

Respiração

- Respiração celular (oxidação de alimentos)
- Respiração externa (troca gasosa Meio – Organismo)

RESPIRAÇÃO

- Ato de absorver o oxigênio do ar/d'água e expelir o gás carbônico resultante das atividades metabólicas.

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Klein

Histórico geológico da atmosfera

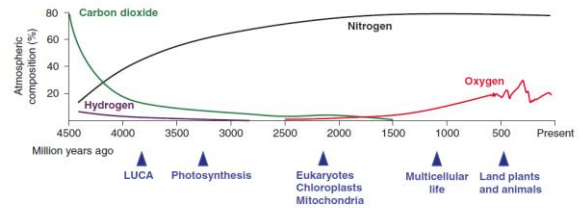
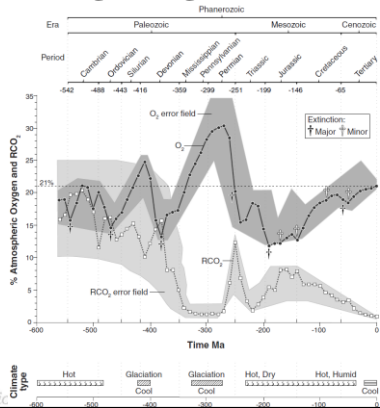


Figure 4. A general model of early evolution and atmospheric O₂ concentration. Last Universal Common Ancestor (LUCA) was anaerobic and unicellular, but possessed heme proteins and their equivalents for antioxidation and reactive O₂ species-mediated cell signaling and possibly ATP production. Photosynthesis by cyanobacteria led to O₂ accumulation, which was initially stored in rocks and sediments but later enriched the atmosphere. Eukaryotic plant and animal cells evolved that can more efficiently produce and utilize O₂, leading to multicellular organisms of increasing complexity. Around 500 Ma, atmospheric O₂ level reached the contemporary range, coinciding with an explosive appearance of terrestrial plants and animals.

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Hsia et al. 2013

Histórico geológico da atmosfera



Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Klein Ward, 2006

Histórico geológico da atmosfera

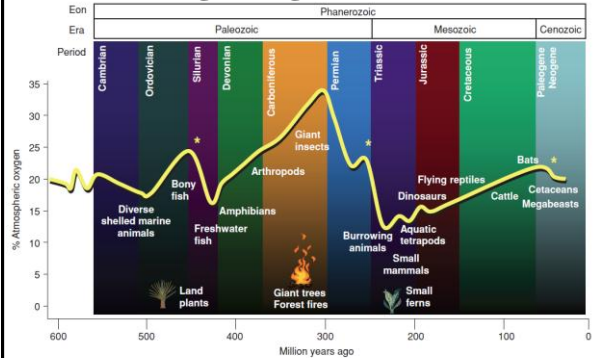


Figure 5. Phanerozoic time line shows atmospheric O₂ concentration and major evolutionary events, including major mass extinctions (indicated by * Ordovician-Silurian, late Permian, and Cretaceous-Paleogene). Based on data from various sources (55, 334, 774). See text for explanation. Hsia et al. 2013



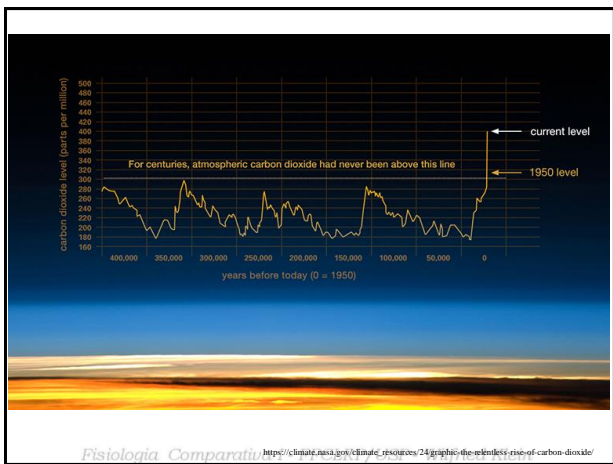
Composição do ar atmosférico

Oxigênio (20,946%)

Nitrogênio (78,084%)

Gás Carbônico (0,03%)

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Klein



Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Klein <https://www.co2.earth/> https://climate_resources/24/graphic-the-steadily-rising-level-of-carbon-dioxide/

Composição do ar atmosférico

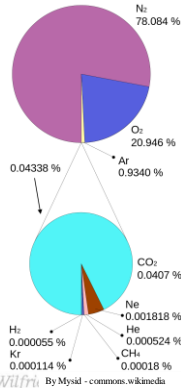
Oxigênio (20,946%)

Nitrogênio (78,084%)

Gás Carbônico (0,04%)

+ gases nobres (Ar; Ne; He, Kr)

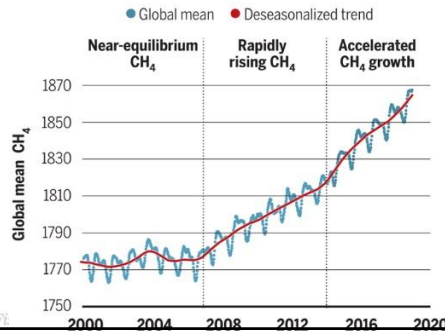
+ metano (0,000179%)



Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfrid Klein By Mysid - commons.wikimedia

Methane trends

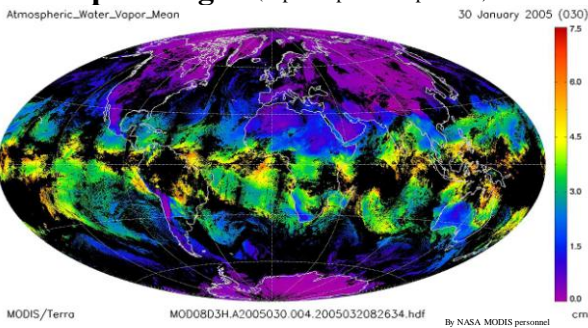
Data from U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration observing stations show that global mean atmospheric CH₄ started to rise in 2007, with a sharper increase beginning in 2014 (2).



El

Composição do ar atmosférico

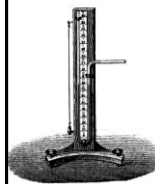
+ Vapor d'água (depende p. ex. temperatura)



Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfrid Klein

Unidades de pressão

Pa = 1 newton (N) por metro quadrado



Poiseuille 1828

1 mmHg = 1 Torr = 0,133 kPa

1 atm = 760 mmHg = 101,3 kPa

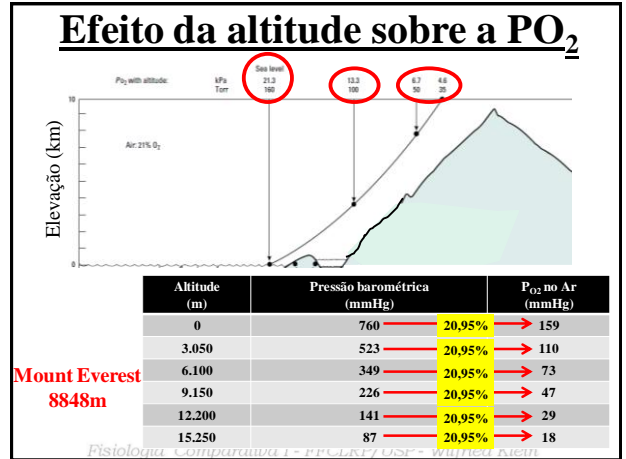
Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfrid Klein

1 atm = 760 mmHg = 101,3 kPa

Oxigênio (O₂)
 20,95% = 159 mmHg = 21 kPa

Nitrogênio (N₂)
 78,084% = 594 mmHg = 79 kPa

Gás Carbônico (CO₂)
 0,04% = 0,3 mmHg = 0,03 kPa



A CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO NA ÁGUA É = 21% (21 ml / 100ml ar)?

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Klein

Diferenças nas propriedades dos meios aéreos e aquáticos

Comparação ar – água

Tabela 9.1 As propriedades físicas do ar e da água e seus efeitos nos gases respiratórios

Propriedade	Ar (20°C)	Água (20°C)	Razão (água/ar)
Coefficiente de difusão do oxigênio (m ² × 10 ⁻¹¹)	20.300	2,1	-1:10.000
Coefficiente de difusão do dióxido de carbono (m ² × 10 ⁻¹¹)	16.000	1,8	-1:10.000
Solubilidade do oxigênio (mL/L)	1,000	33,1	1:30
Solubilidade do dióxido de carbono (mL/L)	1,000	930	-1
Concentração do oxigênio (mM) (a 1 atm)	8,7	0,3	1:30
Concentração do dióxido de carbono mM (a 1 atm)	0,01	0,01	-1
Densidade (kg/m ³)	1,2	998	-800:1
Viscosidade (Poise × 10 ⁻²)	0,02	1	50:1

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Moyes, 2010

A CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO NA ÁGUA*

É

= 0,7% (0,7 ml/100ml água)!

* Condições: 15°C e 1 atm

No ar → O₂ = 21% = 21 ml/100ml ar

↓
1:30

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Klein

Efeito da temperatura sobre a solubilidade de O₂ na água

1 ml O₂ em 100ml à 0°C

0,7 ml O₂ em 100ml à 15°C

0,5 ml O₂ em 100ml à 37°C

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Klein

Efeito da salinidade e da temperatura sobre a solubilidade

Table 7.2 Respiratory gas solubilities (in $\mu\text{mol l}^{-1} \text{kPa}^{-1}$) and effects of temperature and salinity.

Temperature (°C)	Oxygen			Carbon dioxide FW	Nitrogen FW
	FW	50% SW	SW		
0	21.7	18.9	16.6	767	–
10	16.9	–	–	531	–
20	13.7	12.2	10.8	386	6.8
30	11.6	–	–	294	–
40	10.2	9.3	8.3	235	5.5

FW, fresh water; SW, sea water.

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Klein

No ar → CO₂ = 0,04% = 0,3 mmHg

Na água → CO₂ dissolvido

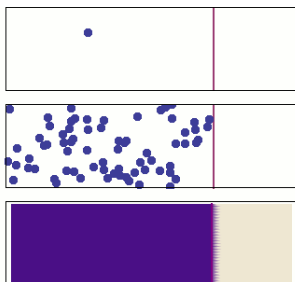
CO₂ + H₂O = H₂CO₃ (ácido carbônico)

H₂CO₃ + sódio/ cálcio → carbonato e bicarbonato

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Klein

Difusão

processo que resulta do movimento de moléculas ao acaso, pelo qual há um fluxo líquido de matéria de uma região de alta concentração para uma região de baixa concentração



Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Klein

Movimento Browniano

fenômeno em que ocorre movimentos ou flutuações pequenas e ao acaso.

A difusão é a manifestação macroscópica do movimento Browniano que ocorre ao nível microscópico

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Klein

→ Difusão: Equação de Fick

$$\frac{dQ_s}{dt} = -D_s * A * \frac{dC_s}{dx}$$

$\frac{dQ_s}{dt}$ = Taxa de difusão de s [mol/s]

D_s = coeficiente de difusão de s [cm²/s]




A = Área para difusão [cm²]

$\frac{dC_s}{dx}$ = diferença de concentração de s por unidade de distância

O que fazer para aumentar a taxa de difusão?

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Klein

Por que evoluíram estruturas especializadas para as trocas gasosas?

	• <u>Efeito de tamanho</u>	Área/Volume:
	Volume: 1 cm * 1 cm * 1 cm = 1 cm ³ Área: 1 cm ² * 6 = 6 cm ²	6/1 = 6
	Volume: 2 cm * 2 cm * 2 cm = 8 cm ³ Área: 4 cm ² * 6 = 24 cm ²	24/8 = 3
	Volume: 3 cm * 3 cm * 3 cm = 27 cm ³ Área: 9 cm ² * 6 = 54 cm ²	54/27 = 2

Superfície proporcionalmente cada vez menor em relação ao volume!

→ Problemas para troca gasosa

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Klein

Evolução do sistema respiratório

Para organismos esféricos maiores de 1,0mm em diâmetro a difusão não é mais suficiente para garantir o suprimento de oxigênio de todas as células

→ evolução de estruturas respiratórias especializadas

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Will Schmidt-Rhaesa, 2007

Evolução do sistema respiratório

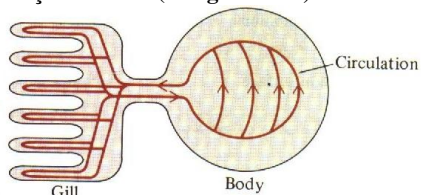
- evolução de estruturas respiratórias especializadas
- uso de um **sistema circulatório** para transporte de gases
- achatamento de animais maiores:
 - nematoides marinhos com 5 cm de comprimento
 - Nematomorfa com 1 m de comprimento
 - Platelintos turbelários com até 60cm de comprimento e 20cm de largura

Em geral, todas as estruturas respiratórias são semelhantes, oferecendo **uma grande área para trocas gasosas** com o meio, mas mantendo a **quantidade de tecido** entre o meio externo e o sistema circulatório interno a menor possível (ver **Equação de Fick**)

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Will Schmidt-Rhaesa, 2007

Estruturas respiratórias em geral:

- **Branquias**
 - Extensões externas do corpo (evaginações)
 - muitas vezes protegidas
 - sistema circulatório interno
 - circulação externa (de água ou ar)

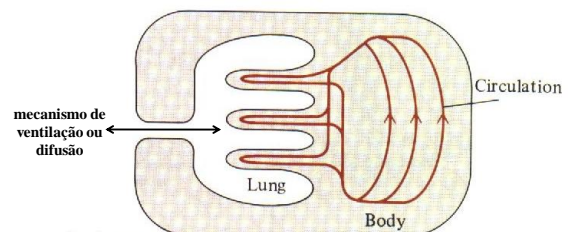


A. Gills

Withers 1995

Estruturas respiratórias em geral:

- **Pulmão:**
 - estruturas internas do corpo (invaginações)
 - sistema circulatório
 - “pulmão de ventilação” ou “pulmão de difusão”



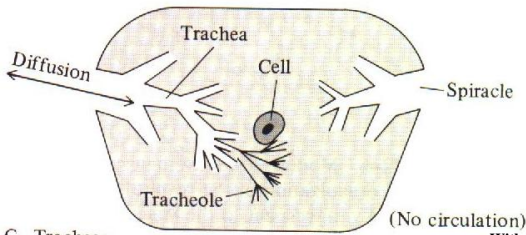
B. Lungs

Withers 1995

Estruturas respiratórias em geral:

▪ **Sistema traqueal:**

- em muitos invertebrados
- série de tubos originando na superfície que se ramificam em traquéolas e terminam em todos os tecidos
- sistema circulatório não necessário



C. Tracheae

Withers 1995

Passos básicos:

1. Movimentos respiratórios
2. Difusão sobre epitélio respiratório
3. Transporte de gases no sangue
4. Difusão sobre parede capilar

Em um sistema respiratório traqueal ocorre somente a difusão dos gases entre o interior do sistema traqueal e os tecidos! (há alguns grupos onde ocorrem movimentos respiratórios)

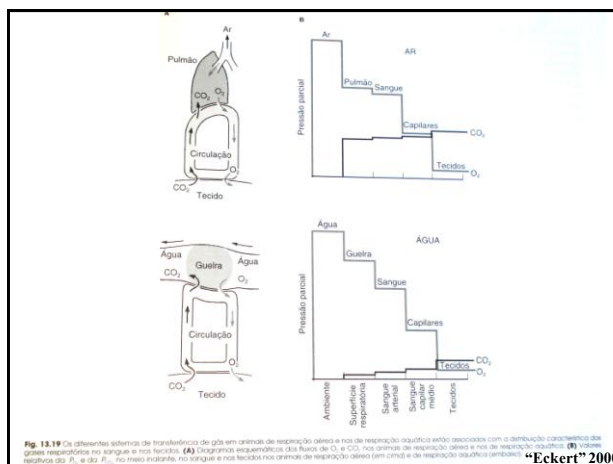
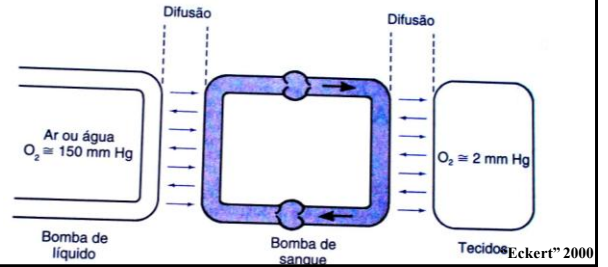
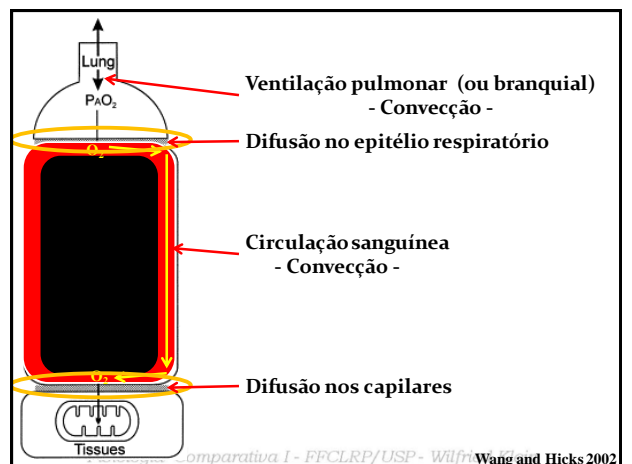


Fig. 13.19 Os diferentes sistemas de transferência de gás em animais de respiração aérea e nos de respiração aquática estão associados com o arranjo característico dos gases respiratórios no sangue e nos tecidos. (A) Diagrama esquemático do fluxo de O₂ e CO₂ nos animais de respiração aérea e nos de respiração no ar. (B) Diagrama esquemático do fluxo de O₂ e CO₂ nos animais de respiração aquática. (C) Diagrama esquemático do fluxo de O₂ e CO₂ nos animais de respiração aquática. Eckert 2000



comparativa I - FFLCRP/USP - Wilfr Wang and Hicks 2002

CASCATA DE OXIGÊNIO

Taxa metabólica elevada → mais oxigênio necessário
 ↓
 Adaptações necessárias no:

- Sistema respiratório
- Sistema circulatório
- Nas células/mitocôndrias

Wang and Hicks 2002

Gas Transport Equations

Convective

$$\dot{V}O_2 = \dot{V} \beta_{\text{gas}} (P_{iO_2} - P_{E O_2}) = G_{\text{vent}} (\Delta P_{O_2})$$

Diffusive

$$\dot{V}O_2 = D_{L O_2} (P_{A O_2} - P_{\text{cap} O_2}) = G_{\text{diff}} (\Delta P_{O_2})$$

Convective

$$\dot{V}O_2 = \dot{Q} \beta_{\text{blood}} (P_{a O_2} - P_{v O_2}) = G_{\text{perf}} (\Delta P_{O_2})$$

Diffusive

$$\dot{V}O_2 = D_{t O_2} (P_{a O_2} - P_{\text{mit} O_2}) = G_{\text{diff}} (\Delta P_{O_2})$$

Wang and Hicks 2002

Gas Transport Equations

Convective

$$\dot{V}O_2 = \dot{V} \beta_{\text{gas}} (P_{iO_2} - P_{E O_2}) = G_{\text{vent}} (\Delta P_{O_2})$$

Diffusive

$$\dot{V}O_2 = D_{L O_2} (P_{A O_2} - P_{\text{cap} O_2}) = G_{\text{diff}} (\Delta P_{O_2})$$

Convective

$$\dot{V}O_2 = \dot{Q} \beta_{\text{blood}} (P_{a O_2} - P_{v O_2}) = G_{\text{perf}} (\Delta P_{O_2})$$

Diffusive

$$\dot{V}O_2 = D_{t O_2} (P_{a O_2} - P_{\text{mit} O_2}) = G_{\text{diff}} (\Delta P_{O_2})$$

Wang and Hicks 2002

Fig. 1. A schematic diagram of the oxygen cascade, expanded to include intrapulmonary and cardiac shunts. Oxygen transport from the air to the metabolizing tissue consists of steps that function in series: ventilation, diffusion of O₂ from the air to the blood, circulation and diffusion of O₂ into the cells. The transfer rate of O₂ (P_{O₂}) at each step is represented by either convective or diffusive equations that can be simplified as the product between the P_{O₂} difference and a conductance (G). P_v, systemic venous P_{O₂}; P_{pv}, pulmonary arterial P_{O₂}; P_{pa}, pulmonary venous P_{O₂}; P_a, systemic arterial P_{O₂}. See text for description of gas transport equations.

$\dot{V}O_2 = \text{taxa de transferência de } O_2$
 $\dot{Q} = \text{fluxo de sangue}$
 $\dot{V} = \text{taxa de ventilação}$

β_{gas} = coeficiente de capacitância do meio (ar/água)
P_iO₂ = P_{O₂} no meio inspirado
P_eO₂ = P_{O₂} no meio expirado
D_LO₂ = capacidade de difusão do sist. respiratório (composto de: área superficial, espessura da barreira gás-sangue, resistência à difusão do plasma sanguíneo e das hemácias, coluna sanguínea capilar, cinética da ligação do O₂ no pigmento respiratório)
P_AO₂ = P_{O₂} nos pulmões (alvéolos)/nas brônquias
P_{cap}O₂ = P_{O₂} nos capilares pulmonares
β_{blood} = coeficiente de capacitância de O₂ no sangue
P_aO₂ = P_{O₂} na circulação sistêmica arterial
P_vO₂ = P_{O₂} na circulação sistêmica venosa
D_tO₂ = capacidade de difusão de O₂ nos tecidos
P_{mit}O₂ = P_{O₂} nos mitocôndrios

G = condutância (G_{diff} = condutância difusiva; G_{perf} = condutância perfusiva; G_{vent} = condutância ventilatória)

Troca gasosa:

- **Movimentos respiratórios**
- **O espaço morto do pulmão reduz a pressão parcial de O₂ nos alvéolos** (através da mistura do ar inspirado com o ar residual nos alvéolos)

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Klein

TABLE 13-5
Partial pressures (kPa) of atmospheric air, dead space gas, alveolar gas, and expired gas for a human at sea level.

	Air	Dead Space ¹	Alveolar ¹	Expired ¹
Oxygen	21.1	19.8	13.8	15.9
Carbon Dioxide	0.039	0.037	5.32	3.59
Water Vapor	0.53	6.25	6.25	6.25
Nitrogen	79.3	74.8	75.6	75.2
Total	101	101	101	101

¹ Saturated with water vapor at 37° C.

Withers, 1995

Troca gasosa:

- **Movimentos respiratórios**
- **Difusão no epitélio respiratório**
- **Circulação**
- **Difusão nos tecidos**

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Klein

Altitude (m)	Pressão barométrica (mmHg)	P _{O₂} no Ar (mmHg)	P _{O₂} nos Alvéolos (mmHg)	Saturação arterial de O ₂ (%)
0	760	159	104	97
3.050	523	110	67	90
6.100	349	73	40	73
9.150	226	47	18	24
12.200	141	29	-	-
15.250	87	18	-	-

Depende também da perfusão do pulmão com sangue = quantidade de sangue bombeado pelo sistema circulatório pulmonar

Fisiologia Comparativa I - FFCLRP/USP - Wilfried Klein

Relação Ventilação/Perfusão

