



Camada Limite Planetária **Yonsei University (YSU)**



Equações governantes para o escoamento médio da atmosférico

Equações Conservação de Momentum

$$\frac{\partial(\bar{u})}{\partial t} + (\bar{u})\frac{\partial(\bar{u})}{\partial x} + (\bar{v})\frac{\partial(\bar{u})}{\partial y} + (\bar{w})\frac{\partial(\bar{u})}{\partial z} + \frac{1}{\rho_0}\frac{\partial(\bar{P})}{\partial x} - 2\Omega\eta_3(\bar{v}) - \nu\frac{\partial^2(\bar{u})}{\partial x^2} - \nu\frac{\partial^2(\bar{u})}{\partial y^2} - \nu\frac{\partial^2(\bar{u})}{\partial z^2} = -\frac{\partial(\overline{u'u'})}{\partial x} - \frac{\partial(\overline{v'u'})}{\partial y} - \frac{\partial(\overline{w'u'})}{\partial z}$$

$$\frac{\partial(\bar{v})}{\partial t} + (\bar{u})\frac{\partial(\bar{v})}{\partial x} + (\bar{v})\frac{\partial(\bar{v})}{\partial y} + (\bar{w})\frac{\partial(\bar{v})}{\partial z} + \frac{1}{\rho_0}\frac{\partial(\bar{P})}{\partial y} + 2\Omega\eta_3(\bar{u}) - \nu\frac{\partial^2(\bar{v})}{\partial x^2} - \nu\frac{\partial^2(\bar{v})}{\partial y^2} - \nu\frac{\partial^2(\bar{v})}{\partial z^2} = -\frac{\partial(\overline{u'v'})}{\partial x} - \frac{\partial(\overline{v'v'})}{\partial y} - \frac{\partial(\overline{w'v'})}{\partial z}$$

$$\frac{\partial(\bar{w})}{\partial t} + (\bar{u})\frac{\partial(\bar{w})}{\partial x} + (\bar{v})\frac{\partial(\bar{w})}{\partial y} + (\bar{w})\frac{\partial(\bar{w})}{\partial z} + \frac{1}{\rho_0}\frac{\partial(\bar{P})}{\partial z} + g\frac{\bar{\rho}}{\rho_0} - \nu\frac{\partial^2(\bar{w})}{\partial x^2} - \nu\frac{\partial^2(\bar{w})}{\partial y^2} - \nu\frac{\partial^2(\bar{w})}{\partial z^2} = -\frac{\partial(\overline{u'w'})}{\partial x} - \frac{\partial(\overline{v'w'})}{\partial y} - \frac{\partial(\overline{w'w'})}{\partial z}$$

Equação Conservação de Energia

$$\frac{\partial(\bar{T})}{\partial t} + (\bar{u})\frac{\partial(\bar{T})}{\partial x} + (\bar{v})\frac{\partial(\bar{T})}{\partial y} + (\bar{w})\frac{\partial(\bar{T})}{\partial z} - S_P\bar{\omega} = \frac{\partial(\overline{u'T'})}{\partial x} + \frac{\partial(\overline{v'T'})}{\partial y} + \frac{\partial(\overline{w'T'})}{\partial z} + \frac{\bar{J}}{C_p}$$

Equação Conservação de Massa

$$\frac{\partial(\bar{c})}{\partial t} + (\bar{u})\frac{\partial(\bar{c})}{\partial x} + (\bar{v})\frac{\partial(\bar{c})}{\partial y} + (\bar{w})\frac{\partial(\bar{c})}{\partial z} = \frac{\partial(\overline{u'c'})}{\partial x} + \frac{\partial(\overline{v'c'})}{\partial y} + \frac{\partial(\overline{w'c'})}{\partial z} + \bar{S}_c$$

$$u_3 = w$$

$$x_3 = z$$

$$\nu\frac{\partial^2(\bar{u}_3)}{\partial x_3^2} \cong 0$$



Equações governantes para o escoamento médio da atmosférico

$$\frac{\partial(\bar{u})}{\partial t} = - \frac{\partial(\overline{w'u'})}{\partial z}$$

$$\frac{\partial(\bar{v})}{\partial t} = - \frac{\partial(\overline{w'v'})}{\partial z}$$

$$\frac{\partial(\bar{w})}{\partial t} = - \frac{\partial(\overline{w'w'})}{\partial z} = - \frac{\partial(\overline{w'^2})}{\partial z} = - \frac{\partial(TKE)_k}{\partial z}$$

$$\frac{\partial(\bar{T})}{\partial t} = - \frac{\partial(\overline{w'T'})}{\partial z}$$

$$\frac{\partial(\bar{c})}{\partial t} = - \frac{\partial(\overline{w'c'})}{\partial z}$$

$$\frac{\partial(\overline{w'X'})}{\partial z}$$

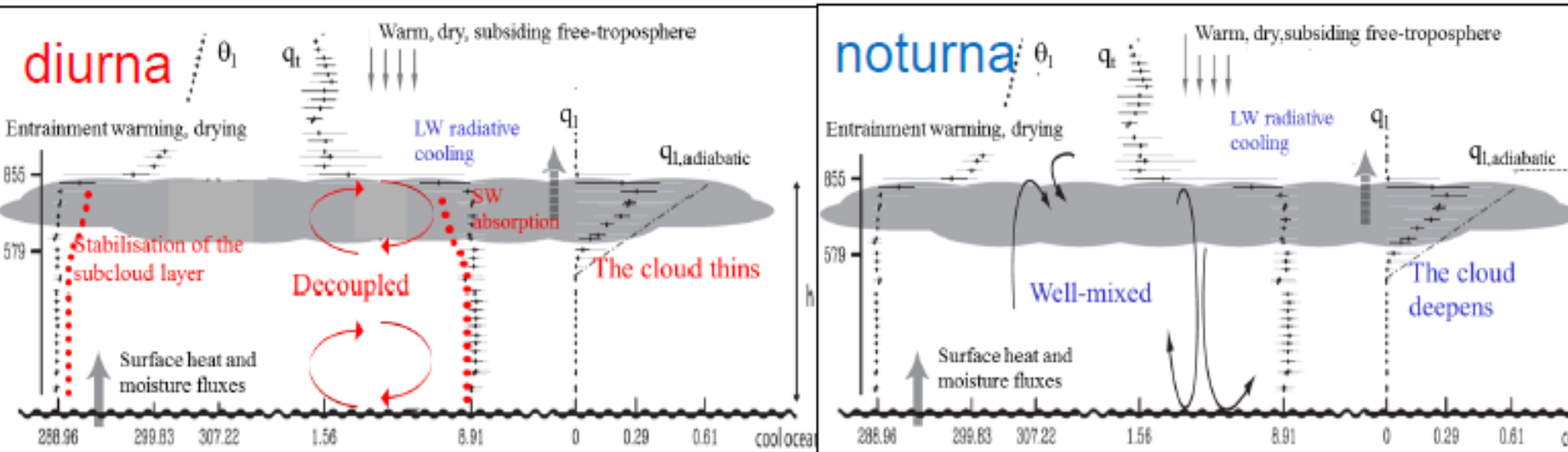
Mudança de fase e processos turbulentos presentes na atmosfera

$$\frac{D\bar{e}}{Dt} = - \frac{(\overline{u_j'u_i'})}{2} \frac{\partial(\bar{u}_i)}{\partial x_j} - g \frac{\overline{u_i'\rho'}}{2\rho_0} \delta_{i3} - \frac{\partial(\overline{eu_j'})}{\partial x_j} - \frac{1}{2\rho_0} \frac{\partial(\overline{P'u_i'})}{\partial x_i} - \epsilon$$



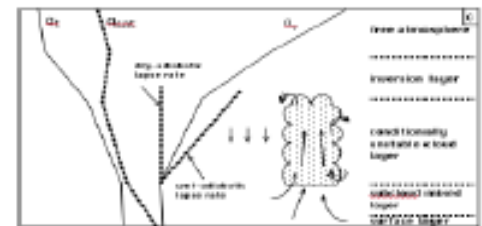
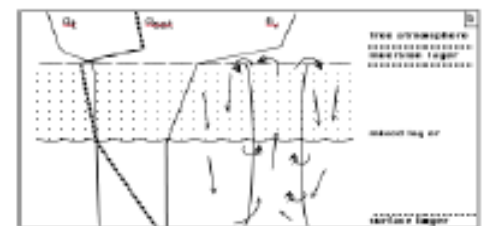
(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite

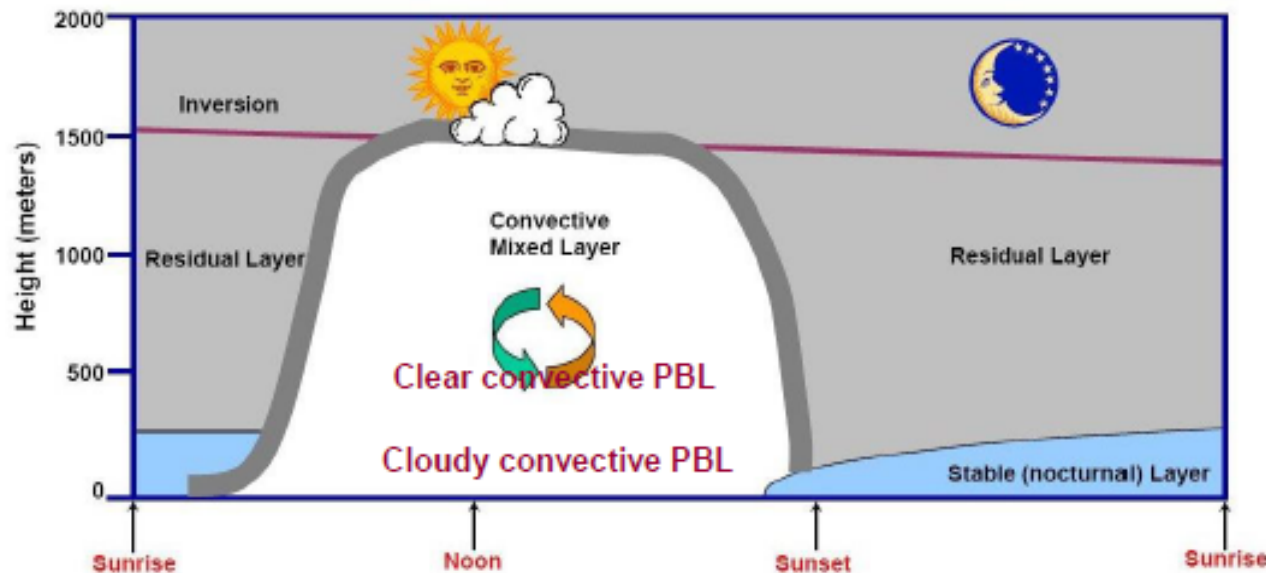


Como calcular o coeficiente de difusão turbulenta?
 $K(x, y, z, ri, cloud, rad, entr, \dots)$

Estratocumulos PBL



Cumulos PBL





Camada Limite Planetária

Yonsei University (**YSU**)

"Fechamento de primeira ordem;

Conceito de Troen e Mahrt (1986) de incorporar um termo de **correção contra o gradiente** na difusão descendente expressa exclusivamente pela mistura local.

O YSU representa **explicitamente a entranhamento** no topo da CAMADA LIMITE PLANETÁRIA."



Vantagens

"Simula de forma **mais precisa a profundidade a mistura vertical** em PBL **impulsionadas pela flutuabilidade**, e mistura mais rasa em regimes de ventos fortes em comparação com o (Hong et al. 2006)."

Desvantagens

"Ainda foi constatado que **aprofunda excessivamente a PBL em ambientes de convecção profunda** na primavera, resultando em **ar muito seco próximo à superfície** e **subestimação da CAPE em relação a ambientes de convecção profunda** (Coniglio et al. 2013)."



Esquema de difusão vertical da camada limite NonLocal

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K_c \left(\frac{\partial C}{\partial z} - \gamma_c \right) \right]$$

1. K_c é **coeficiente de difusividade de Eddy**.

2. γ_c é uma **correção para o gradiente local** que incorpora a **contribuição de eddies de grande escala ao fluxo total**

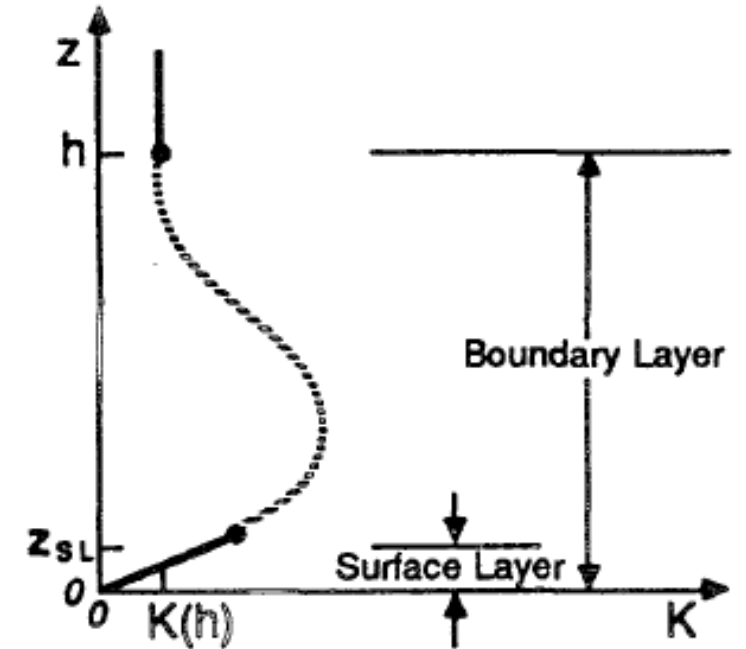


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).



Deardorff (1973), Troen and Mahrt (1986) Holtslag and Moeng (1991), Holtslag and Boville (1993)

Difusão da camada de mistura

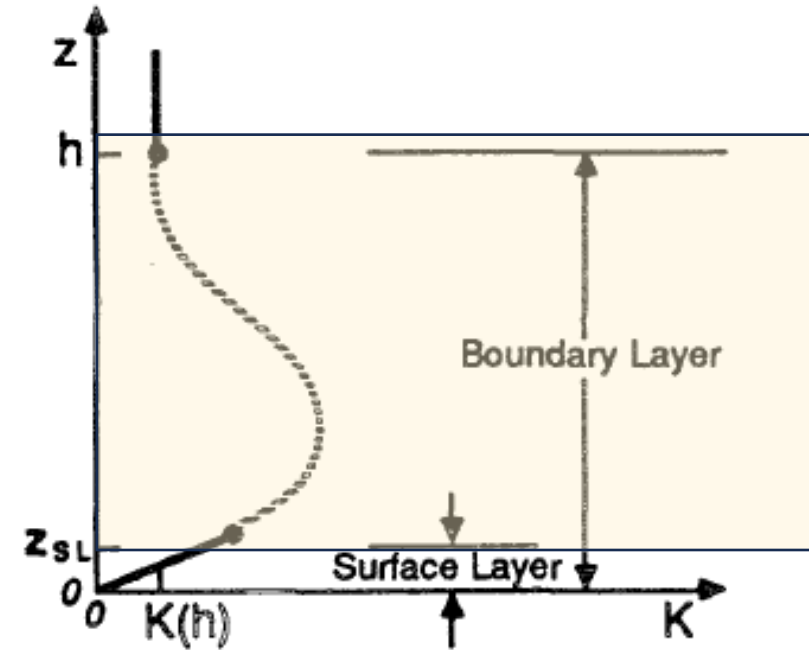


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).



Difusão da camada de mistura

Deardorff (1973), Troen and Mahrt (1986) Holtslag and Moeng (1991), Holtslag and Boville (1993)

$$K_{zm} = kw_s z \left(1 - \frac{z}{h}\right)^p$$

"onde:

1. p é o expoente da forma do perfil, considerado como 2.
2. k é a constante de von Kármán (= 0.4),
3. z é a altura a partir da superfície
4. h é a altura da PBL.
5. w_s é A escala de velocidade da camada mistura é representada como"

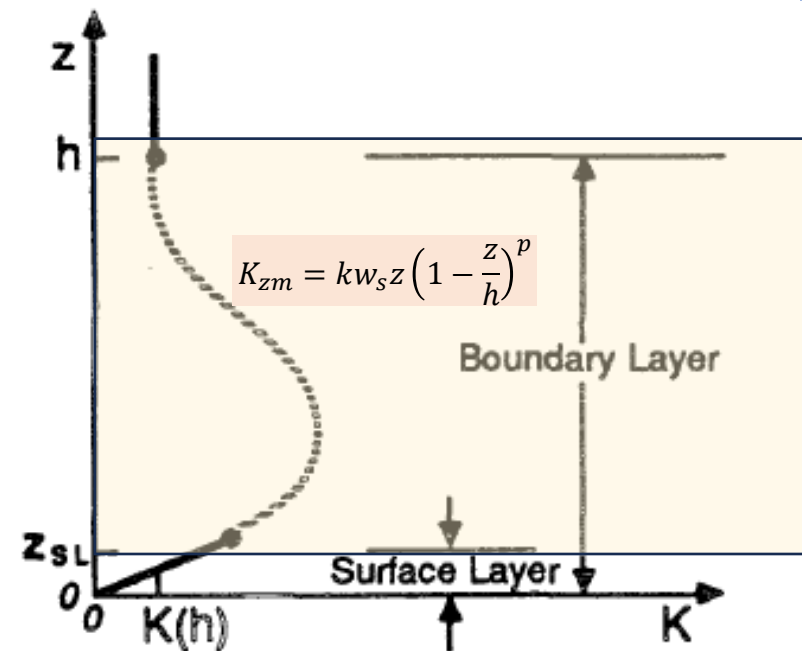


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).



(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite

Difusão da camada de mistura

Deardorff (1973), Troen and Mahrt (1986) Holtslag and Moeng (1991), Holtslag and Boville (1993)

Escala de velocidade da camada mistura

$$w_s = \left(u_*^3 + \frac{8kw_*^3z}{h} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Onde:

u_* é a escala de velocidade de fricção na superfície

w_{*b} é a escala da velocidade convectiva

Escala da velocidade convectiva

$$w_{*b} = \left\{ \frac{g}{\theta_{va}} (w'\theta'_v)_0 h \right\}^{\frac{1}{3}}$$

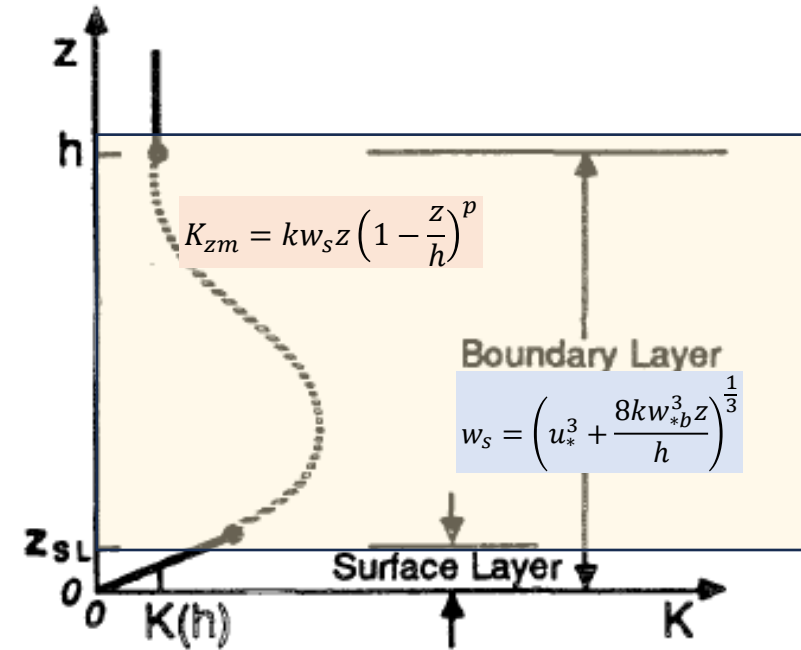


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).



(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite

Difusão da camada de mistura

Deardorff (1973), Troen and Mahrt (1986) Holtslag and Moeng (1991), Holtslag and Boville (1993)

O termo de contra-gradiente para θ e momentum':

$$\gamma_c = b \frac{\overline{(w'c')}_0}{w_{s0}}$$

Onde:

$\overline{(w'c')}_0$ é fluxo de superfície correspondente a θ e a u e v .

b é um coeficiente de proporcionalidade

w_{s0} é a escala de velocidade na camada de mistura, é definida como a velocidade em $z = 0.5h$ na equação:

$$w_{s0} = w_s = \left(u_*^3 + \frac{8kw_*^3 z}{h} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(u_*^3 + \frac{8kw_*^3 0.5h}{h} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(u_*^3 + 4kw_*^3 \right)^{\frac{1}{3}}$$

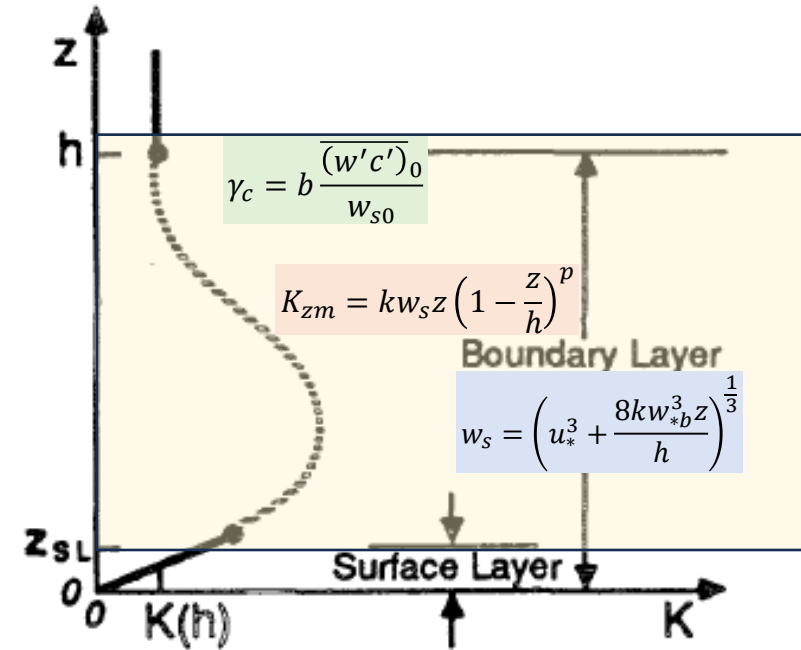


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).



Difusão da camada de mistura

Deardorff (1973), Troen and Mahrt (1986) Holtslag and Moeng (1991), Holtslag and Boville (1993)

"A difusividade turbulenta para temperatura e umidade K_h é calculada a partir de K_{zm} na equação (2) usando a relação do número de Prandtl."

$$P_r = \left(\frac{\phi_t}{\phi_m} + bk \frac{0.1h}{h} \right)$$

"onde:

P_r é uma constante dentro de toda a camada limite de mistura."

$$K_h \sim P_r K_{zm}$$

$$\gamma_c = b \frac{(\overline{w'c'})_0}{w_{s0}}$$
$$K_{zm} = kw_s z \left(1 - \frac{z}{h}\right)^p$$
$$w_s = \left(u_*^3 + \frac{8kw_*^3 b z}{h} \right)^{\frac{1}{3}}$$



Difusão da camada de mistura

Deardorff (1973), Troen and Mahrt (1986) Holtslag and Moeng (1991), Holtslag and Boville (1993)

Acoplamento da Camada superficial e a camada de mistura

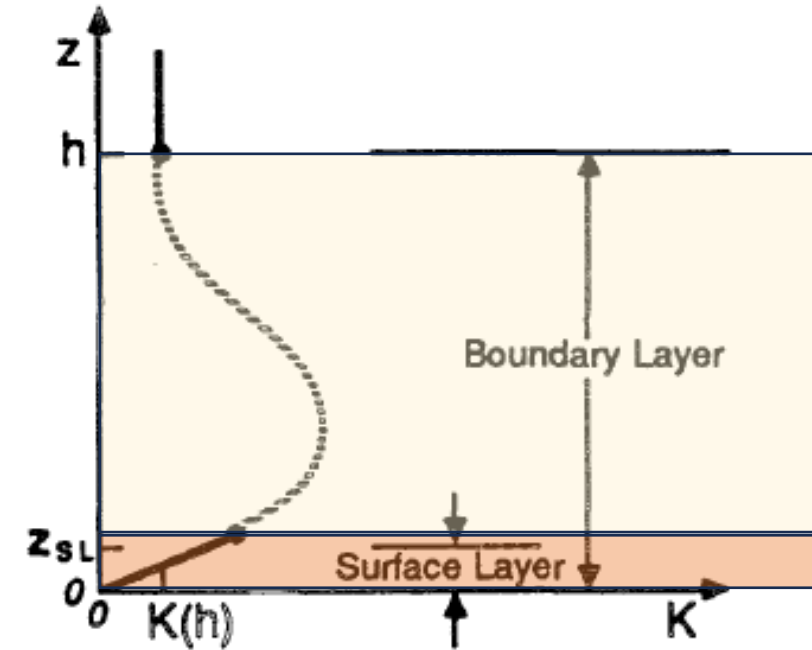


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).

Camada superficial $\overline{(w'C')}_{z=0} \sim cte$ entre $0 \leq z \leq z_{SL}$

Previsão Numérica de Tempo e Clima

Como parameterizar os momentum de 2 ordem $w'\varphi'$ na **CL Superficial**

$$F = \rho K(z) \frac{d\varphi}{dz} \quad (F = \overline{w'\varphi'})$$

Formulação em diferenças finitas

$$F_{1.5} = \rho K(z_{1.5}) \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{z_2 - z_1}$$

Integral da camada superfície :

$$\varphi_1 - \varphi_s = \int_{z_{o\varphi}}^{z_1} \frac{F_{0\varphi}}{\rho K(z)} dz$$

Camada de fluxo constante:

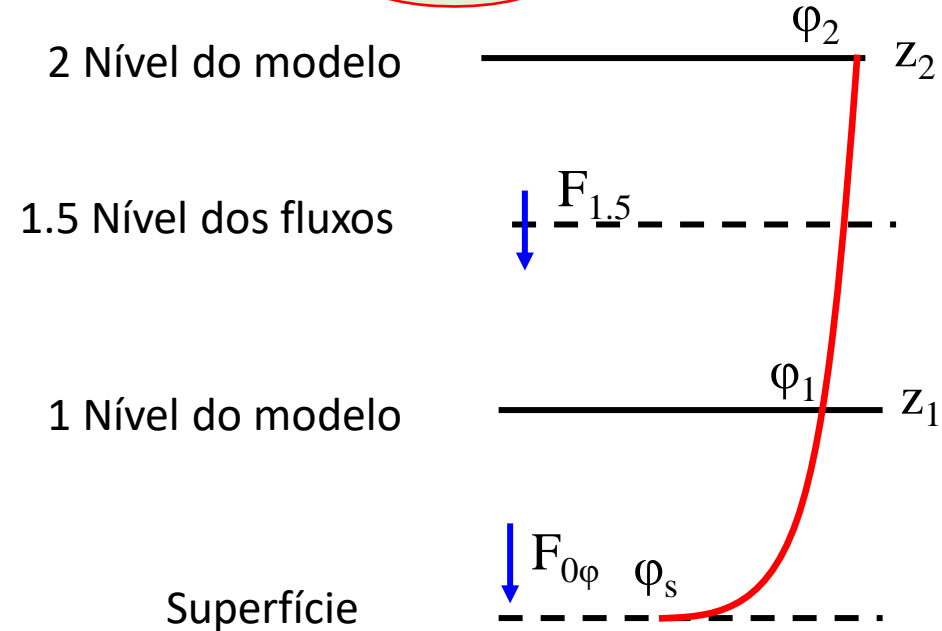
$$\varphi_1 - \varphi_s \approx \frac{F_{0\varphi}}{\rho} \int_{z_{o\varphi}}^{z_1} \frac{1}{K(z)} dz$$

Escoamento neutro: $K(z) = \kappa u_* z$

$$\varphi_1 - \varphi_s \approx \frac{F_{0\varphi}}{\rho \kappa u_*} \int_{z_{o\varphi}}^{z_1} \frac{dz}{z} \Rightarrow \varphi_1 - \varphi_s = \frac{F_{0\varphi}}{\rho \kappa u_*} \ln \left(\frac{z_1}{z_{o\varphi}} \right)$$

κ : Von Karman constant (0.4)
 u_* : Friction velocity
 ρ : Density

Calcular $K(z_{1.5})$???



u, v, T, q



Deardorff (1973), Troen and Mahrt (1986) Holtslag and Moeng (1991), Holtslag and Boville (1993)

Função universal integrada para a camada limite superficial
($z_0 \leq z \leq z_{SL}$)when $\zeta < 0$ (unstable)

$$\Psi_M = \ln\left(\frac{z_m - d_0}{z_0}\right) + \ln\frac{(x_0^2 + 1)(x_0 + 1)^2}{(x^2 + 1)(x + 1)^2} + 2(\tan^{-1} x - \tan^{-1} x_0) \quad (2.59)$$

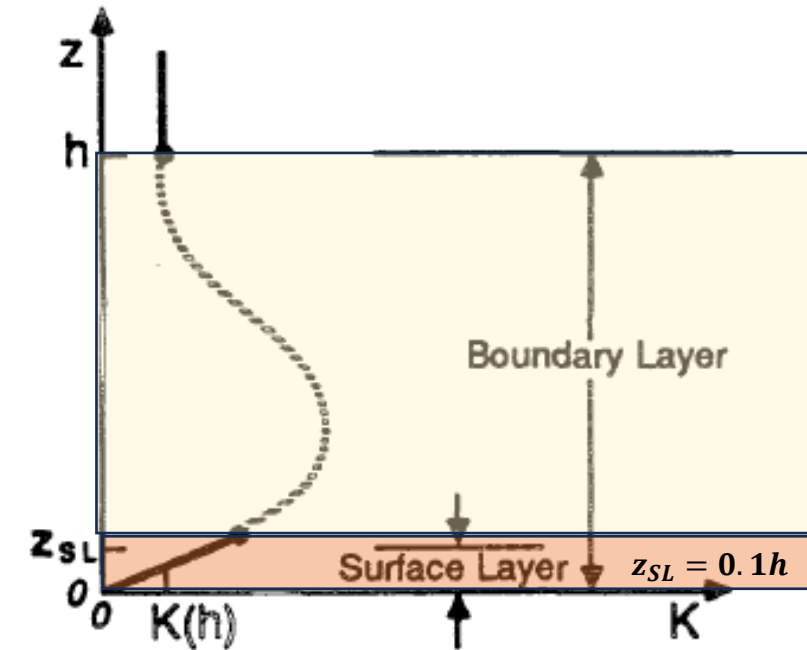
$$\Psi_H = \ln\left(\frac{z_m - d_0}{z_0}\right) + 2 \ln\left(\frac{y_0 + 1}{y + 1}\right) \quad (2.60)$$

$$x = (1 - 16\zeta)^{1/4}, \quad x_0 = (1 - 16\zeta_0)^{1/4}, \quad y = (1 - 16\zeta)^{1/2}, \quad y_0 = (1 - 16\zeta_0)^{1/2} \quad (2.61)$$

when $\zeta \geq 0$ (stable)

$$\Psi_M = \ln\left(\frac{z_m - d_0}{z_0}\right) + \frac{7}{3} \ln\frac{1 + 3\zeta + 10\zeta^3}{1 + 3\zeta_0 + 10\zeta_0^3} \quad (2.62)$$

$$\Psi_H = \ln\left(\frac{z_m - d_0}{z_0}\right) + 400 \ln\frac{1 + 7/400\zeta + 0.005\zeta^2}{1 + 7/400\zeta_0 + 0.005\zeta_0^2} \quad (2.63)$$

FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).

$$H = \rho_a C_p (T_{au} - T_m) \kappa u_* / \Psi_H \quad (2.56)$$

$$L = -\rho_a C_p T_m u_*^3 / \kappa g H \quad (2.57)$$

$$\zeta = z_m / L \quad (2.58)$$



(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite

Deardorff (1973), Troen and Mahrt (1986) Holtslag and Moeng (1991), Holtslag and Boville (1993)

“Para satisfazer a compatibilidade entre o topo da camada superficial ($z = 0.1h$) e a base da PBL .

Função universal integrada para a **camada limite de mistura**
($z_{SL} \leq z \leq h$)

Primeiro para condições instáveis e neutras $\overline{(w'\theta'_v)_0} \leq 0$

$$\phi_m = \left(1 - 16 \frac{z}{L}\right)^{-\frac{1}{4}} = \left(1 - 16 \frac{0.1h}{L}\right)^{-\frac{1}{4}}, \text{ para } u \text{ e } v$$

$$\phi_t = \left(1 - 16 \frac{z}{L}\right)^{-\frac{1}{2}} = \left(1 - 16 \frac{0.1h}{L}\right)^{-\frac{1}{2}}, \text{ para } \theta \text{ e } q$$

Emquanto para regime estável $\overline{(w'\theta'_v)_0} > 0$

$$\phi_m = \phi_t = \left(1 - 5 \frac{z}{L}\right) = \left(1 - 5 \frac{0.1h}{L}\right)$$

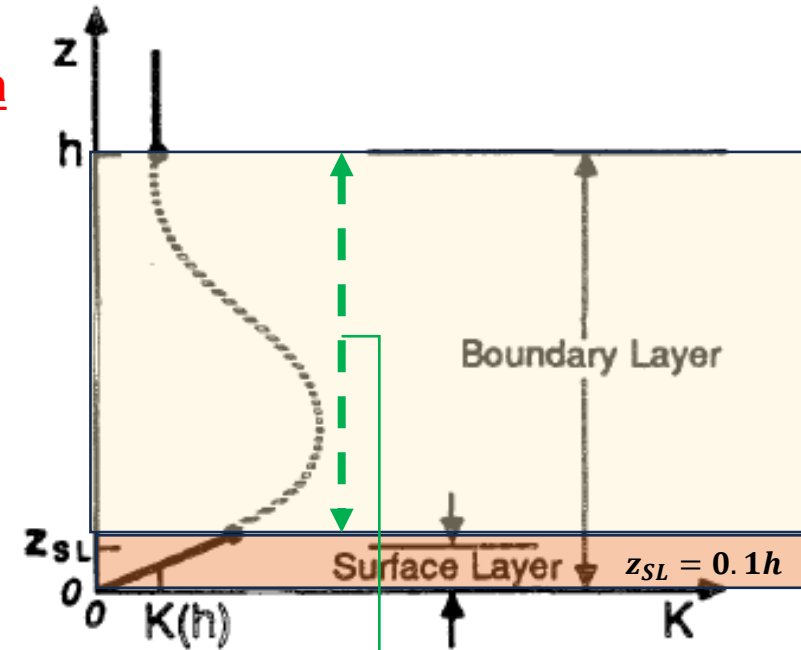


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).

As **funções universais** com perfil **similares (regime de estabilidade)** às da física da camada superficial **devem ser usadas**



(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite

O topo da camada superficial é estimada em $0.1h$ para estimar o fator b da equação do contra-gradiente, o expoente $-\frac{1}{3}$ é escolhido para assegurar o limite de convecção livre. Portanto, utiliza-se a aproximação:

$$\phi_m = \left(1 - 16 \frac{0.1h}{L}\right)^{-\frac{1}{4}} \approx \left(1 - 12 \frac{0.1h}{L}\right)^{-\frac{1}{3}}, \text{ para } u \text{ e } v$$

$$w_{*b} = \left\{ \frac{g}{\theta_{va}} (w' \theta'_v)_0 h \right\}^{\frac{1}{3}}$$

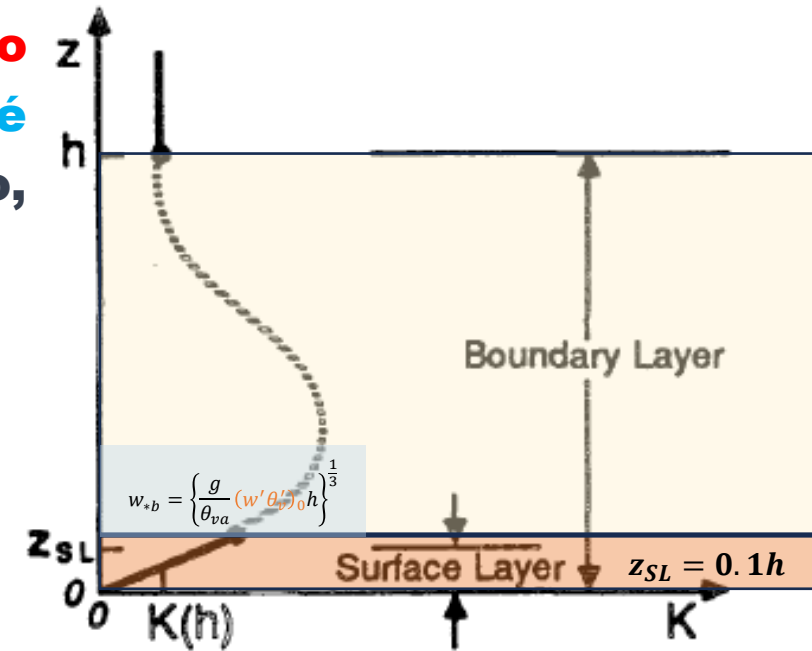


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).

Baseado na derivação de Troen and Mahrt (1986) Holtslag (1990), encontra-se

$$b = 7.8$$

$$P_r = \left(\frac{\phi_t}{\phi_m} + bk \frac{0.1h}{h} \right)$$

$$K_h \sim P_r K_{zm}$$



(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite

Deardorff (1973), Troen and Mahrt (1986) Holtslag and Moeng (1991), Holtslag and Boville (1993)

A altura da Camada Limite Planetária é definida:

$$h = Rib_{cr} \frac{\theta_{va} |U(h)|^2}{g(\theta_v(h) - \theta_s)}$$

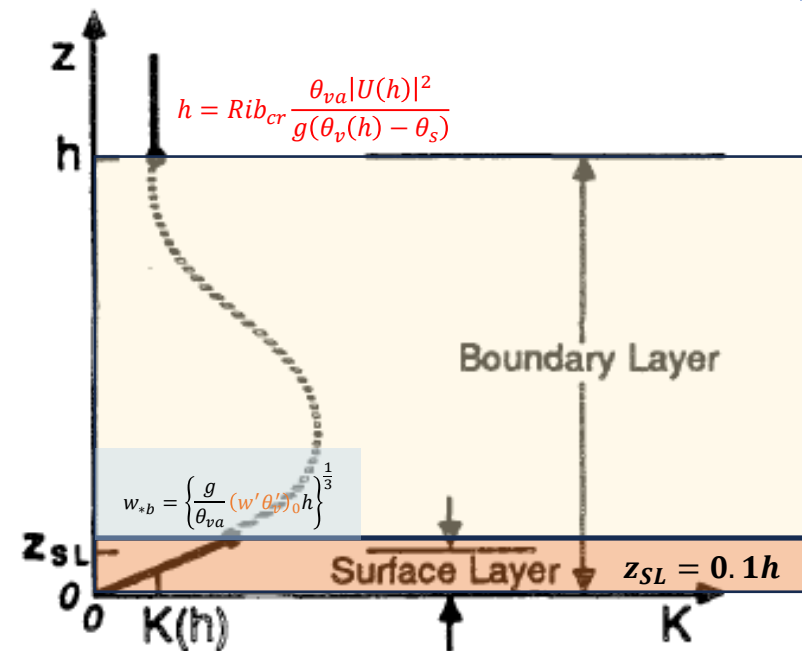


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).

Onde:

Rib_{cr} é o numero de Richardson bulk crítico

$U(h)$ é a velocidade do vento horizontal em h

θ_{va} é a temperatura virtual no nível mais baixo do modelo (30-50 m) da superfície

$\theta_v(h)$ é a temperatura potencial virtual em h

θ_s é a temperatura potencial apropriada próxima a superfície

h é a altura da camada limite

L é a escala de comprimento de MONIN – OBUKHOV



(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite

Deardorff (1973), Troen and Mahrt (1986) Holtslag and Moeng (1991), Holtslag and Boville (1993)

A temperatura potencial apropriada próxima a superfície é definida:

$$\theta_s = \theta_{va} + \theta_T \left[= b \frac{\overline{(w'\theta_v')}_0}{w_s h} \right]$$

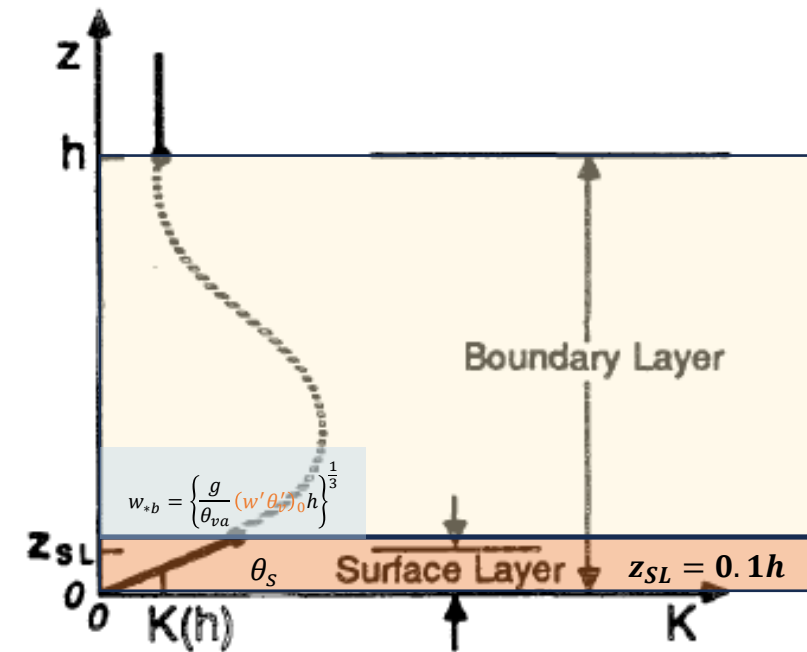


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).

Onde: θ_T é o a escala de excesso de temperatura virtual próxima a superfície

Testes preliminares indica que θ_T alguma vezes **torna muito grande quando vento de superfície é muito baixo, resultando em h irrealista** . **"Este alto valor de h devido ao irrealismo de θ_T não prejudica o resultado porque resulta em um coeficiente de difusividade muito pequeno nesta situações.** "mas isso não é desejável para fins de diagnóstico". Por estas razões **defini-se um limite máximo de $\theta_T = 3K$ "**



Louis (1979)

Difusão na atmosfera livre

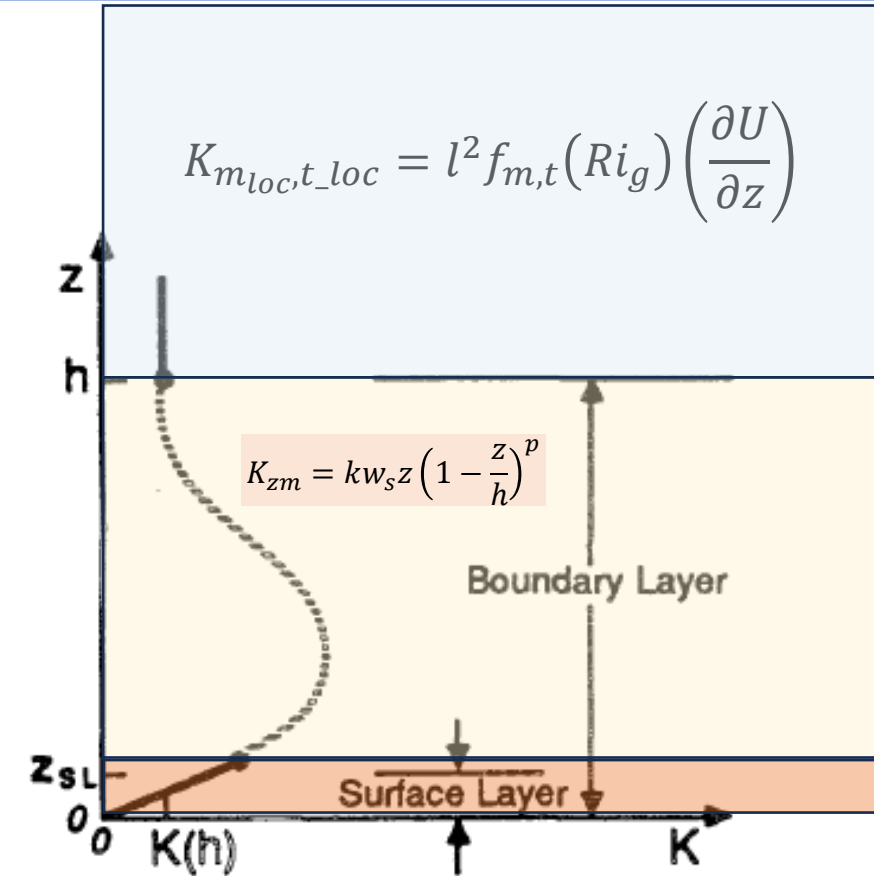


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).



(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite

“Os **coeficientes de difusividade vertical para momentum** (m ; u , v) e **escalares** (t ; θ , q), seguindo Louis (1979) acima de h ,”

Louis (1979)

$$K_{m_{loc},t_{loc}} = l^2 f_{m,t}(Ri_g) \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)$$

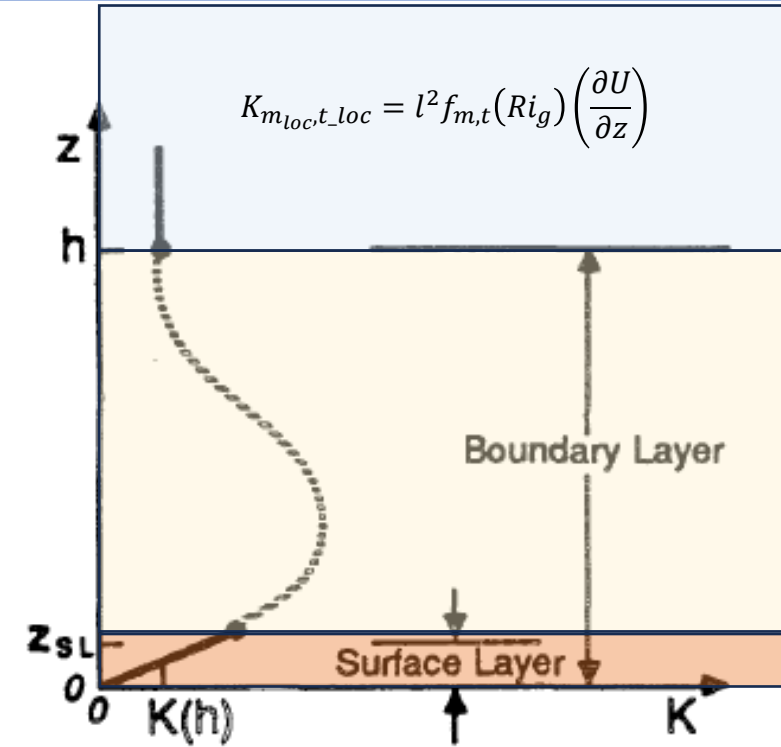


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).

Onde:

l é o comprimento de mistura.

$f_{m,t}(Ri_g)$ função de **estabilidade dependente do numero de Richardson bulk.**

$\frac{\partial U}{\partial z}$ **cisalhamento vertical do vento**

h é a altura da camada limite

L é a escala de comprimento de MONIN – OBUKHOV



(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite

Louis (1979)

“O comprimento de mistura l é dado por:,”

$$\frac{1}{l} = \frac{1}{kz} + \frac{1}{\lambda_0}$$

$$\frac{1}{l} = \frac{\lambda_0 + kz}{\lambda_0 kz}$$

Onde:

z é a altura acima da superfície.

λ_0 é a escala de comprimento assintótico ($\lambda_0=30\text{m}$)

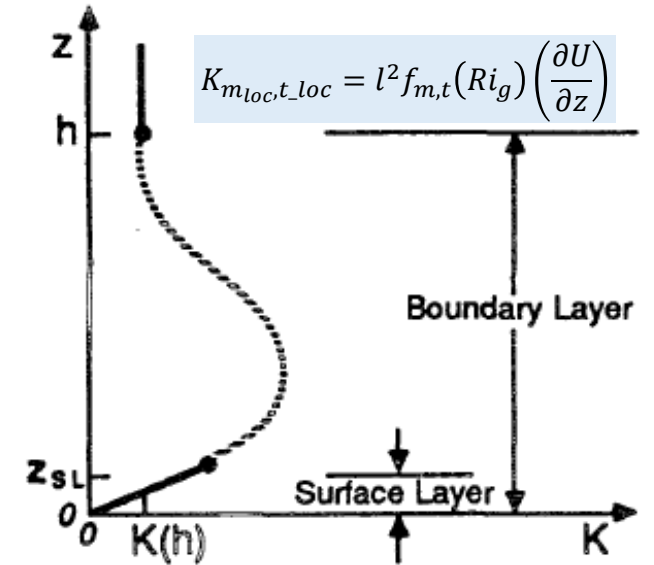
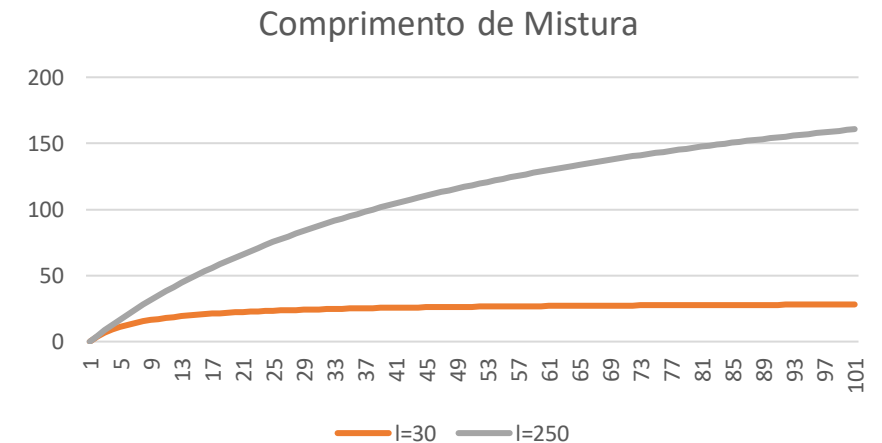


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).

Kim (1991) propôs o **comprimento de mistura de 30m** para a atmosfera livre neutra através de observações por avião

No modelo operacional utiliza-se ($\lambda_0=250\text{ m}$)

$$l = \frac{\lambda_0 kz}{\lambda_0 + kz}$$



" $\frac{1}{\lambda_0} = \frac{1}{250}$ Isto é reduzido porque o regime instável dentro da camada de mistura agora é levado em consideração pelo esquema de difusão não local."



A função de estabilidade $f_{m,t}(Ri_g)$ são diferentes para regimes estável e instável.

Para um atmosfera livre estavelmente estratificada $Ri_g > 0$ adota-se a equação de kim(1991)

$$f_{m,t}(Ri_g) = e^{-8.5Ri_g} + \frac{0.15}{Ri_g + 3.0}$$

Para um atmosfera livre neutralmente e instavelmente estratificada $Ri_g \leq 0$ adota-se a equação para a superfície, substituindo $\frac{0.1h}{L}$ por Ri_g

Primeiro para condições instáveis e neutras $\overline{(w'\theta'_v)}_0 \leq 0$

$$\phi_m = \left(1 - 16 \frac{0.1h}{L}\right)^{-\frac{1}{4}}, \text{ para } u \text{ e } v$$

$$f_m(Ri_g) = (1 - 16Ri_g)^{-\frac{1}{4}}$$

$$\phi_t = \left(1 - 16 \frac{0.1h}{L}\right)^{-\frac{1}{2}}, \text{ para } \theta \text{ e } q$$

$$f_t(Ri_g) = (1 - 16Ri_g)^{-\frac{1}{2}}$$

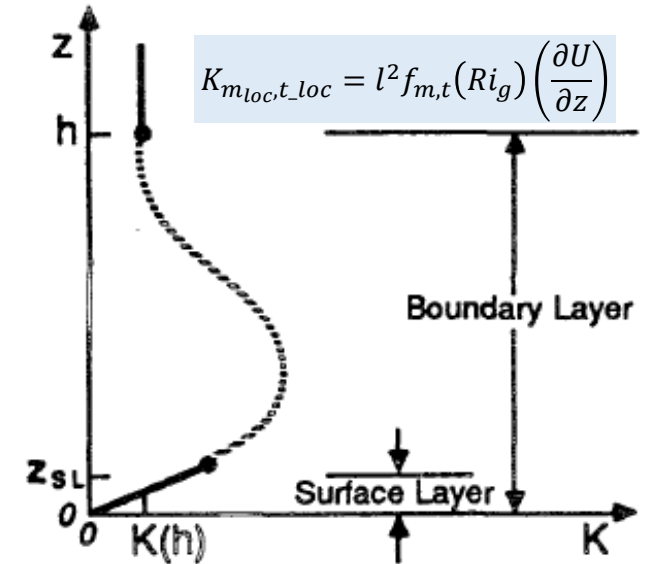


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).



(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite

"O esquema YSU também **considera o fluxo de entranhamento acima de h** , que expressa a **penetração do fluxo de entranhamento acima de h** , **independentemente da estabilidade local**.

O algoritmo YSU-06 não contém uma formulação específica para a Camada Limite Superficial (SBL).

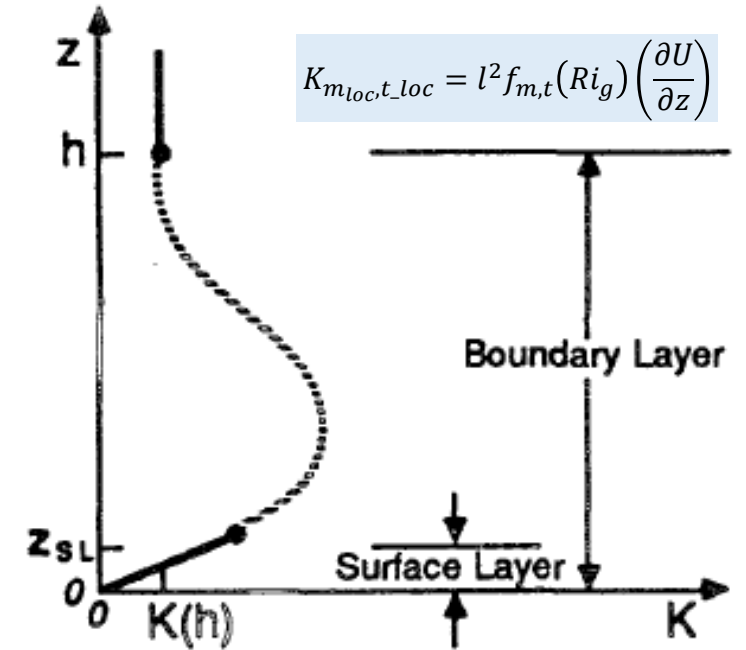


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).

Em outras palavras, **a mistura de turbulência dentro da SBL é tratada como uma difusão para uma atmosférica livre**, calculando os coeficientes de difusão com:

$$\frac{1}{l} = \frac{1}{kz} + \frac{1}{\lambda_0}$$

$$K_{m_{loc,t_{loc}}} = l^2 f_{m,t}(Ri_g) \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)$$

h é a altura da camada limite

L é a escala de comprimento de MONIN – OBUKHOV



(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite



$$K_{m_{loc,t_{loc}}} = l^2 f_{m,t}(Ri_g) \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)$$

$$K_h \sim Pr K_{zm}$$

Introduz-se uma **difusão de fundo (background)** $K_{z,0} = 1 \frac{m^2}{s}$

"para **compensar a difusão numérica**, devido ao modo como $K_{m_{loc,t_{loc}}}$ é calculado" **Limita-se o valor entre $1 \frac{m^2}{s}$ a $1000 \frac{m^2}{s}$**

E o número de Prant deve ser definido entre (0.24 a 4):

$$Pr = 1.5 + 3.08 Ri_g$$

h é a altura da camada limite

L é a escala de comprimento de MONIN – OBUKHOV

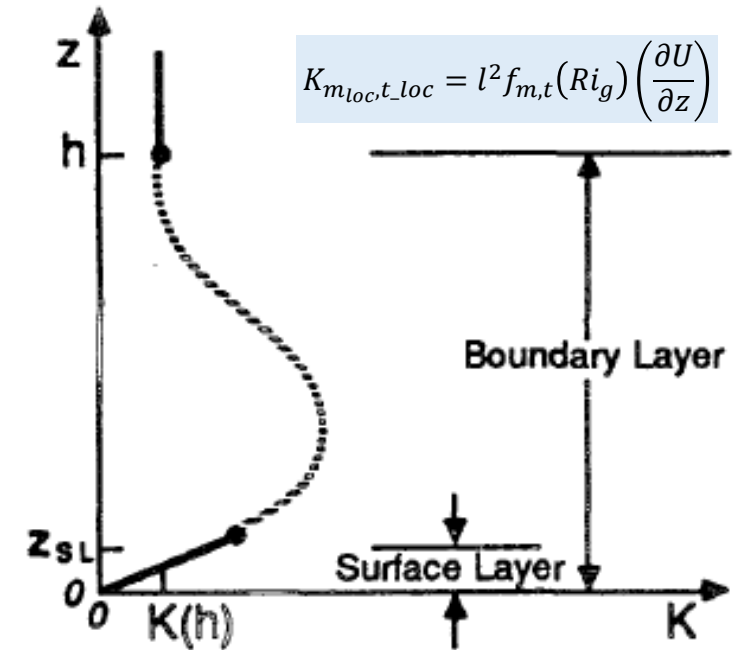


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).



Implementation of a revised SBL scheme in the YSU BL package

Noh et al 2003,

“Propõem-se a adição da **contribuição do fluxo de calor devido o entranhamento no topo da Camada Limite Planetária (PBL)**”

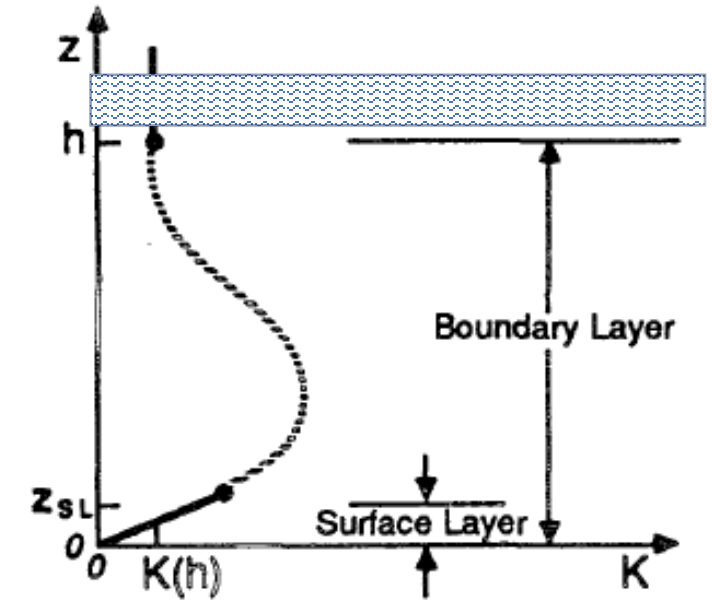


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).



(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite

“Propõem-se a **adição da contribuição do fluxo de calor devido o entranhamento no topo da Camada Limite Planetária (PBL)**”

Noh et al 2003, modificaram o esquema original

$$-\overline{w'c'} = K_c \left(\frac{\partial C}{\partial z} - \gamma_c \right) - \overline{(w'c')}_h \left(\frac{z}{h} \right)^n$$

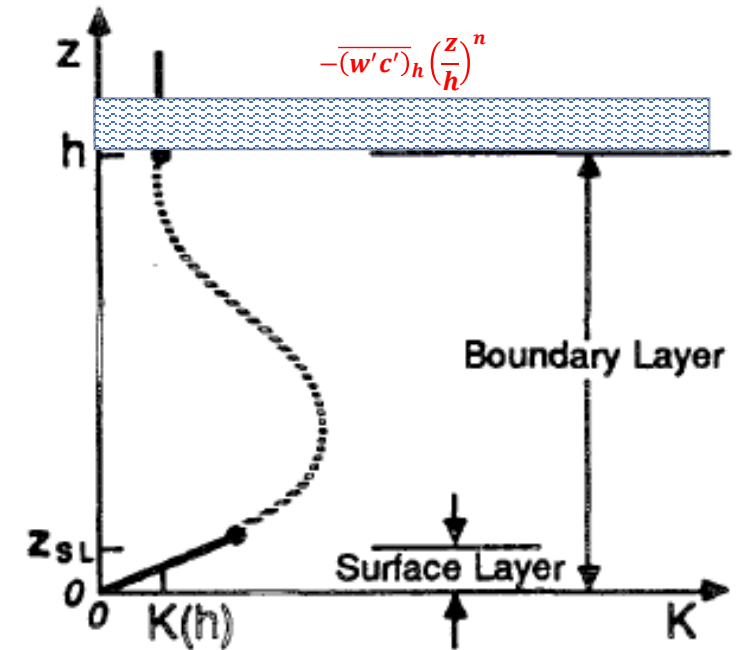


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).

"Aqui obtivemos a constante empírica n como $n = 3$ com base na comparação entre os resultados do modelo e dados de LES, mas descobriu-se que os resultados são altamente insensíveis à escolha de n . Por exemplo, simulações com valores substancialmente diferentes de n , como $n = 1$ ou 5 , também apresentam resultados semelhantes, pois a contribuição do novo termo é desprezado $\left(\frac{z}{h}\right)^n$, exceto próximo ao topo da Camada Limite Planetária (PBL $z = h \Rightarrow \frac{z}{h} = 1$)."



(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite

"O esquema YSU antigo usava uma teoria K modificada, com um termo de contra-gradiente adicional que incorpora a contribuição de vórtices de grande escala ao fluxo total."

Hong SY et al 2006. Noh et al 2003, modificaram o esquema original introduzindo o efeito de entranhamento

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K_c \left(\frac{\partial C}{\partial z} - \gamma_c \right) - \overline{(w'c')}_h \left(\frac{z}{h} \right)^3 \right\}$$

$\overline{(w'c')}_h$ é o fluxo na camada de inversão

"A fórmula mantém o conceito básico de Hong SY et al 1996, mas inclui um termo assintótico de fluxo de entrada na camada de inversão $\overline{(w'c')}_h \left(\frac{z}{h} \right)^3$."

Neste caso a altura da (PBL) h é definida como o nível em que o fluxo mínimo ocorre na camada de inversão, enquanto em Hong SY et al 1996 é definida como o nível em que a mistura turbulenta da camada limite diminui.

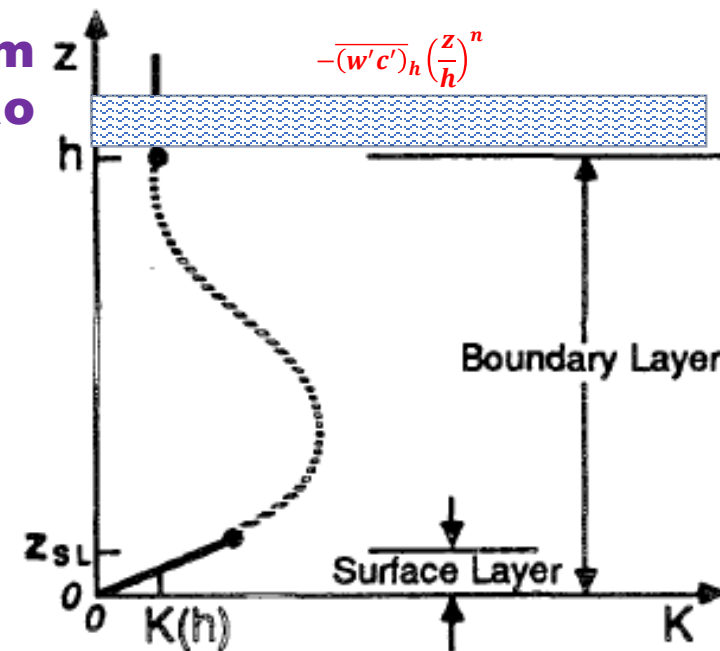


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).



(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite

$\overline{(w'c')}_h$ é o fluxo na camada de inversão “em condições de convecção livre, geralmente é estimado por”

$$\frac{\overline{w'\theta'_h}}{\overline{w'\theta'_0}} = -A_R$$

$$\overline{w'\theta'_h} = -A_R \overline{w'\theta'_0}$$

$$\overline{w'\theta'_h} = -A \frac{w_*^3}{h}$$

“e o valor apropriado para A_R ($= \left(\frac{g}{T_0}\right) A$) é sugerido estar na faixa entre 0,1 e 0,3 (Ball, 1960).”

“Enquanto isso, na presença de cisalhamento, Moeng e Sullivan (1994) e Driedonks (1982) estenderam a fórmula ”

$$\overline{w'\theta'_h} = -A \frac{w_m^3}{h}$$

$$w_m^3 = w_*^3 + B u_*^3$$

“com o valor sugerido $B = 5$ (Moeng e Sullivan, 1994) ou $B = 25$ (Driedonks, 1982).”

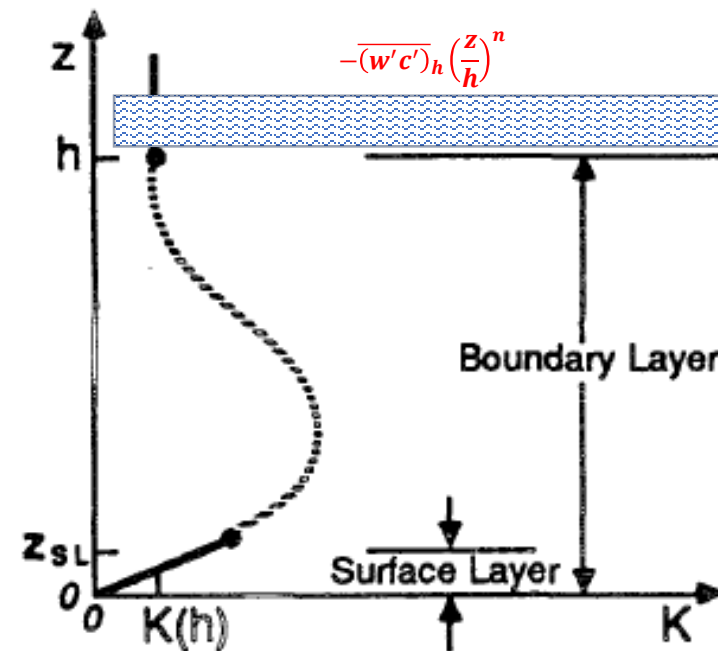


FIG. 1. Typical variation of eddy viscosity K with height in the boundary layer proposed by O'Brien (1970). Adopted from Stull (1988).

$$w_s = \left(u_*^3 + \frac{8kw_*^3bz}{h} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Note que a escala de velocidade w_s não pode ser aplicada aqui, pois a eficiência do entranhamento é diferente entre a turbulência induzida por cisalhamento e a turbulência convectiva.”

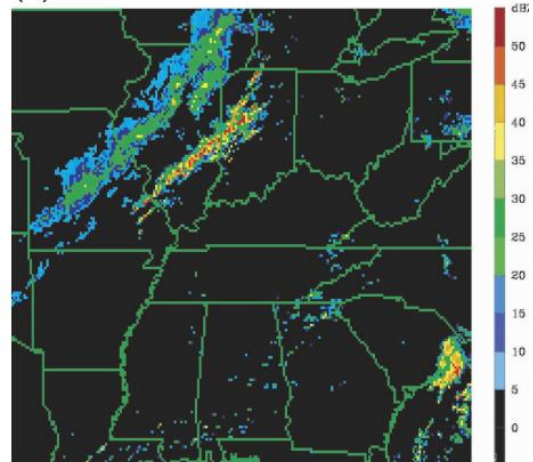


(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite

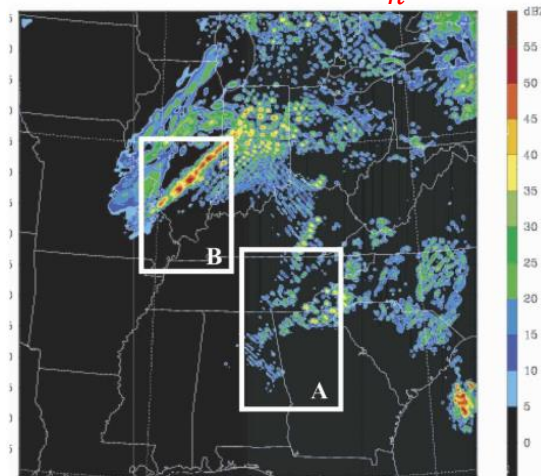


(a) *observado*



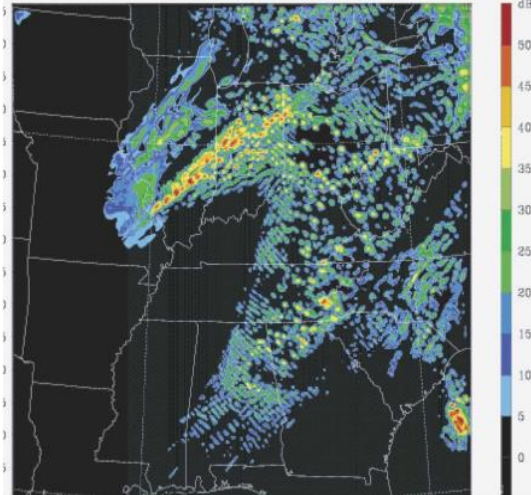
maximum (dBZ) at (a) 1800 UTC
10 Nov 2002

(a) *com o $\overline{(w'c')_h} \left(\frac{z}{h}\right)^3$*



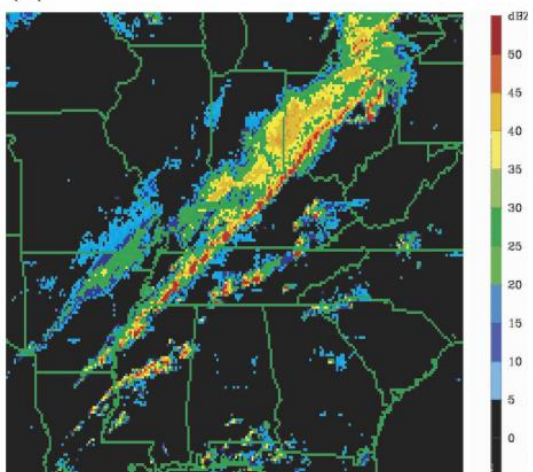
maximum (dBZ) at (a) 1800 UTC
(b) 10 Nov 2002

(c) *sem o $\overline{(w'c')_h} \left(\frac{z}{h}\right)^3$*

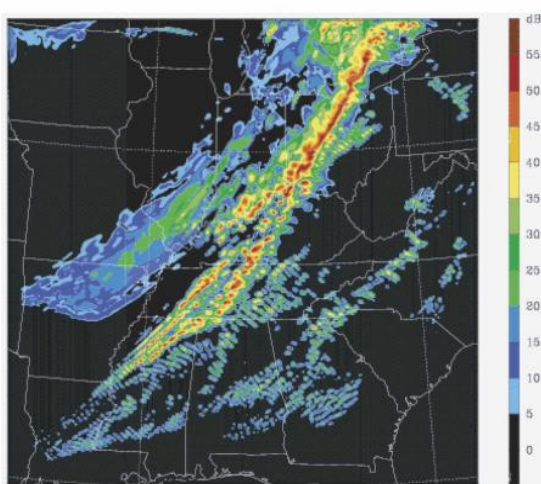


maximum (dBZ) at (a) 1800 UTC
(d) 10 Nov 2002

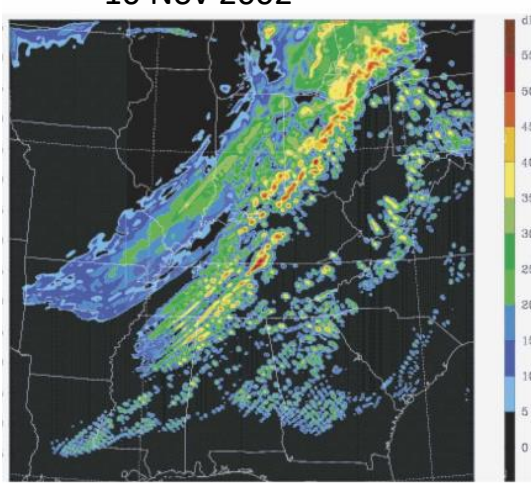
(b)



maximum (dBZ) at (a) 0000 UTC
11 Nov 2002



maximum (dBZ) at (a) 0000 UTC
11 Nov 2002



maximum (dBZ) at (a) 0000 UTC
11 Nov 2002



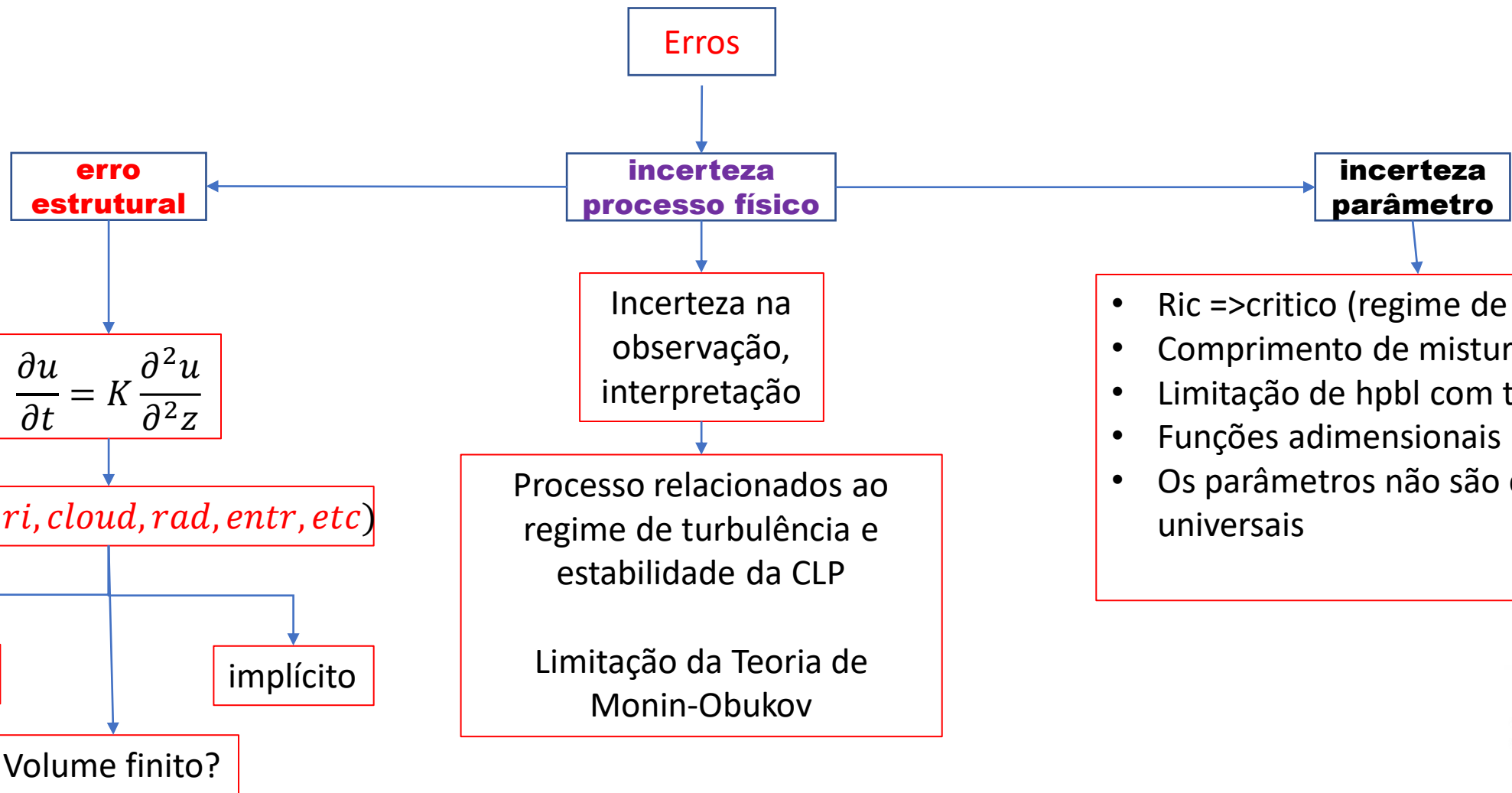
$\overline{(w'c')}_h$ é o fluxo na camada de inversão

1. "O esquema YSU de (PBL) **aumenta a mistura na camada limite durante regimes de convecção livre induzida termicamente e a diminui a mistura durante regimes de convecção forçada induzida mecanicamente.**
2. **A mistura excessiva na camada de mistura na presença de ventos fortes é resolvida.**
3. **O crescimento excessivamente rápido da PBL no caso de Hong e Pan também é corrigido.**
4. **.Conseqüentemente, o novo esquema reproduz melhor a inibição convectiva.**
5. **Isso ocorre porque a camada limite do esquema YSU PBL permanece menos diluída pelo entranhamento, deixando mais energia para a convecção severa quando a frente a dispara."**



(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite





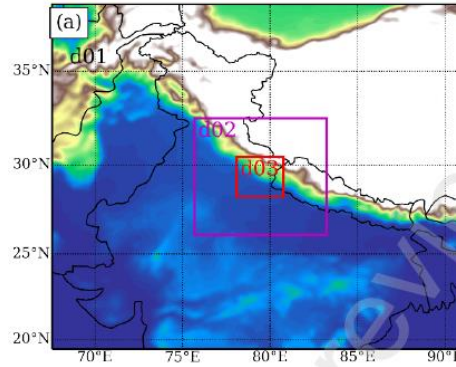
Alguns resultados interessantes





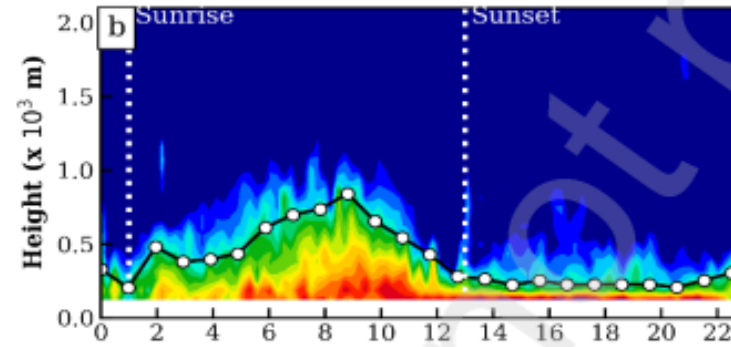
(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite

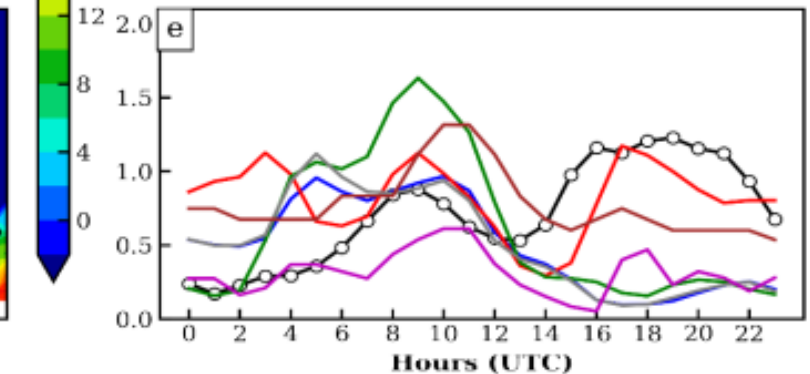
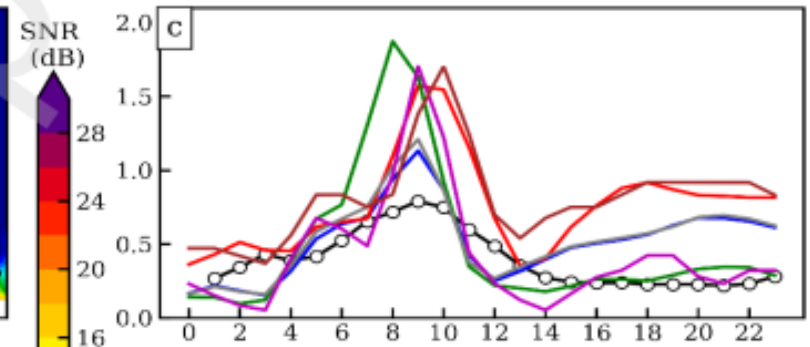
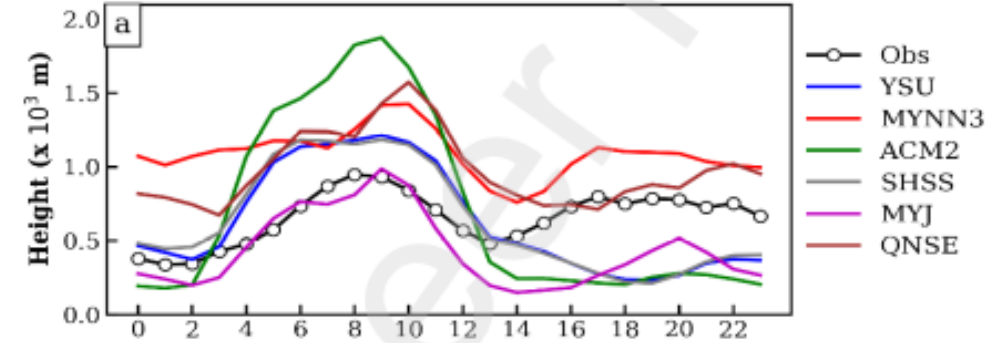
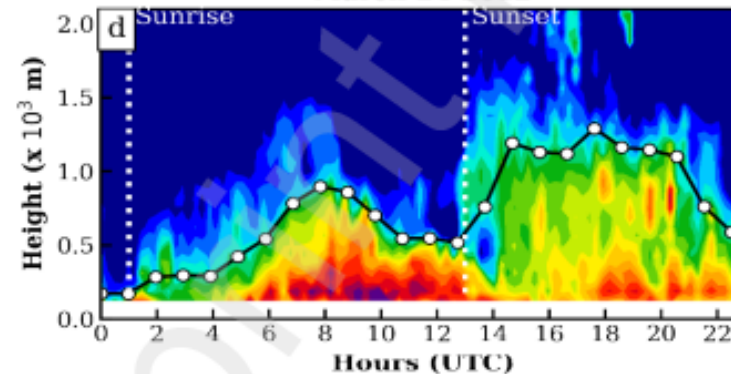


Himalaia

March 23 2012



March 24 2012



"Variação diurna da altura da (PBLH) (a) simulada usando diferentes esquemas de PBL e observações de RWP.

A variação da relação sinal-ruído (SNR) junto com a PBLH para

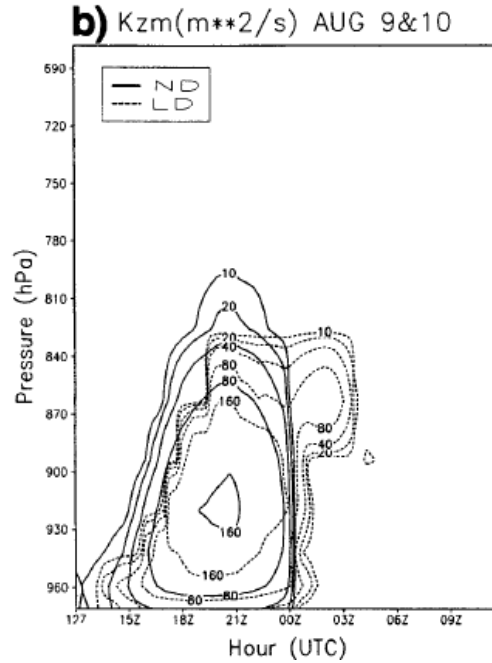
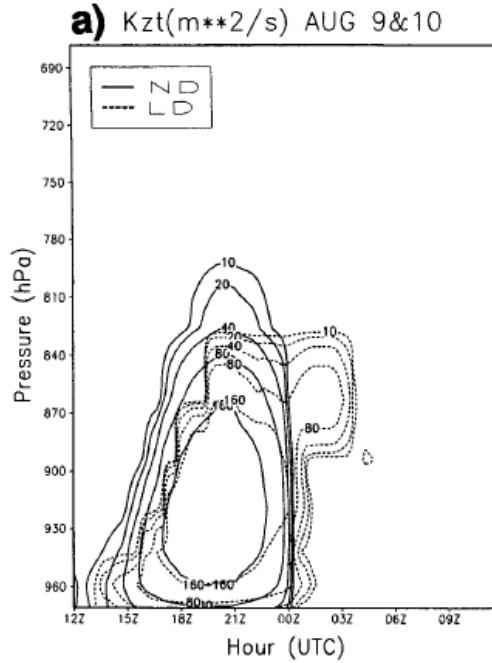
(b) 23 de março de 2012, com baixa PBLH durante a noite.

(d) 24 de março de 2012, com PBLH mais alta durante a noite."

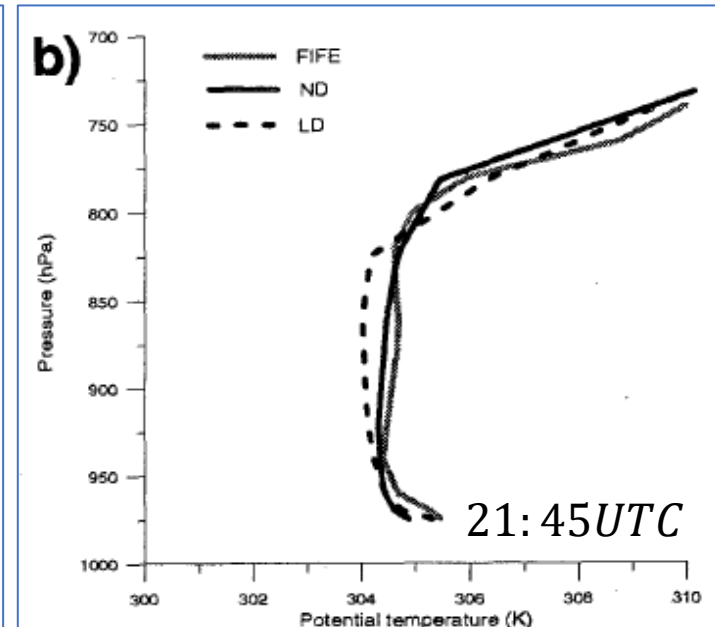
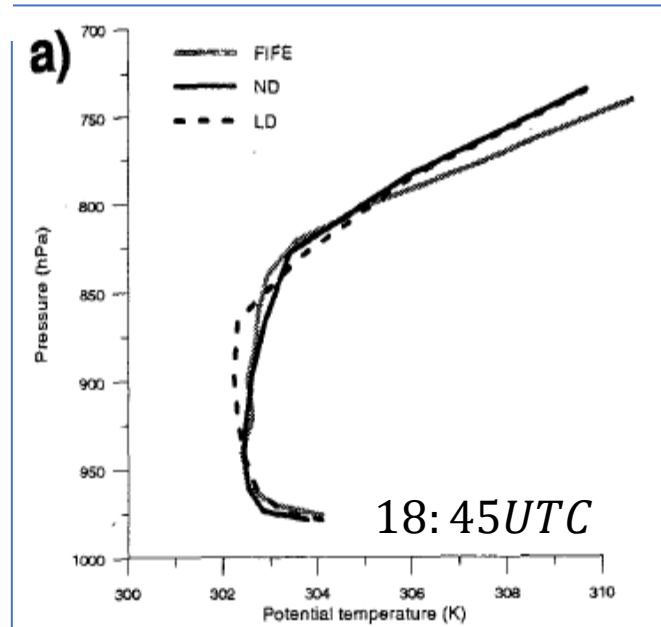
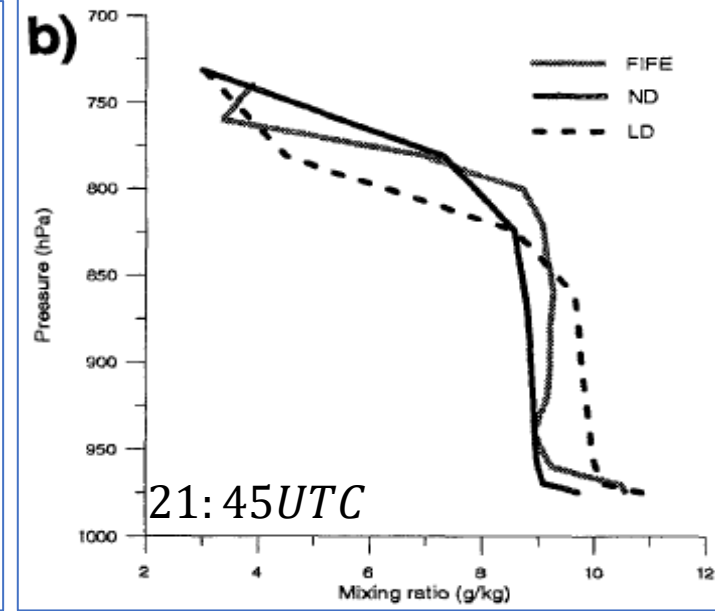
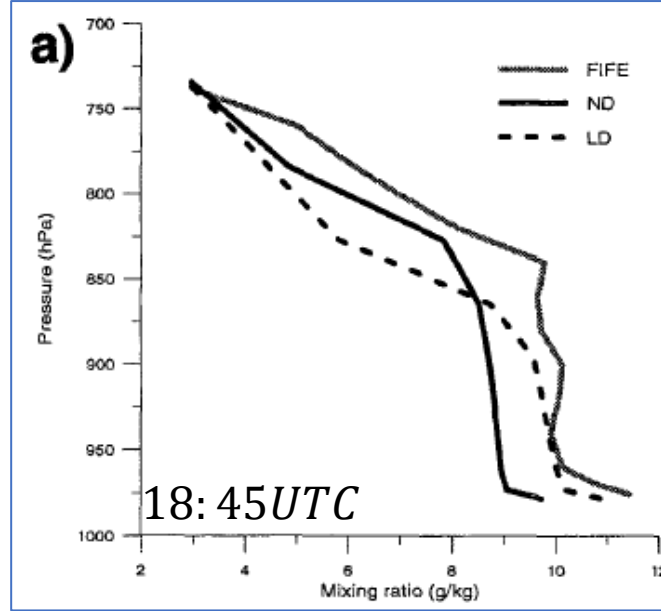


(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite



Perfil de difusividade de Eddies ($\frac{m^2}{s}$) linha pontilhada (local) e linhas contínuas não local





(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite

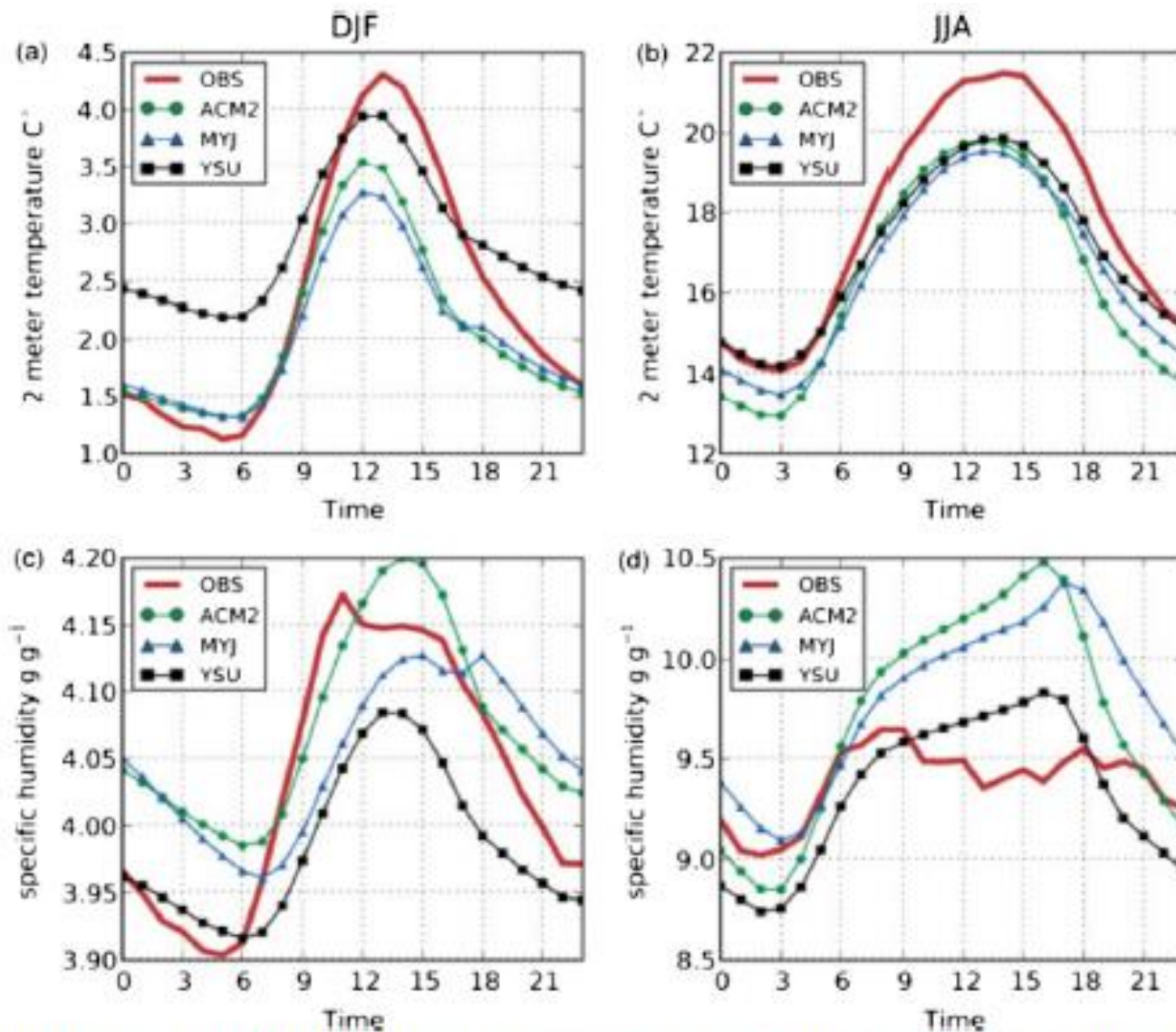


FIG. 3. Comparisons of WRF PBL schemes with European synoptic observations for temperatures during the (a) winter and (b) summer and for specific humidity during the (c) winter and (d) summer [from García-Díez et al. (2013)].



(1) Quais são as fontes de incerteza do modelo?

Processos físicos da turbulência na camada limite



near-surface



balloon sounding



celiometer

PBL parameterization

YSU

ACM2

MYJ

MYNN

BouLac

Evaluation

Meteorology

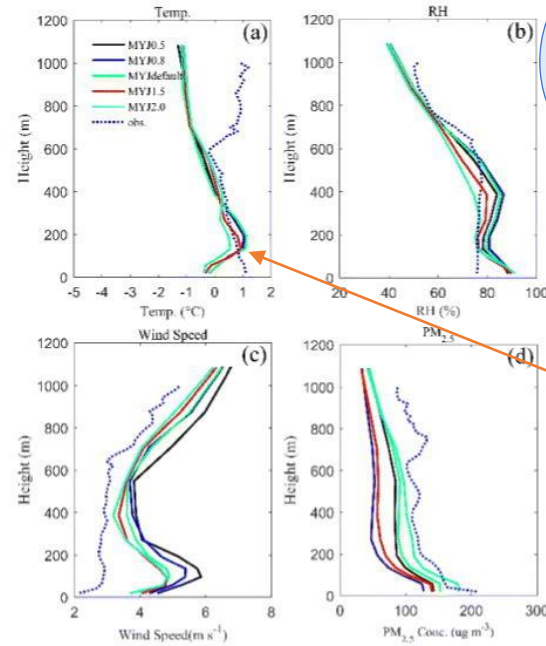
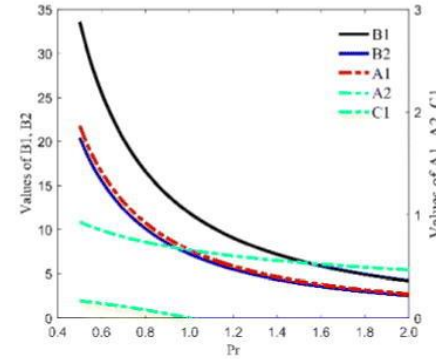
PM_{2.5}

K_m

Parametric Sensitivity



Winter Haze Simulation



A formulação do calculo de K não incorpora corretamente os processos físicos. Os parâmetros podem estar mal calibrados K(x, y, z, ri, cloud, rad, entr, .)

