

**Universidade Estadual do Rio Grande do Sul Curso Superior
de Tecnologia em Gestão Ambiental Componente curricular:
Saneamento Básico e Saúde Pública**

Aula especial 2: Ciclos biogeoquímicos

■ **Ciclo do carbono**

- A matéria orgânica, carbonatada dos excretas ou de animais e vegetais mortos, decompõe produzindo gás carbônico ou carbonatos. Este é o ciclo primário.
- Durante o dia, pela presença dos raios solares, os autotróficos reduzem o dióxido de carbono. A clorofila entra em ação e o dióxido de carbono é assimilado formando carboidratos, que se transformarão em gorduras e proteínas. À noite as plantas, durante o seu processo de respiração, absorvem o oxigênio (O₂) e liberam o gás carbônico (CO₂).

■

■ **Ciclo do carbono**

■ Os animais alimentam-se de produtos vegetais e transformam a matéria orgânica vegetal em animal. A energia é liberada pela respiração e o dióxido de carbono se torna disponível para reiniciar o ciclo. Quando excretam ou morrem, fecha-se o ciclo da vida e da morte em relação ao carbono. A decomposição ocorre por ação de bactérias e fungos e os compostos orgânicos são oxidados e o CO_2 retorna para o ciclo.

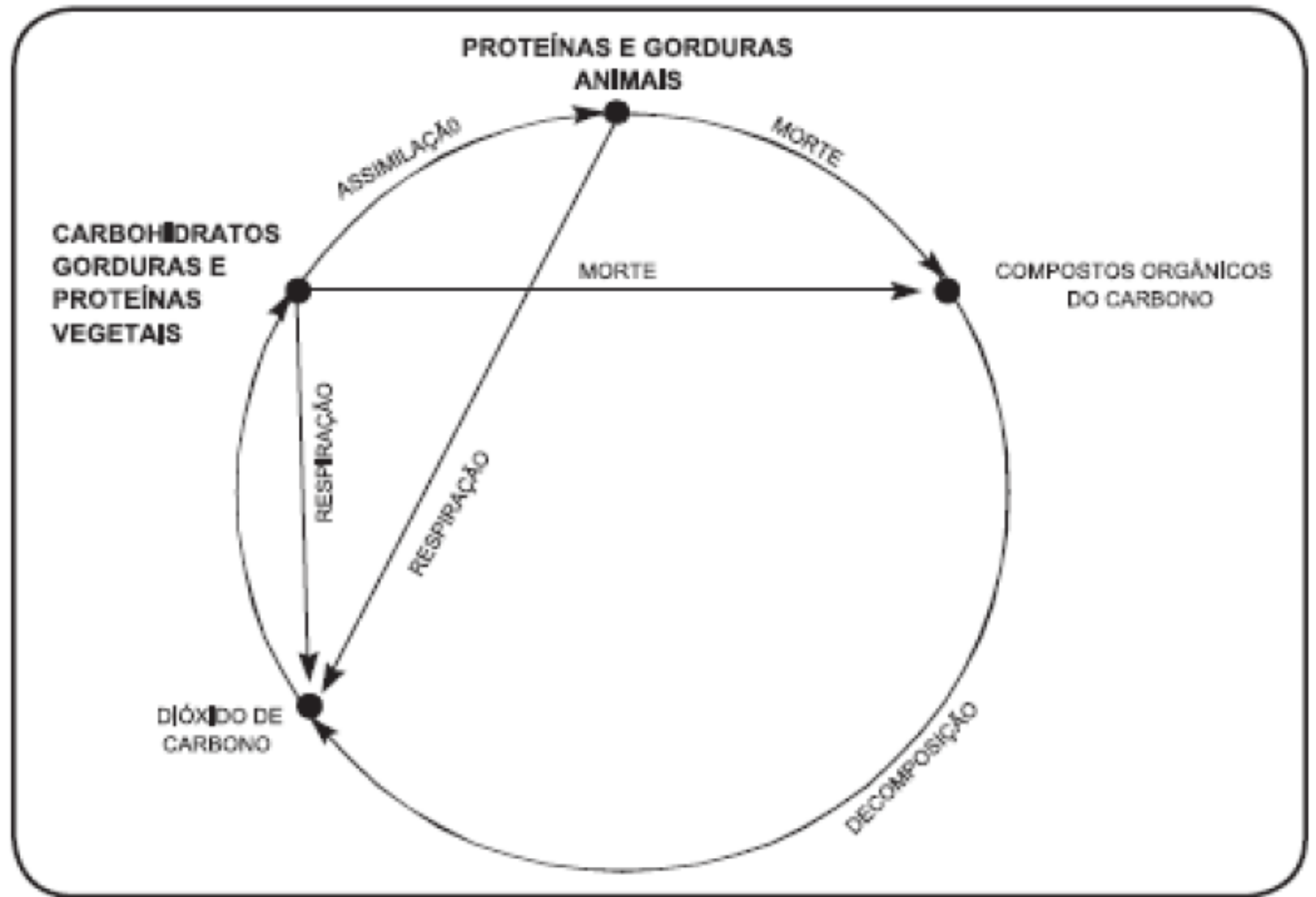
■ Além disto o carbono é estocado em **rochas** como a CaCO_3 (calcáreo) e íon carbonato dissolvido nos oceanos (CO_3^{-2}). Também o carbono é estocado com combustível fóssil. A queima destes combustível libera CO_2 , resultando no aumento de CO_2 na atmosfera.

■

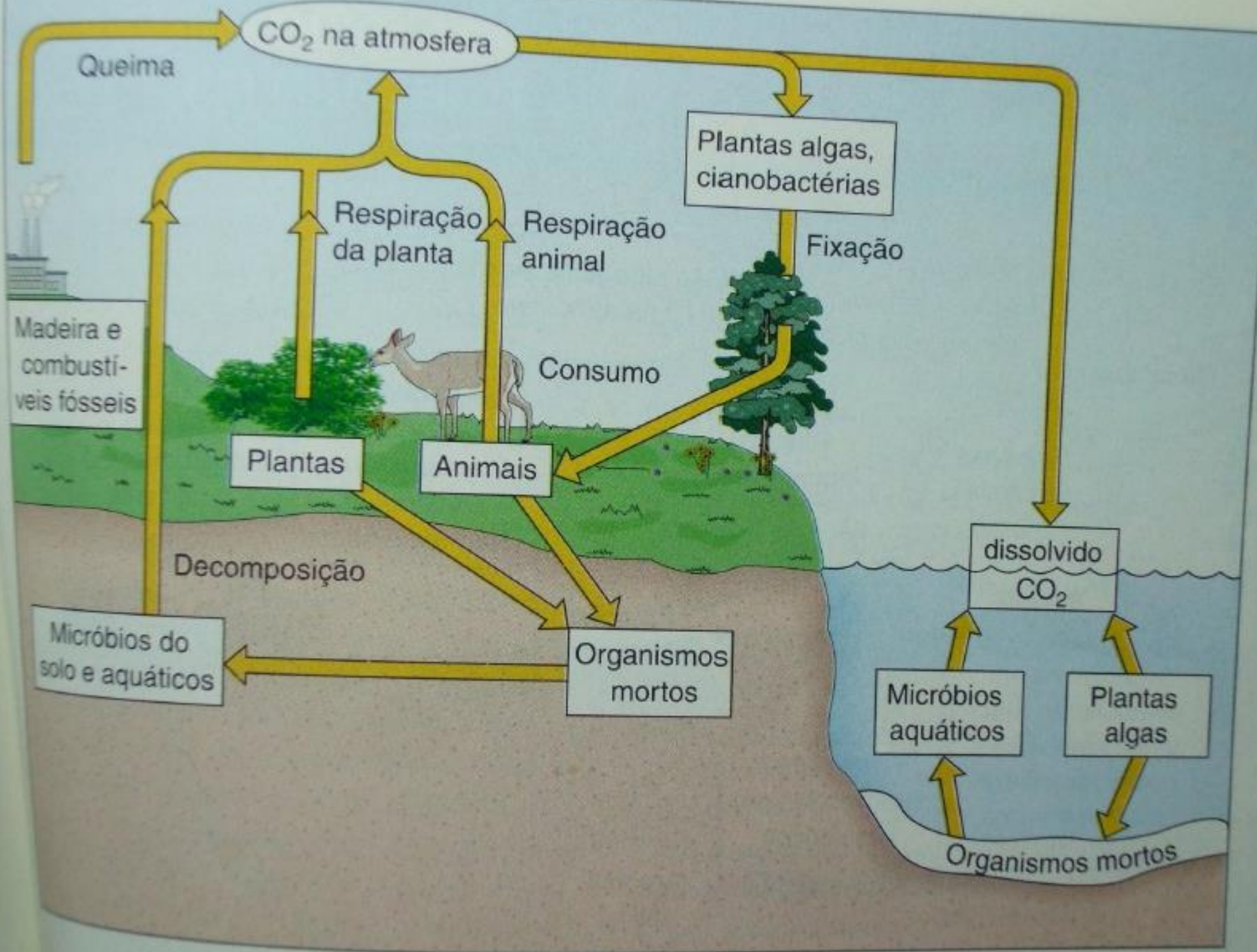
■ Quimioautotróficos como *Thiobacillus* e *Beggiatoa* fixam o carbono em matéria orgânica quando metabolizam compostos como o sulfeto de hidrogênio.

■

Figura 78 – Ciclo do carbono



Fonte: Dacach, 1990.



■ X Ciclo do nitrogênio

- O nitrogênio é necessário para os organismos nas proteínas, ácidos nucleicos e outros compostos. O N_2 (nitrogênio molecular) representa 80% da atmosfera. Para ser utilizado pelas plantas, deve ser fixado (combinado) com outros elementos como o oxigênio e hidrogênio. Microrganismos específicos são importantes.

- O solo contém uma flora bacteriana abundante, sendo quase toda composta de bactérias saprófitas. Ele oferece, geralmente, condições desfavoráveis à multiplicação dos germes patogênicos e até mesmo à sua existência por muito tempo. A matéria orgânica, uma vez no solo, sofre transformações regulares, conhecidas como “ciclo da matéria orgânica”.

- **X Ciclo do nitrogênio**
- Na decomposição ocorre uma quebra hidrolítica das proteínas em aminoácidos. Depois ocorre a deaminação, quando grupamentos amina são removidos e convertidos em amônia (NH_3). Esta é a amonificação:
- Proteínas de células mortas e resíduos → Decomposição microbiana → aminoácidos
- Aminoácidos → amonificação microbiana → amônia
-

■ X Ciclo do nitrogênio

- A amônia volatiliza-se como gás ou solubiliza como íons de amônia (NH_4^+):
 - $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+\text{OH} \rightarrow \text{NH}_4 + \text{OH}^-$
- A seguir a nitrificação para nitrato (*Nitrosomonas*):
 - $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$ (nitrito)
 - Depois a oxidação a nitrato (*Nitrobacter*)
 - $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$
- As plantas utilizam o nitrato como fonte de nitrogênio para síntese proteica. Ao contrário, no solo a amônia é pouco móvel por estar ligada à argila.

■ X Ciclo do nitrogênio

- Ainda bactérias como *Pseudomonas* fazem a denitrificação, retornando o nitrogênio para a atmosfera com gás:



- A fixação do nitrogênio é o aproveitamento do gás nitrogênio no solo ou água e é realizada por microrganismos de vida livre ou simbióticos. A enzima nitrogenase é anaeróbica. A outra forma de incorporação é a utilização de fertilizantes.

- *Azotobacter* é um gênero de espécies fixadoras que vivem nas raízes, principalmente em pastagens. Outro é *Beijerinckia*.

- Outras bactérias são cianobactérias aeróbicas, fotossintetizantes e fixadoras. Bactérias anaeróbicas fixadoras são por exemplo *Clostridium pasteurianum*.

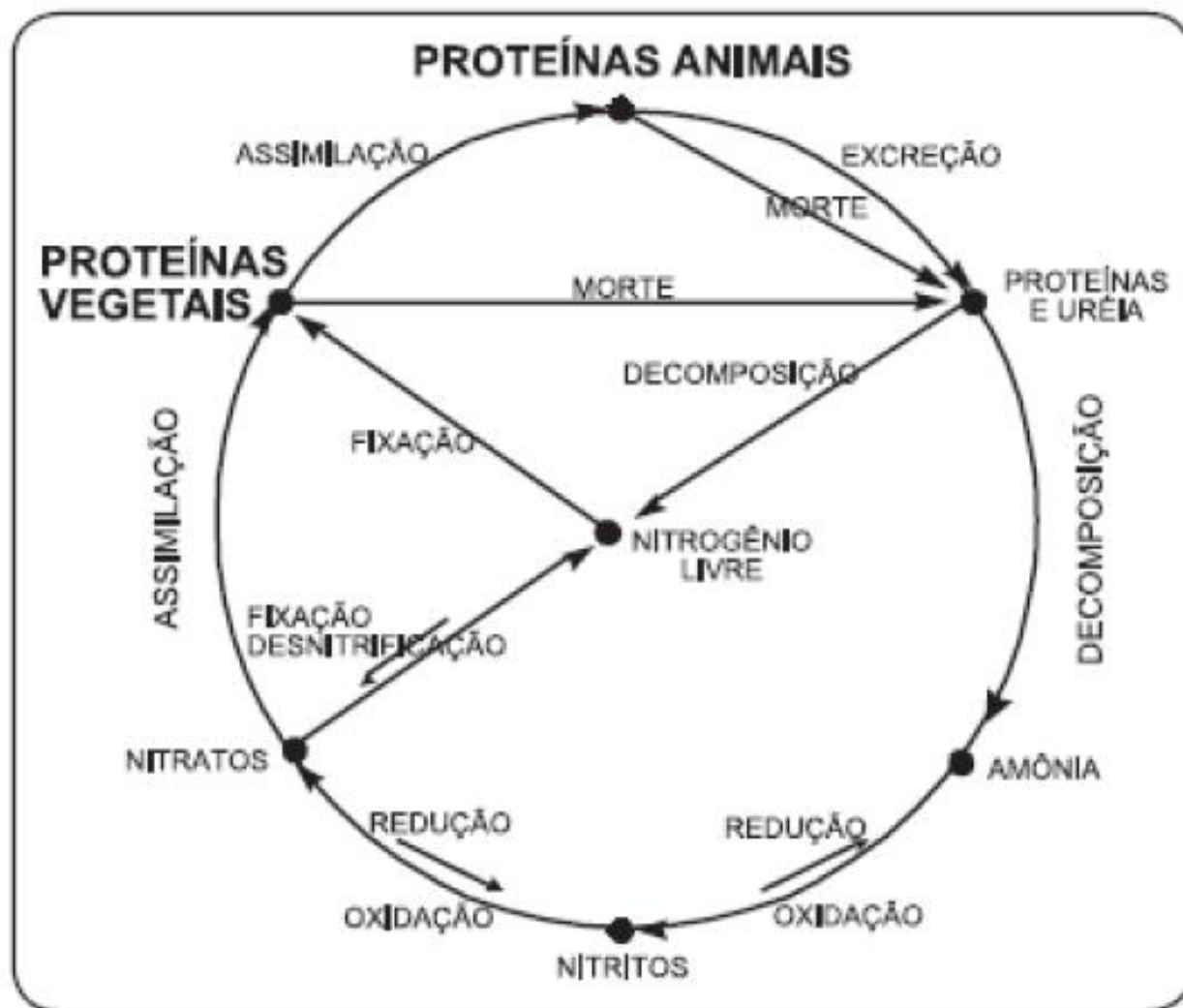
■

▪ **X Ciclo do nitrogênio**

- Bactérias simbióticas são importantes no crescimento das plantas. Há os gêneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* e outros, simbiontes em raízes de plantas leguminosas e árvores (como as bétulas que tem o actinomiceto *Frankia* como simbionte. É comum a formação de nódulos de raízes.
- Nos líquens com cianobactérias como associada ao fungo, ocorre também a fixação no solo da floresta.
- O ciclo do nitrogênio, a partir das proteínas animais ou vegetais como fonte de nitrogênio:
- O diagrama a seguir demonstra o ciclo desde a morte dos organismos superiores; a ação das bactérias de putrefação sobre o cadáver ou excretas, com produção de gases como NH_3 - amônia; a ação de bactérias aeróbias oxidantes ou nitrificantes, no solo, com a produção de nitritos e nitratos;

- **X Ciclo do nitrogênio**
- Fechando o ciclo, há absorção dos nitratos pelas raízes dos vegetais e destes pelos animais, recomeçando o ciclo.

Figura 77 – Ciclo do nitrogênio



Fonte: Dacach, 1990.

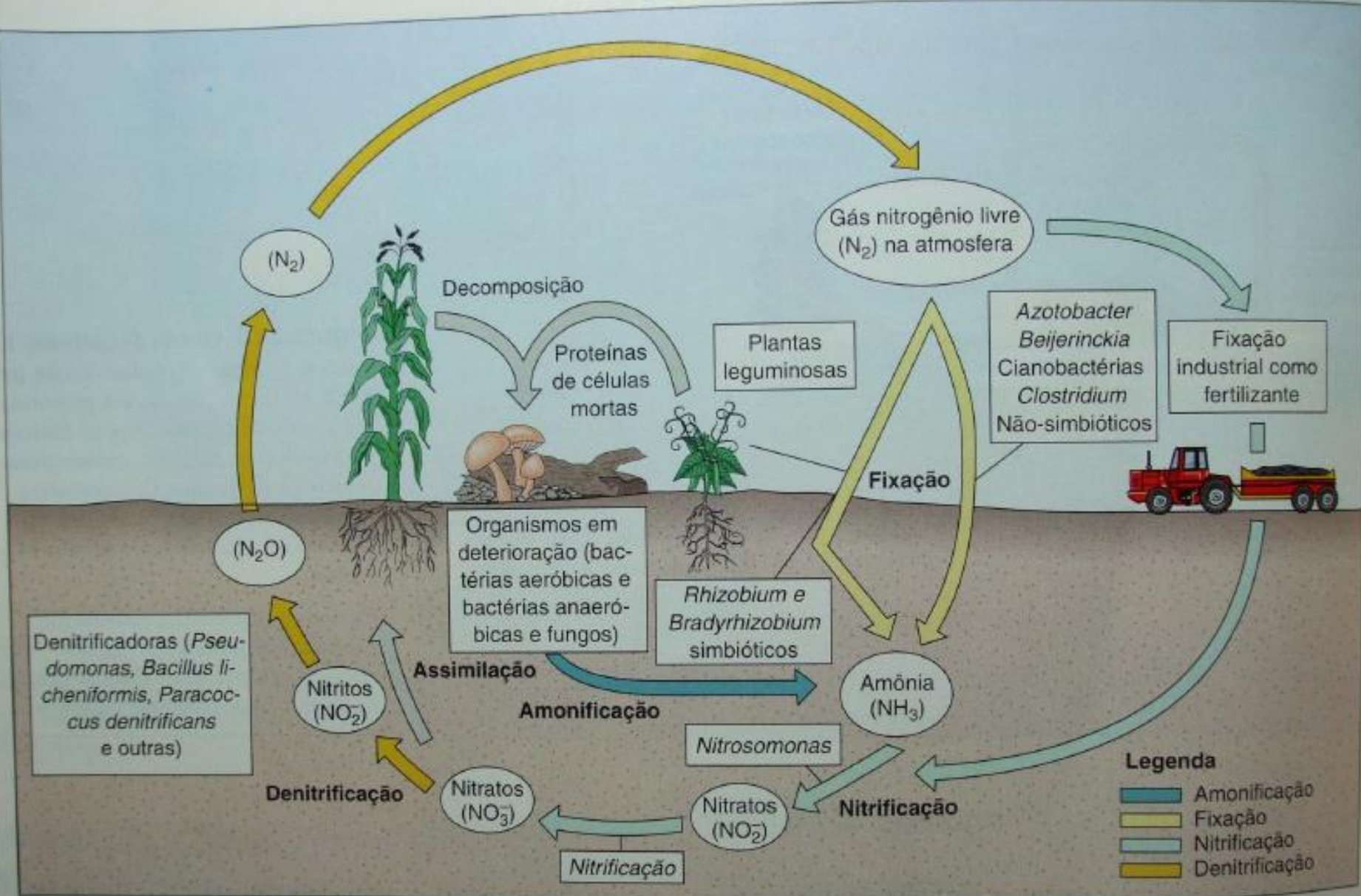


Figura 27.3 O ciclo do nitrogênio. De uma forma geral, o nitrogênio na atmosfera passa pela fixação, nitrificação, e denitrificação. O nitrato assimilado por plantas e animais após a nitrificação passa por decomposição, amonificação e novamente nitrificação.

Quais processos são realizados exclusivamente pelas bactérias?

■ XI Ciclo do enxofre

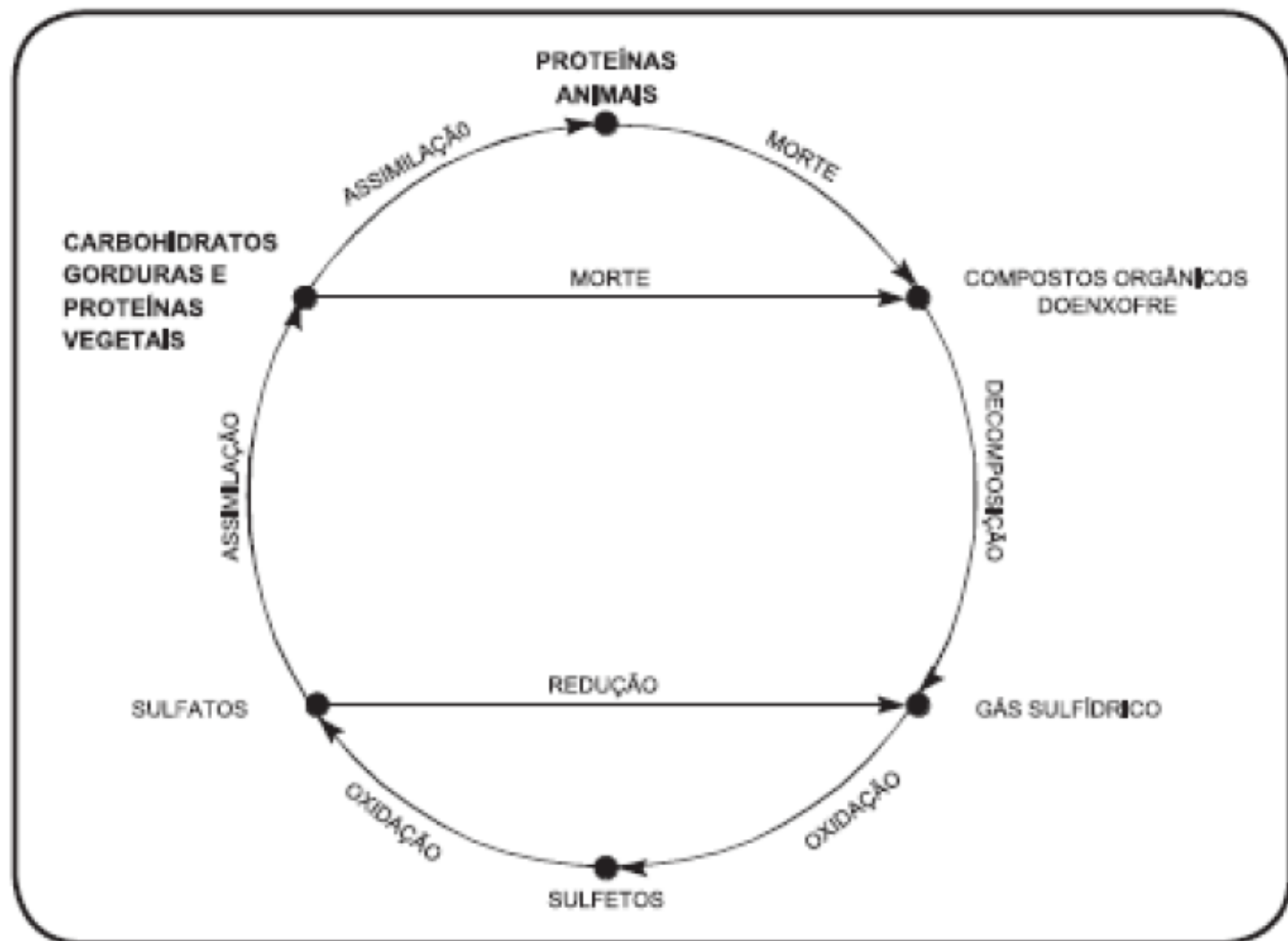
- Os sulfetos são as formas reduzidas do enxofre (H_2S), formado geralmente em condições anaeróbicas. É fonte de energia para bactérias quimioautótrofas, que convertem o sulfeto em enxofre elementar (grânulos e sulfatos SO_4^{2-}). Um exemplo destas bactérias é o gênero *Beggiatoa*. Bactérias verdes e púrpuras fototróficas também oxidam o H_2S formando grânulos internos e formam sulfato.
- No gênero *Thiobacillus* o sulfeto de hidrogênio é usado como fonte de energia para produzir sulfato e ácido sulfúrico e vivem em pH ácido (até 2).
- O ácido sulfúrico também é formado pela emissão de gases dos combustíveis, quando o enxofre é oxidado a dióxido de enxofre e reage com água para formar H_2SO_3 (chuva ácida).

■

▪ XI Ciclo do enxofre

- Os sulfatos são incorporados por plantas e bactérias e fazem parte dos aminoácidos. Quando as proteínas são decompostas há a dissimilação e o enxofre é liberado como sulfeto de hidrogênio e recomeça o ciclo.

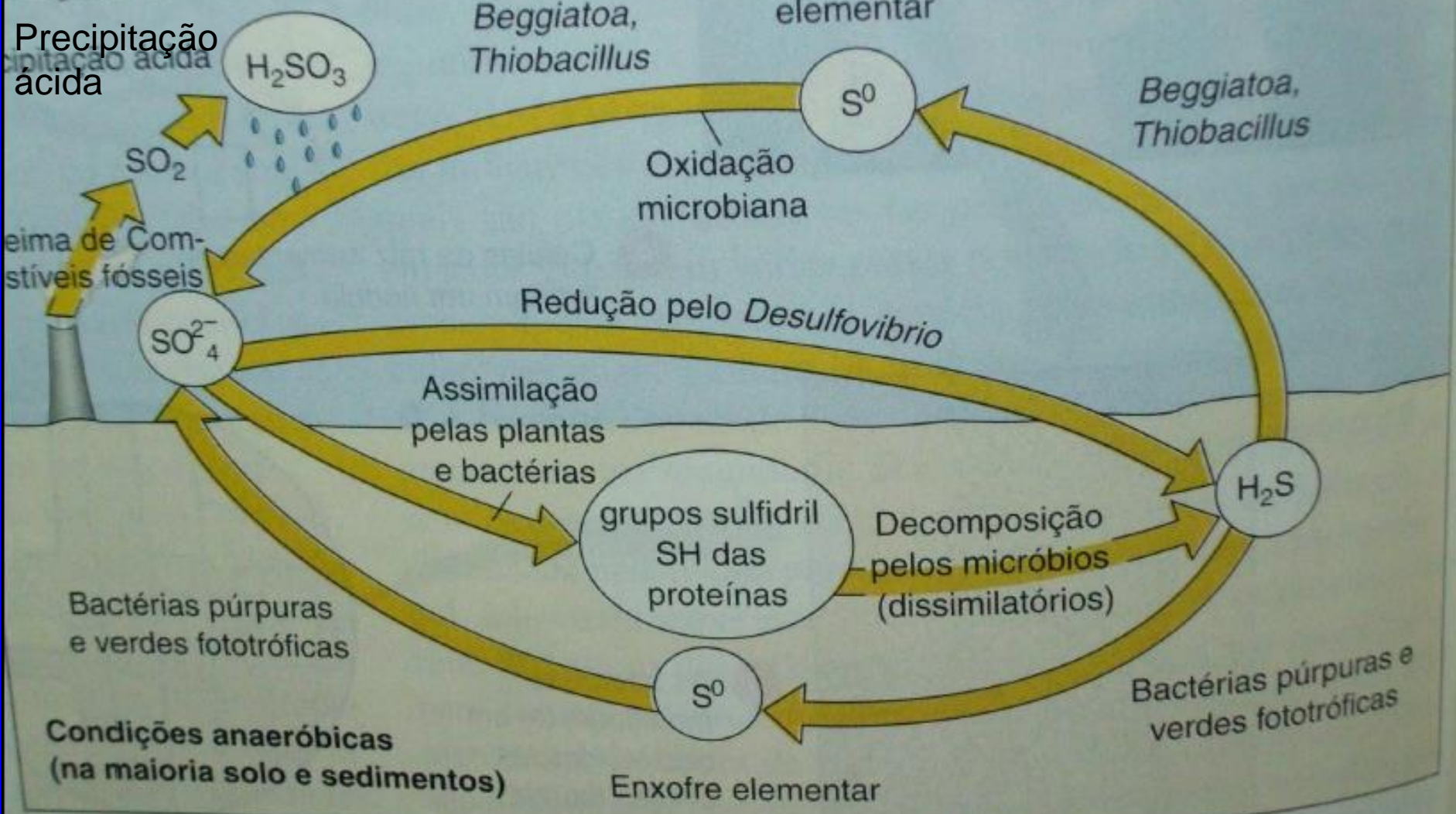
Figura 79 – Ciclo do enxofre



Fonte: Dacach, 1990.

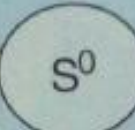
Condições aeróbicas

Precipitação ácida



Beggiatoa,
Thiobacillus

Enxofre
elementar



Beggiatoa,
Thiobacillus

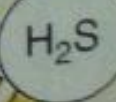
Oxidação
microbiana

Redução pelo *Desulfovibrio*

Assimilação
pelas plantas
e bactérias

grupos sulfidril
SH das
proteínas

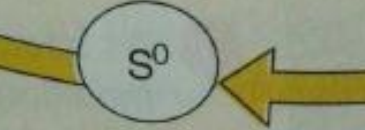
Decomposição
pelos micróbios
(dissimilatórios)



Bactérias púrpuras
e verdes fototróficas

Bactérias púrpuras e
verdes fototróficas

Condições anaeróbicas
(na maioria solo e sedimentos)



Enxofre elementar

■ XII Ciclo do fósforo

- A disponibilidade do fósforo determina o crescimento das plantas. O excesso causa problemas de eutrofização na água. O problema agrava-se porque os detergentes sintéticos contêm fosfato.
- O fósforo existe primariamente como íon fosfato (PO_4^{-3}). O ciclo envolve modificações de formas solúveis para insolúveis, de fosfato orgânico para inorgânico.
- *Thiobacillus* é um gênero de bactérias que solubiliza o fosfato de rochas.
- O fósforo acumula-se nos oceanos por exemplo no sedimento dos fundos, como fosfato de cálcio.
- As aves marinhas extarem fósforo do mar alimentando-se dos peixes e eliminando-o através do guano (que já foi explorado).

■ XII Ciclo do fósforo

- A disponibilidade do fósforo determina o crescimento das plantas. O excesso causa problemas de eutrofização na água. O problema agrava-se porque os detergentes sintéticos contêm fosfato.
- O fósforo existe primariamente como íon fosfato (PO_4^{-3}). O ciclo envolve modificações de formas solúveis para insolúveis, de fosfato orgânico para inorgânico.
- *Thiobacillus* é um gênero de bactérias que solubiliza o fosfato de rochas.
- O fósforo acumula-se nos oceanos por exemplo no sedimento dos fundos, como fosfato de cálcio.
- As aves marinhas extarem fósforo do mar alimentando-se dos peixes e eliminando-o através do guano (que já foi explorado).

- **Questão para as aulas à distância:**
- 1. Qual o papel dos microrganismos nos vários ciclos biogeoquímicos?
- 2. Qual a origem dos combustíveis fósseis?
- 3. O que é o ciclo hidrológico?