica-se fertilizantes para suprir N para as plantações, porém o N é móvel, logo aplica-se muito mais N do que o necessário para as plantas
- O N em excesso pode contaminar lençóis freáticos ou outras fontes de água
- O N em excesso pode ser liberado pelo solo na forma de gás NO, N₂O e outros, que absorvem muita energia infravermelha e estão associados à chuva ácida



O ciclo do nitrogênio

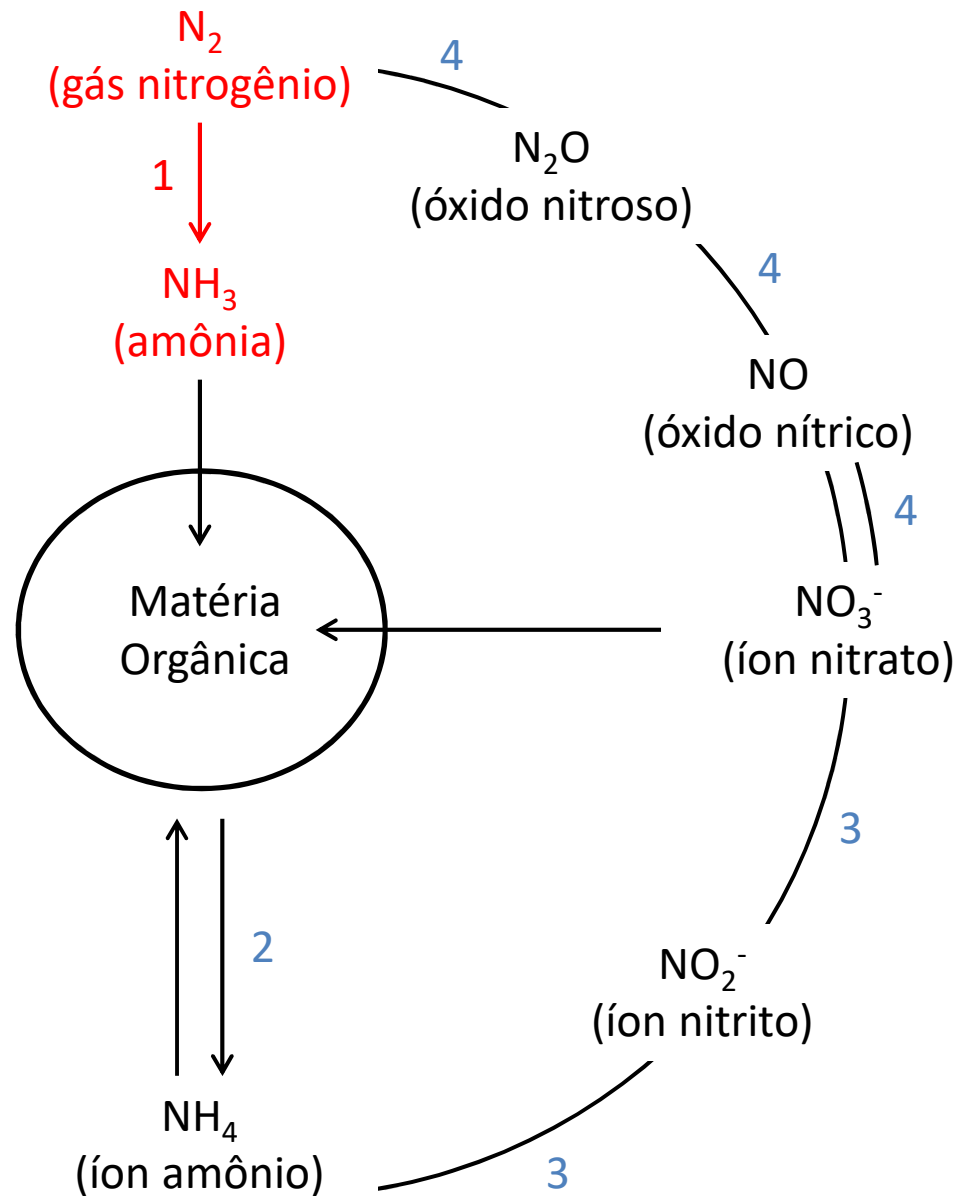


O ciclo do nitrogênio



1. **Fixação de Nitrogênio**
bactérias fixadoras de N
2. **Decomposição**
3. **Nitrificação**
bactérias nitrificantes
4. **Desnitrificação**

O ciclo do nitrogênio



1. Fixação de Nitrogênio
bactérias fixadoras de N
2. Decomposição
3. Nitrificação
bactérias nitrificantes
4. Desnitrificação

O ciclo do nitrogênio: 1- a fixação do nitrogênio

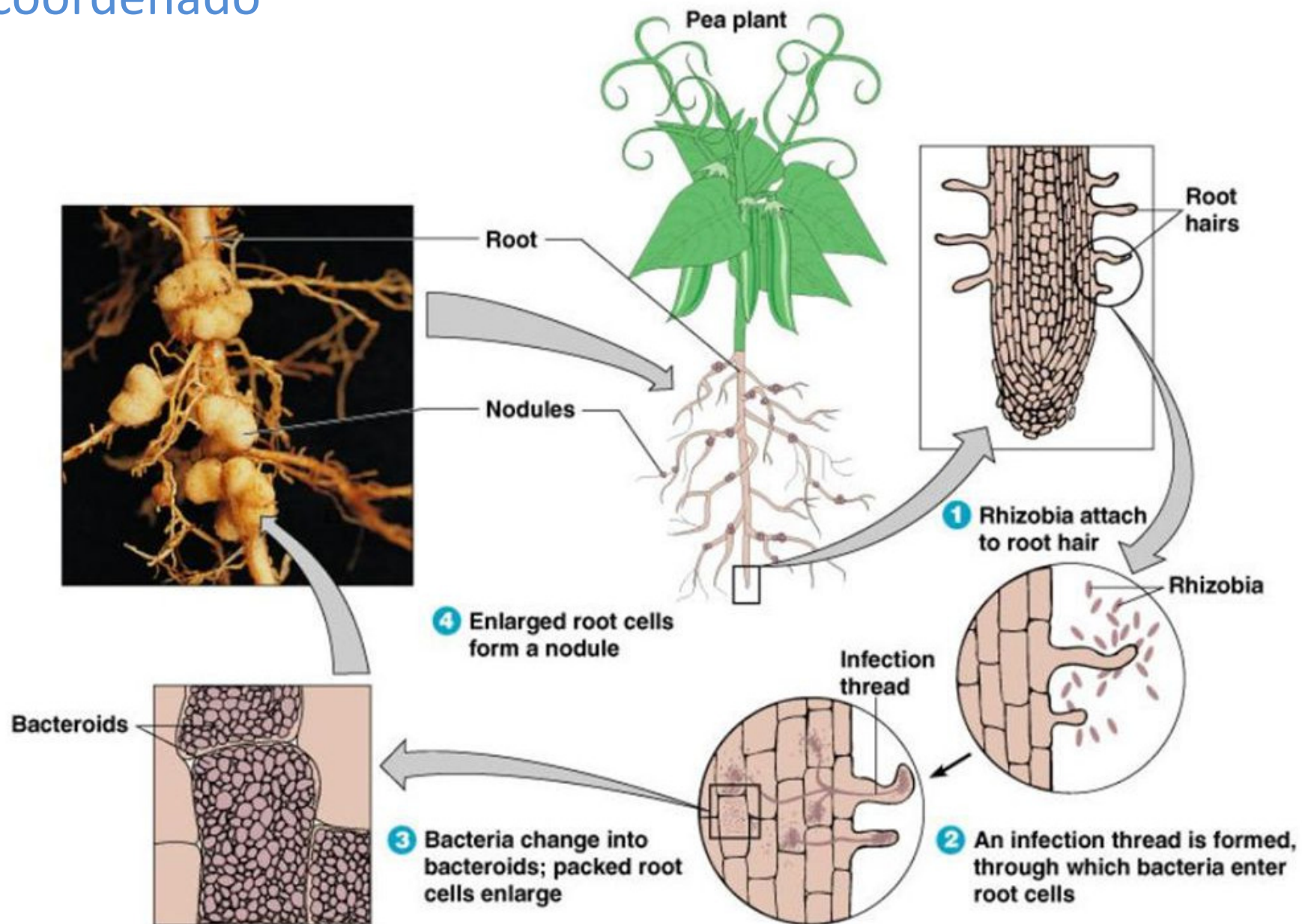
- O processo de fixação de nitrogênio atmosférico (N_2) em amônia (NH_3) demanda muita energia
- Raios elétricos podem produzir amônia, mas em poucas quantidades ($10^{13}g$ por ano, ou 4% do total)
- Bactérias no solo, bactérias associadas às raízes das plantas, ou cianobactérias possuem a capacidade de fixar nitrogênio enzimaticamente
- Processos industriais necessitam altas temperaturas ($600^{\circ}C$) e pressão para fazer fertilizantes

Tipo de fixação	N ² fixado ($10^{12}g$ por ano)
Terras agriculturáveis	90 (35%)
Florestas e outros ambientes terrestres	50 (20%)
Mar	35 (14%)
Processos industriais	50 (20%)
Total	255 (100%)

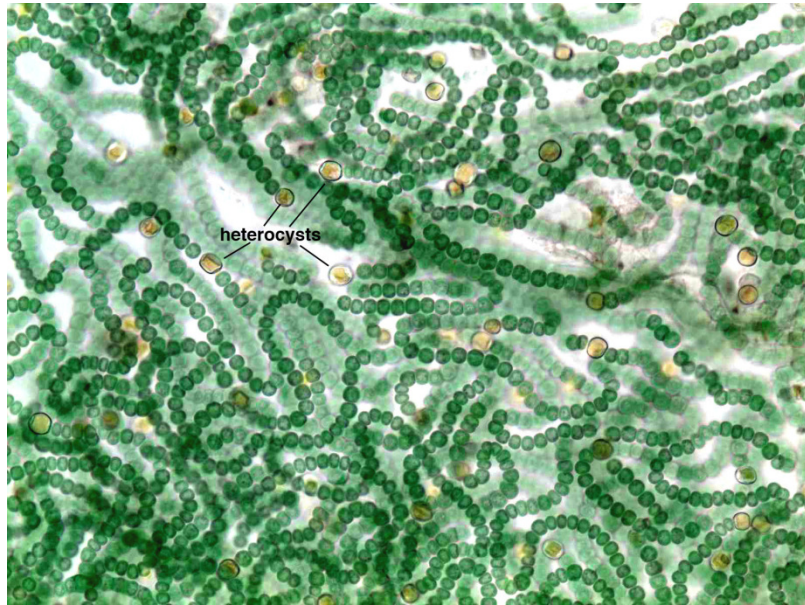
Bezdicsek & Kennedy (1998)



A formação de nódulos é um processo extremamente coordenado



Azolla e cicas



A invasora pioneira *Myrica faya*

- Introduzida no Hawaii, esta espécie cresce em lava endurecida
- Como esta espécie é fixadora de nitrogênio, ela introduz N no ecossistema
- Com a introdução de N, outras espécies invasoras conseguem se proliferar



Líquens

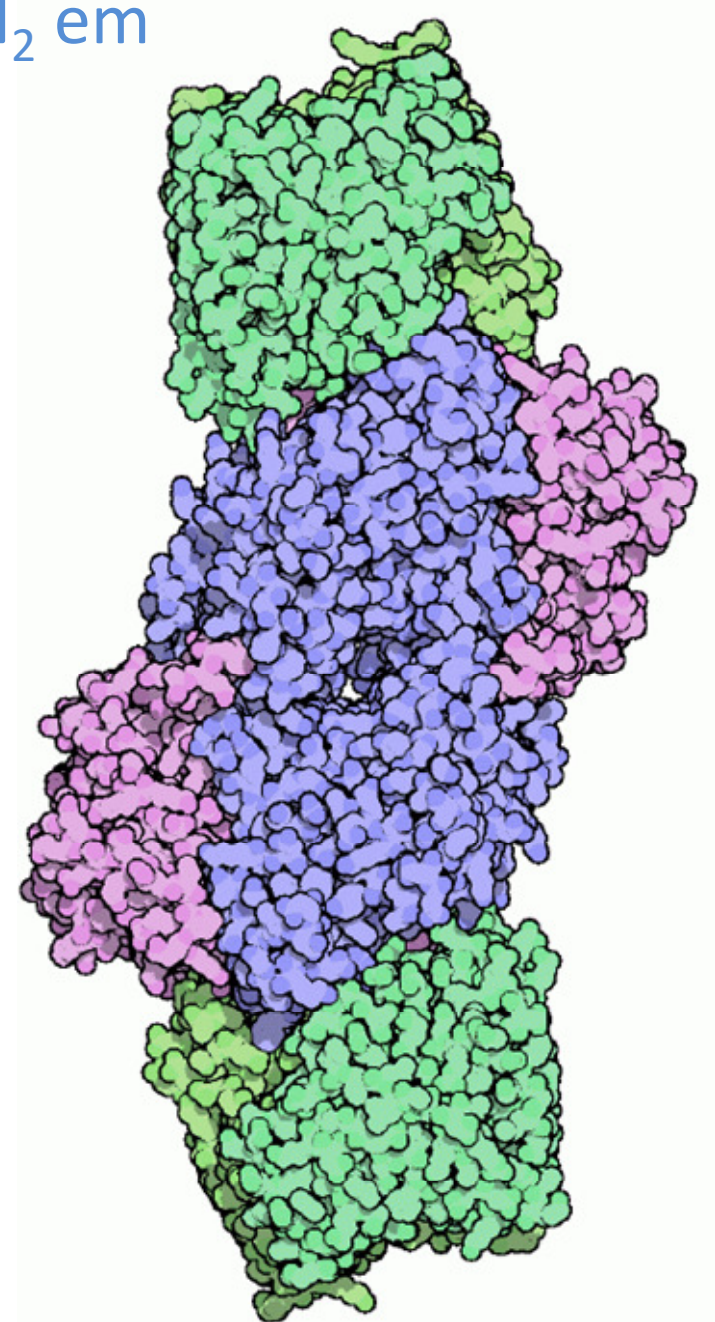


A nitrogenase é responsável por fixar N_2 em bactérias

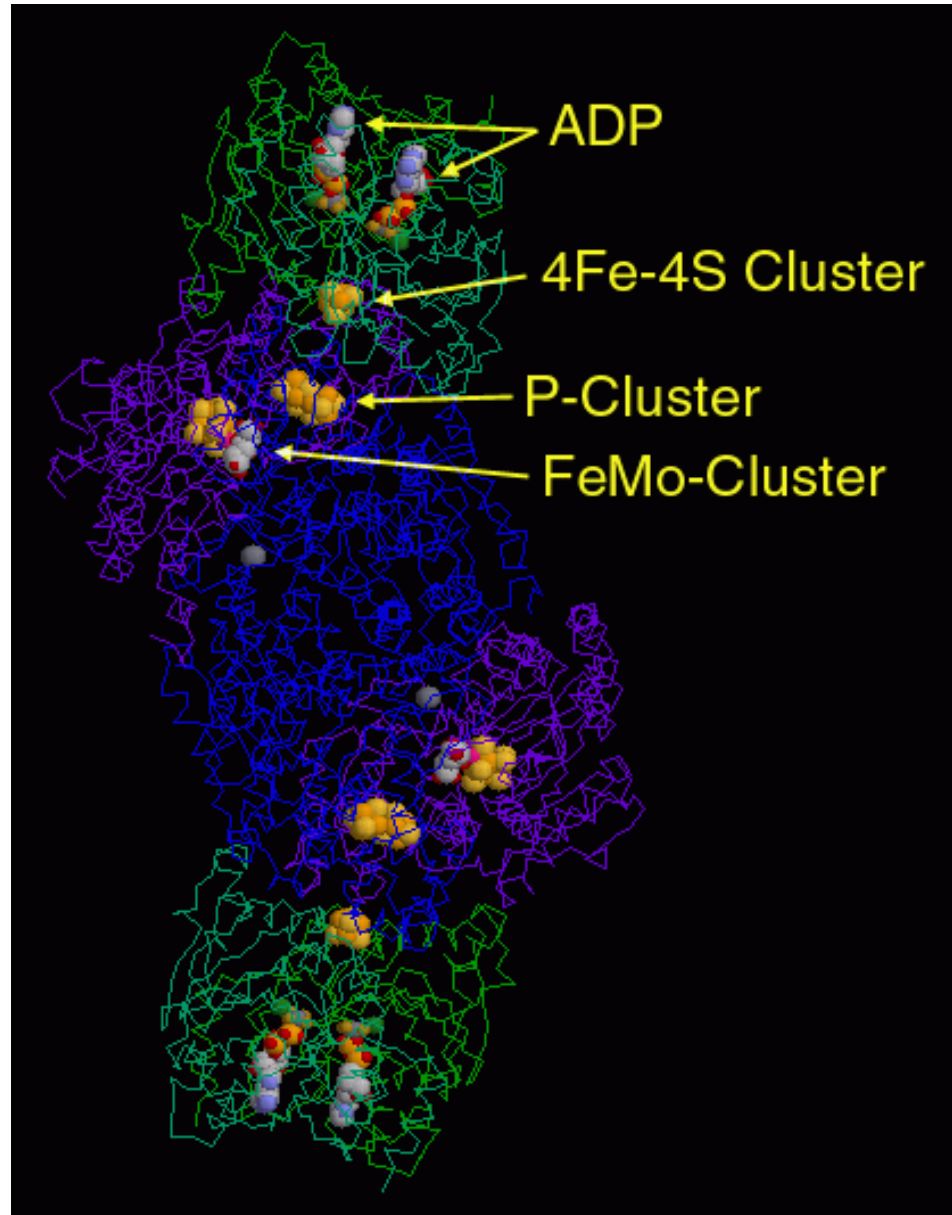
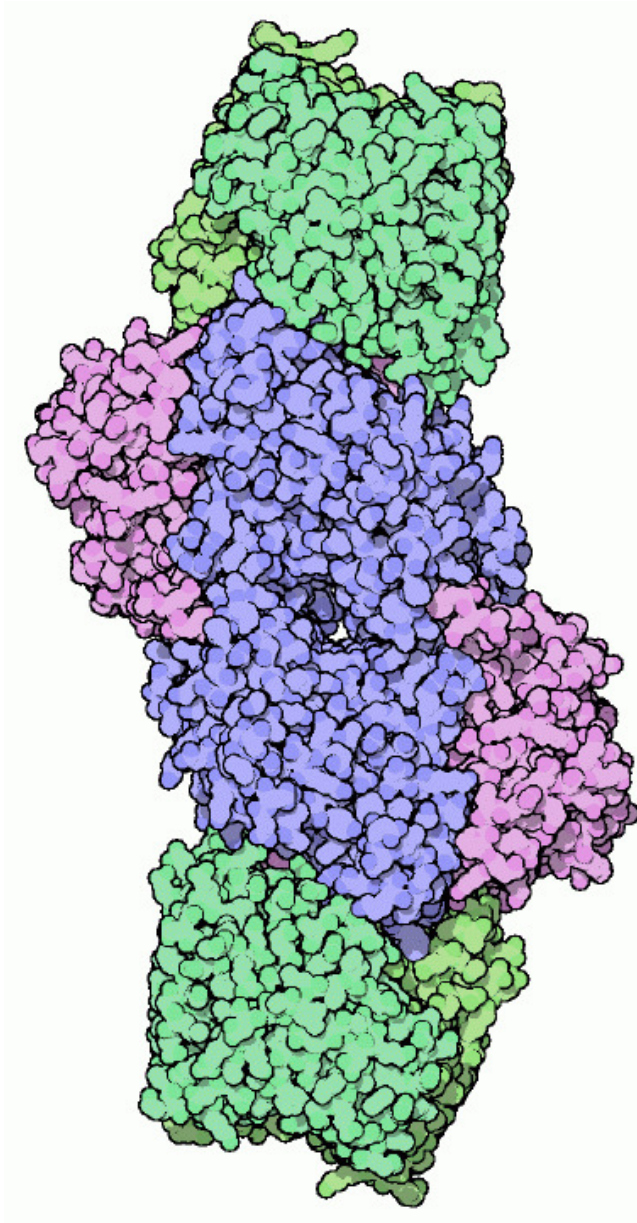
- Equação geral:



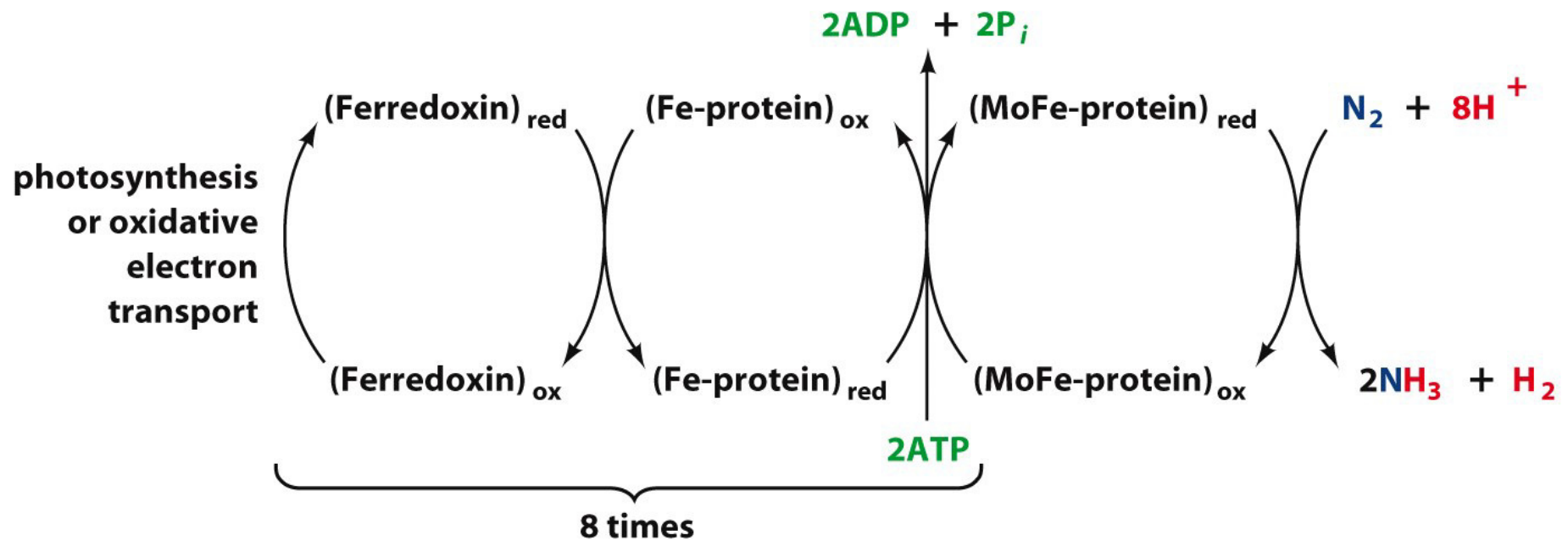
- A nitrogenase necessita de metais para funcionar, como o Fe e Mo
- A reação da nitrogenase possui duas partes:
 1. A dinitrogenase (azul e rosa) possui um núcleo MoFe e consegue fixar o N mas necessita de muitos elétrons
 2. A dinitrogenase redutase (verde) possui um núcleo de Fe-S e usa ATP para fornecer os elétrons à dinitrogenase



A nitrogenase possui clusters de metal



A nitrogenase cria um mini-fluxo de elétrons para fixar N



A nitrogenase é inativada por O₂

- Muitos organismos desenvolveram estratégias para excluir o O₂ da área onde o N é fixado

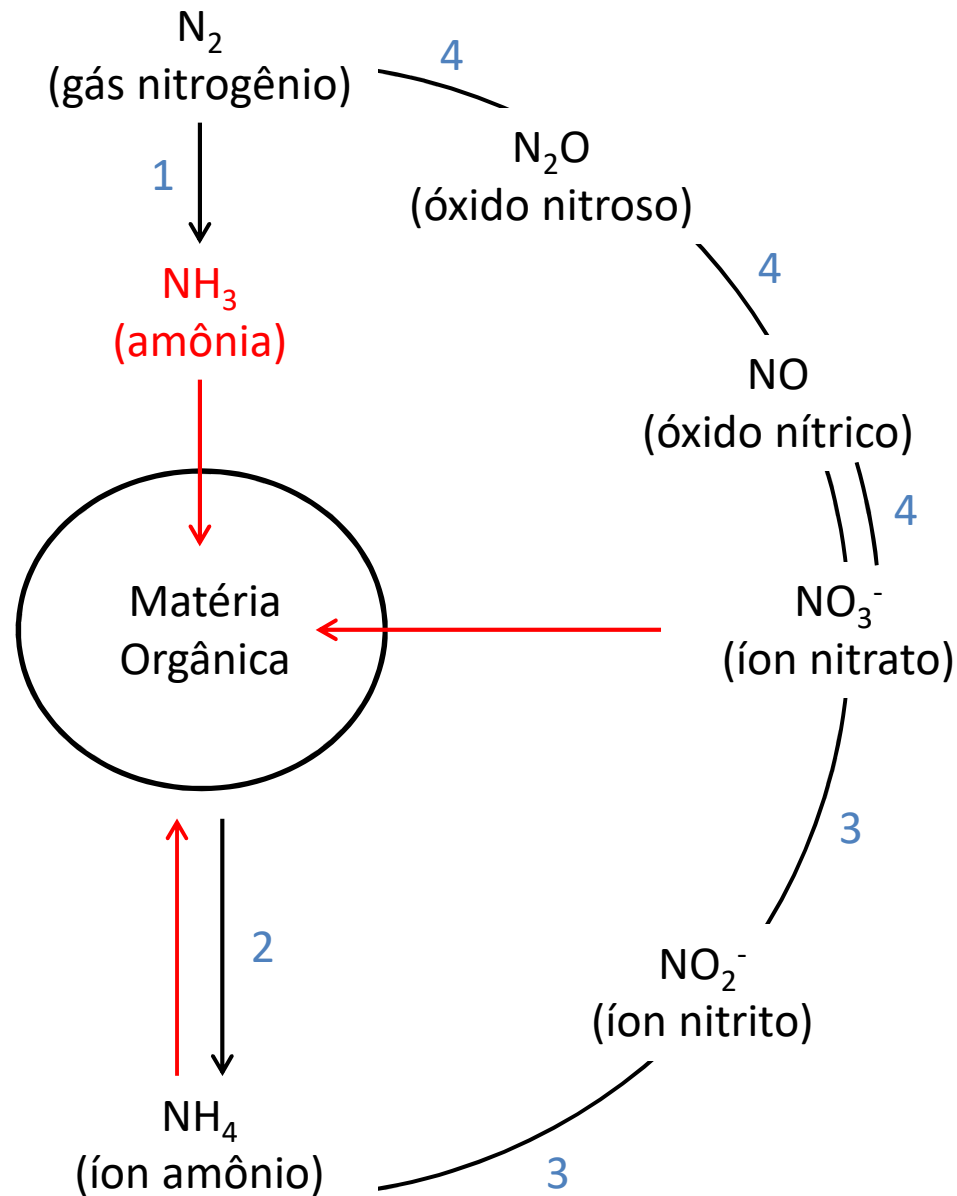


Leghemoglobina



Heterocisto

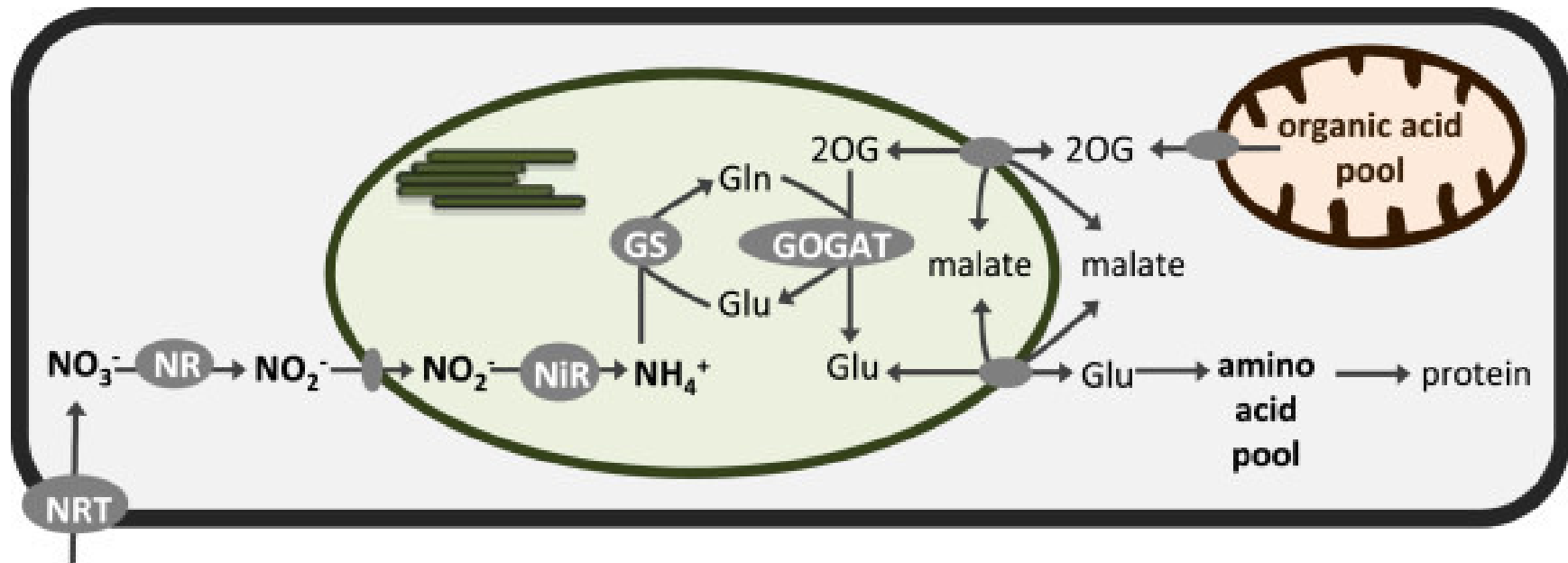
O ciclo do nitrogênio



1. **Fixação de Nitrogênio**
bactérias fixadoras de N
2. **Decomposição**
3. **Nitrificação**
bactérias nitrificantes
4. **Desnitrificação**

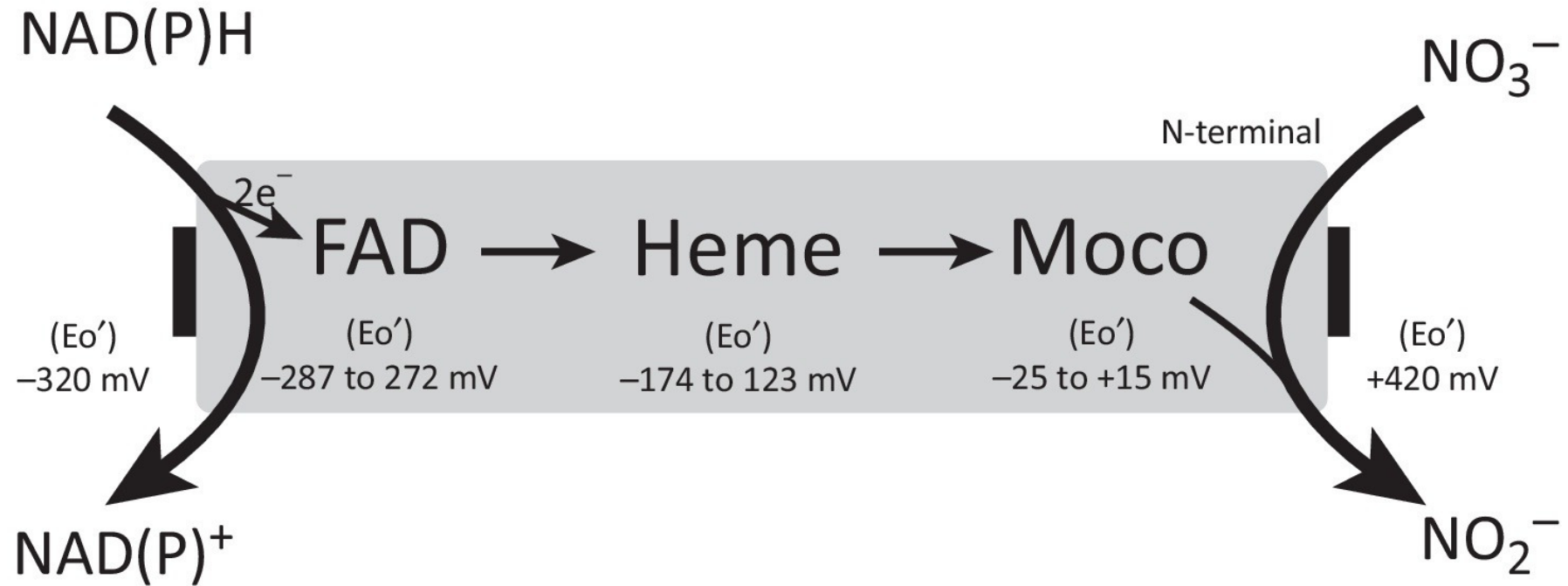
O ciclo do nitrogênio: Assimilação

- Plantas absorvem o nitrogênio diretamente por suas associações simbióticas ou pelas raízes
- Plantas primeiro convertem nitrato em nitrito pela nitrato redutase (NR)
- O nitrito é convertido em amônio pela nitrito redutase (NiR)
- O amônio é integrado ao glutamato (1N) pela GOGAT, formando glutamina (2N)



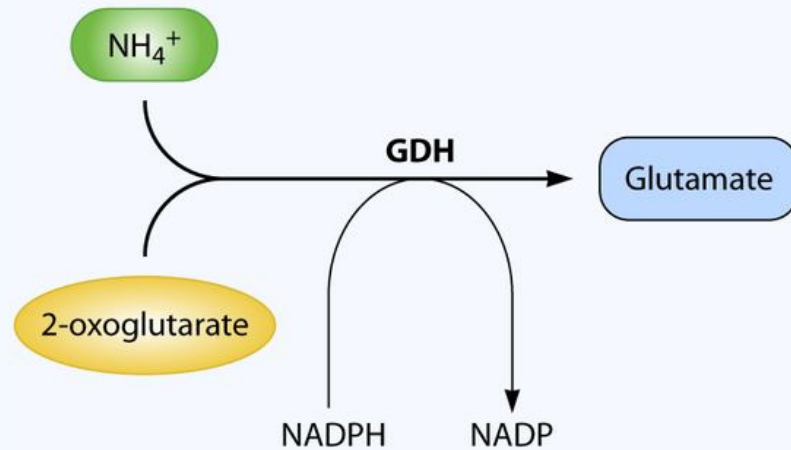
O ciclo do nitrogênio: Assimilação

- A nitrato redutase usa NADPH como doador de elétron e o nitrato como acceptor de elétrons



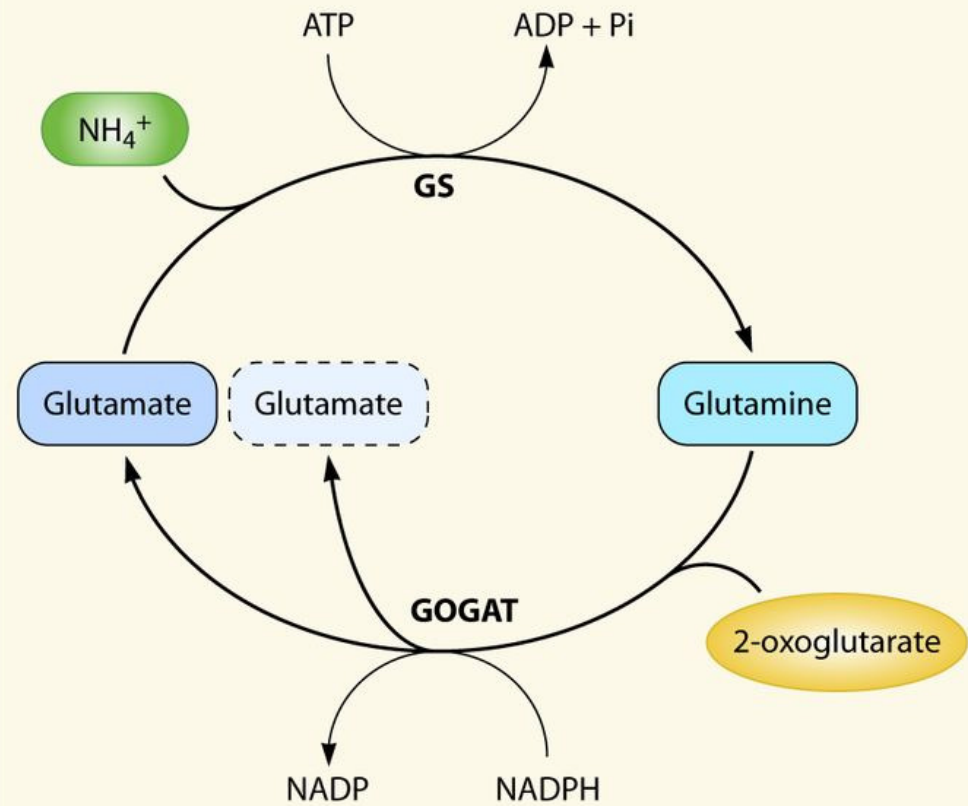
O ciclo do nitrogênio: Assimilação

GDH pathway glutamate dehydrogenase



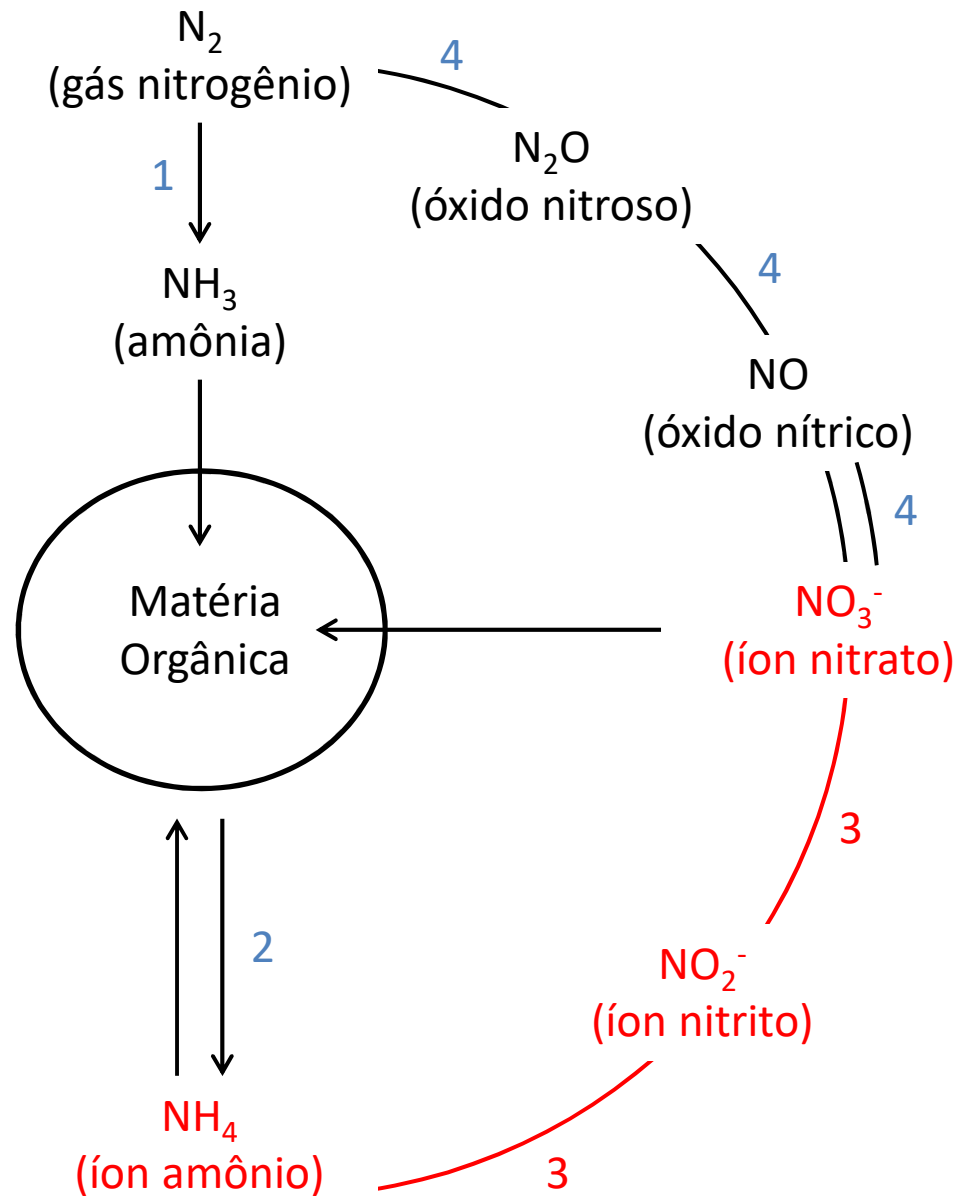
One net glutamate
No ATP consumed
Low affinity for NH_4^+ ($K_M = 1.0 \text{ mM}$)

GS-GOGAT pathway glutamine synthetase-glutamate synthase



One net glutamate
One ATP consumed per NH_4^+
High affinity for NH_4^+ ($K_M = 0.1 \text{ mM}$)

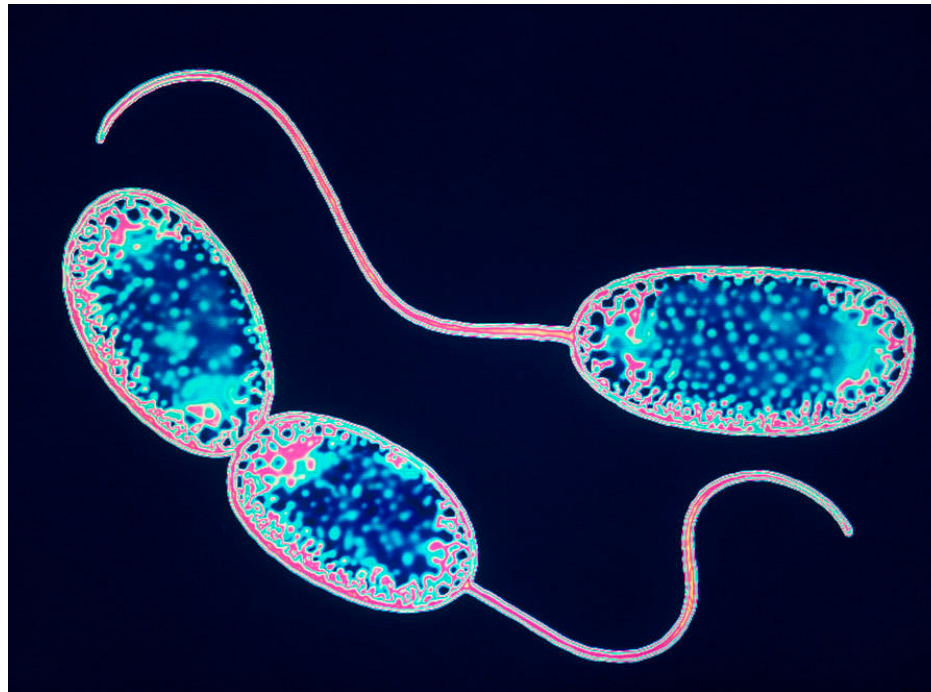
O ciclo do nitrogênio



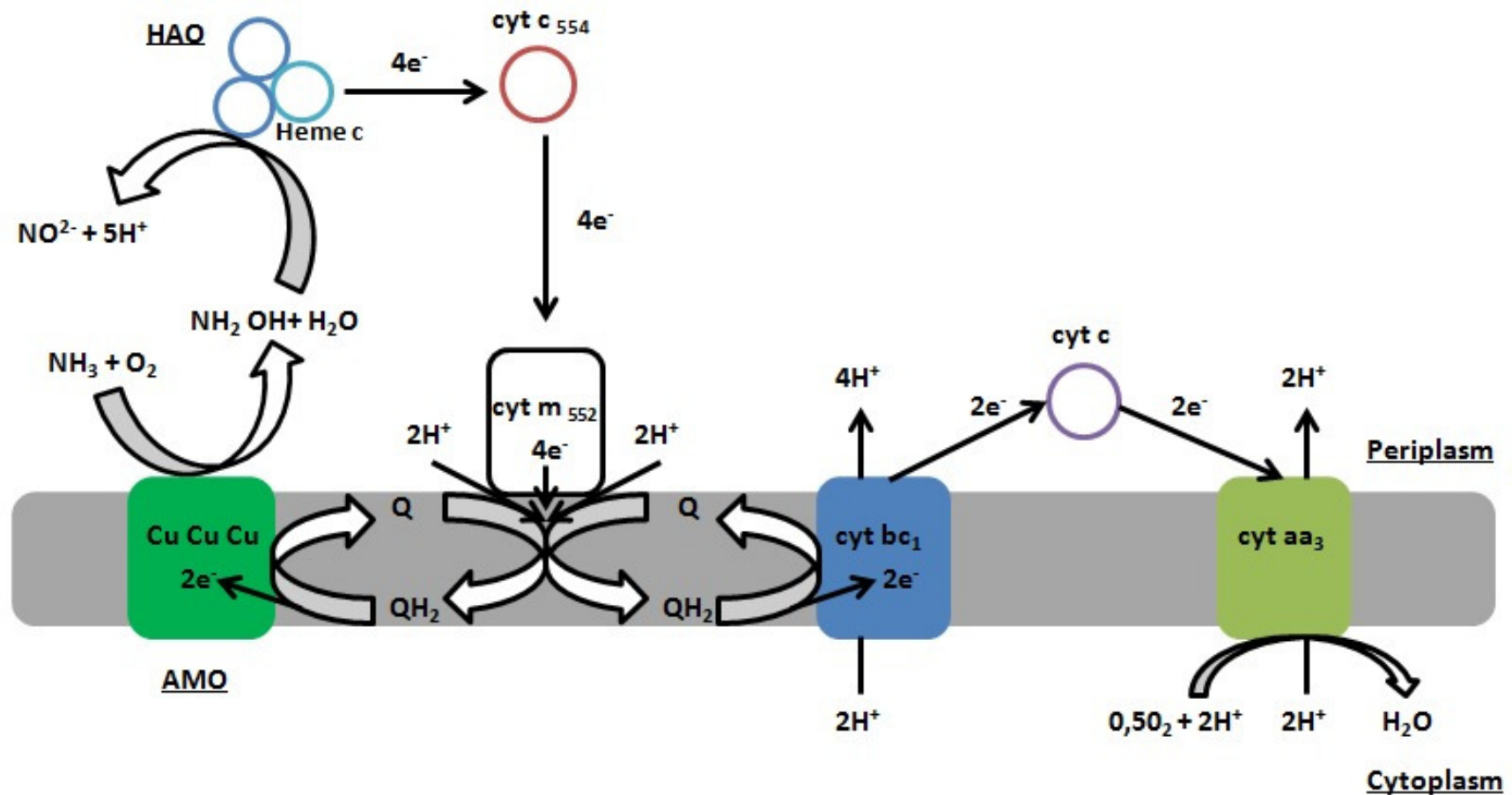
1. Fixação de Nitrogênio
bactérias fixadoras de N
2. Decomposição
3. Nitrificação
bactérias nitrificantes
4. Desnitrificação

O ciclo do nitrogênio: 3- nitrificação

- A conversão do amônio a nitrito é feito por bactérias e archaea oxidantes de amônio, encontradas nos solos e águas
- A conversão entre nitrito em nitrato é feito por bactérias dos gêneros *Nitrobacter* ou *Nitrospira*. Estas bactérias fixam C ao oxidar o NH_3 , ou seja, são quimioautotróficas.
- Quase todo amônio que chega ao solo é convertido em nitrato



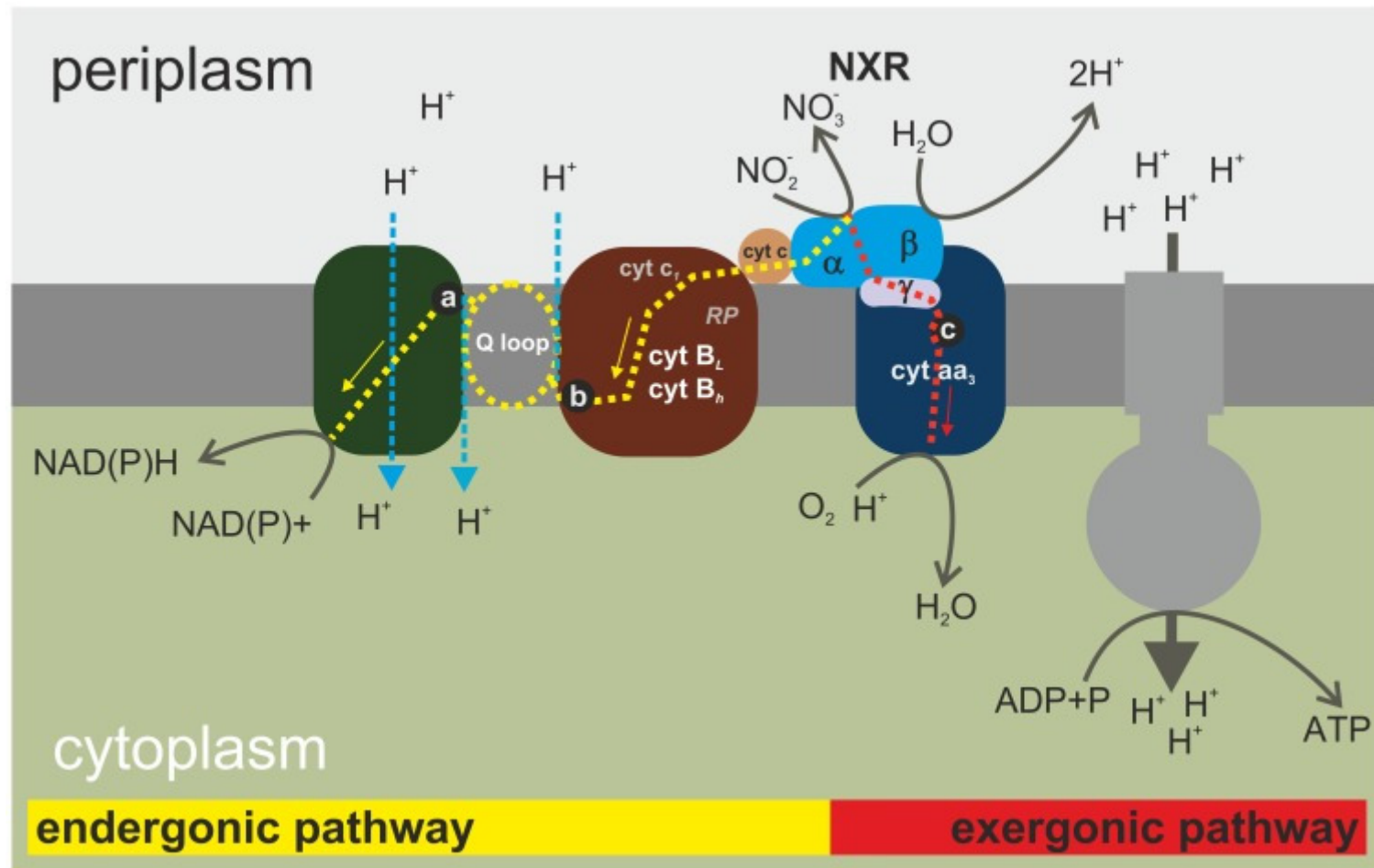
O primeiro passo da nitrificação (NH_3 a NO_2^-)



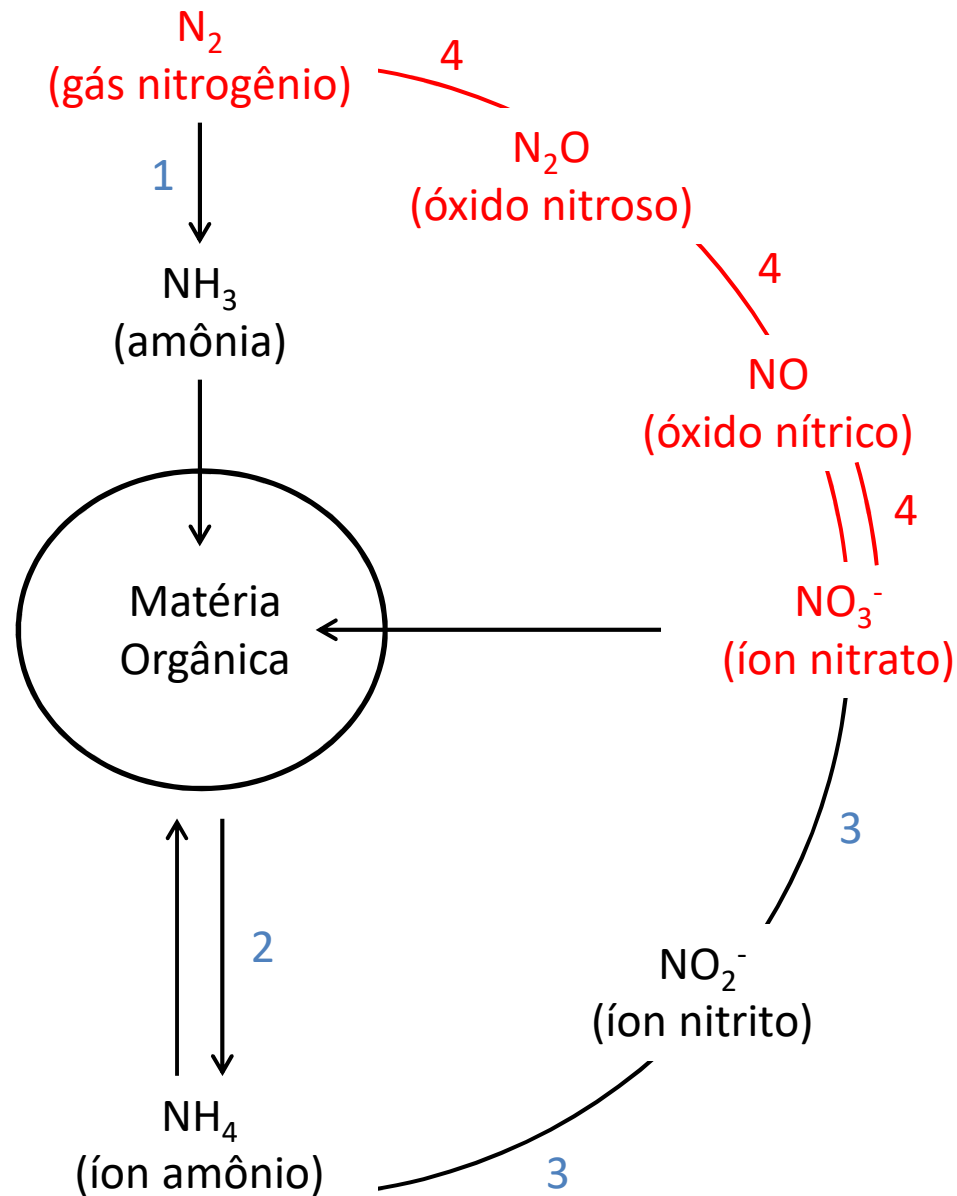
- A AMO (amônia monooxidase) e a HAO (hidroxilamina oxiredutase) são enzimas-chaves do processo
- A formação do nitrito pela HAO ainda é controversa

O segundo passo da nitrificação (NO_2^- a NO_3^-)

- O nitrito é oxidado em nitrato pela nitrito oxidoreductase (NXR)
- Elétrons são obtidos para se fazer ATP e NADPH para o Ciclo de Calvin



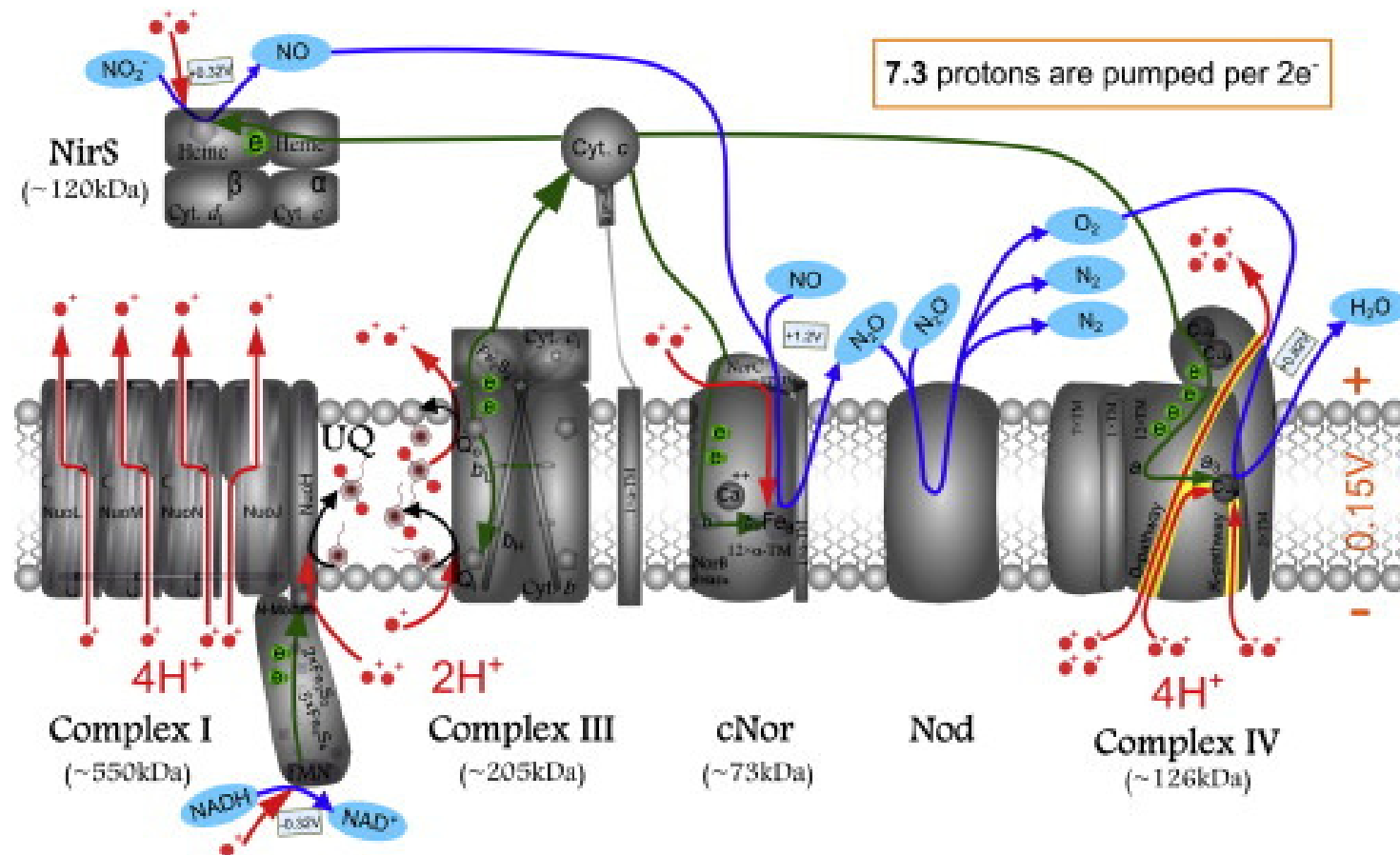
O ciclo do nitrogênio



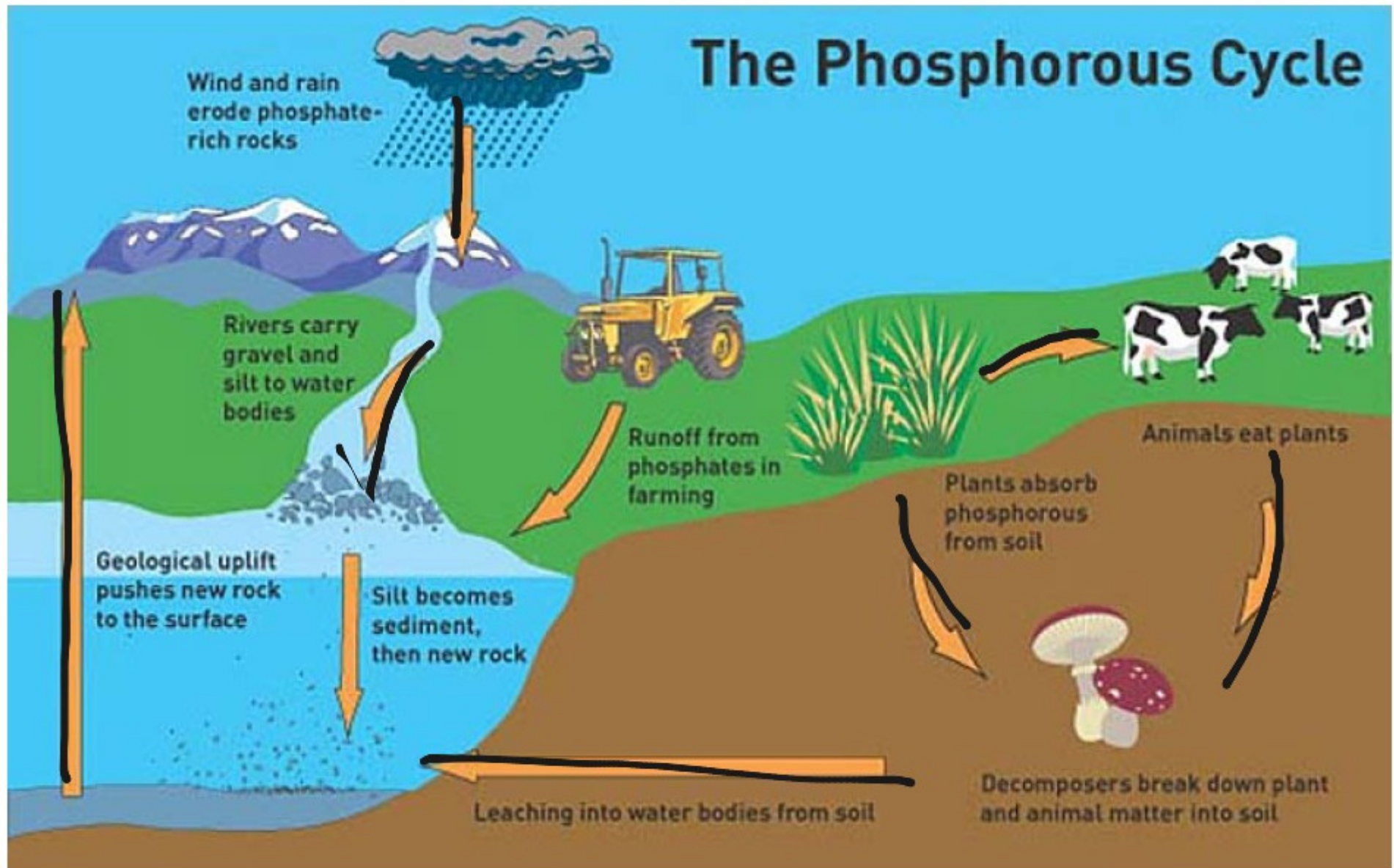
1. Fixação de Nitrogênio
bactérias fixadoras de N
2. Decomposição
3. Nitrificação
bactérias nitrificantes
4. Desnitrificação

O ciclo do nitrogênio: 4- desnitrificação

- Ocorre em condições anaeróbicas, onde bactérias usam o nitrato como aceptor final de elétrons, substituindo o papel do oxigênio
- Plantas e animais também podem fazer NO, usando-o como segundo mensageiro



O ciclo do fósforo



Micorrizas

- Interação de fungos com raízes das plantas
- Há um intensa troca de nutrientes e açúcares entre os organismos
- Pode haver trocas entre indivíduos de diversas espécies diferentes

