

Interação aerossol-nuvem ou nuvem-aerossol:

1° Semestre 2018

- Introdução à Física Atmosférica-

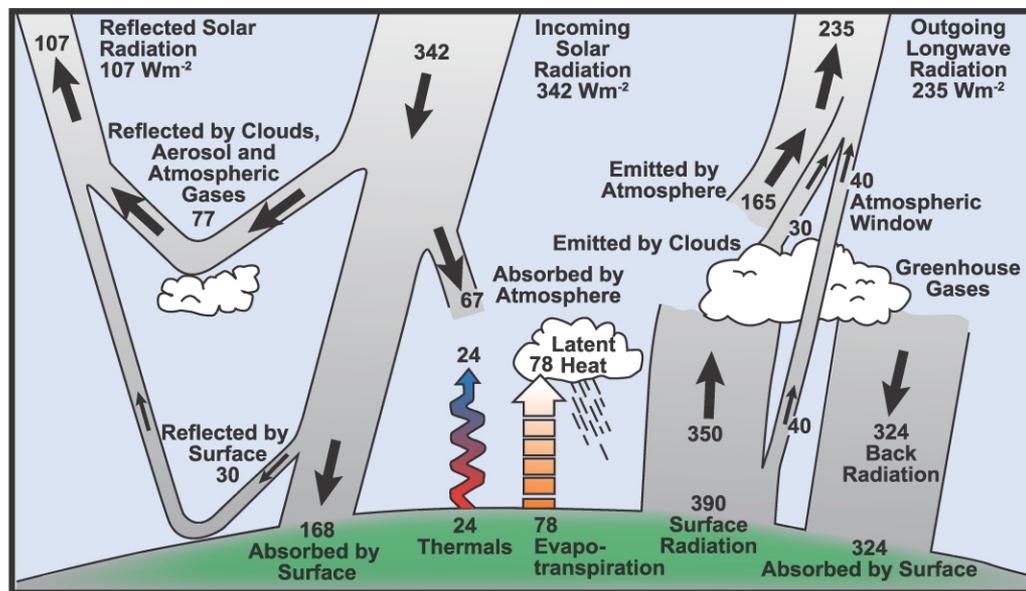
Nome: Willian Fernandes dos Santos

IPEN/USP

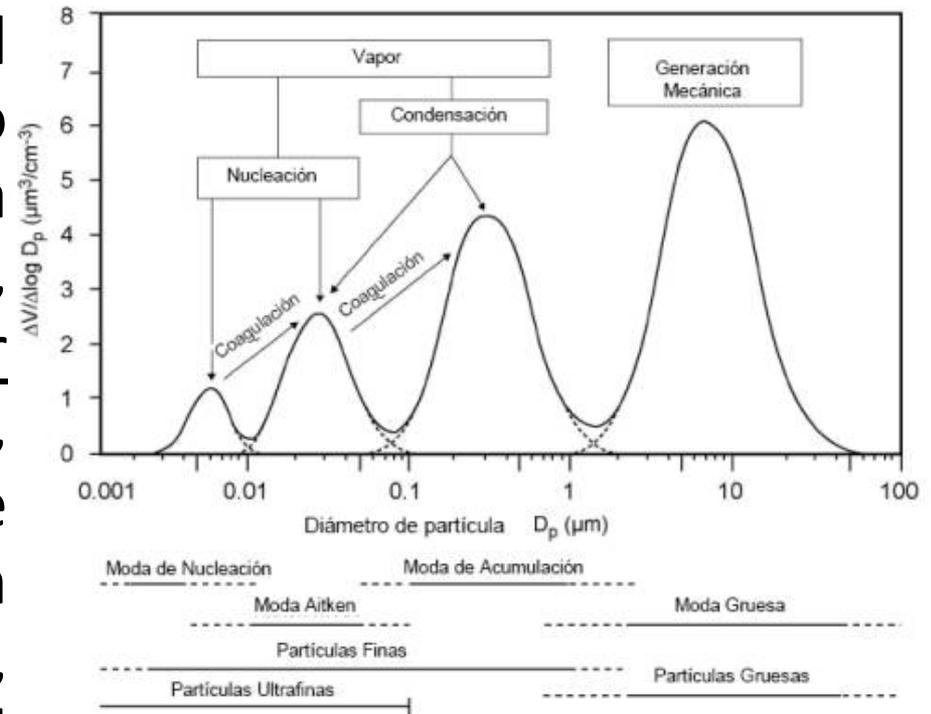
CLA- Centro de Lasers e Aplicações

2018

O **balanço de energia** da troposfera terrestre mantém-se, em grande parte, influenciado pela retenção de radiação de onda longa, reflexão para o espaço da radiação de onda curta e **liberação de calor latente** associada às mudanças de fase da água. Em todos esses processos as **nuvens** estão envolvidas.



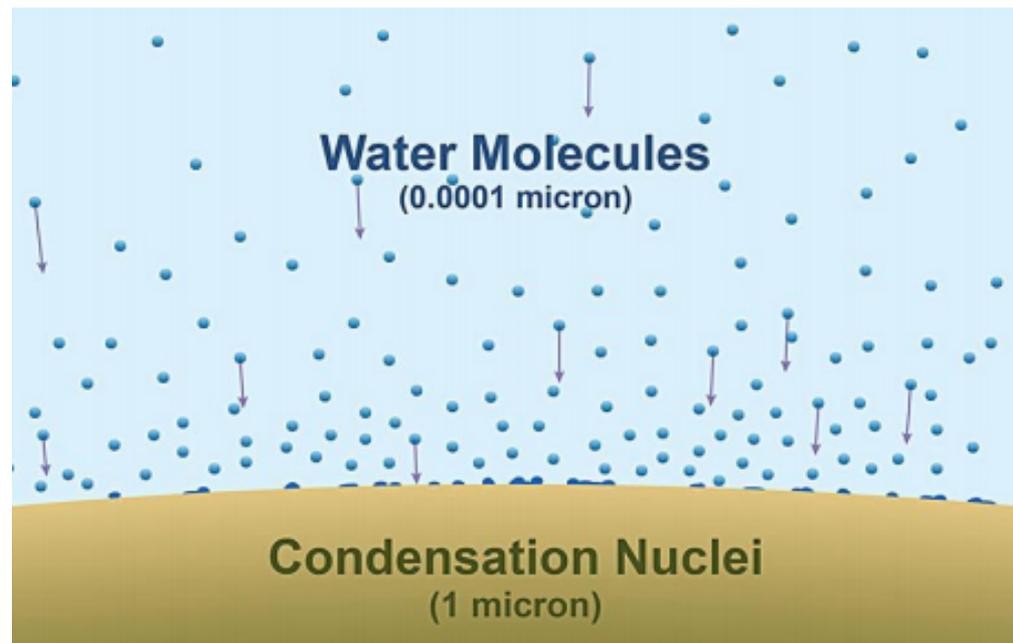
Os **aerossóis**, por sua vez, também exercem papel fundamental no balanço radiativo por sua complexa interação com a radiação solar, podendo espalhar ou absorver radiação de onda curta, alterando a radiação incidente na superfície, e em circunstâncias específicas, também o perfil termodinâmico da atmosfera.



Além destes papéis que exercem individualmente, aerossóis e nuvens interagem de maneira mútua. Concentrações elevadas de partículas de aerossóis alteram propriedades microfísicas de nuvens, com consequências importantes para a produção de precipitação e seu albedo.

Por outro lado, nuvens também alteram as propriedades de aerossóis, já que propiciam ambiente adequado para sua modificação, incluindo a ocorrência de reações químicas que se dão preferencialmente em ambiente aquoso como na produção de sulfato.

Os aerossóis exercem um papel importante no clima. Participam do balanço radiativo, espalhando e/ou absorvendo radiação solar e terrestre. Além de interagir diretamente com a radiação, é sobre uma fração das partículas de aerossóis (os chamados CCN, do inglês Cloud Condensation Nuclei) que se formam as gotículas de nuvens em seu estágio inicial de formação.



Núcleos de condensação

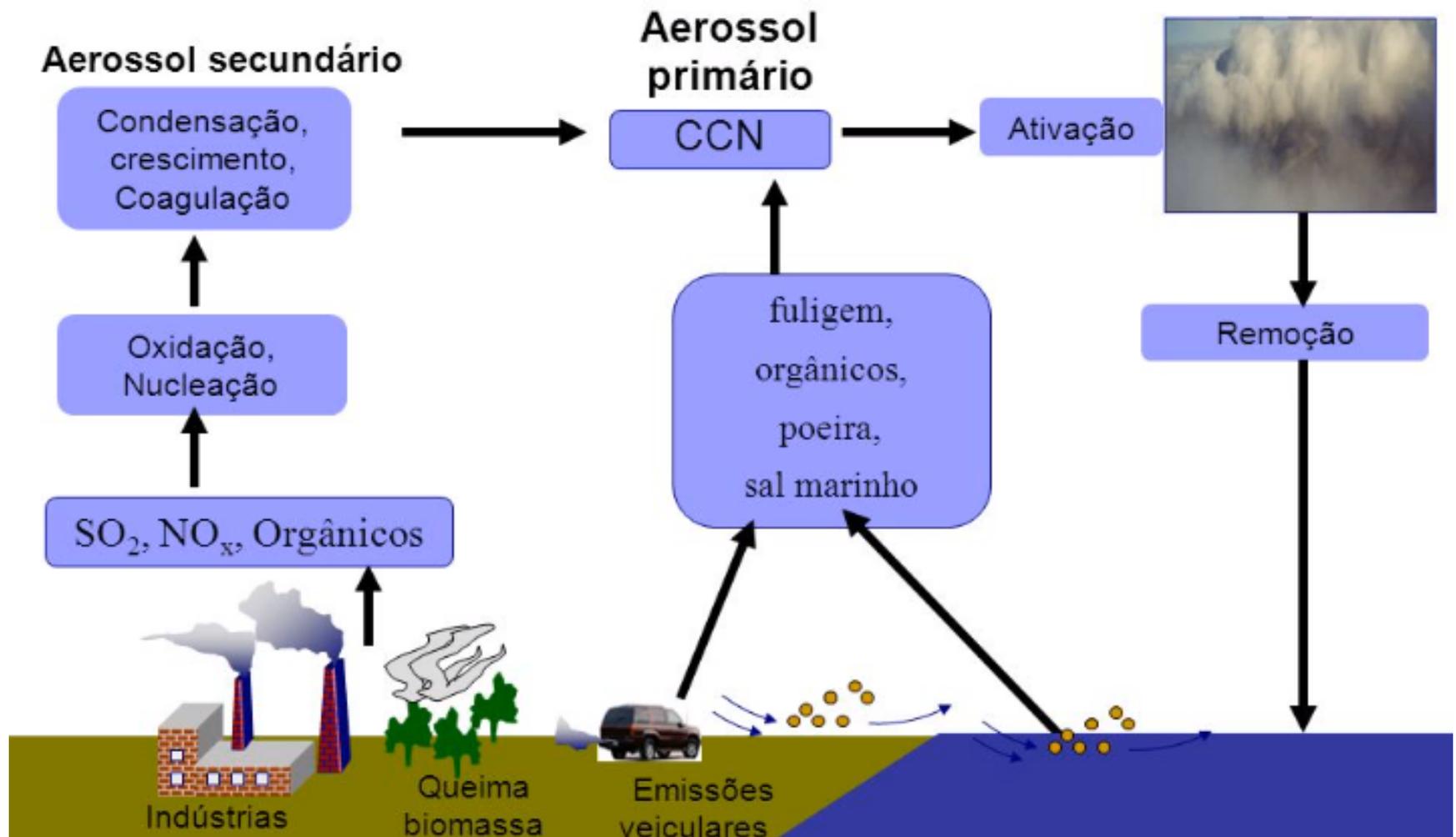
✓ O que são ?

- Partículas em torno das quais o vapor de água se condensa. Geralmente são substâncias higroscópicas como o sal marinho (cloreto de sódio, NaCl), os produtos de combustão que contêm ácido nítrico (HNO_3) e ácido sulfúrico (H_2SO_4) ou pequenas partículas de poeiras e pólen.
- Sigla: CCN. Do inglês, *cloud condensation nuclei*
- São ditos ativos quando promovem condensação

✓ Por que são necessários ?

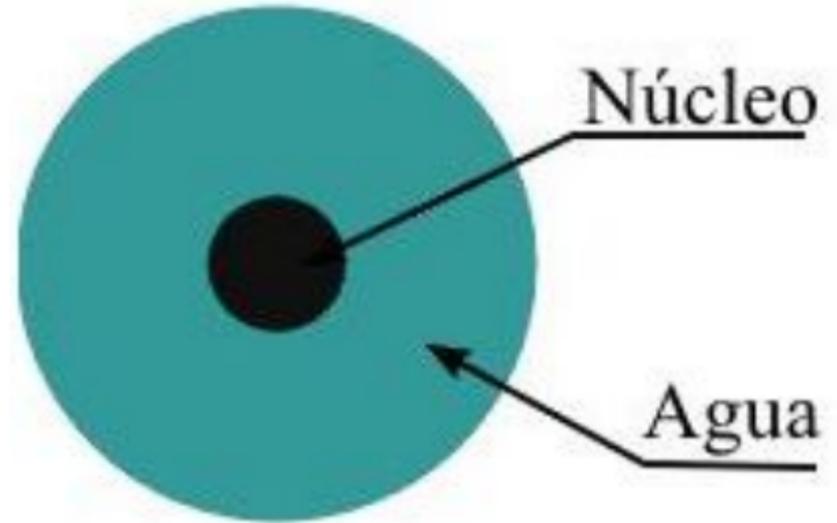
- No ar limpo, a condensação do vapor de água só é possível em situações de supersaturação $\rightarrow \text{UR} > 100\%$.
- Além disso, o grau de saturação necessário para desenvolvimento de nuvens aumenta rapidamente (supersaturação) a medida que o raio das gotículas diminui.
 - Se o raio da gotícula $R \approx 0,1 \mu\text{m}$ – saturação com $\text{UR} \approx 350\%$
 - Se o raio da gotícula $R \approx 1,0 \mu\text{m}$ – saturação com $\text{UR} \approx 101\%$

CICLO DE VIDA DOS AEROSSÓIS NA ATMOSFERA



Os mecanismos de remoção dos aerossóis são relacionados à sua faixa de tamanho. No caso da moda grossa, a deposição gravitacional é muito importante. Já as partículas da moda fina, por terem velocidades terminais de deposição gravitacional muito baixas, estão sujeitas ao transporte pelos ventos, podendo ser levadas a milhares de quilômetros de onde foram produzidas. Exemplo disso são as plumas de queimada que se espalham por milhões de km² pelo continente sulamericano, nos meses da estação seca (Freitas, 2009).

A remoção das partículas finas ocorre predominantemente pela deposição úmida, ou seja, por sua interação com nuvens e precipitação. As partículas de aerossóis nucleiam gotículas, sendo incorporadas a estas já no processo inicial de formação da nuvem. Além disso, quando ocorre a chuva, as partículas abaixo da nuvem são removidas por impacto com as gotas de chuva, limpando a atmosfera.



O papel dos aerossóis no balanço de energia do sistema Terra-Atmosfera é normalmente classificado como efeito direto e indireto, sendo o primeiro dado pela interação direta com a radiação (absorção e espalhamento) e o segundo através da modificação das propriedades microfísicas e, por consequência, na dimensão e no ciclo de vida das nuvens.

Efeitos das nuvens nos aerossóis:

- A remoção dos aerossóis pela precipitação e incorporação dos mesmos pelas nuvens são efeitos importantes que as nuvens podem exercer sobre os aerossóis, alterando a química da nuvem e da precipitação.
- Quando uma gotícula evapora, ela deixa o CCN original e qualquer material resultante de reação química, geralmente envolvendo SO_2 e NH_3 , de modo que o número de partículas não será afetado, mas a massa aumentará e o espectro de tamanho será diferente. Esse processo causam acidificação da água da nuvem e da precipitação e também criando novos aerossóis nas proximidades ou mesmo dentro da nuvem (Hobbs, 1993).

Interação aerossol-nuvem:

- A interação aerossol-nuvem envolve várias relações complexas, como:
- O aumento da concentração de aerossóis atuando como núcleos de condensação aumenta o número e diminui o tamanho das gotículas de nuvem, o que causa um aumento na refletividade da nuvem (Twomey, 1977).
Efeito Teomey.

Interação aerossol-nuvem:

- Por outro lado, a presença de carbono elementar oriundo de queimadas pode aumentar a absorção de radiação e reduzir a refletividade da nuvem (Kaufman e Nakajima, 1993).
- Gotas menores têm maior tempo de vida e podem não crescer o suficiente para precipitarem (Rosenfeld, 1999).
- Aumentando o conteúdo de água líquida das nuvens (Albrecht, 1989).

Interação aerossol-nuvem:

Camadas de aerossol reduzem a radiação solar que chega em superfície, resfriando-a, e no caso de serem aerossóis absorvedores (por exemplo, resultado de queimada), aquecem a atmosfera.

Desse modo, os fluxos de umidade e estrutura do perfil vertical de temperatura sofrem alteração.

O que tende a reduzir a cobertura de nuvens e seu conteúdo de água líquida (Koren et al., 2004).

Por outro lado, menor fração do céu coberta por nuvens aumenta a quantidade de radiação incidente em superfície, o que realimenta os fluxos de vapor e desestabiliza o perfil vertical de temperatura. Porém assume-se que esse aquecimento da superfície é relativamente lento se comparado com as alterações de fluxo solar (Koren et al., 2008).

- Os processos apresentados são concorrentes, sendo que a fração final de cobertura de nuvens dependerá da magnitude de absorção de radiação pelo aerossol (Kaufman e Koren, 2006), do perfil vertical de aerossóis (Yu et al., 2002) e das trajetórias das massas de ar, que podem trazer diferentes tipos de aerossol de diversas fontes (Feingold et al., 2003).

● Ultrafine aerosol particles ($UAP_{<50}$)

● CCN-size aerosol particles ($CCN_{>50}$)

● Rain drop

❄ Ice crystal

● Cloud droplets from $CCN_{>50}$

● Cloud droplets from $UAP_{<50}$

● Graupel

