

**Deposição úmida,
deposição seca e impactos
ao ambiente**

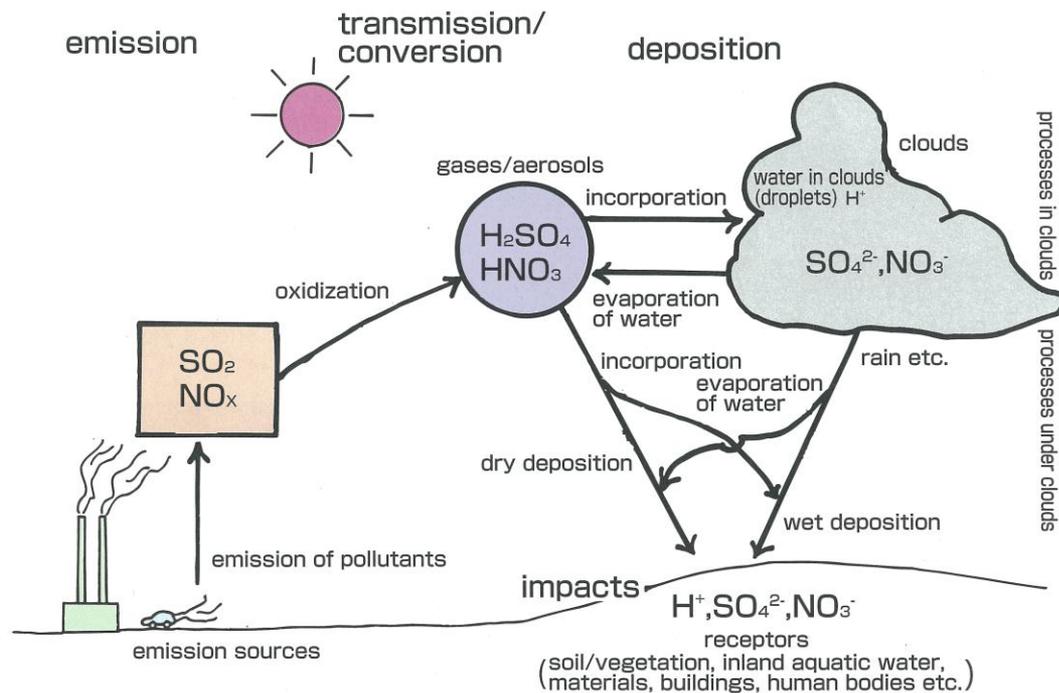
Deposição seca e deposição úmida

São processos bem complexos pois dependem das espécies químicas presentes nos gases e material particulado e nas propriedades físico-químicas das superfícies de deposição, entre elas a de aderência (esta última importante para a deposição seca).

Depende também dos processos de transporte que pode selecionar o material particulado transportado e permitir que gases e material particulado em suspensão na atmosfera possam passar maior ou menor tempo sofrendo reações fotoquímicas levando a um maior ou menor “envelhecimento” destes antes de sua deposição em alguma superfície.

A umidade e condições de precipitação são importantes pois a água atua como um meio de reação produzindo principalmente ácidos como o ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido nítrico (HNO_3), ácido carbônico (H_2CO_3) e o ácido clorídrico (HCl), além de ácidos orgânicos e inorgânicos em menor escala.

A deposição úmida e deposição seca como processos integrados

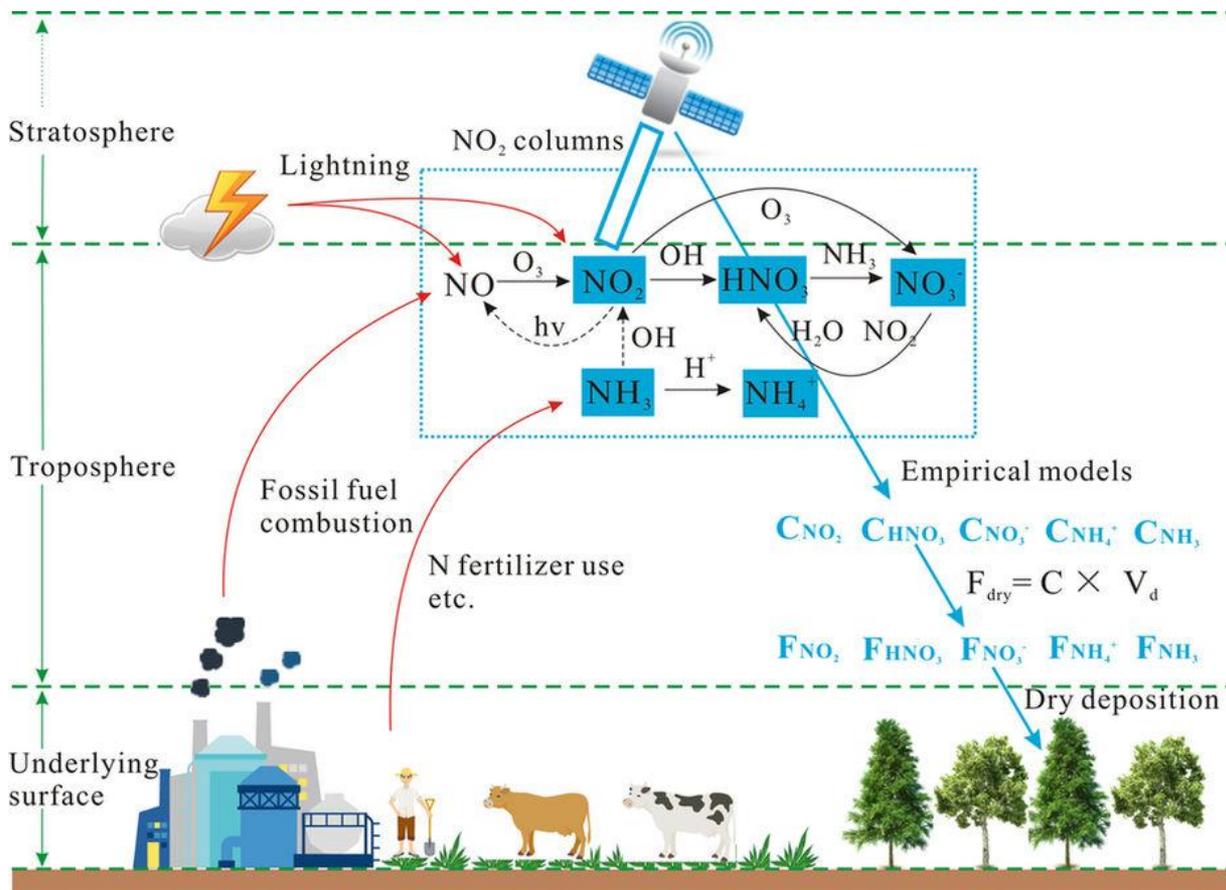


SO₂:sulfur dioxide, H₂SO₄:sulfuric acid, SO₄²⁻:sulfuric acid ion, H⁺:hydrogen acid ion
 NO_x:nitrous oxides, HNO₃:nitric acid, NO₃⁻:nitric acid ion

Para simplificação da compreensão os processos envolvidos divide-se o estudo em duas partes: Deposição úmida e deposição seca.

Deposição seca

Deposição seca



A deposição seca é o processo de transporte de gases e material particulado da atmosfera para superfícies sem a presença de precipitação (água).

Deposição seca

O fluxo de cada espécie química e aerossóis depositados é descrito por:

$$F = -v_d \cdot C$$

Onde F é o fluxo, v_d é a velocidade de deposição e C a concentração da espécie química ou aerossol a uma altura de referência da superfície, que no caso é de 10m.

Deposição seca

Há um complicador adicional para a determinação da velocidade de deposição. A camada de referência para o cálculo desta é dividida em 3 subcamadas com comportamentos físicos distintos:

A camada de superfície, que apresenta uma resistência aerodinâmica r_a ao fluxo de gases e material particulado a ser depositado.

A camada quasi-laminar, onde ocorre o fluxo de gases por difusão e de material particulado por sedimentação. Esta apresenta uma resistência aerodinâmica r_b ao fluxo de gases e material particulado a ser depositado.

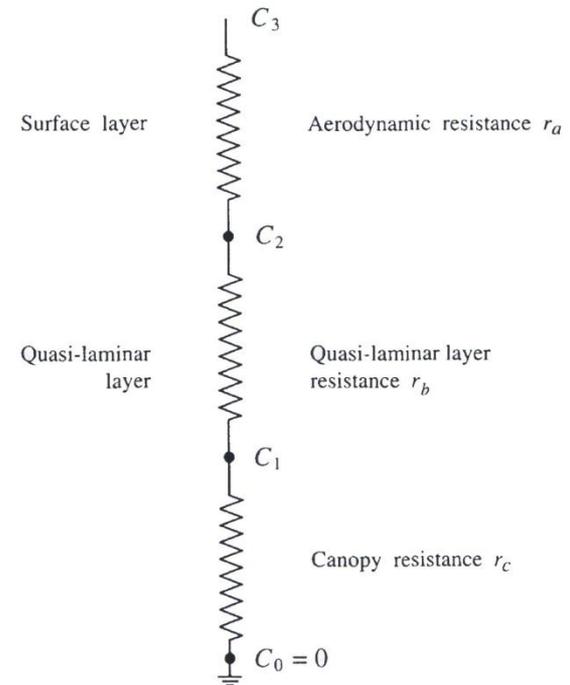
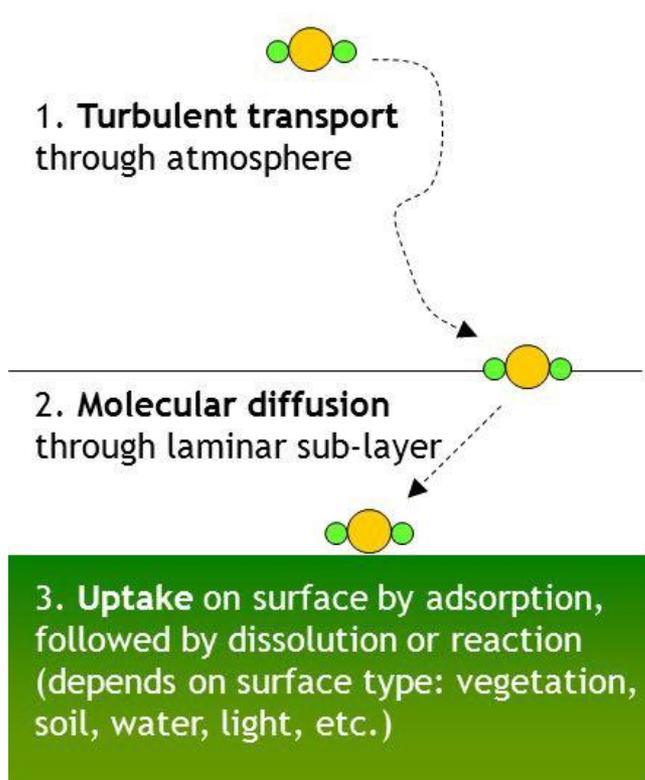
E por fim, a camada entre a camada quasi-laminar e o substrato onde ocorre o depósito. Aqui, o fluxo apresenta regime turbulento devido as irregularidades da superfície do substrato e diferentes propriedades de aderência e reatividade deste ao material particulado e gases.

Esta apresenta uma resistência aerodinâmica r_c ao fluxo de gases e material particulado a ser depositado.

Deposição seca

Uma maneira de simplificar o tratamento destas diferentes camadas é pelo modelo de “resistência a deposição”.

Onde tratamos o conjunto de camadas como um “circuito elétrico” formado pelas resistências r_i oferecidas por cada camada, concentração C_i da espécie química, material particulado e do processo envolvido no fluxo de deposição dos gases e material particulado na superfície.



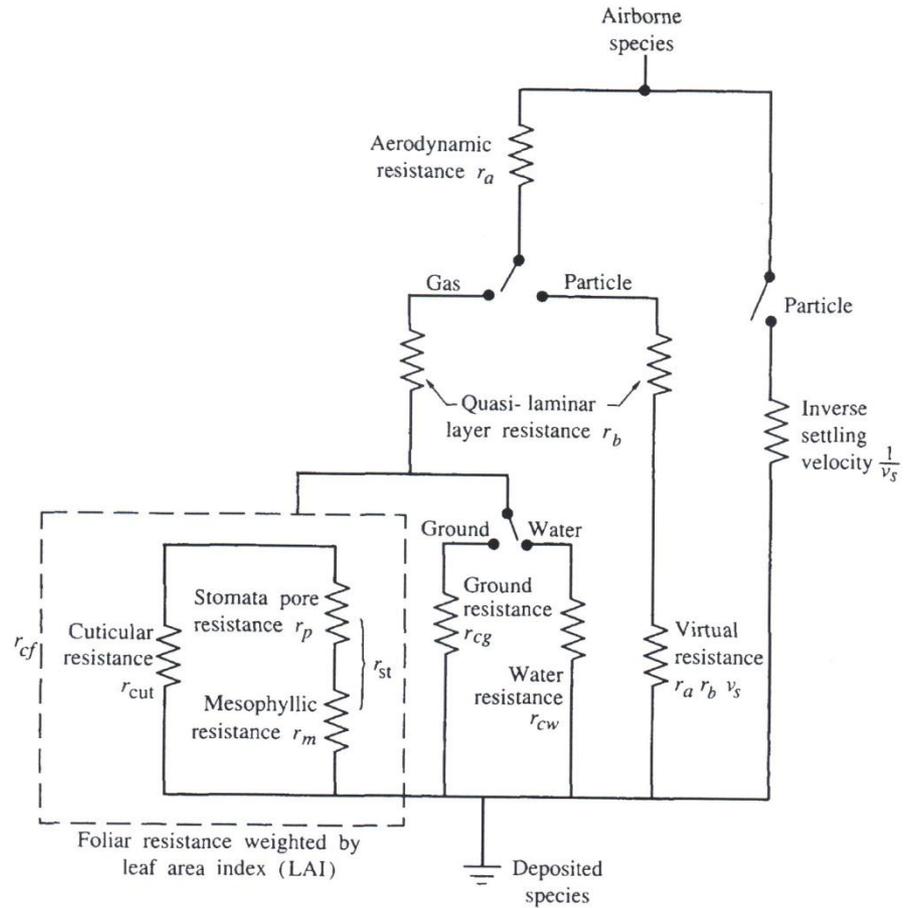
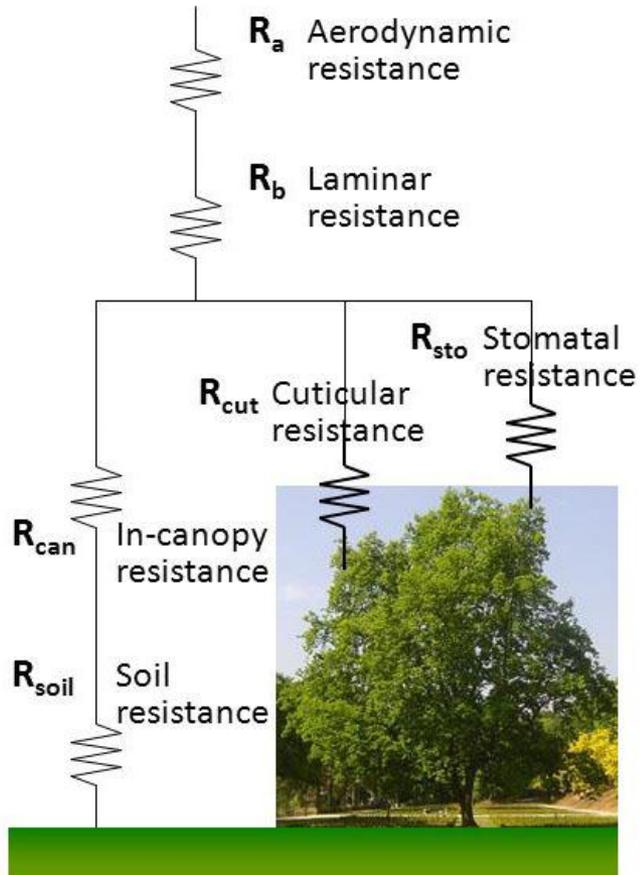
Deposição seca

Nesse modelo, a velocidade de deposição v_d é definida pela soma das resistências individuais de cada resistência r_i de cada camada:

$$v_d^{-1} = r_i = r_a + r_b + r_c$$

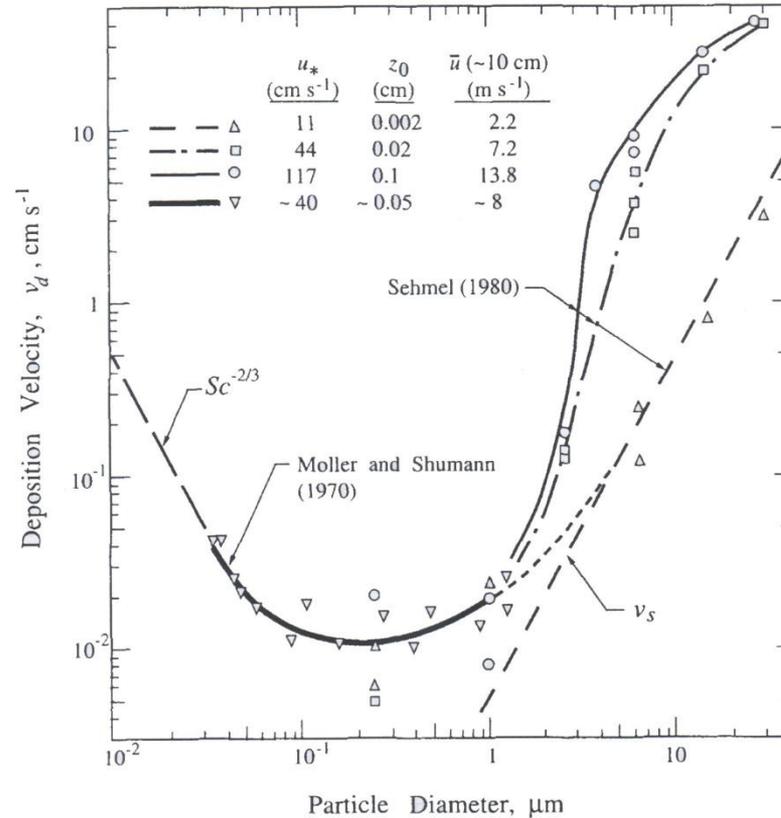
Em geral, r_a apresenta um valor baixo e a soma $r_a + r_b$ é afetado pela velocidade do vento, altura da vegetação e construções e estabilidade atmosférica, sendo que diminui com o aumento da velocidade do vento e com o aumento da altura dos obstáculos (vegetação, construções, etc). Assim a taxa de deposição é alta para florestas e baixa para campos abertos e pastagens.

Deposição seca - modelos



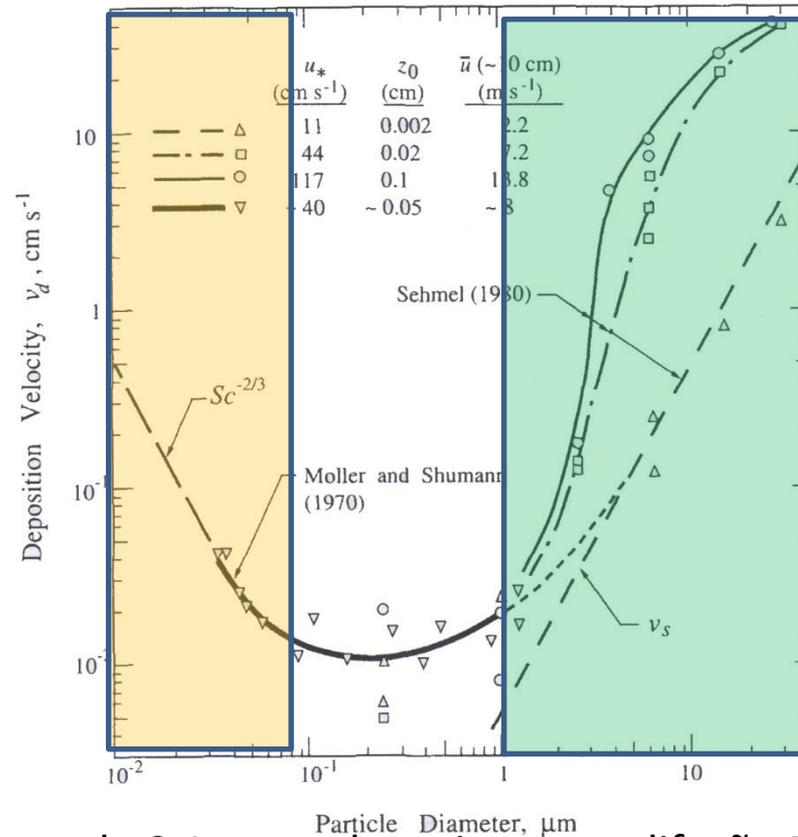
Deposição seca – gases

Em experimentos em túnel de vento demonstra-se que a velocidade de deposição v_d de material particulado sobre superfície aquosa apresenta um mínimo entre 0,1 e 1 μm (Slinn et al. 1978).



Deposição seca – material particulado

Em experimentos em túnel de vento demonstra-se que a velocidade de deposição v_d de material particulado sobre superfície aquosa apresenta um mínimo entre 0,1 e 1 μm (Slinn et al. 1978).



As partículas menores de 0,1 μm se depositam por difusão Browniana e as maiores que 1 μm por sedimentação gravitacional.

Deposição seca – gases

Relevant Properties of Gases for Dry Deposition Calculations

Species	Ratio of Molecular Diffusivities ($D_{\text{H}_2\text{O}}/D_{\text{species}}$)	Henry's Law Constant ^b (H^*), M atm^{-1}	Henry's Law Exponent ^a (A)	Normalized Reactivity (f_0)
Sulfur dioxide	1.89	1×10^5	- 3020	0
Ozone	1.63	1×10^{-2}	+ 2300	1
Nitrogen dioxide	1.6	1×10^{-2}	- 2500	0.1
Nitric oxide	1.29	2×10^{-3}	- 1480	0
Nitric acid	1.87	1×10^{14}	- 8650	0
Hydrogen peroxide	1.37	1×10^5	- 6800	1
Acetaldehyde	1.56	15	- 6500	0
Propionaldehyde	1.8	15	- 6500	0
Formaldehyde	1.29	6×10^3	- 6500	0
Methyl hydroperoxide	1.6	220	- 5600	0.3
Formic acid	1.6	4×10^6	- 5740	0
Acetic acid	1.83	4×10^6	- 5740	0
Ammonia	0.97	2×10^4	- 3400	0
Petroxyacetyl nitrate	2.59	3.6	- 5910	0.1
Nitrous acid	1.62	1×10^5	- 4800	0.1
Pernitric acid	2.09	2×10^4	- 1500	0
Hydrochloric acid	1.42	2.05×10^6	- 2020	0

^aThe exponent A is used in the expression $H(T) = H \exp \{A[1/298 - 1/T]\}$ to calculate H at the surface temperature.

^bEffective Henry's law constant assuming a pH of about 6.5.

Deposição seca – gases

Relevant Properties of Gases for Dry Deposition Calculations

Species	Ratio of Molecular Diffusivities ($D_{\text{H}_2\text{O}}/D_{\text{species}}$)	Henry's Law Constant ^b (H^*), M atm^{-1}	Henry's Law Exponent ^a (A)	Normalized Reactivity (f_0)
Sulfur dioxide	1.89	1×10^5	- 3020	0
Ozone	1.63	1×10^{-2}	+ 2300	1
Nitrogen dioxide	1.6	1×10^{-2}	- 2500	0.1
Nitric oxide	1.29	2×10^{-3}	- 1480	0
Nitric acid	1.87	1×10^{14}	- 8650	0
Hydrogen peroxide	1.37	1×10^5	- 6800	1
Acetaldehyde	1.56	15	- 6500	0
Propionaldehyde	1.8	15	- 6500	0
Formaldehyde	1.29	6×10^3	- 6500	0
Methyl hydroperoxide	1.6	220	- 5600	0.3
Formic acid	1.6	4×10^6	- 5740	0
Acetic acid	1.83	4×10^6	- 5740	0
Ammonia	0.97	2×10^4	- 3400	0
Petroxyacetyl nitrate	2.59	3.6	- 5910	0.1
Nitrous acid	1.62	1×10^5	- 4800	0.1
Pernitric acid	2.09	2×10^4	- 1500	0
Hydrochloric acid	1.42	2.05×10^6	- 2020	0

^aThe exponent A is used in the expression $H(T) = H \exp \{A[1/298 - 1/T]\}$ to calculate H at the surface temperature.

^bEffective Henry's law constant assuming a pH of about 6.5.

Deposição úmida

Deposição úmida

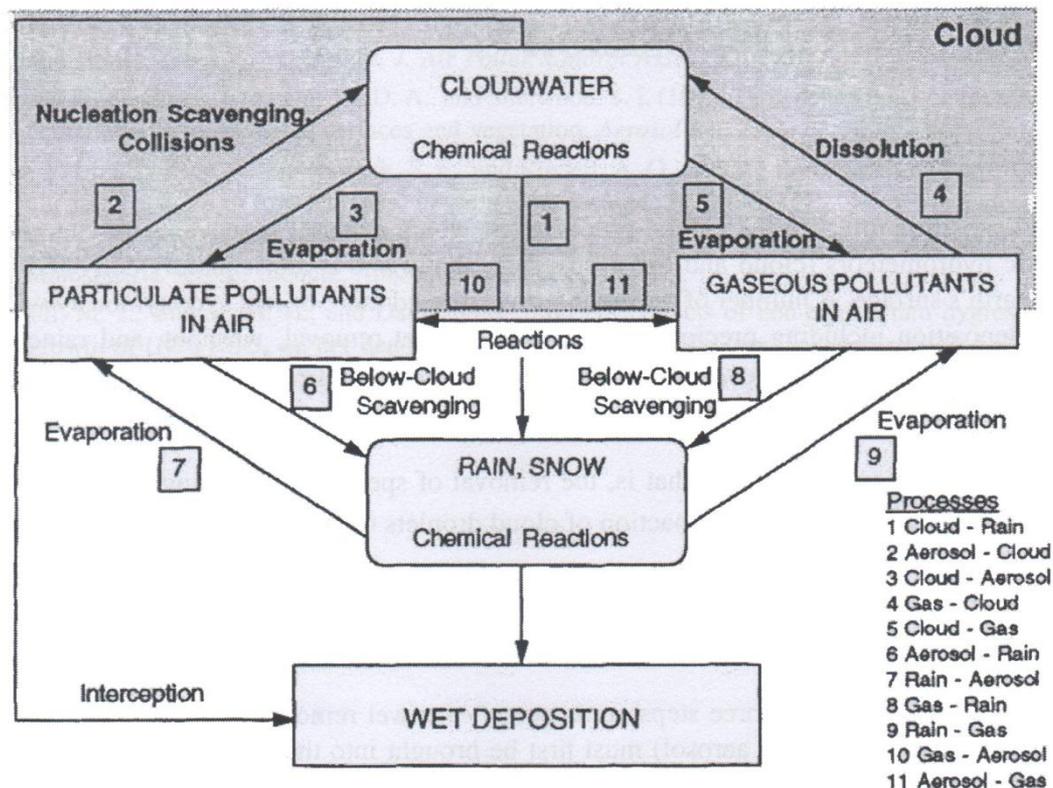
Nos processos de deposição úmida, gases e material particulado são removidos da atmosfera por processos hidrometeorológicos, tais como nuvens, chuva, neve, neblina, etc.

Nestes processos, podemos ter remoção de gases e material particulado pela sua interceptação por gotas de chuva, gelo e neve.

Deposição por orvalho proveniente de névoa.

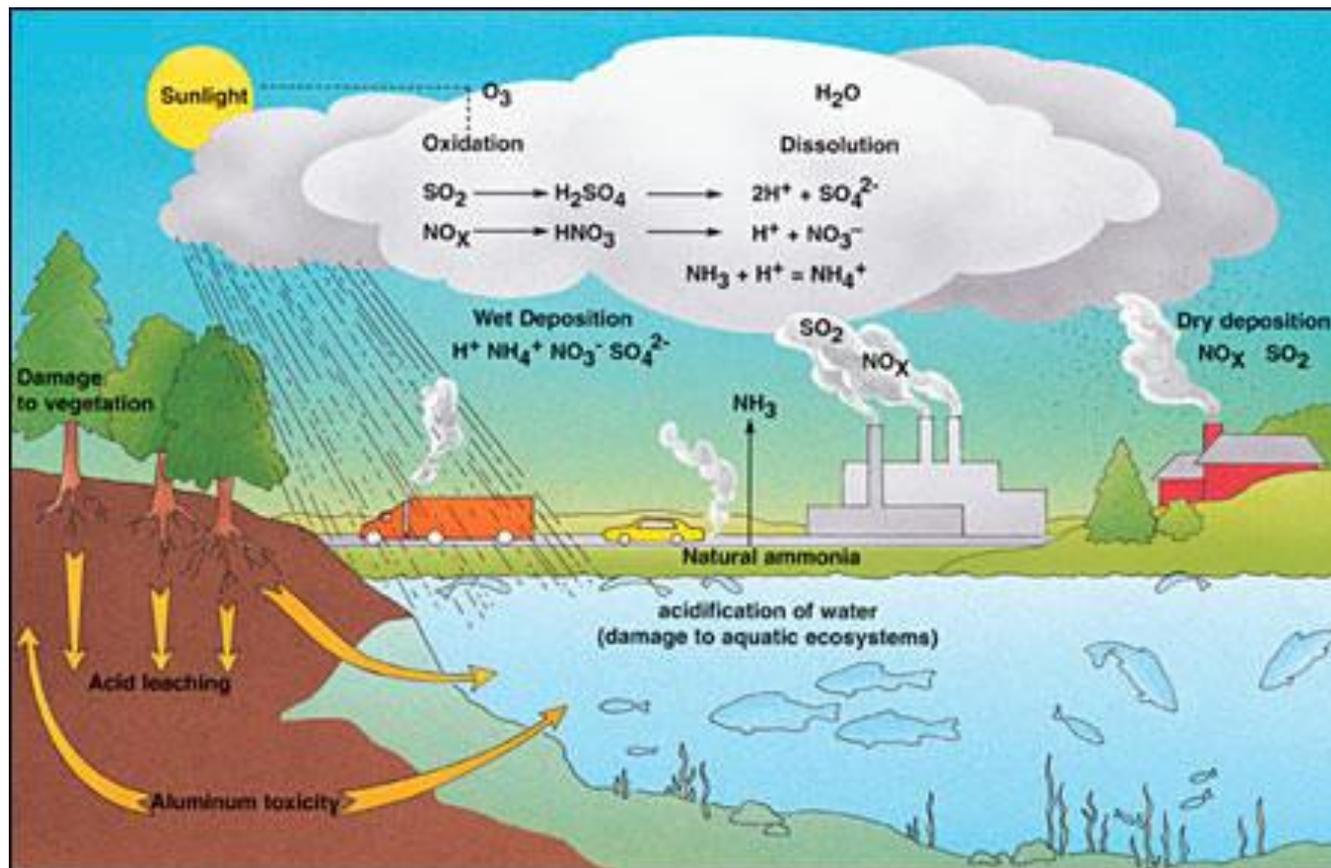
Deposição com a neve

Deposição úmida



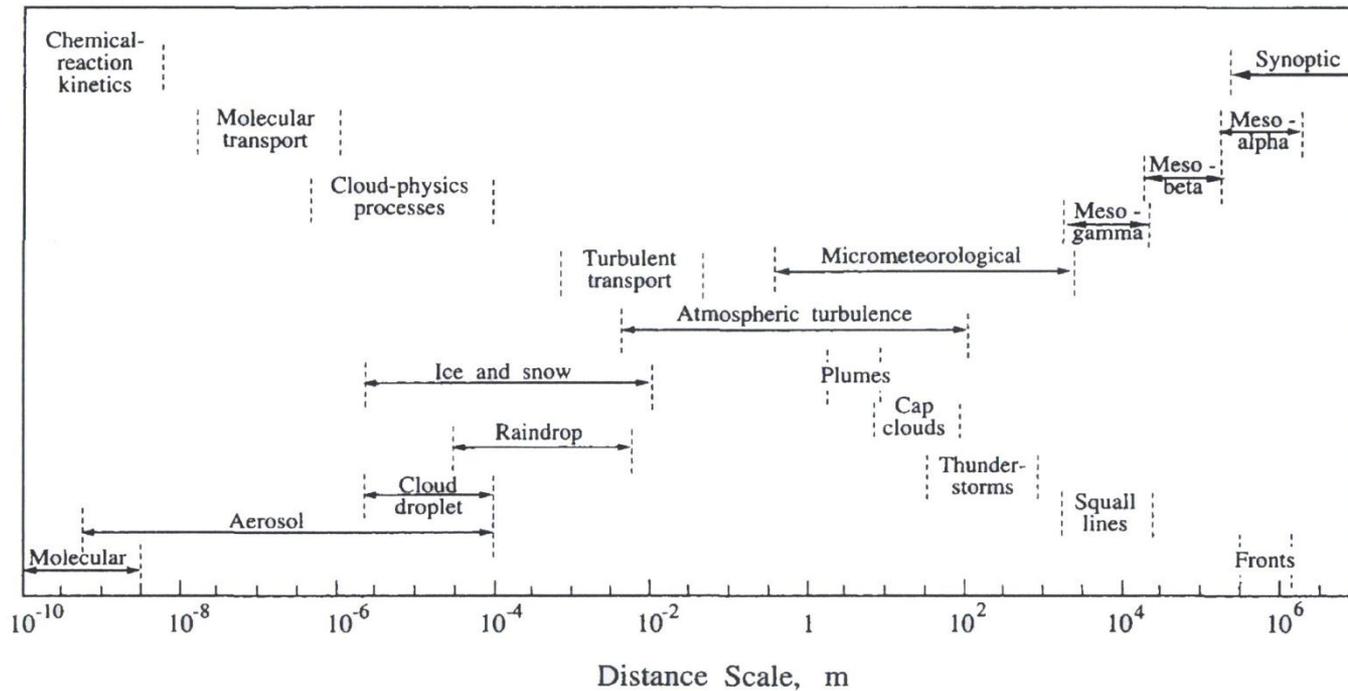
Ciclo de reações envolvidos no processo de deposição úmida. Nesta cadeia de procesos temos a formação do principal produto da deposição úmida: a chuva ácida.

Deposição úmida



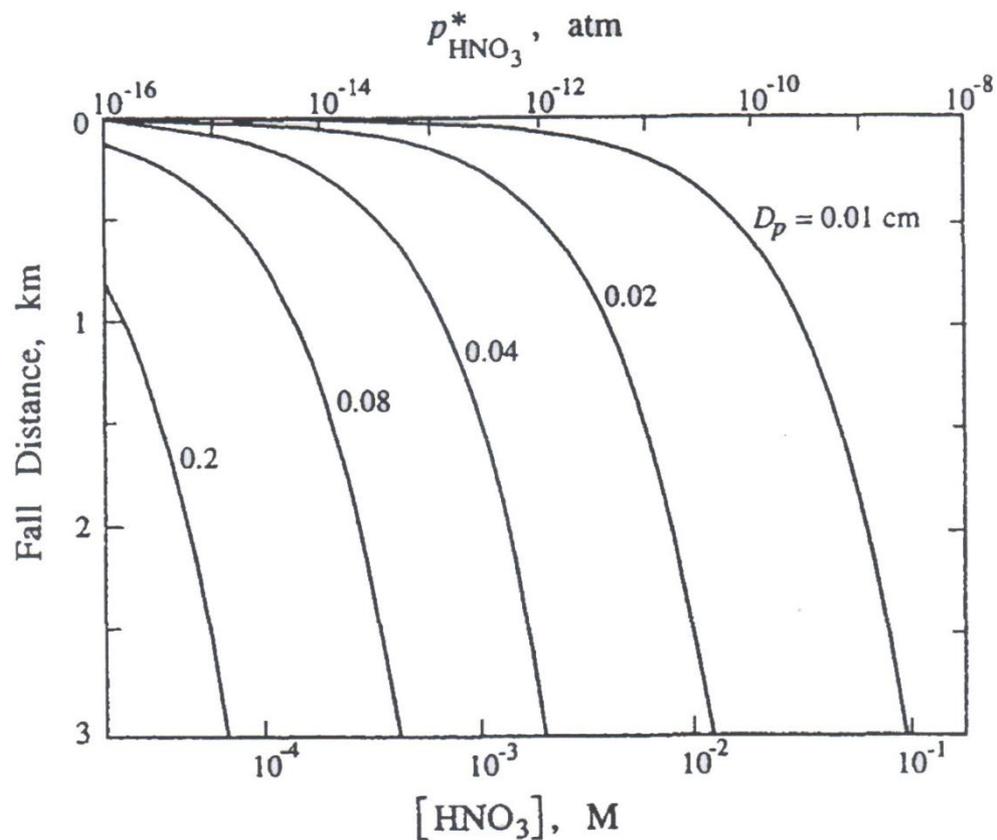
Ação da precipitação úmida e seca sobre o ambiente

Deposição úmida



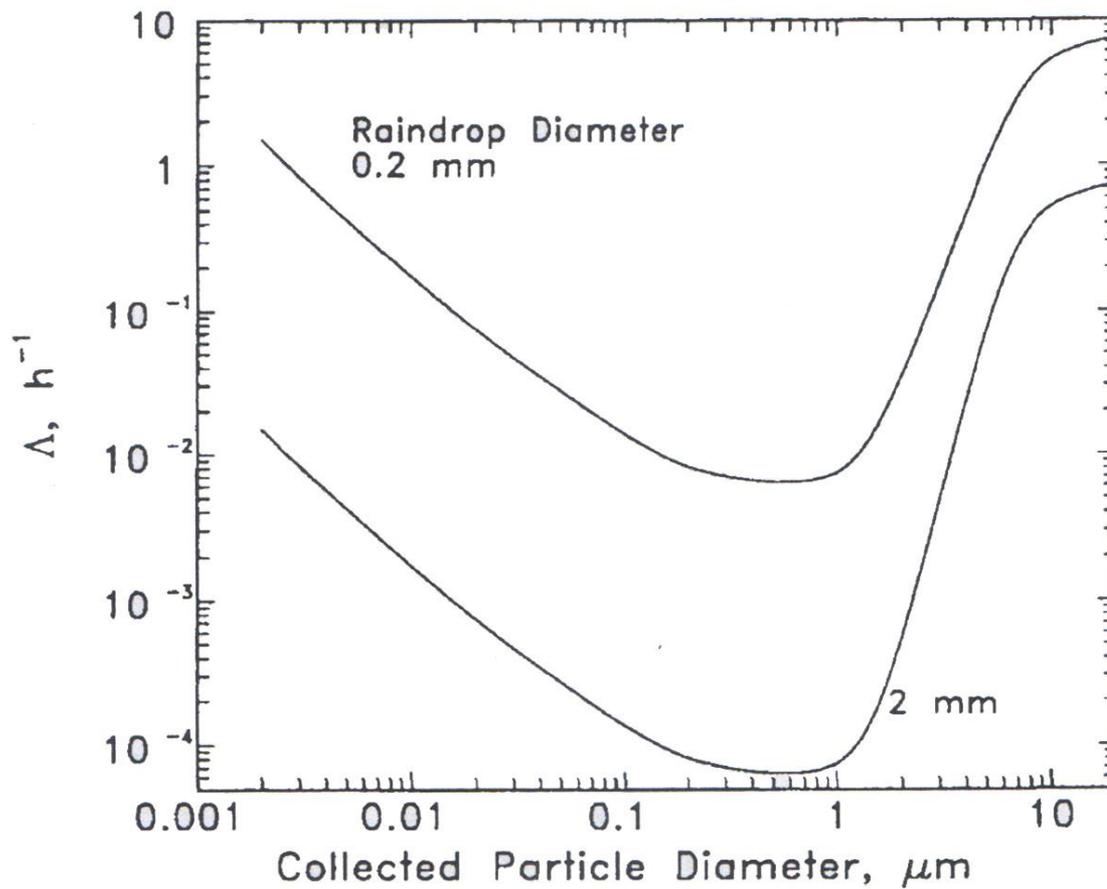
Influência de reações, meios de transporte, tipo de material particulado e eventos meteorológicos em função da distância.

Deposição úmida - gases

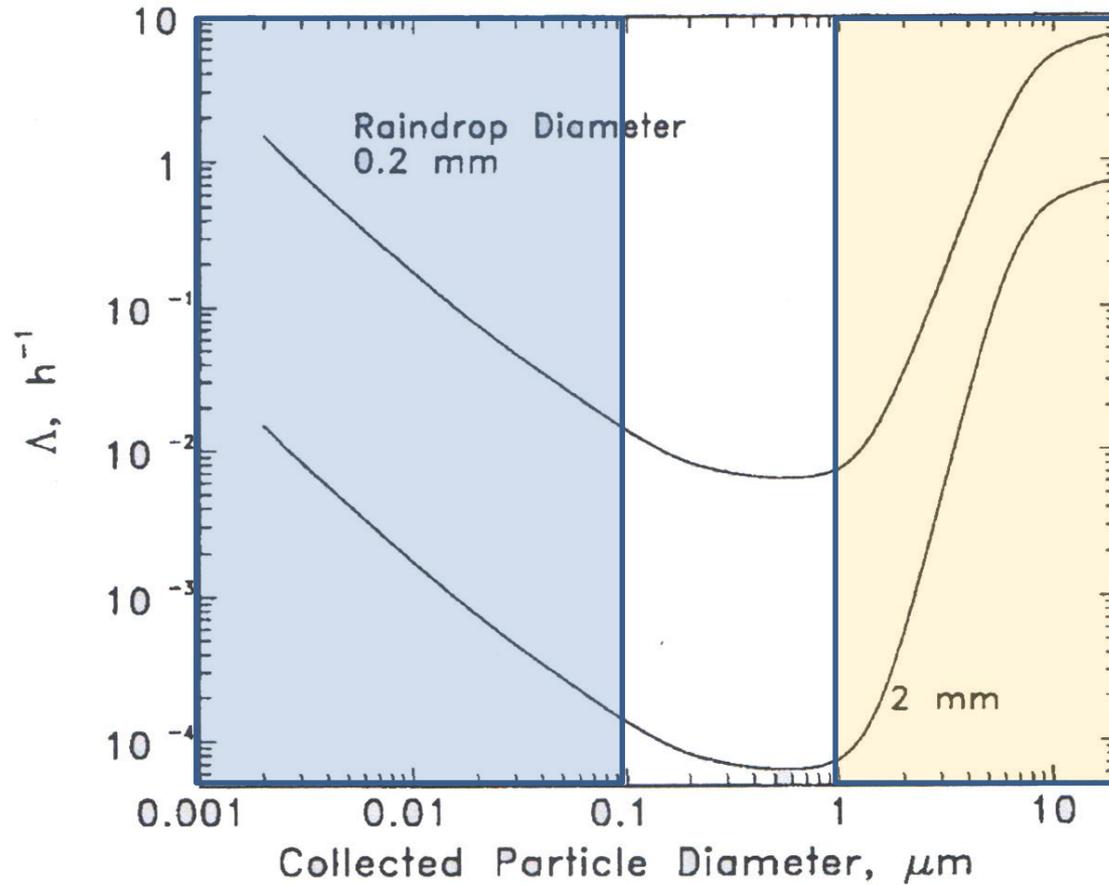


Concentração de ácido nítrico em diversos diâmetros (D_p) de gota de água em função da distância (em km) onde são formados e onde se precipitam (exemplo).

Deposição úmida – material particulado



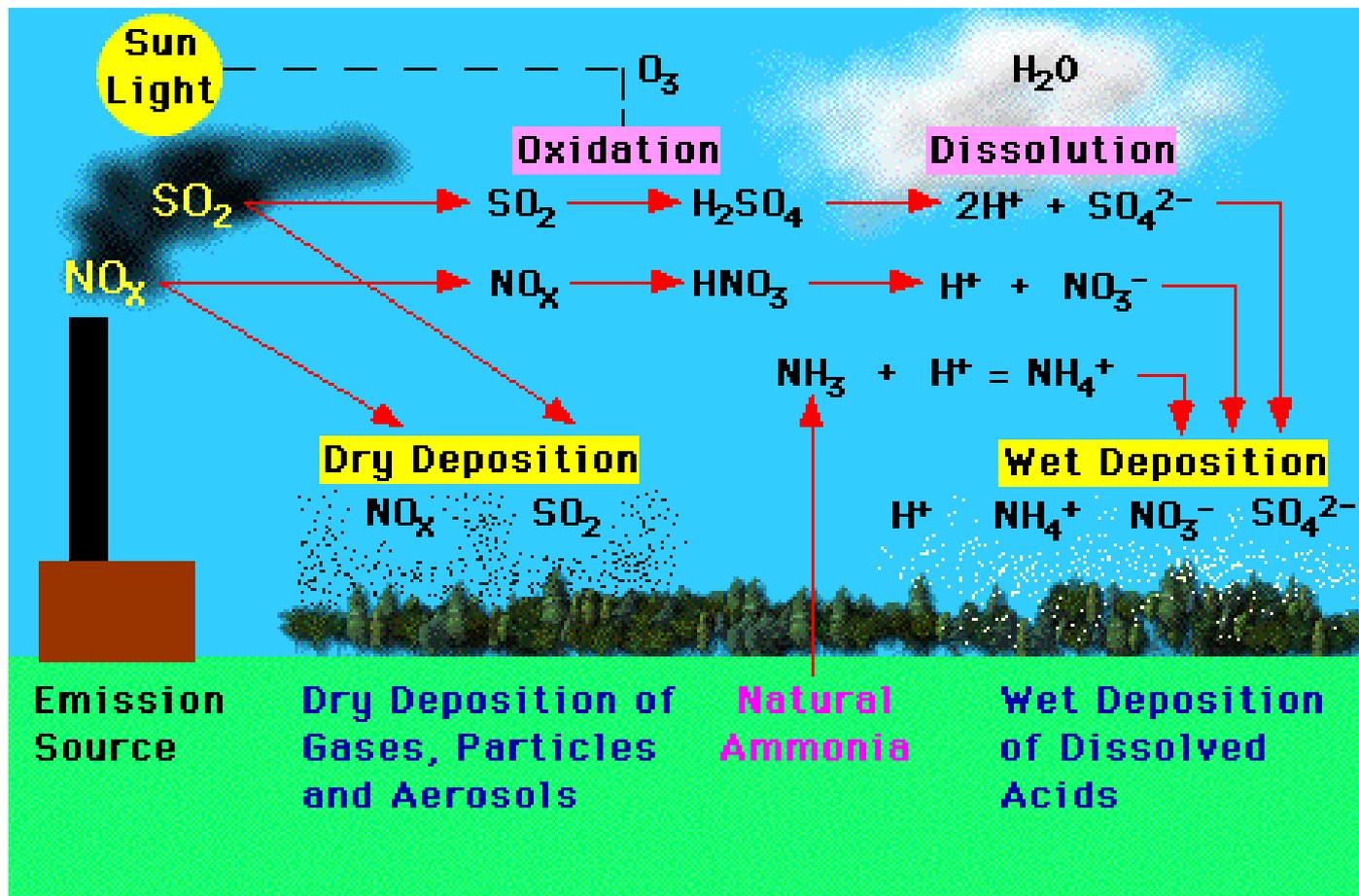
Deposição úmida – material particulado



A remoção de material particulado apresenta um padrão similar ao da deposição seca.

Impactos ao ambiente

Impactos no ambiente e saúde

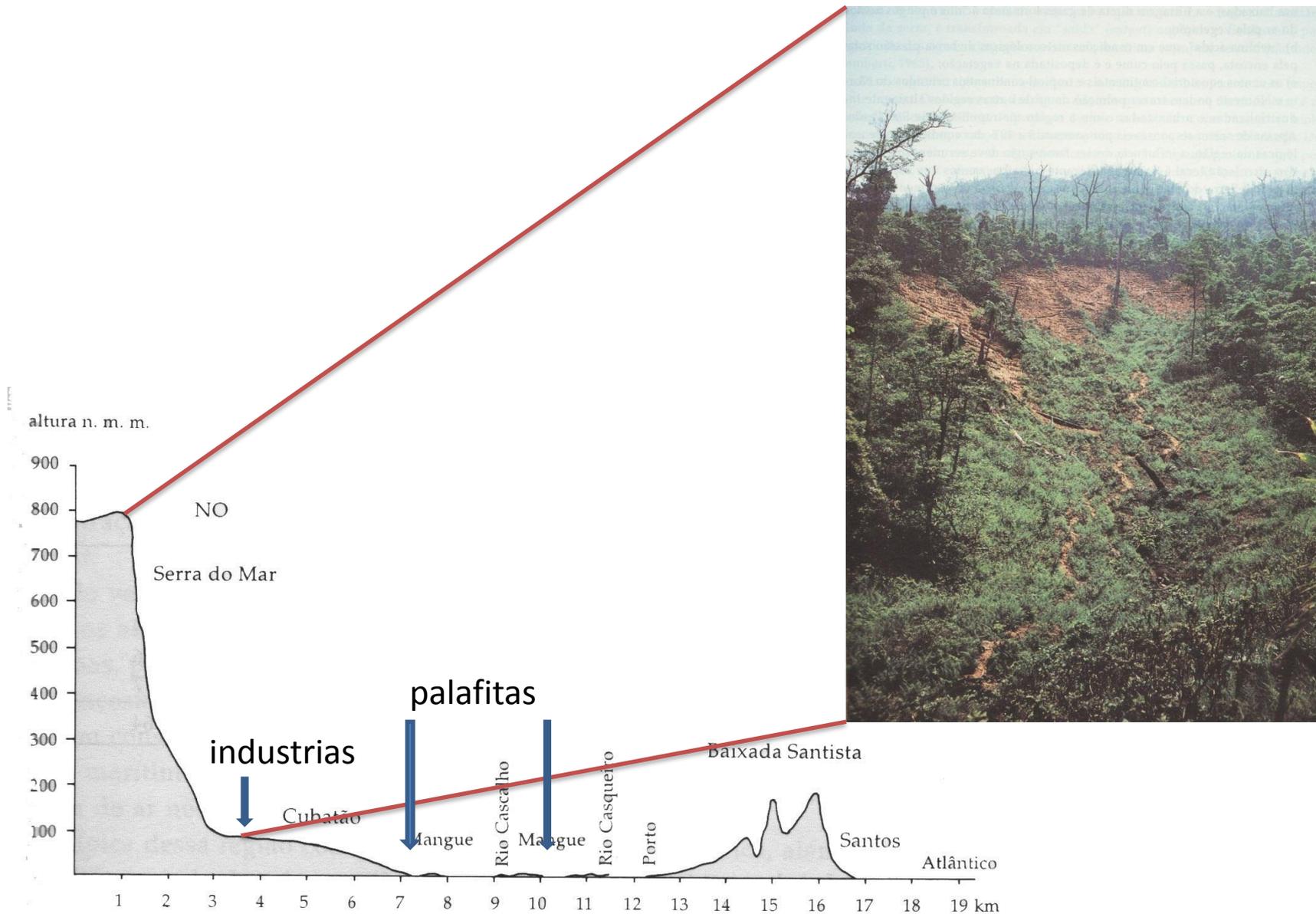


Ciclo de reações da da deposição seca e úmida, onde podemos observar a formação de cátions e ânions responsáveis pela produção de chuva ácida.

Impactos no ambiente e saúde



Impactos no ambiente e saúde



Impactos no ambiente e saúde

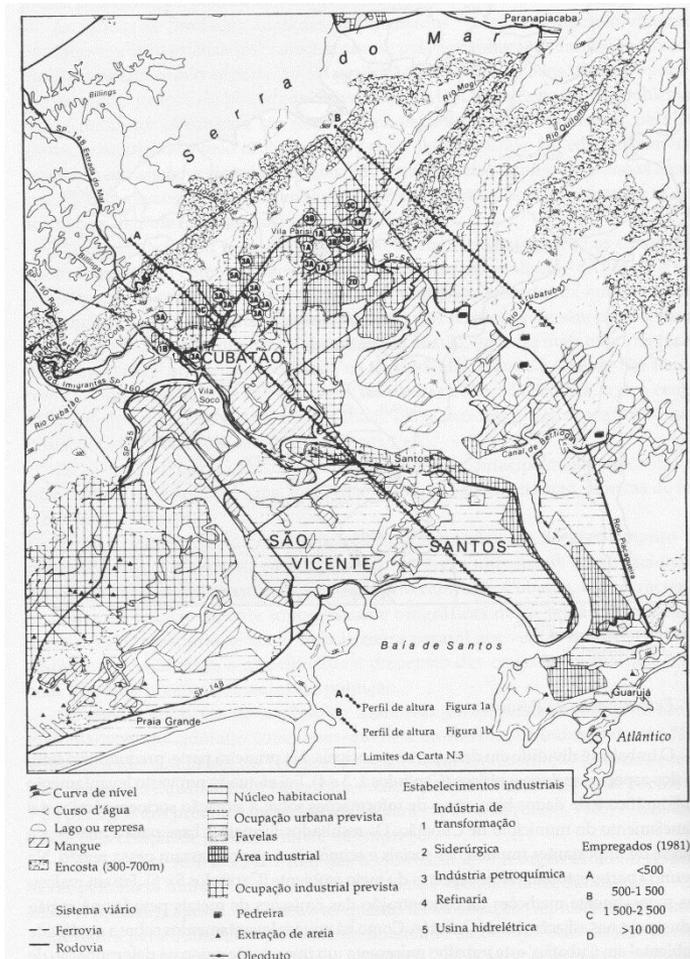


Tabela 14. Valores médios da poeira em suspensão e seus componentes em Vila Parisi e Cubatão-Centro (em $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Elemento	Poeira fina ($< 2,5\mu$)		Poeira grossa ($2,5 > 15\mu$)	
	Vila Parisi	Cubatão-Centro	Vila Parisi	Cubatão-Centro
Na	858	640	1 568	2 630
Mg	1 114	1 235	796	1 143
Al	1 825	2 591	3 976	2 255
Si	2 206	934	9 295	225
P	996	*	12 302	616
S	3 444	2 775	4 633	1 855
Cl	1 979	762	1 911	1 879
K	274	165	1 590	518
Ca	1 653	167	24 405	1 958
Ti	62,4	15,1	1 040	122
V	74,3	58,1	189	58,7
Cr	19,2	18	*	15,4
Mn	42,6	14,3	158	40,5
Fe	1 394	281	5 129	1 577
Ni	26,4	31,6	216	38,9
Cu	32,1	62,9	105	15,4
Zn	49,3	51,7	68,9	34,8
Sr	*	*	511	*
Zr	*	*	482	*

* Sem dados.

Fonte: Gepa, 1982.