

# RESERVATÓRIOS E MUDANÇAS NO CLIMA

**XXVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens**

Rio de Janeiro, Brasil

28 de Outubro de 2011



**Eduardo Cardoso Filho**  
Secretariado da UNFCCC

## Um pouco de história

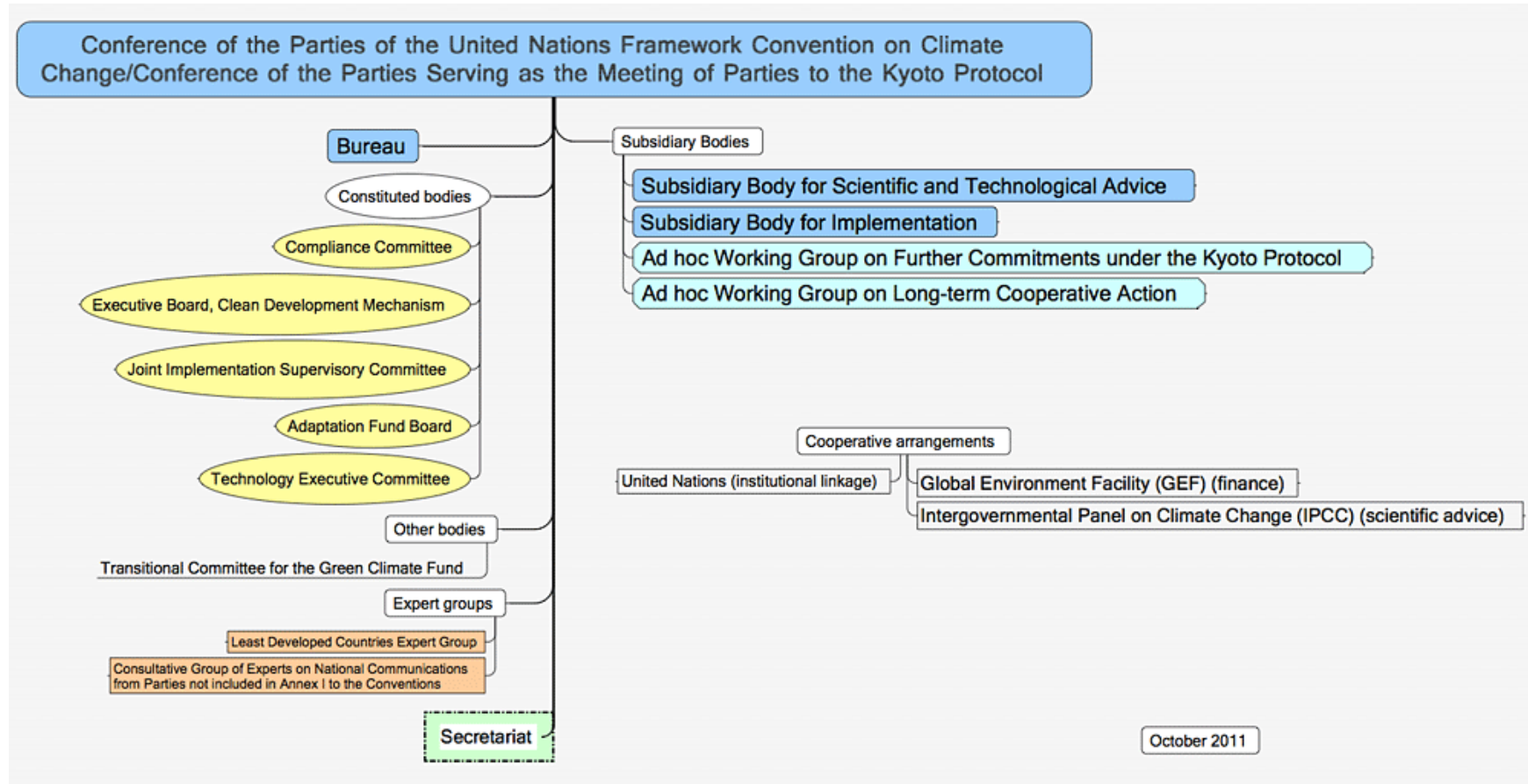
- 1990: IPCC publica um relatório alertando sobre os impactos das mudanças do clima;
- 1992: Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudança do Clima (UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change) foi aberta para assinaturas durante a Eco/92, e adotada ainda em 1992;
- Todas as Partes signatárias da Convenção estão sujeitas a cumprir compromissos gerais como resposta à mudança do clima, como a elaboração de inventários de emissões de GEE e de relatórios com as ações tomadas para implantar a Convenção;
- Divisão das Partes em 2 grandes grupos, com diferentes compromissos:
  - a) Anexo I: países desenvolvidos e países com economia em transição;
  - b) Não-Anexo I: países em desenvolvimento/subdesenvolvidos;
- Partes devem se reunir anualmente nas COPs (Conferência das Partes) para:
  - a) Rever a implantação da Convenção;
  - b) Negociar novos compromissos;
  - c) Adotar decisões para desenvolver as regras da Convenção

## Protocolo de Kyoto

- Adotado na COP-3, em Kyoto;
  - O objetivo é estabilizar as emissões de GEE para a atmosfera, de modo a prevenir mudanças bruscas no clima;
    - a) Partes do Anexo I devem desenvolver políticas internas para reduzir as emissões de GEE, desde que não produza impactos adversos nas Partes Não-Anexo I;
    - b) Todas as Partes devem cooperar na pesquisa do sistema climático, desenvolver e disseminar tecnologias limpas, educar e informar sobre os perigos da mudança do clima;
  - Detalha os compromissos de países industrializados (Anexo I): reduzir as emissões de GEEs em 5% aos níveis de 1990;
  - Institui 3 mecanismos para que as Partes do Anexo I atinjam esse objetivo:
    - a) Comércio de Emissões (ET): entre as Partes do Anexo I (somente comércio);
    - b) Implementação Conjunta (JI): entre as Partes do Anexo I (projetos de reduções de emissões);
    - c) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM): entre Partes do Anexo I e Partes Não-Anexo I (projetos de reduções de emissões em Países Não-Anexo I);
- 



# Estrutura da Convenção



## Principais Órgãos da Convenção

- **SBSTA - Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice:** fornece informações e conselhos sobre assuntos científicos e tecnológicos;
- **SBI - Subsidiary Body for Implementation:** avalia e revê a implementação efetiva da Convenção;
- **AWG-KP - Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol:** discute os compromissos futuros dos países industrializados dentro do PK;
- **AWG-LCA - Ad hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention:** tem como objetivo a implantação de um processo compreensível para permitir a implantação total, efetiva e sustentável da Convenção, através de cooperações de longo-prazo;
- **CDM-EB:** supervisiona o CDM;
- **JISC:** supervisiona o JI;
- **AFB - Adaptation Fund Board:** supervisiona e gerencia o Fundo de Adaptação, cujo objetivo é financiar projetos e programas de adaptação em países vulneráveis;
- **Secretariat:** Secretariado da Convenção;

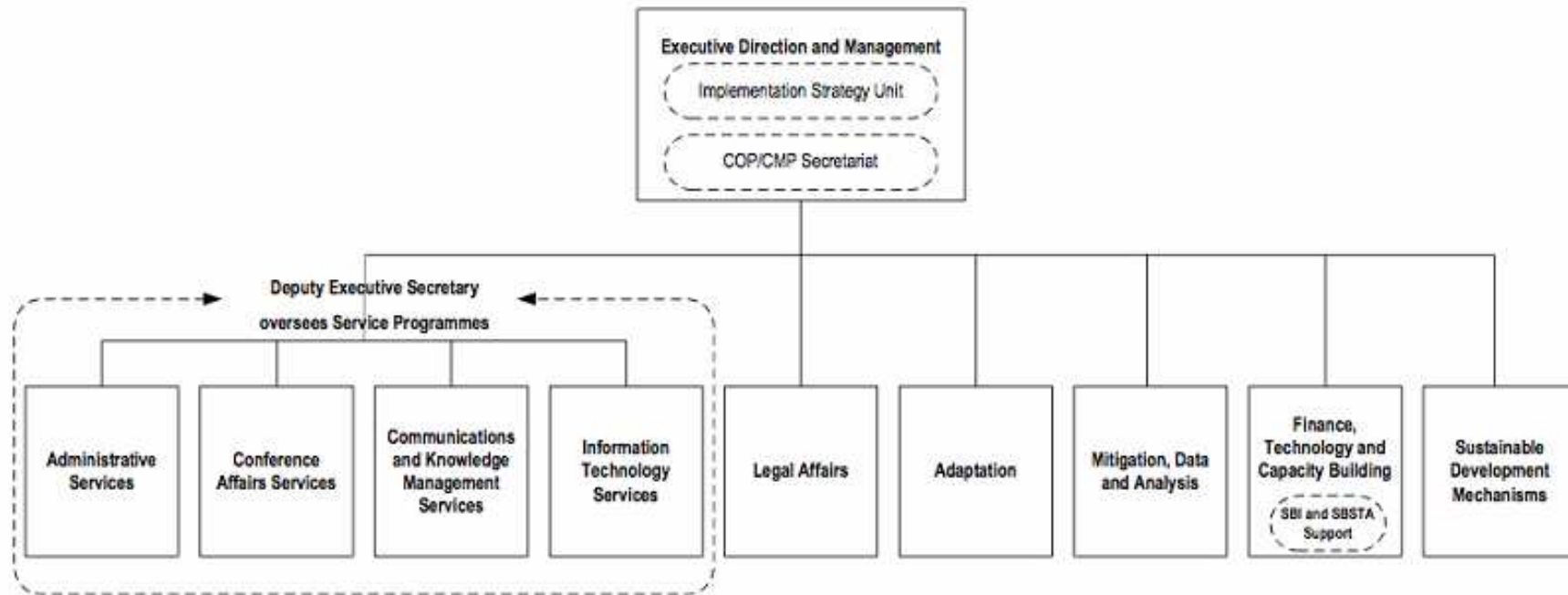


## O que é o Secretariado?

- É a estrutura de suporte da Convenção e do Protocolo;
  - a) Suporte às negociações;**
    - Preparar as sessões da Convenção e do Protocolo;
    - Preparar os documentos da Convenção e do Protocolo;
    - Monitorar a implementação dos compromissos assumidos na Convenção e no Protocolo;
    - Auxiliar as Partes na implementação dos compromissos;
  - b) Suporte aos mecanismos;**
    - Dar suporte na regulamentação e gestão do CDM;
      - Desenvolvimento de metodologias e procedimentos, avaliação de projetos;



# Estrutura do Secretariado

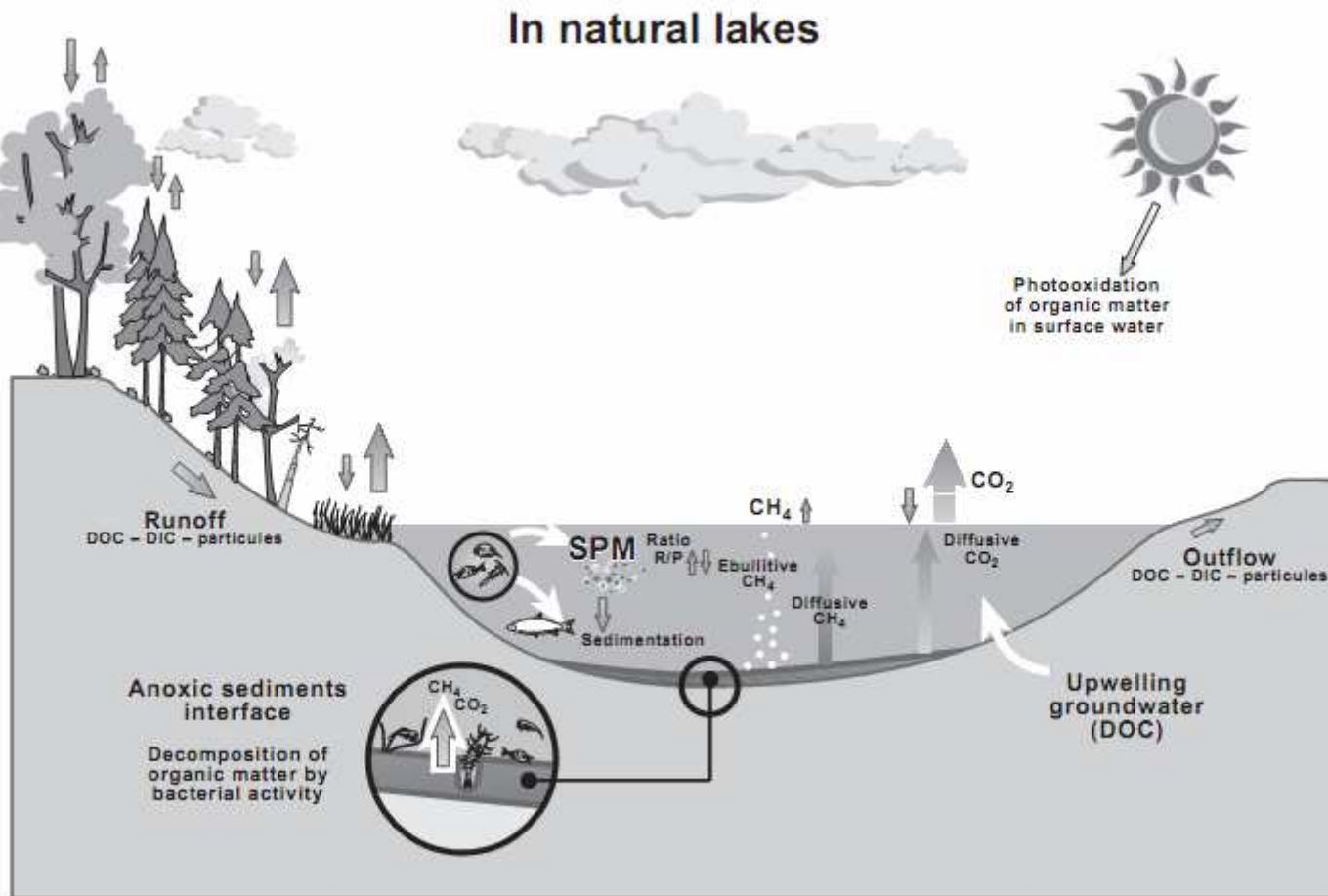


## Afinal, hidroeletricidade não é uma forma de energia “limpa“?

- Uso de um recurso natural renovável
- Depende exclusivamente da energia potencial da água
- Sem emissões de CO<sub>2</sub> **na geração**
- SIM, É UMA DAS FORMAS DE ENERGIA MAIS LIMPAS, Porém, existe um pouco de “sujeira”

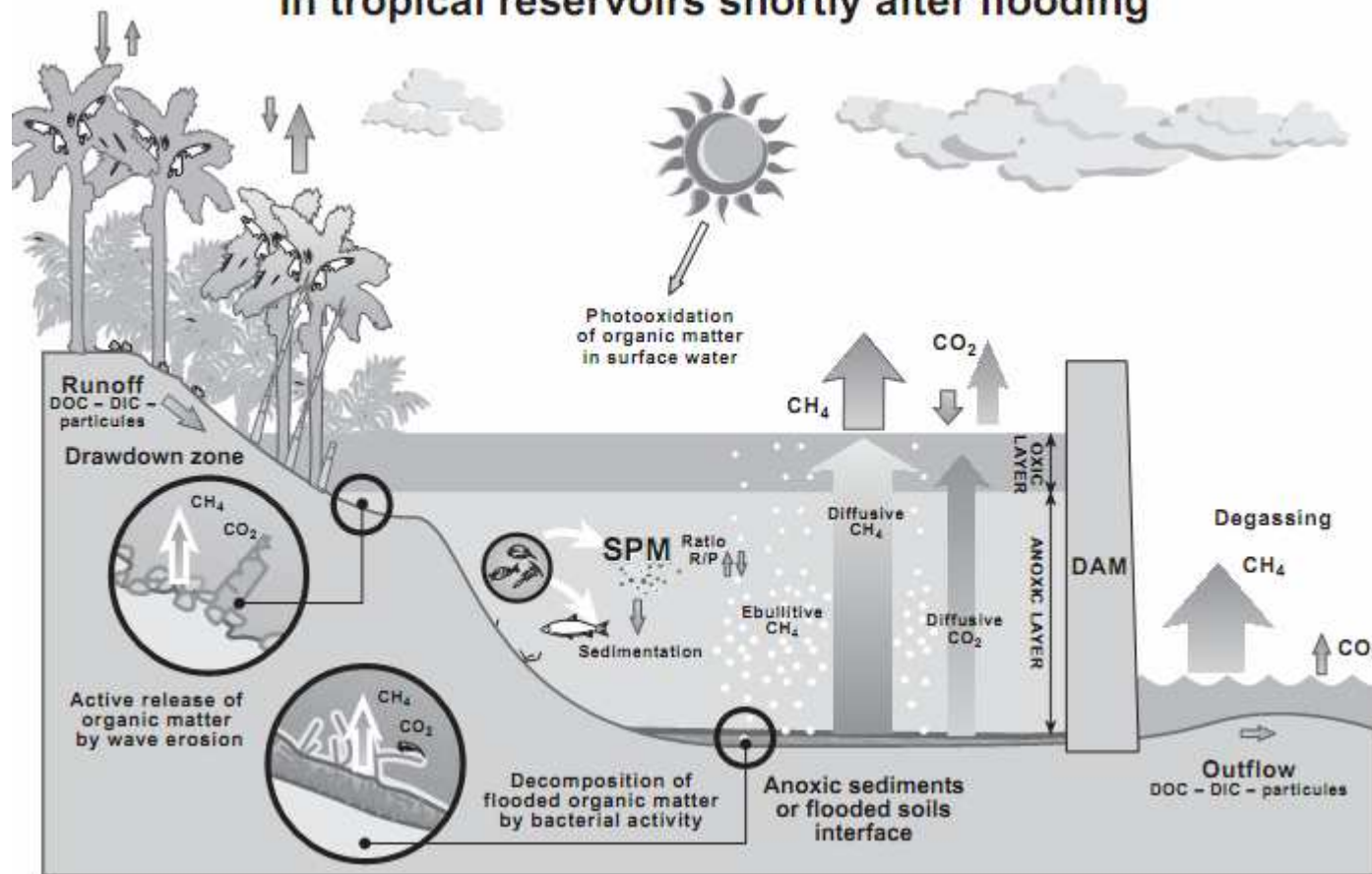
- Decomposição da matéria orgânica emite  $\text{CH}_4$  (anaeróbia) e  $\text{CO}_2$  (anaeróbia + aeróbia);
- Parte do  $\text{CO}_2$  produzido é consumido durante a fotossíntese por micro-algas;
- Equilíbrio atingido



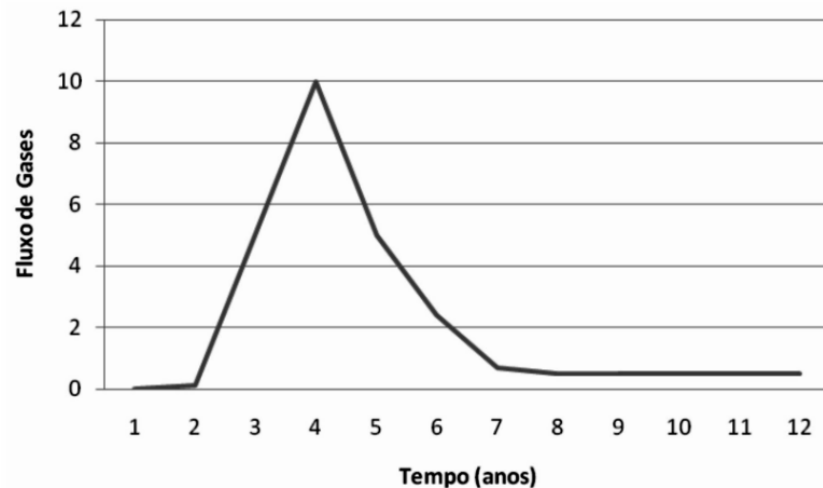


- Após o enchimento do reservatório, espera-se um aumento nas emissões de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ :
  - a) Decomposição da biomassa inundada (pré-existente)
  - b) Decomposição da biomassa GERADA (organismos, micro-algas);
- Os gases são emitidos na forma de bolha ou por difusão molecular
  - a) O metano emitido por difusão pode ser oxidado a  $\text{CO}_2$  nas camadas oxigenadas da coluna d'água;
  - b) O  $\text{CO}_2$  dissolvido é consumido na fotossíntese

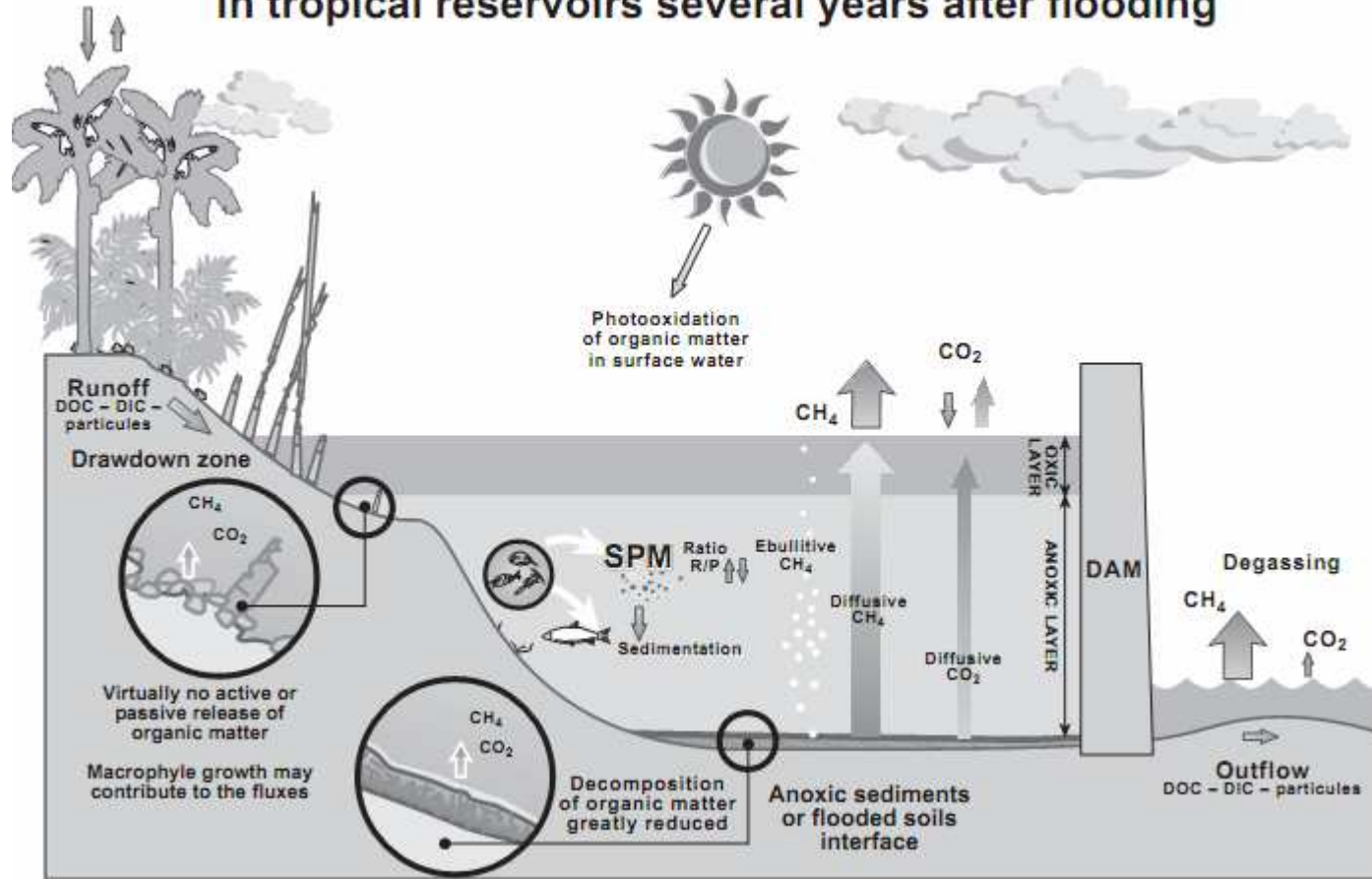
### In tropical reservoirs shortly after flooding



- Após anos, as emissões dos reservatórios tendem a se estabilizar, voltando a condições semelhantes à dos lagos
  - a) De 3 a 5 anos, as taxas de emissões aumentam (decomposição, principalmente, da biomassa pré-existente);
  - b) De 5 a 10 anos, as taxas de emissões diminuem (decomposição, principalmente, da biomassa produzida);
  - c) Após 10 anos, as taxas se mantêm constantes;



### In tropical reservoirs several years after flooding



- As emissões de GEEs não são constantes e podem flutuar ao longo do tempo em função de:
  - a) Latitude do reservatório
    - temperatura ambiente
    - Ventos
    - insolação;
  - b) Parâmetros físicos e químicos da água
  - c) Composição da biosfera
  - d) Taxas de fotossíntese
  - e) O tipo de carbono no solo (carbono orgânico / inorgânico);
  - f) Concentração e tipos de nutrientes dissolvidos
- Outro importante fator: **remoção da biomassa** antes do enchimento do reservatório

Quanto os reservatórios emitem?

Usina	Emissão Média	Emissão Média	Área Total	Emissões Diárias	Emissões Diárias	Emissões Diárias
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2,eq</sub>
	kg/km <sup>2</sup> /dia	kg/km <sup>2</sup> /dia	km <sup>2</sup>	t/dia	T/dia	t/dia
Tucuruí	109,95	8.474,61	4.988,05	548,44	42.271,75	53.788,99
Samuel	104	7.447,54	1.009,14	104,95	7.515,61	9.719,56
Xingó	38,23	6.048,05	5.223,55	199,67	31.592,29	3.163.422,07
Serra da Mesa	51,14	3.973	2.034,46	104,04	8.082,91	10.267,75
Três Marias	196,64	1,137,62	2.387,22	469,41	2.715,74	12.573,35
Miranda	153,95	4.387,72	3.192,47	491,48	14,007,66	24.328,74
Barra Bonita	21,99	3.891,10	10.909,09	239,89	42.448,35	47.486,04
Itaipu	20,78	170,57	1.589	33,02	271,04	964,46
Segredo	8,79	2.695,07	1.152,02	10,13	3.104,78	3.317,51
<b>Total</b>			<b>32.485</b>	<b>2,201,03</b>	<b>152.010,12</b>	<b>198.231,75</b>

Fonte: dos SANTOS, M,A,S,; ROSA, L,P,; *“Options for Monitoring Emissions of GHGs: Providing Thresholds and Criteria for Hydroelectric Reservoirs”*; Technical Paper; November, 2005

Representa 5,4% das emissões de CO<sub>2</sub> do Brasil em 1990 e 6% das emissões de CH<sub>4</sub>



- Os valores medidos ilustram as emissões do reservatório, o que inclui também as **emissões pré-enchimento**;
- A incerteza em extrapolar os valores medidos para os outros reservatórios é muito grande porque:
  - a) Condições climáticas não são as mesmas;
  - b) Qualidade da água pode ser diferente;
  - c) Tipo de biomassa pré-enchimento varia de região para região;
  - d) Profundidade do reservatório



- Uma abordagem com base na comparação entre a geração térmica fóssil e a de reservatórios hidrelétricos;
  - a) Calcular e caracterizar as emissões por térmicas fósseis com a mesma geração de energia equivalente às hidrelétricas
    - Tipo de combustível (carvão, gás, óleo, etc);
    - Eficiência da planta (turbinas a vapor, ciclo combinado, turbinas a gás/diesel/óleo combustível);
    - Resultado: intervalo de emissões entre **404 - 920 gCO<sub>2</sub>e/kWh**;
  - b) De acordo com um levantamento feito no Brasil, o intervalo de emissões de reservatórios situa-se entre 2,9 – 11 gCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/dia
  - c) Aplicando um fator de capacidade igual a 60% para uma usina com densidade de potência (**hipotética**) igual a 10 W/m<sup>2</sup>, chega-se a **20,14 - 76,4 gCO<sub>2</sub>e/kWh**;
- As emissões de reservatórios representam **até 19%** das emissões de uma usina a ciclo combinado;



- Assumindo:
  - a) Fator de Capacidade = 60%
  - b) Limite Inferior de emissão do Reservatório = 1,058 gCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>;
  - c) Limite Superior de emissão do Reservatório = 4,015 gCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>;
  - d) Área do reservatório = 1m<sup>2</sup>;

Densidade de Potência (W/m <sup>2</sup> )	Energia Produzida (kWh)	Limite Inferior (gCO <sub>2</sub> /kWh)	Limite Superior (gCO <sub>2</sub> /kWh)
10	52,56	20,14	76,39
9	47,304	22,38	84,88
8	42,048	25,17	95,49
7	36,792	28,77	109,13
6	31,536	33,56	127,31
5	26,28	40,28	152,78
4	21,024	50,35	190,97
3	15,768	67,13	254,63
2	10,512	100,69	381,94
1	5,256	201,39	763,89



- Assumindo:
  - a) Fator de emissão de uma usina a gás com ciclo combinado = 404 gCO<sub>2</sub>/kWh

Densidade de Potência (W/m <sup>2</sup> )	Energia Produzida (kWh)	Limite Inferior (gCO <sub>2</sub> /kWh)	Limite Superior (gCO <sub>2</sub> /kWh)	% de uma usina a gás com CC
10	52,56	20,14	76,39	19%
9	47,304	22,38	84,88	21%
8	42,048	25,17	95,49	24%
7	36,792	28,77	109,13	27%
6	31,536	33,56	127,31	32%
5	26,28	40,28	152,78	38%
4	21,024	50,35	190,97	47%
3	15,768	67,13	254,63	63%
2	10,512	100,69	381,94	95%
1	5,256	201,39	763,89	189%



- Assumindo:
  - a) Fator de emissão de uma usina a gás com ciclo combinado = 404 gCO<sub>2</sub>/kWh

Densidade de Potência (W/m <sup>2</sup> )	Energia Produzida (kWh)	Limite Inferior (gCO <sub>2</sub> /kWh)	Limite Superior (gCO <sub>2</sub> /kWh)	% de uma usina a gás com CC
10	52,56	20,14	76,39	5%
9	47,304	22,38	84,88	6%
8	42,048	25,17	95,49	6%
7	36,792	28,77	109,13	7%
6	31,536	33,56	127,31	8%
5	26,28	40,28	152,78	10%
4	21,024	50,35	190,97	12%
3	15,768	67,13	254,63	17%
2	10,512	100,69	381,94	25%
1	5,256	201,39	763,89	50%

- Emissões de reservatório são calculadas com base na densidade de potência:

$$DP = \text{Potência Instalada} / \text{Área máxima do Reservatório (W/m}^2\text{)}$$

Se  $DP > 10$ , então as emissões de GEE pelos reservatório **são muito baixas** se comparadas com as emissões de uma usina equivalente a gás com ciclo combinado **podem ser consideradas nulas**;

Se  $4 < DP < 10$ , emissões de GEE pelos reservatórios **devem ser consideradas** para o cálculo de Reduções de Emissões de projetos

$$EP = 0,09 \text{ (tCO}_2\text{/MWh)} \times \text{Geração Bruta da Planta (MWh)}$$

Se  $DP < 4$ , então as emissões de GEE pelos reservatórios são muito relevantes, a ponto de **serem equivalentes às emissões de uma usina a gás com ciclo combinado**



---

## CONCLUSÕES

- Hidrelétricas com reservatório produzem energia limpa?
- Medir emissões de reservatórios requer mais pesquisa;
- Necessidade de descontar as emissões pré-enchimento;
- Extrapolar resultados de medições de um reservatório para outros incorre em uma grande incerteza;
- Calcular emissões de GEE com base na densidade de potência é uma convenção, já que as emissões dependem das características do reservatório pré e pós-enchimento, e não da geração de energia;

---

OBRIGADO!

Contato: [ecardosofilho@unfccc.int](mailto:ecardosofilho@unfccc.int)

