

Ecologia Energética

Ciclos Biogeoquímicos

Prof. Ricardo Motta Pinto-Coelho
RMPC Consultores em Recursos Hídricos



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

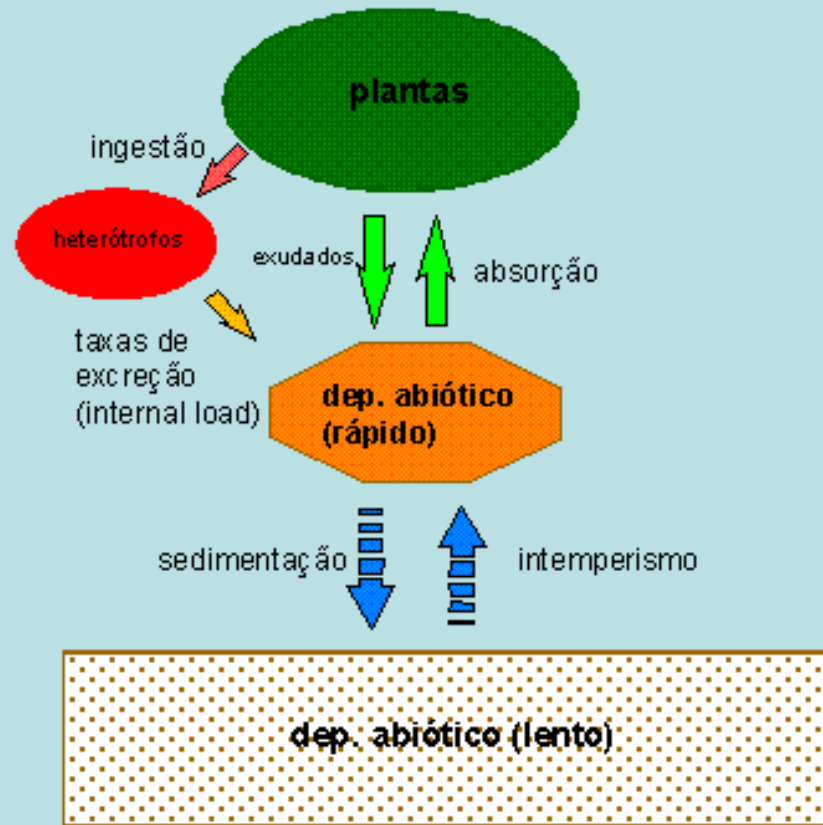
Introdução

Dos 103 elementos químicos conhecidos, sabe-se que 30 a 40 são necessários à vida. Eles podem ser classificados em micro, meso e macronutrientes de acordo com as quantidades requeridas pelo seres vivos (vide capítulo sobre produção primária). Os elementos circulam na biosfera entre os compartimentos (pools) abióticos e a biomassa animal e vegetal (Figura 1).

Os nutrientes normalmente acham-se presentes na rocha matriz que é o depósito abiótico de renovação lenta. Graças ao intemperismo, eles podem ser realocados para o depósito abiótico de renovação rápida que pode ser tanto na forma de íons dissolvidos na água, sob a forma de gases na atmosfera e ainda em sedimentos rasos de rios e lagos. Os nutrientes são, a seguir, absorvidos pelas plantas e dessa maneira entram na cadeia trófica, passando sucessivamente pelos herbívoros, carnívoros, etc. Eles são, em algum momento, liberados de volta ao meio abiótico via excretas ou então após a morte da planta ou animal, via cadeia de detritos, onde é muito importante a ação de microorganismos sejam eles bactérias, leveduras e fungos.



Compartimentação dos Ciclos Biogeoquímicos



O **pool biológico** pode ser de natureza muito variada e pode englobar substâncias orgânicas não-vivas. Húmus, excretas, sedimentos orgânicos, turfeiras, etc. constituem importantes exemplos de sub-compartimentos deste reservatório nos diversos ecossistemas. O reservatório biológico normalmente é muito mais restrito que o abiótico, porém é muito dinâmico (a taxa de renovação dele é muito alta).

Tipologia dos Ciclos Biogeoquímicos

Table I Ciclos biogeoquímicos do tipo misto com dois tipos de depósitos abióticos, ou seja, de reciclagem lenta e rápida.

ciclos	depósito	forma
água	lento	geleiras
	rápido:	vapor de água na atmosfera (nuvens)
enxôfre	lento	FeS ₂ (pirita) e calcopirita
	rápido	SO ₂ , SO ₃ e SO ₄ (gases)



O Ciclo da Água

Segundo Leonardo da Vinci "a água é o condutor da natureza". A Biosfera pode ser definida em termos de disponibilidade de água: é a região do planeta onde há um suprimento de energia externa e água no estado líquido. O ciclo da água é caracterizado por um depósito atmosférico pequeno porém extremamente dinâmico, sendo inclusive responsável pela caracterização dos diversos climas terrestres.

As reservas de água nos continentes são alimentadas pela precipitação atmosférica (chuvas, neves e granizos), uma vez que chove proporcionalmente mais nos continentes se comparados às áreas oceânicas. Grandes regiões do planeta tais como o vale do Mississipi (USA), Europa e Amazônia oriental recebem a maior parte de precipitações através de massas de ar oriundas dos oceanos.

O volume total de água da biosfera é de cerca de 1,5 bilhões de quilômetros cúbicos. Esta água está distribuída de modo muito desigual pela superfície da Terra cuja superfície total é de 512 milhões de Km². A maior parte da água está no mar (97%). Os 3% restantes são constituídos por água doce (a maior parte em geleiras). O depósito de águas subterrâneas é muito maior do que o de águas superficiais. Rios e lagos contribuem muito pouco para o total de água doce existente mas eles são essenciais para a renovação do ciclo já que o tempo de renovação médio das águas superficiais é pequeno (ao redor de 1 ano). Outro fator que influencia a distribuição mundial das águas é a latitude principalmente alterando os totais pluviométricos.

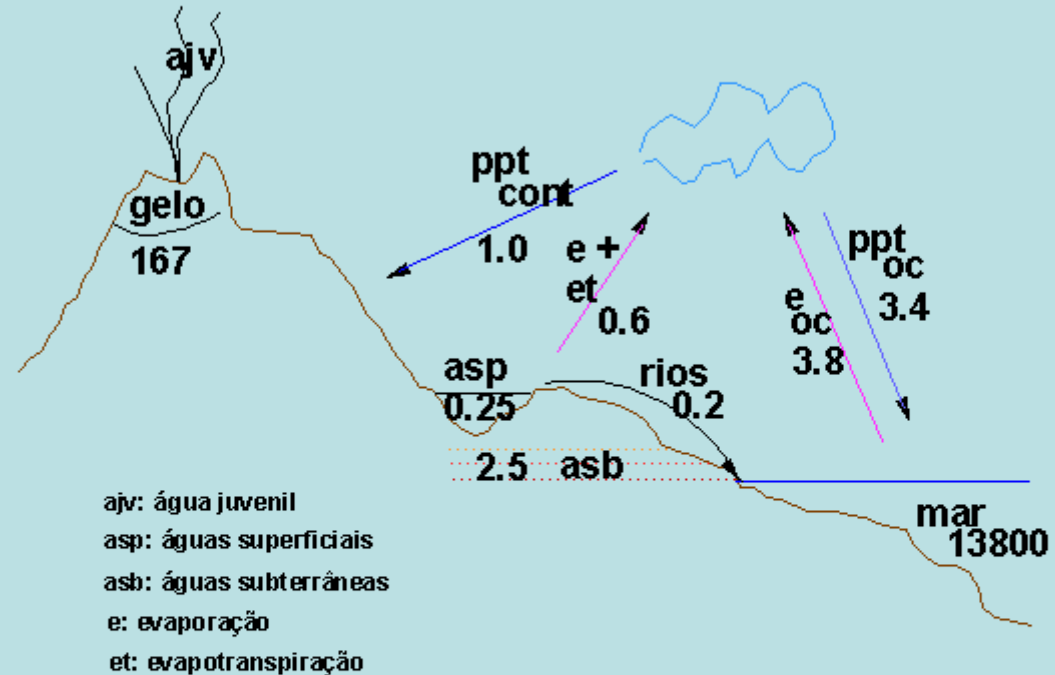


Ciclo da Água

A água é uma substância vital para a biosfera. É solvente universal graças a sua estrutura atômica com elevada constante dielétrica. Ela forma soluções iônicas e colóides com miscelas de carga eletrostática com grande facilidade. Além disso, suas pontes de hidrogênio permitem a estabilidade da fase líquida numa amplitude térmica muito grande (0 a 100 C).

A estrutura química da água também possibilita a formação de soluções não eletrolíticas. A água ainda apresenta grande capacidade em dissolver gases tais como o oxigênio e o gás carbônico.

Esta capacidade é no entanto muito influenciável pela temperatura, pressão e tipo do gás.



em geogramas (Gg)

$$1 \text{ Gg} = 1.0 \text{ g}^{20}$$



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

Comportamento Anômalo da Água e a manutenção da vida

Outra característica fundamental à vida da água refere-se ao seu comportamento anômalo em relação à densidade. Ela expande quando é resfriada de 4 C a 0 C. A densidade da água a 4 C é 1,0 e a 0 C é de 0.92. Assim a água congela-se de cima para baixo. Este fato explica porque é possível a vida aquática (aliás intensa) nas zonas polares.

A água apresenta maiores variações de densidade a um mesmo delta t a maiores temperaturas. Este fato explica porque pequenas variações térmicas em mares e lagos tropicais podem causar estratificação térmica relativamente resistentes à ação do vento (Figura 2).

Cerca de 70% da superfície da Terra é coberta por água.



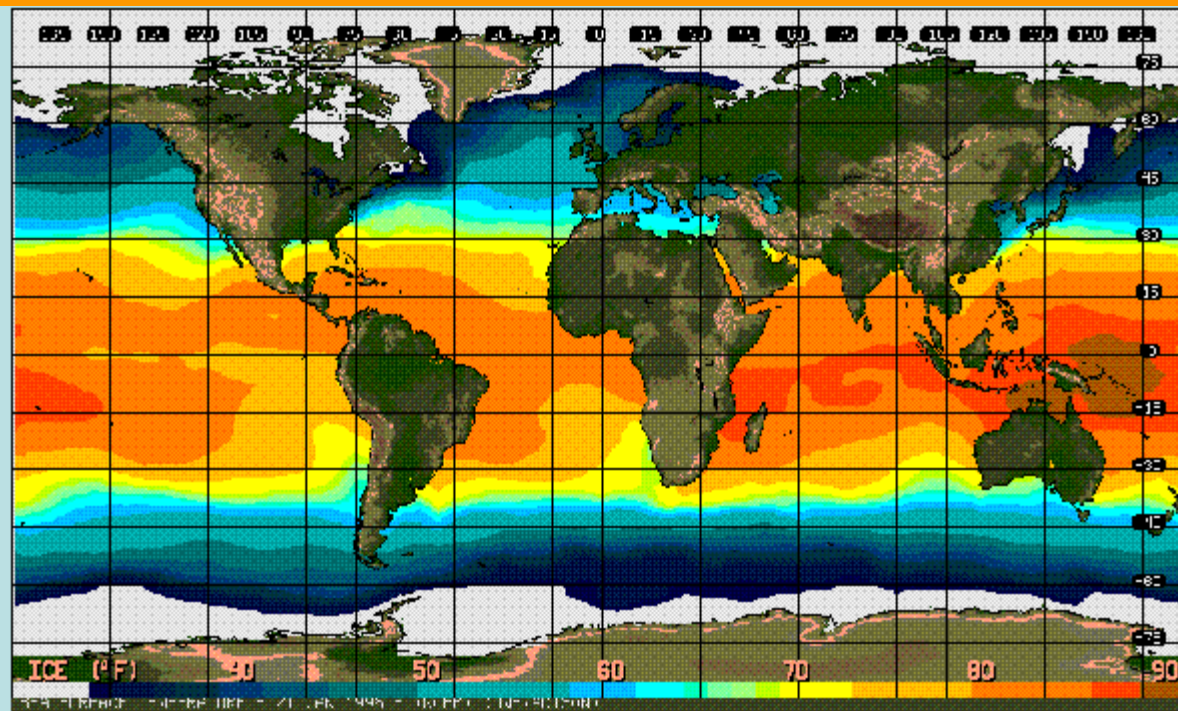
A Água e o Clima

Outra importante característica da água são os seus elevados calores latentes de evaporação ($L_v = 590 \text{ cal.g}^{-1}$) e fusão ($L_f = 80 \text{ cal.g}^{-1}$). Deste modo a água 'exige' o aporte de grandes quantidades de energia para trocar o seu estado físico, conferindo-lhe uma elevada inércia térmica que resulta numa 'demora' em aquecimento e resfriamento.

Estas propriedades são extremamente importantes no estabelecimento das características climáticas. Diferenças de temperaturas causam diferenças na densidade da água que aliada à ação dos ventos geram as correntes oceânicas (Figura 3).

Existem tanto correntes frias quanto correntes quentes. As correntes frias trazem águas ricas de nutrientes incrementando a produção biológica nas áreas sob a sua influência. No entanto, essas correntes causam também grande aridez nas faixas continentais que são por elas banhadas, graças a pouca evaporação associada às correntes frias. As correntes quentes, ao contrário, mantém a estratificação da coluna d'água e, com isto, impede a fertilização continuada das águas superficiais. Deste modo, suas águas são pobres em termos de produção biológica. As correntes quentes, por outro lado, amenizam o clima na faixa continental sob sua influência trazendo chuvas e amenizando o inverno nas altas latitudes. O clima da Inglaterra, por exemplo, é muito amenizado pela corrente quente Corrente do Golfo (*Gulf Stream*).



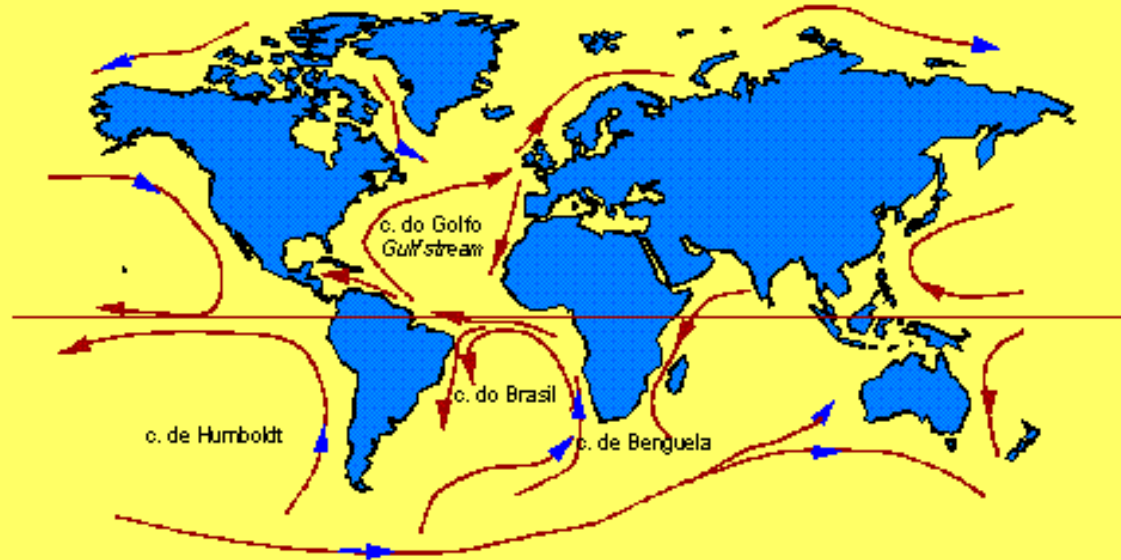


A estratificação térmica em lagos e mares é muito importante pois implica numa estratificação química e muitas vezes numa estratificação biológica. Naturalmente, tal característica implica em importantes consequências para todos os demais ciclos biogeoquímicos em ambiente aquático.

Figure 2 Simulação a partir de dados de sensoriamento remoto fornecendo as temperaturas nos oceanos da Terra (modif. sat. NOAA USA).



Correntes oceânicas



As grandes massas de água estão nos oceanos onde acham-se em contínuo movimento. As correntes marítimas são cruciais para o estabelecimento dos padrões globais de circulação atmosférica e do clima.



RMPC

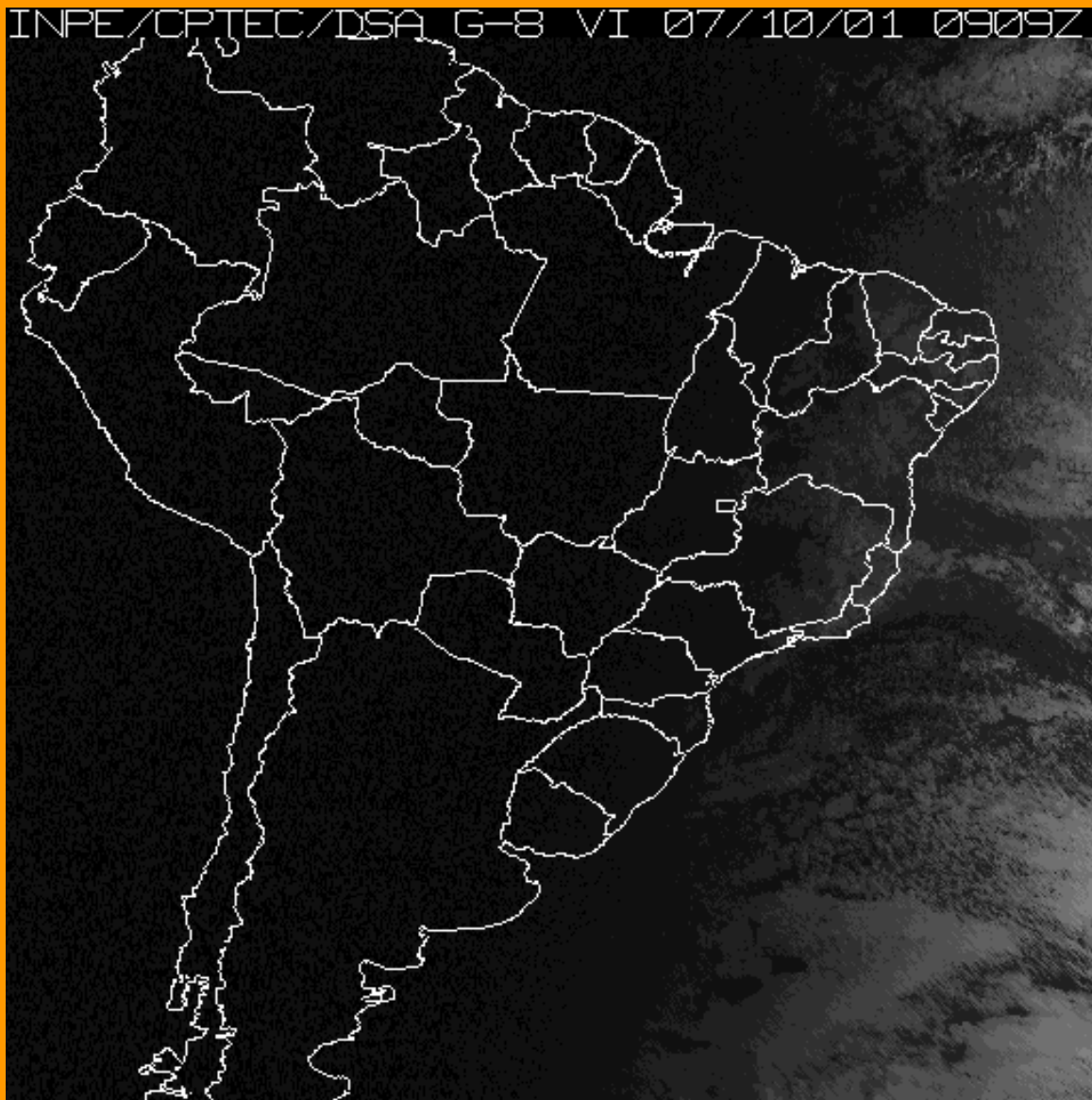
& Consultores em Recursos Hídricos

O Oceano Atlântico e as Chuvas no Brasil

Segundo o esquema anterior, os oceanos estão exportando água para os continentes. Isso se dá pela penetração de ar úmido a partir dos oceanos.

Esse fenômeno pode ser observado na animação ao lado, de sucessivas imagens do satélite meteorológico GOES, processadas pelo INPE em Cachoeira Paulista, SP.

As imagens referem-se ao período 6-7 de outubro de 2001.



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

Ciclo do Carbono

O ciclo do carbono tem uma renovação mais lenta e um tempo de residência maior do que o ciclo do água. A maior parte do carbono da biosfera encontra-se sob a forma de carbonatos dissolvidos na água dos mares profundos. Desse modo, para se entender o funcionamento do ciclo do carbono é necessário conhecer as principais vias desse ciclo nos oceanos.

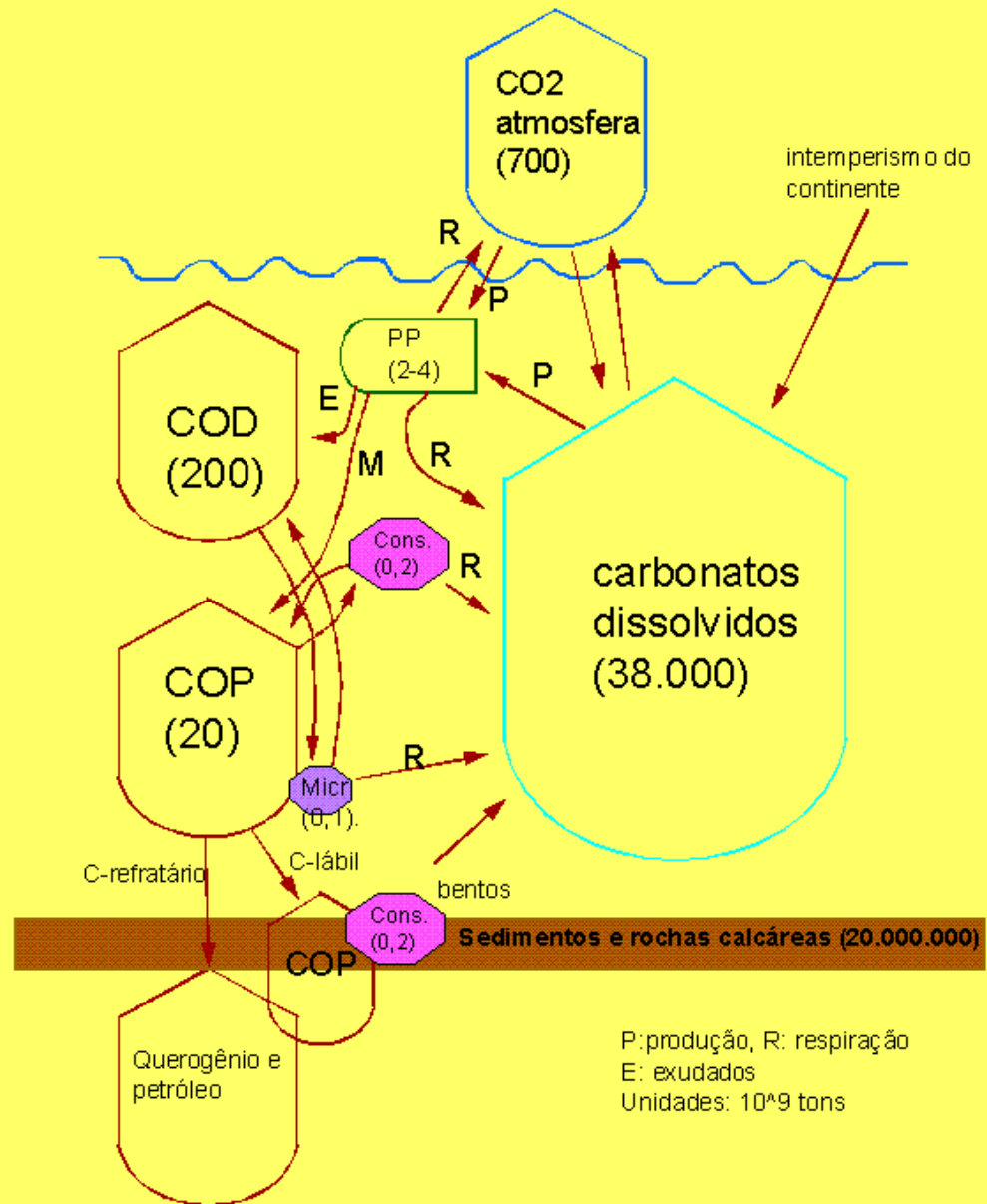
Além dos carbonatos dissolvidos, o carbono pode estar estocado em grandes quantidades nos sedimentos marinhos que formam os precursores do petróleo (querogênio). Existem ainda consideráveis quantidades de carbono orgânico (dissolvido COD) e particulado nas águas dos mares. Todo esse carbono é continuamente reciclado dentro da cadeia planctônica (fitoplâncton, zooplâncton e nécton). que o devolve ao compartimento inorgânico via respiração. Os carbonatos podem ainda serem direcionados à atmosfera e vice versa.



Ciclo do Carbono (1)

O ciclo do carbono é um ciclo misto, e também possui um pequeno depósito atmosférico. O CO₂ é responsável por cerca de 0.033 % da composição gasosa total da atmosfera terrestre.

Atualmente (nos últimos dois séculos), o conteúdo de CO₂ (g) vem sendo afetado pelas atividades humanas, principalmente pela queima de combustíveis fósseis e por incêndios florestais.



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

Ciclo do Carbono (2)

O ciclo do carbono é um dos ciclos mais influenciados por atividades antrópicas. As principais formas dessa interferência são através da queima de matéria orgânica: combustíveis fósseis e pela queima de florestas.

Nos países de clima temperado e frio, são alocadas grandes quantidades de gás natural e óleo para a produção de calor destinado ao aquecimento. Adicionalmente, os países industrializados, ao privilegiarem de forma indiscriminada o transporte individual em veículos equipados com motores à explosão, também contribuem de forma expressiva para a liberação de CO_2 para a atmosfera.

Os países com grandes extensões florestais, principalmente na faixa tropical, tem gerado um impacto adicional nessa emissão de gás carbônico. Muitas vezes, no entanto, os países situados na região tropical tem sido injustamente acusados pela comunidades dos países industrializados como sendo os maiores responsáveis pela crescente emissão de CO_2 .

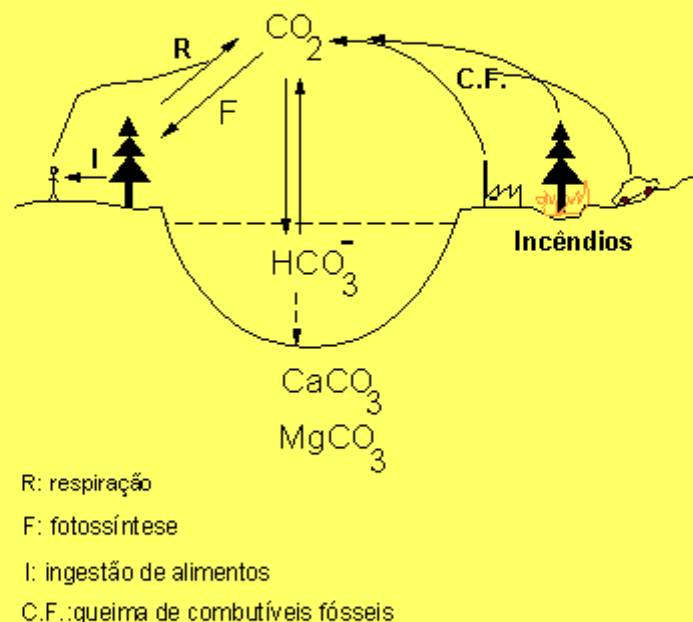


Figure 2 Interferências humanas no ciclo do carbono



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

Em 1970, foram liberados por esta via cerca de 8 bilhões de toneladas de CO₂. Esta molécula é capaz de absorver relativamente mais radiação infravermelho proveniente do sol do que as moléculas de nitrogênio e oxigênio. Deste modo, apesar de sua pequena dimensão, o depósito atmosférico do carbono tem a capacidade de influenciar o clima da terra, pois um pequeno aumento nas concentrações de CO₂ atmosférico pode estar associado a um aumento da temperatura média da Terra. A este fenômeno dá-se o nome de "efeito estufa". Outras moléculas gasosas monocarbônicas, tais como o metano (CH₄), também podem contribuir para o agravamento deste fenômeno. O metano é originário nas zonas da biosfera onde predomina o metabolismo anaeróbico. Nesta região irão proliferar várias bactérias anaeróbicas, dentre elas as bactérias metanogênicas que produzem o metano. Salinas de evaporação da água do mar, arrozais e demais áreas alagadas rasas com elevados teores de matéria orgânica em geral são os ambientes onde existem as maiores emissões de metano.

Ciclo do Carbono e o Efeito estufa

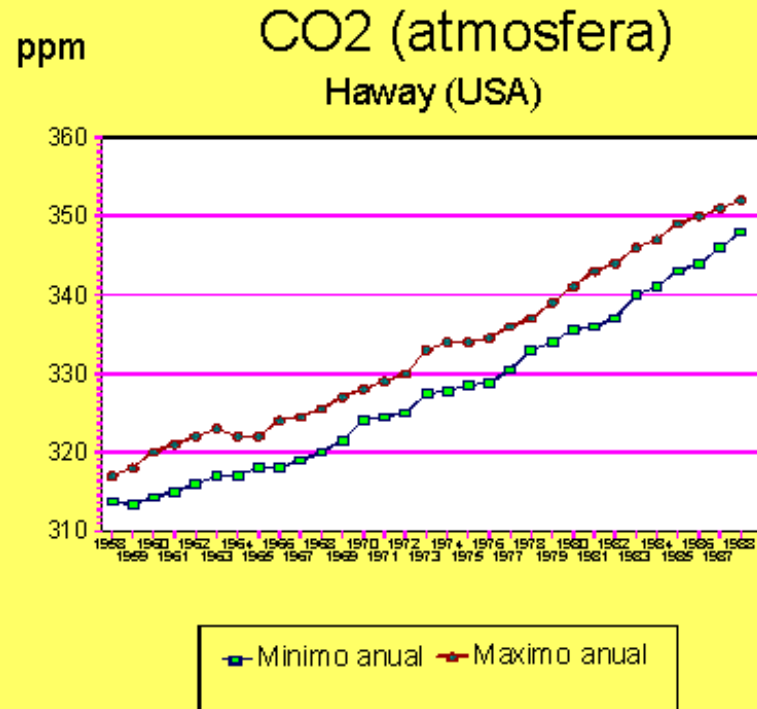


Figure 3 Concentrações de CO₂ atmosférico no Haway nas duas últimas décadas (modif. de Krebs, 1994).

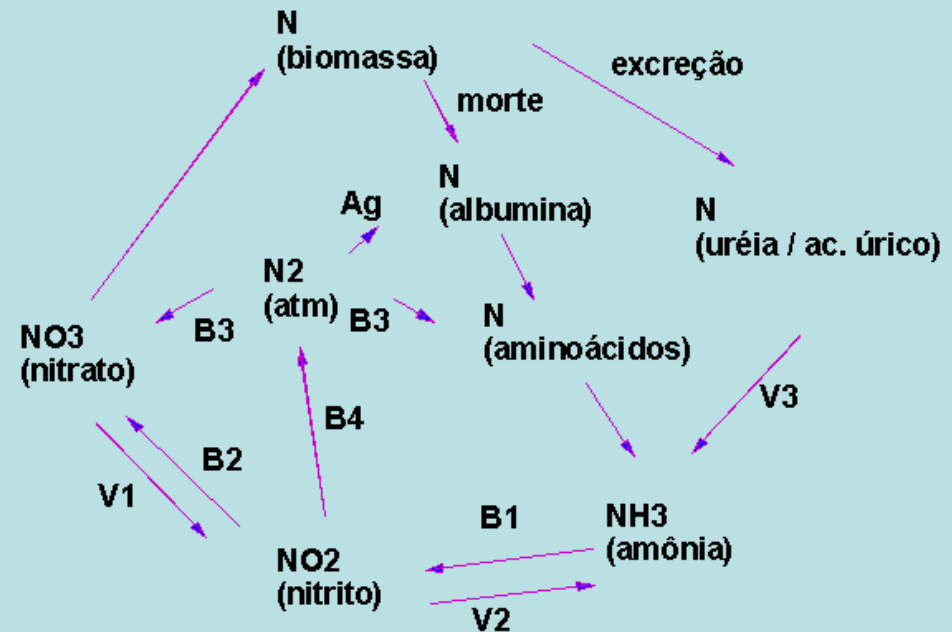


RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

Ciclo do Nitrogênio

É um ciclo tipicamente gasoso. O depósito abiótico encontra-se sob a forma de $N_2(g)$, que compõe cerca de 79% (p/p) da atmosfera. O nitrogênio atmosférico pode ser fixado com aporte de energia seja por via orgânica seja por via inorgânica. A forma usual de incorporação do nitrogênio pelas plantas é sob a forma de nitrato ou de amônia. Na biomassa, o nitrogênio desempenha um papel fundamental como elemento estrutural de praticamente todas as classes de compostos bioquímicos (proteínas, ácidos nucleicos, lipídeos, etc). O nitrogênio volta ao pool abiótico via excreção de uréia, amônia ou ácido úrico ou então por decomposição bacteriana e fúngica de cadáveres. Por ação bacteriana, ele é rapidamente oxidado de nitrogênio albuminóide a amônia, nitrito e nitrato



B1: *Nitrosomonas* sp.

B2: *Nitrobacter* sp.

B4: Bact. desnitrificantes

B3: Bact. nitrificantes (ex: *Rhizobium* sp.)

Ag: Algas nitrificantes (ex: *Nostoc* sp.)

V1: Varias bacterias

V2: Varias bacterias (ex: *Clostridium* sp.)

V3: Varios organismos (ex: *Urobacillus* sp.)



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

Fixação Biológica do Nitrogênio Atmosférico (N₂)

Table I Bactérias fixadoras de nitrogênio gasoso (N₂).

Tipo de bactéria fixadora de N ₂	Exemplos
Vida livre	<i>Azotobacter sp.</i> (aeróbica) <i>Clostridium sp.</i> (anaeróbica) <i>Pseudomonas sp.</i>
Simbiontes	<i>Rhizobium sp.</i> <i>Spirillum lipoferum</i>
Purpúreas	<i>Rhodospirillum sp.</i>
Cianobactérias	<i>Nostoc sp.</i> <i>Anabaena sp.</i>

A fixação biológica do nitrogênio atmosférico é muito importante sob o aspecto ecológico e é feita graças a ação de certas bactérias e algas. Ela ocorre em meio anaeróbico e requer aporte de energia. Ambas condições estão presentes nos nódulos das raízes de leguminosas e nos heterocistos das algas azuis. O cobalto e o molibdênio são importantes uma vez que estão nas enzimas que catalizam do processo. Várias bactérias sejam elas de vida livre ou não são capazes de fixar o nitrogênio (Tabela 1).

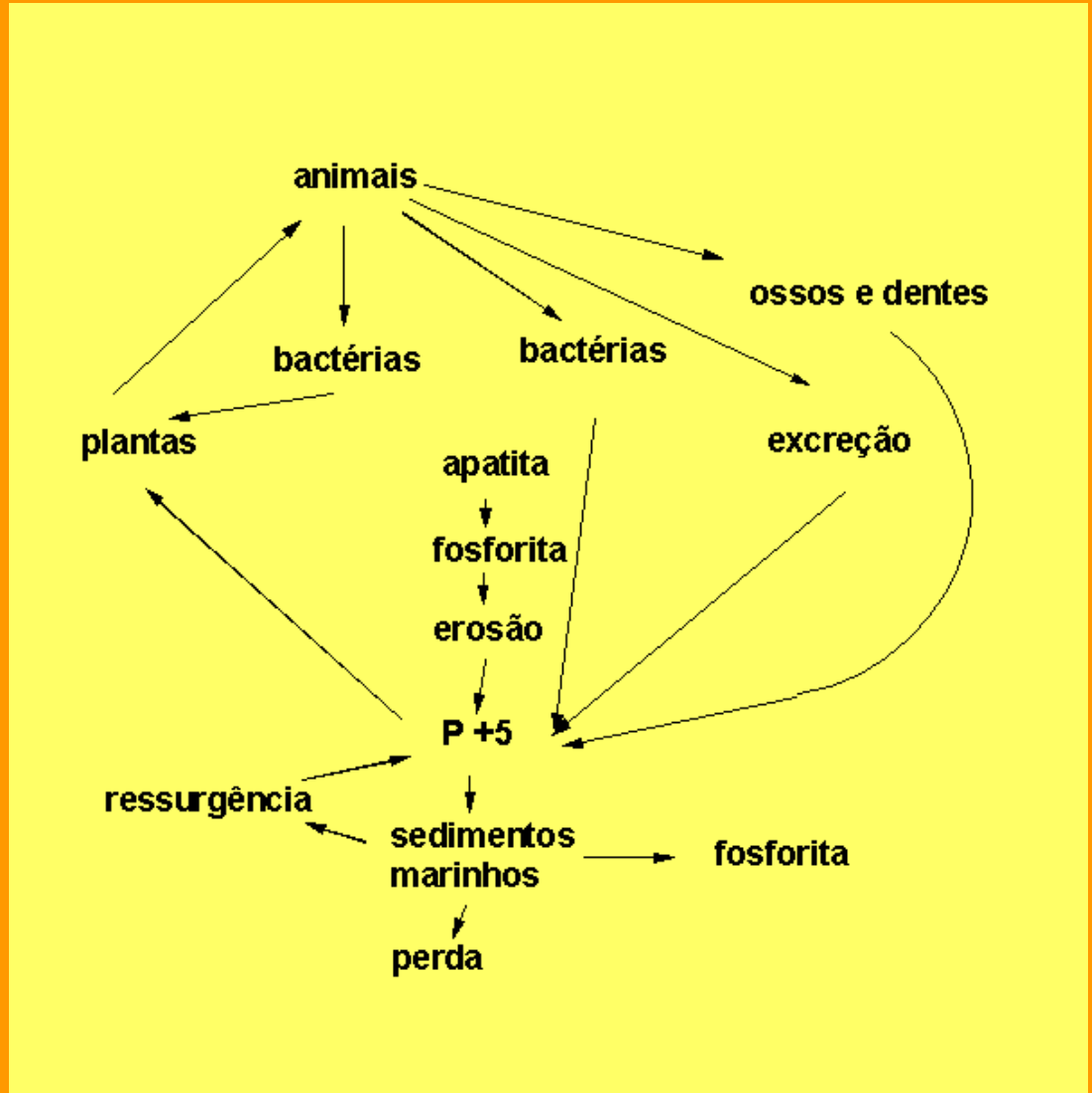
É um ciclo tipicamente sedimentar. O fósforo inorgânico é absorvido pelos vegetais sob a forma de ortofosfato (PO_4^{3-}). Na maioria dos ecossistemas, as quantidades disponíveis de ortofosfato seja no solo seja na água são muito baixas e este elemento é o fator limitante da produção biológica.

A eutrofização de corpos d'água, caracterizada por aumento desequilibrado da produção primária, é muitas vezes causada pelo aporte externo de fósforo. Deste modo, o entendimento dos mecanismos que contribuem para aumentar a taxa de circulação do fósforo entre o pool inorgânico e a biomassa são fundamentais em Ecologia.

A determinação destas taxas é tão importante quanto a delimitação das quantidades presentes nos diversos compartimentos do ecossistema (pool inorgânico, biomassa vegetal, animal, detritos, etc.).

As principais taxas metabólicas que afetam a ciclagem de fósforo nos diversos ecossistemas seriam as seguintes: a) taxa de absorção de fósforo pelos vegetais; b) taxa de consumo de vegetais pelos herbívoros; c) taxas de excreção de fósforo pelos heterótrofos mais abundantes e d) taxa de remineralização de fósforo pelos microorganismos decompositores (bactérias, fungos e levedura

Ciclo do Fósforo

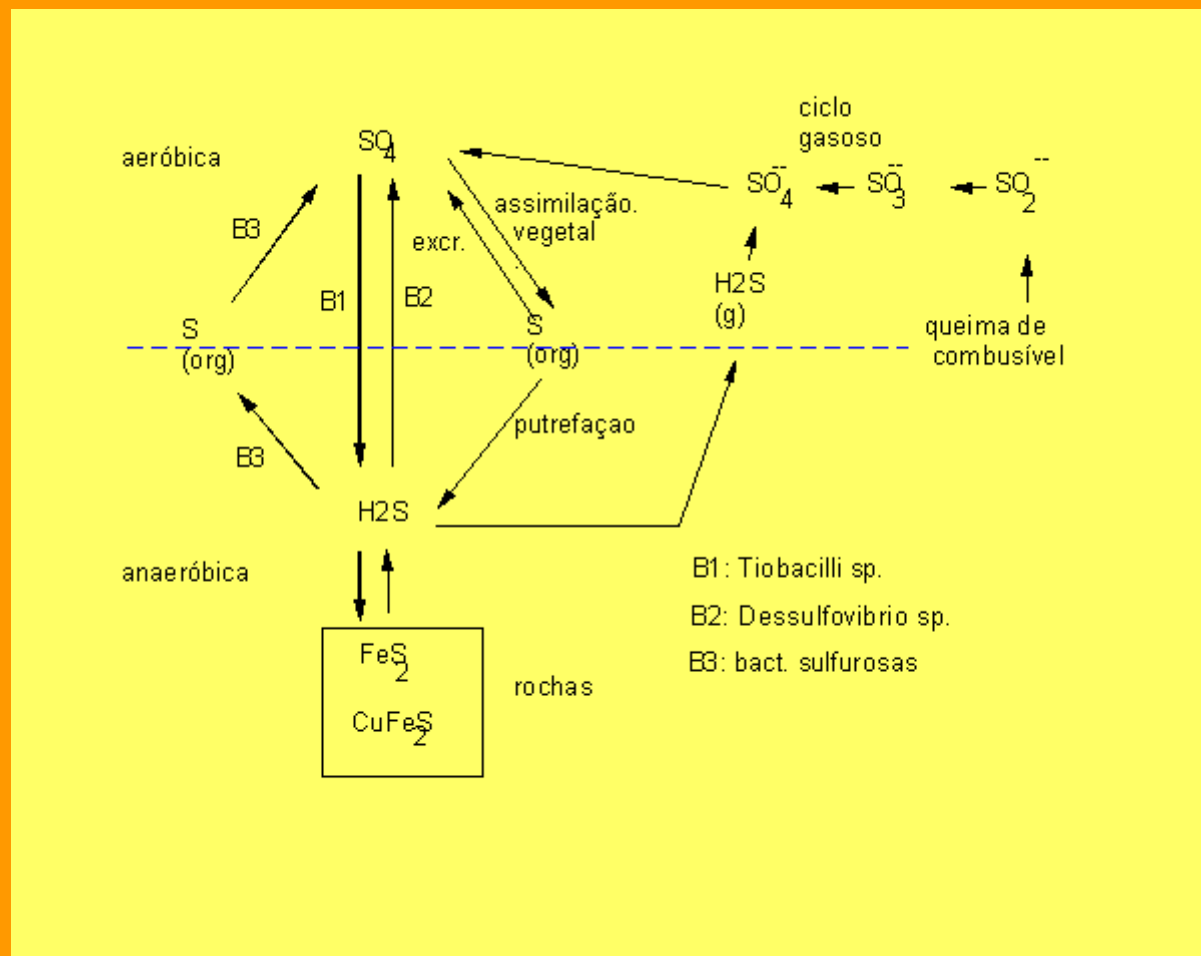


RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

Ciclo do Enxofre

É um ciclo misto. A componente sedimentar é representada pelas rochas pirita e calcopirita. No meio aquoso, as formas do enxofre vão depender do estado de oxidação do meio. Em condições oxidantes (meio aeróbico) o enxofre encontra-se sob a forma de sulfatos (SO_4^{--}) e em condições redutoras sob a forma de sulfetos (S^{2-}). A ciclagem do enxofre é muito influenciada pela ação bacteriana.



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

Aplicações do Estudos dos Ciclos Biogeoquímicos

Exemplos práticos do uso aplicado do estudo quantitativo dos ciclos biogeoquímicos

Controle e monitoramento de poluição

Estabelecimento de técnicas de manejo sustentado de ecossistemas (ex: na Aquicultura (capacidade de suporte)

Determinação e controle da perda de fertilizantes na agricultura

Uso racional de recursos hídricos e de minerais não renováveis

Difusão da agricultura 'biológica'

Controle do aumento de CO₂ e do CH₄ na atmosfera.

Implementação da reciclagem (urbana, industrial e agrícola).





Ricardo Motta Pinto Coelho, MSc, Dr. Rer. Nat
RMPC Consultores em Recursos Hídricos
Rua das Hortênsias, 800
Morro do Chapéu
34.000-000 NOVA LIMA (MG)
Tel; 031 3517 9793
E-mail: rpcoelho@globo.com
URL: <http://www.rmpcecologia.com>

RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos