

QUESTIONANDO MODELOS

Seminário da disciplina *Ebulição e Condensação: Fundamentos e Aplicações*

Fábio Pinto Fortkamp
Prof. Júlio César Passos

Florianópolis, 2 de outubro de 2014

FRONTE

Is a crisis in pool boiling actually a hydrodynamic phenomenon?

Victor V. Yagov

International Journal of Heat and Mass Transfer

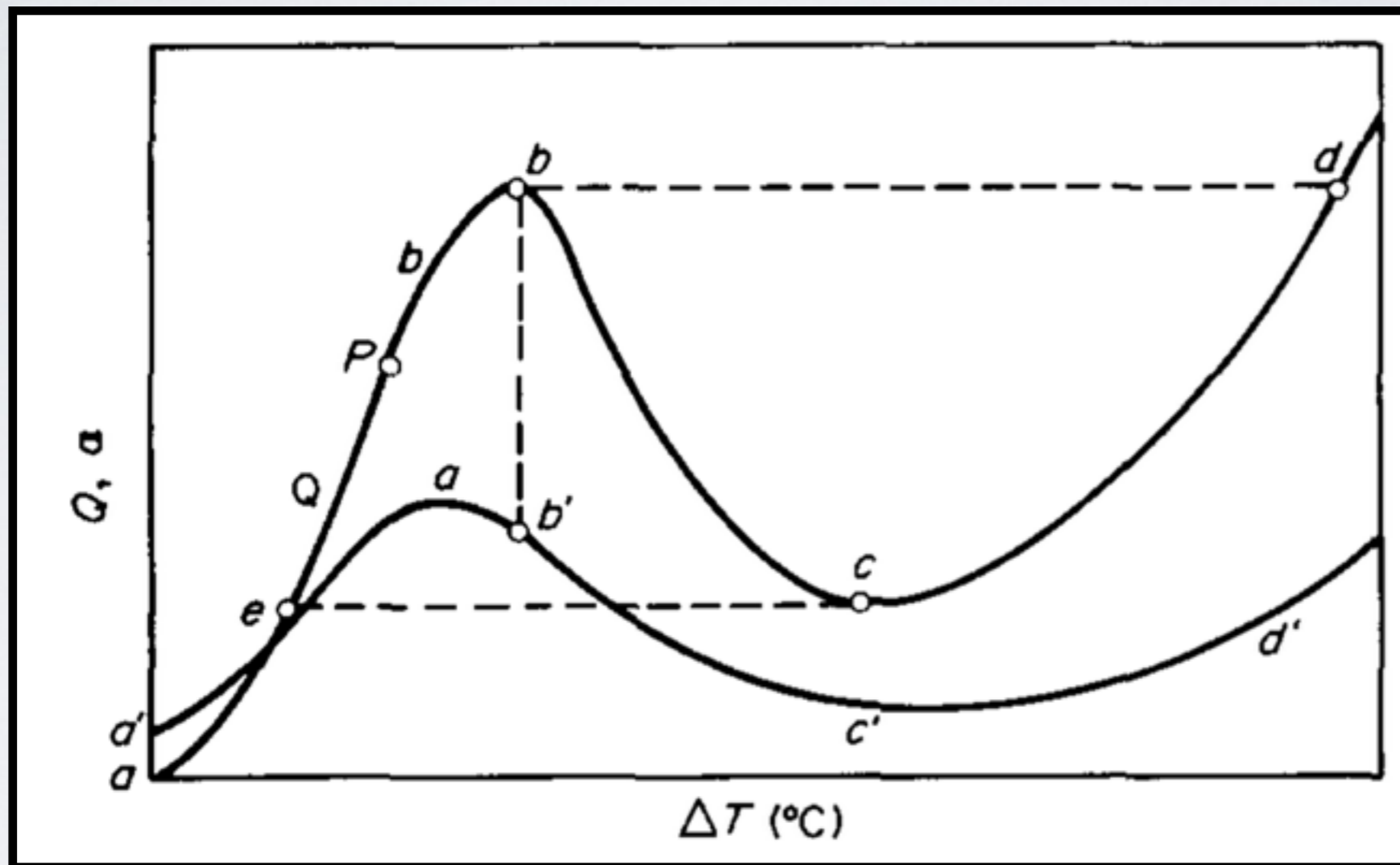
73 (2014), 265-273

SUMÁRIO

- Crise de ebulição
- Modelos hidrodinâmicos
- Formulações alternativas para crise de ebulição
- Questionando modelos

CRISE DE EBULIÇÃO

O EXPERIMENTO DE NUKIYAMA



In: S. Nukiyama, *The maximum and minimum values of the heat q transmitted from metal to boiling water under atmospheric pressure*,
IJHMT 27 (1984), No. 7, 959-970

FENÔMENOS E MODELOS

Fenômeno da crise de ebulição

vs.

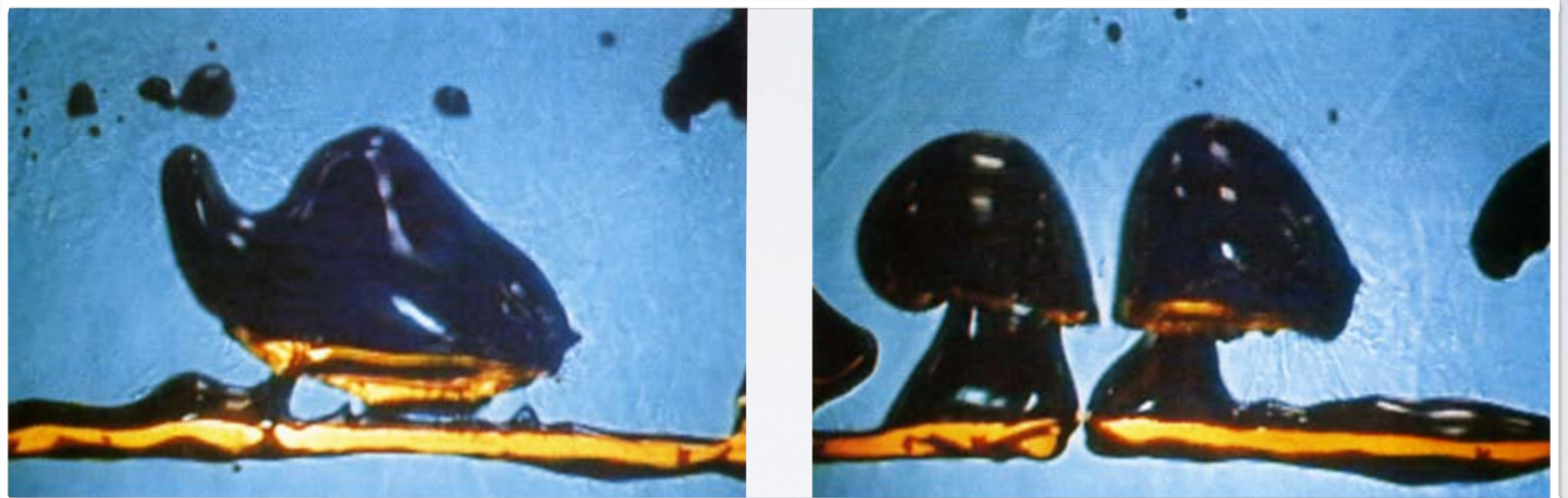
Modelos para a crise de ebulição

O QUE É A CRISE DE
EBULIÇÃO?

O QUE É A CRISE DE EBULIÇÃO?

**Diminuição do resfriamento
da superfície aquecida**

O QUE É A CRISE DE EBULIÇÃO?



In: Hong et al., *Ordered and chaotic bubble departure behavior during film boiling*, Journal of Heat Transfer 119 (1997)

MODELOS PARA CRISE DE EBULIÇÃO

MODELOS PARA CRISE DE EBULIÇÃO

- Carey (1992):

MODELOS PARA CRISE DE EBULIÇÃO

- Carey (1992):
 - Jatos que carregam gotas de líquido

MODELOS PARA CRISE DE EBULIÇÃO

- Carey (1992):
 - Jatos que carregam gotas de líquido
 - Coalescência de bolhas → filme

MODELOS PARA CRISE DE EBULIÇÃO

- Carey (1992):
 - Jatos que carregam gotas de líquido
 - Coalescência de bolhas → filme
 - Jatos instáveis

MODELOS PARA CRISE DE EBULIÇÃO

- Carey (1992):
 - Jatos que carregam gotas de líquido
 - Coalescência de bolhas → filme
 - Jatos instáveis
 - Pequenos jatos sob bolsões de vapor

MODELOS PARA CRISE DE EBULIÇÃO

- Carey (1992):
 - Jatos que carregam gotas de líquido
 - Coalescência de bolhas → filme
 - Jatos instáveis
 - Pequenos jatos sob bolsões de vapor

MODELOS HIDRODINÂMICOS

FUNDAMENTOS FÍSICOS DE MODELOS HIDRODINÂMICOS

FUNDAMENTOS FÍSICOS DE MODELOS HIDRODINÂMICOS

- Regime turbulento

FUNDAMENTOS FÍSICOS DE MODELOS HIDRODINÂMICOS

- Regime turbulento
- Velocidades de bloqueio

MODELO DE KUTATELADZE

In: S. S. Kutateladze, *Hydromecanical model of heat transfer crisis in pool boiling*, *J. Tech. Phys.* 20 (11) (1950), 1389-1392 (em russo)

MODELO DE KUTATELADZE

In: S. S. Kutateladze, *Hydromecanical model of heat transfer crisis in pool boiling*, *J. Tech. Phys.* 20 (11) (1950), 1389-1392 (em russo)

$$\frac{\partial \rho \vec{V}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = -\nabla P + \nabla \cdot \tau + \rho \vec{g}$$

MODELO DE KUTATELADZE

In: S. S. Kutateladze, *Hydromecanical model of heat transfer crisis in pool boiling*, *J. Tech. Phys.* 20 (11) (1950), 1389-1392 (em russo)

$$\frac{\partial \rho \vec{V}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = -\nabla P + \nabla \cdot \tau + \rho \vec{g}$$

MODELO DE KUTATELADZE

In: S. S. Kutateladze, *Hydromecanical model of heat transfer crisis in pool boiling*, *J. Tech. Phys.* 20 (11) (1950), 1389-1392 (em russo)

$$\frac{\partial \rho \vec{V}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = -\nabla P + \nabla \cdot \tau + \rho \vec{g}$$

$$q''_{\text{cr}} = Kh_{LV} \rho_V^{1/2} (\sigma g (\rho_L - \rho_V))^{1/4}$$

MODELO DE ZUBER

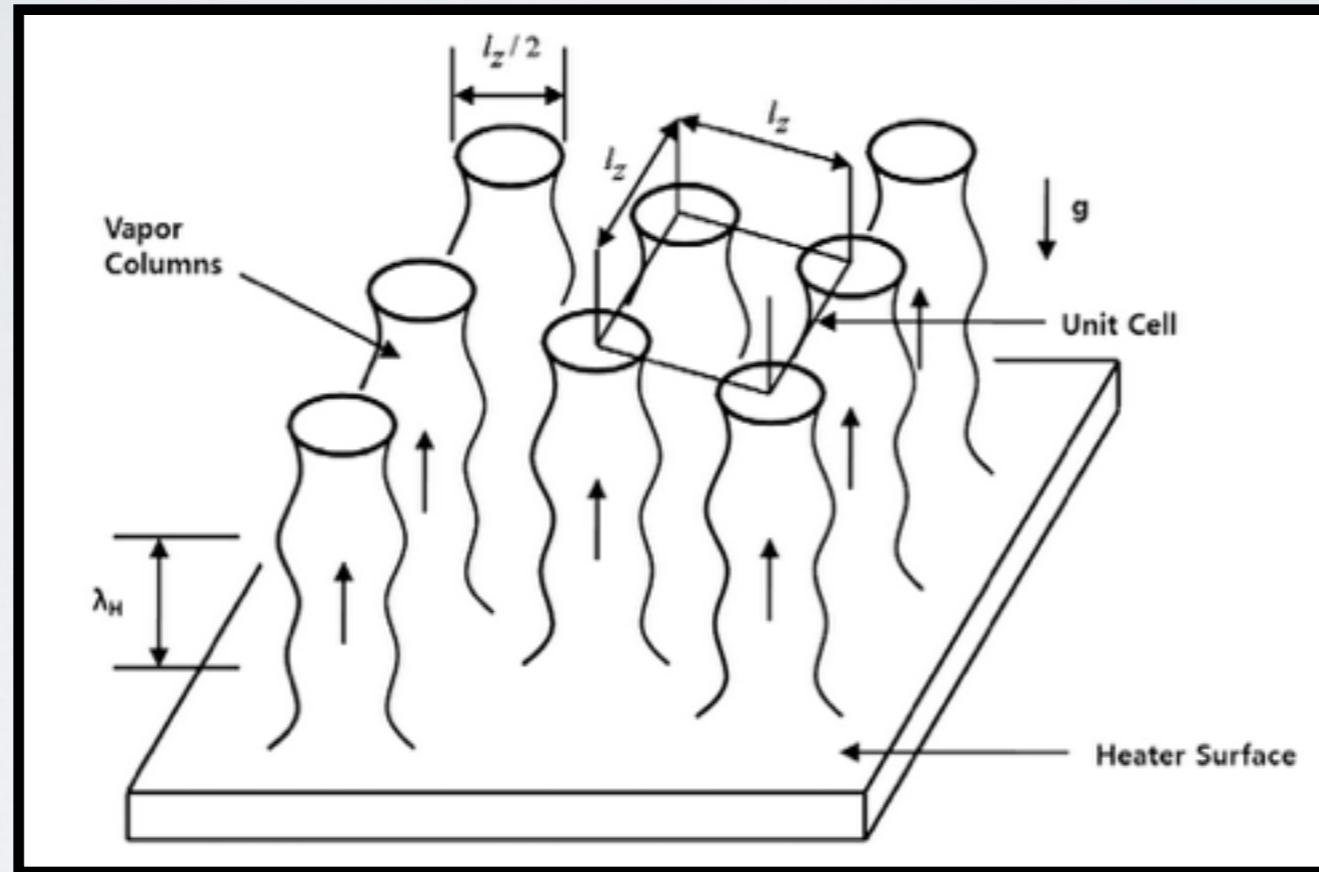
In: N. Zuber, *On the stability of boiling heat transfer*, Trans.
ASME 80 (3) (1958), 711-720

MODELO DE ZUBER

In: N. Zuber, *On the stability of boiling heat transfer*, Trans.
ASME 80 (3) (1958), 711-720

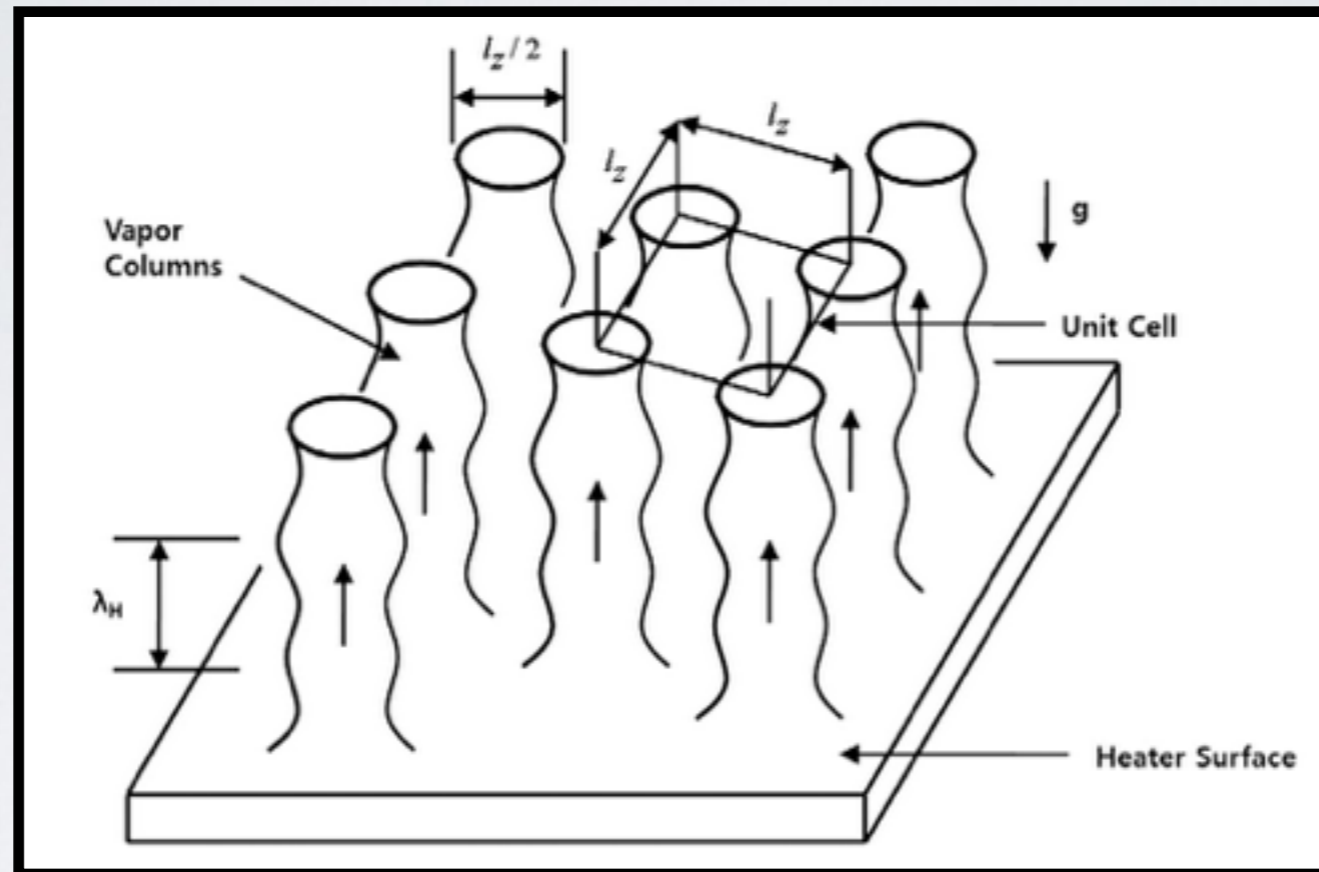
Fundamentação física para modelo de
Kutateladze

MODELO DE ZUBER



In: V. V. Yagov, *Is a crisis in pool boiling actually a hydrodynamic phenomenon?*, IJHMT 73 (2014), 265-273

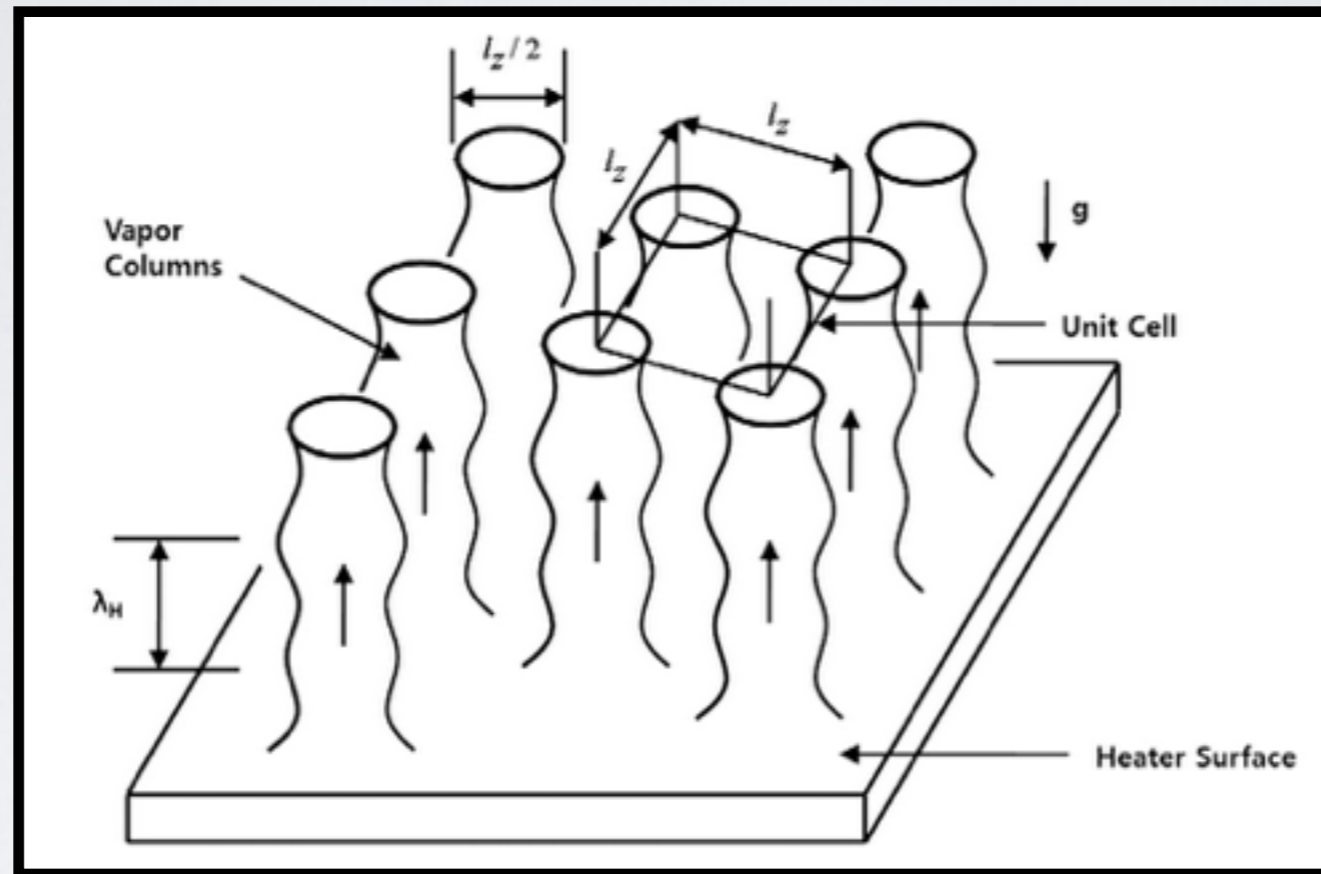
MODELO DE ZUBER



In: V. V. Yagov, *Is a crisis in pool boiling actually a hydrodynamic phenomenon?*, IJHMT 73 (2014), 265-273

$$q''_{cr} = K h_{LV} \rho_V^{1/2} (\rho g (\rho_L - \rho_V))^{1/4}$$

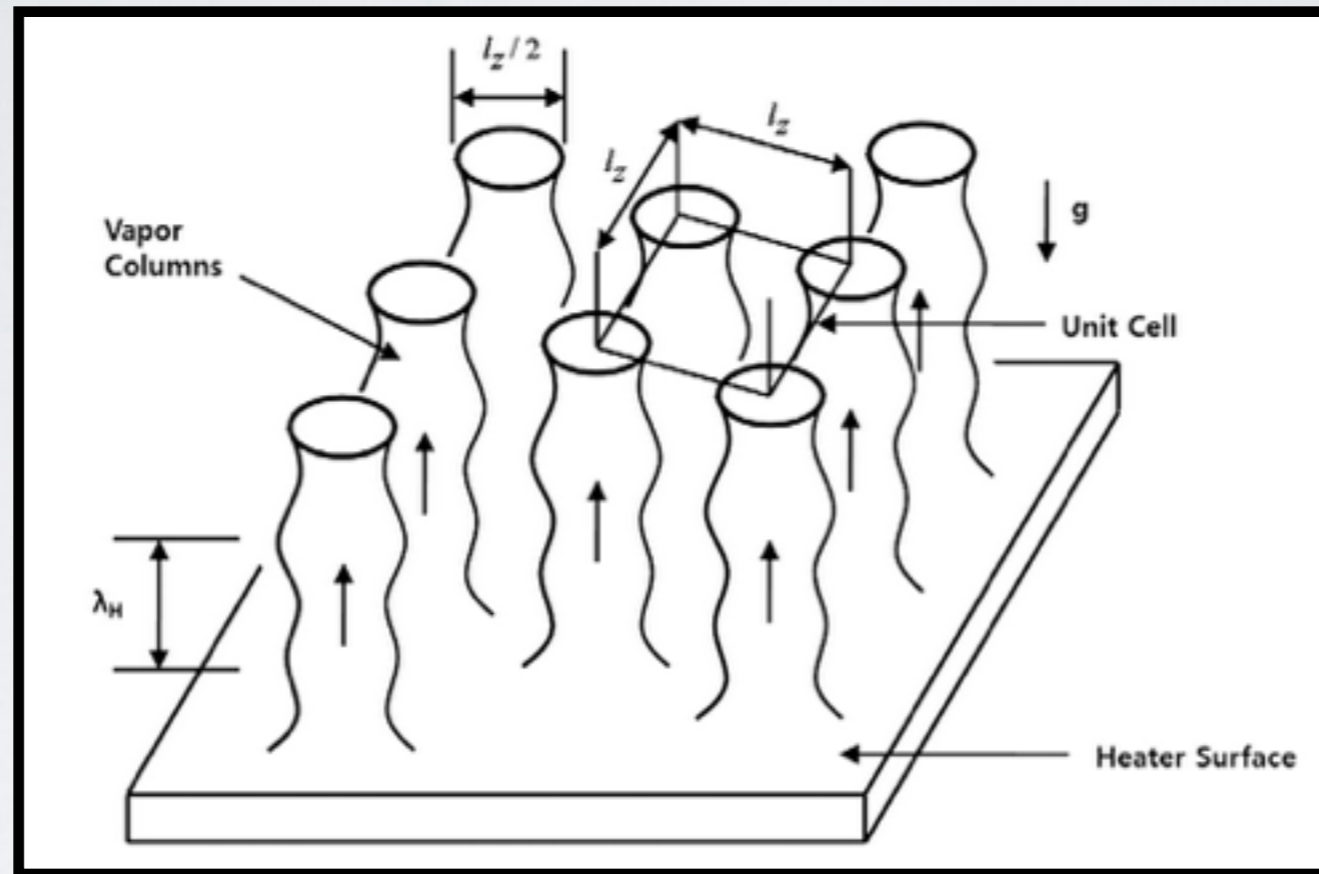
MODELO DE ZUBER



In: V. V. Yagov, *Is a crisis in pool boiling actually a hydrodynamic phenomenon?*, IJHMT 73 (2014), 265-273

$$q''_{cr} = K h_{LV} \rho_V^{1/2} (\rho g (\rho_L - \rho_V))^{1/4}$$

MODELO DE ZUBER



In: V. V. Yagov, *Is a crisis in pool boiling actually a hydrodynamic phenomenon?*, IJHMT 73 (2014), 265-273

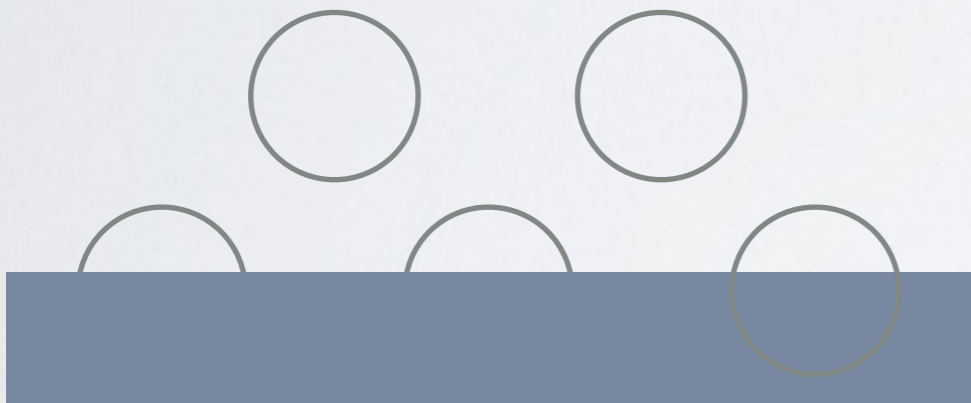
$$q''_{cr} = K h_{LV} \rho_V^{1/2} (\rho g (\rho_L - \rho_V))^{1/4} \sqrt{\frac{\rho_L + \rho_V}{\rho_L}}$$

LIMITAÇÕES DOS MODELOS HIDRODINÂMICOS

Formação do filme?

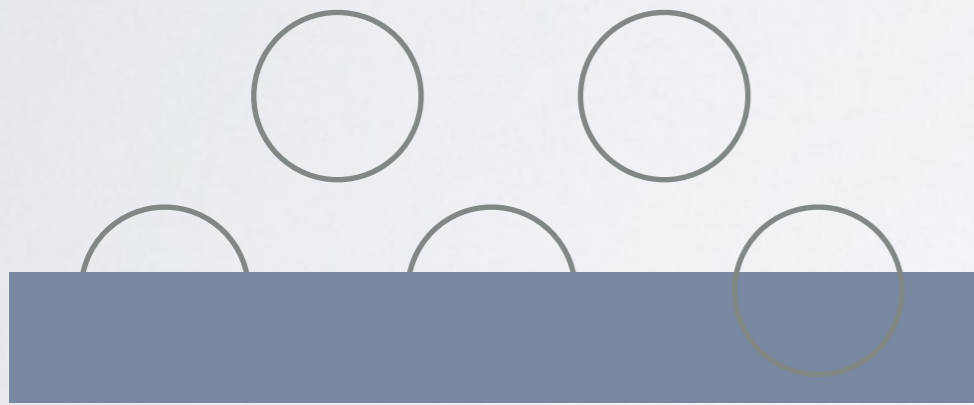
LIMITAÇÕES DOS MODELOS HIDRODINÂMICOS

Formação do filme?



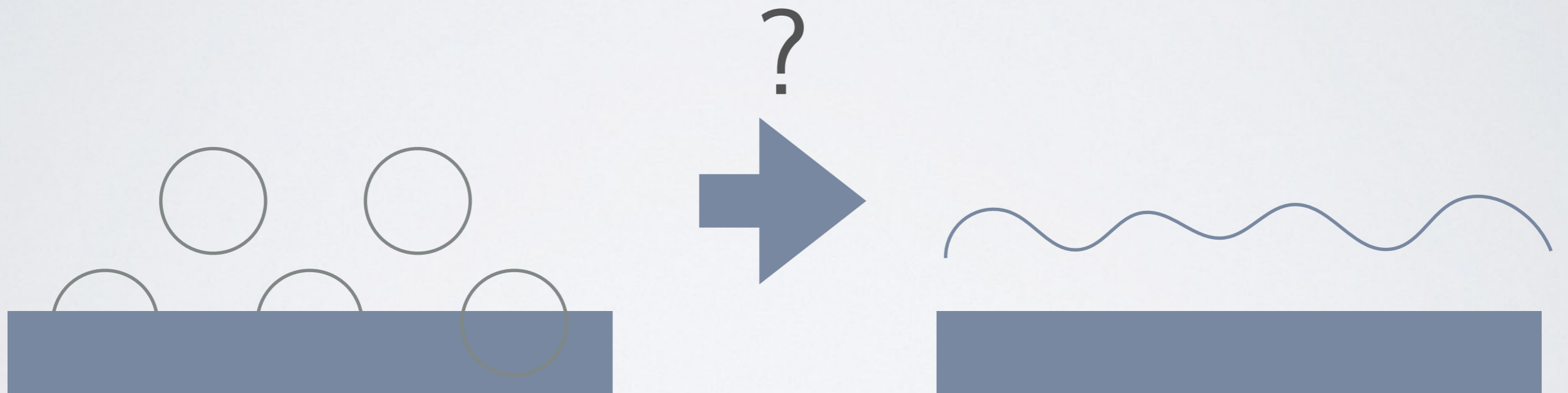
LIMITAÇÕES DOS MODELOS HIDRODINÂMICOS

Formação do filme?



LIMITAÇÕES DOS MODELOS HIDRODINÂMICOS

Formação do filme?



LIMITAÇÕES DOS MODELOS HIDRODINÂMICOS

Pressões baixas

LIMITAÇÕES DOS MODELOS HIDRODINÂMICOS

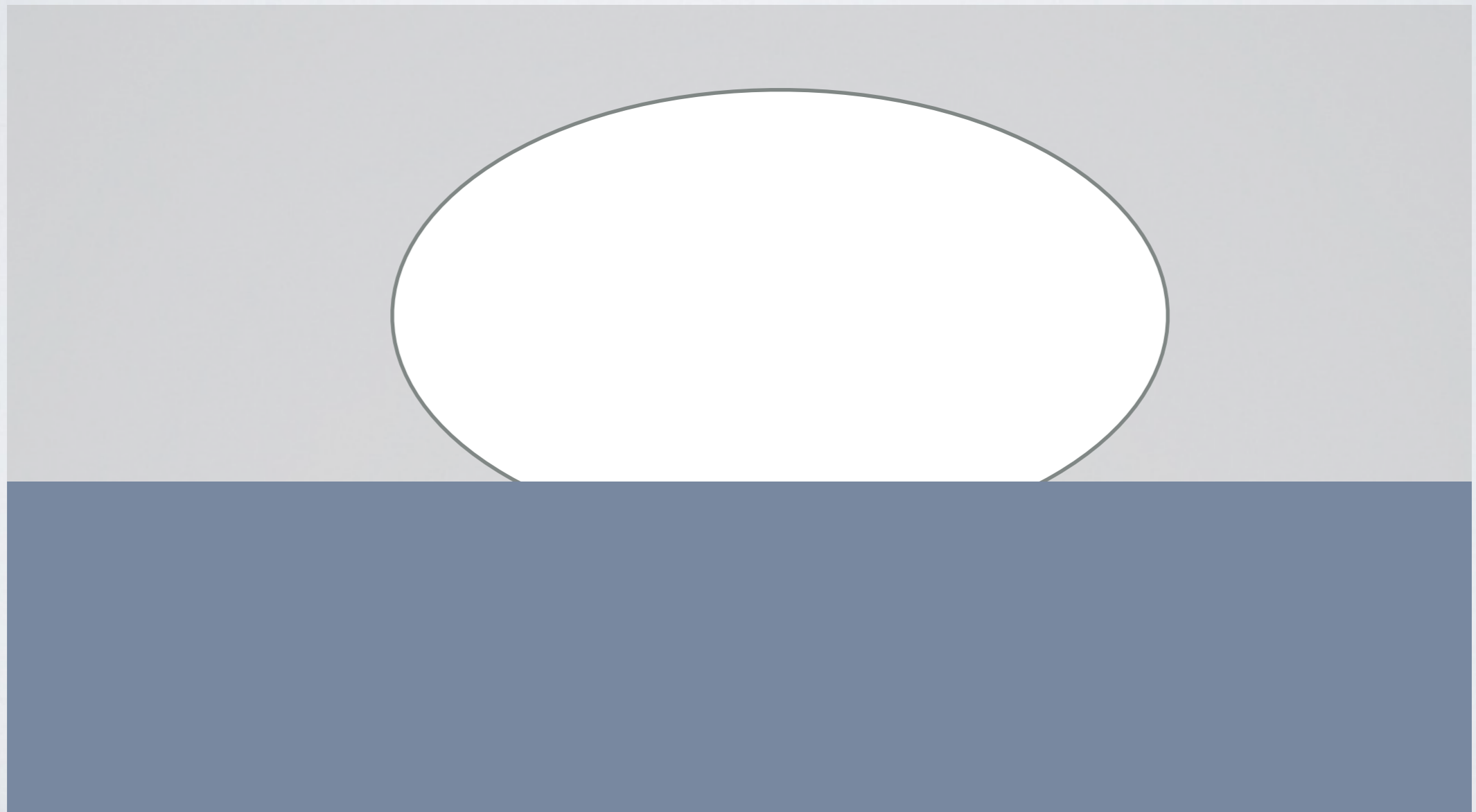
Pressões baixas

$$r_e = \frac{2\sigma}{P_{\text{sat}} \exp(v_L (P_L - P_{\text{sat}}) / RT) - P_L}$$

FORMULAÇÕES ALTERNATIVAS PARA CRISE DE EBULIÇÃO

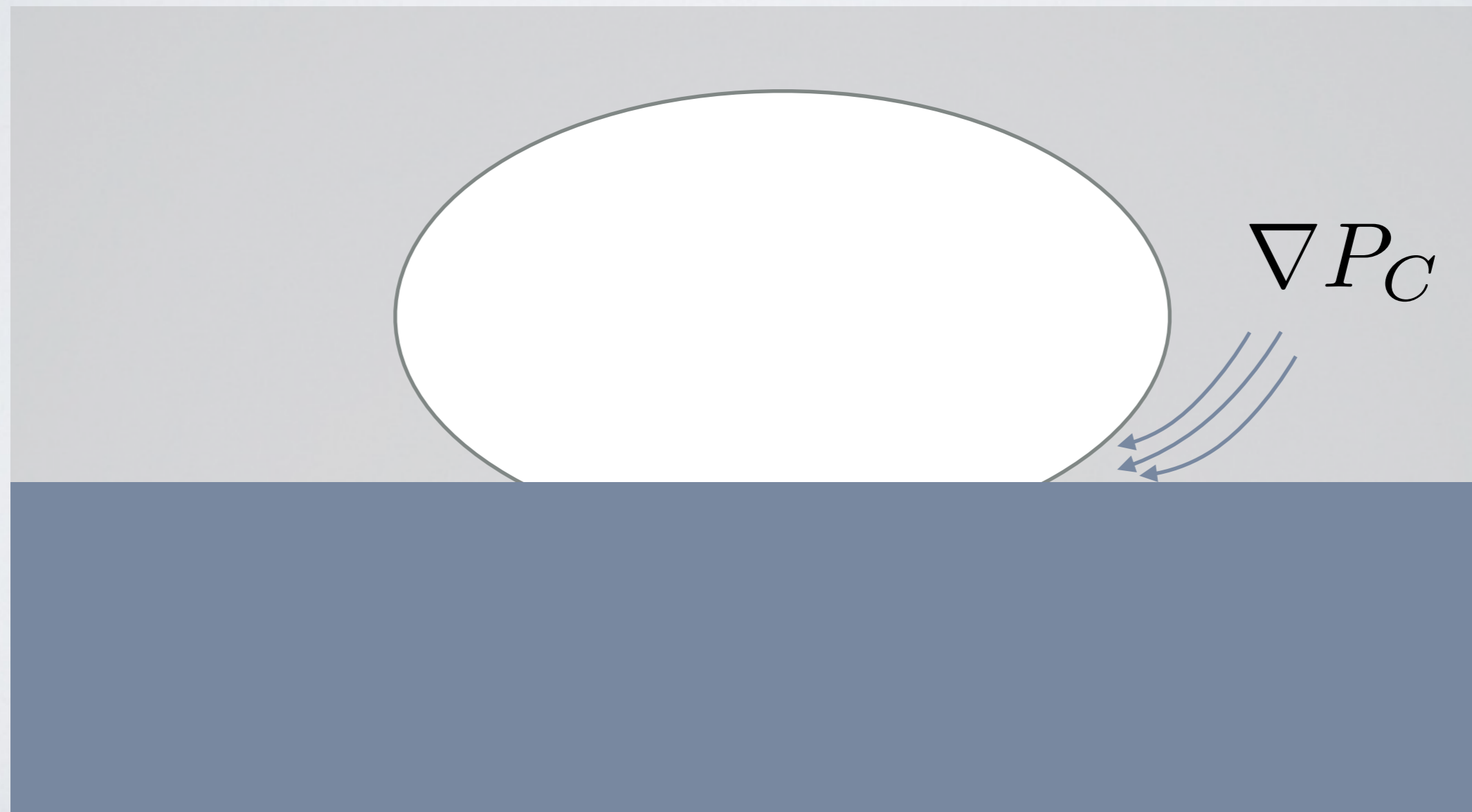
CRESCIMIENTO DE ÁREAS SECAS

Dry spot enlarging



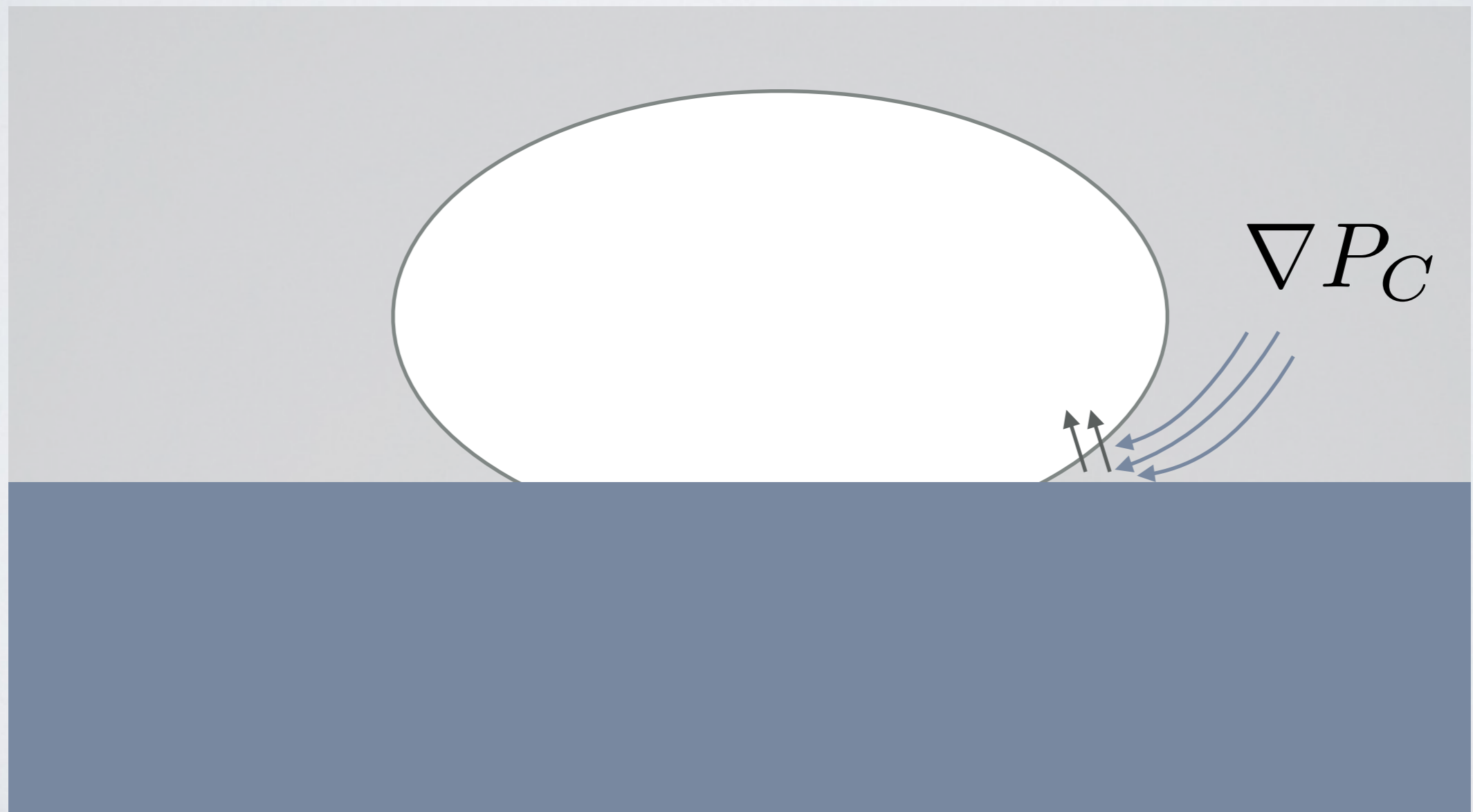
CRESCIMIENTO DE ÁREAS SECAS

Dry spot enlarging



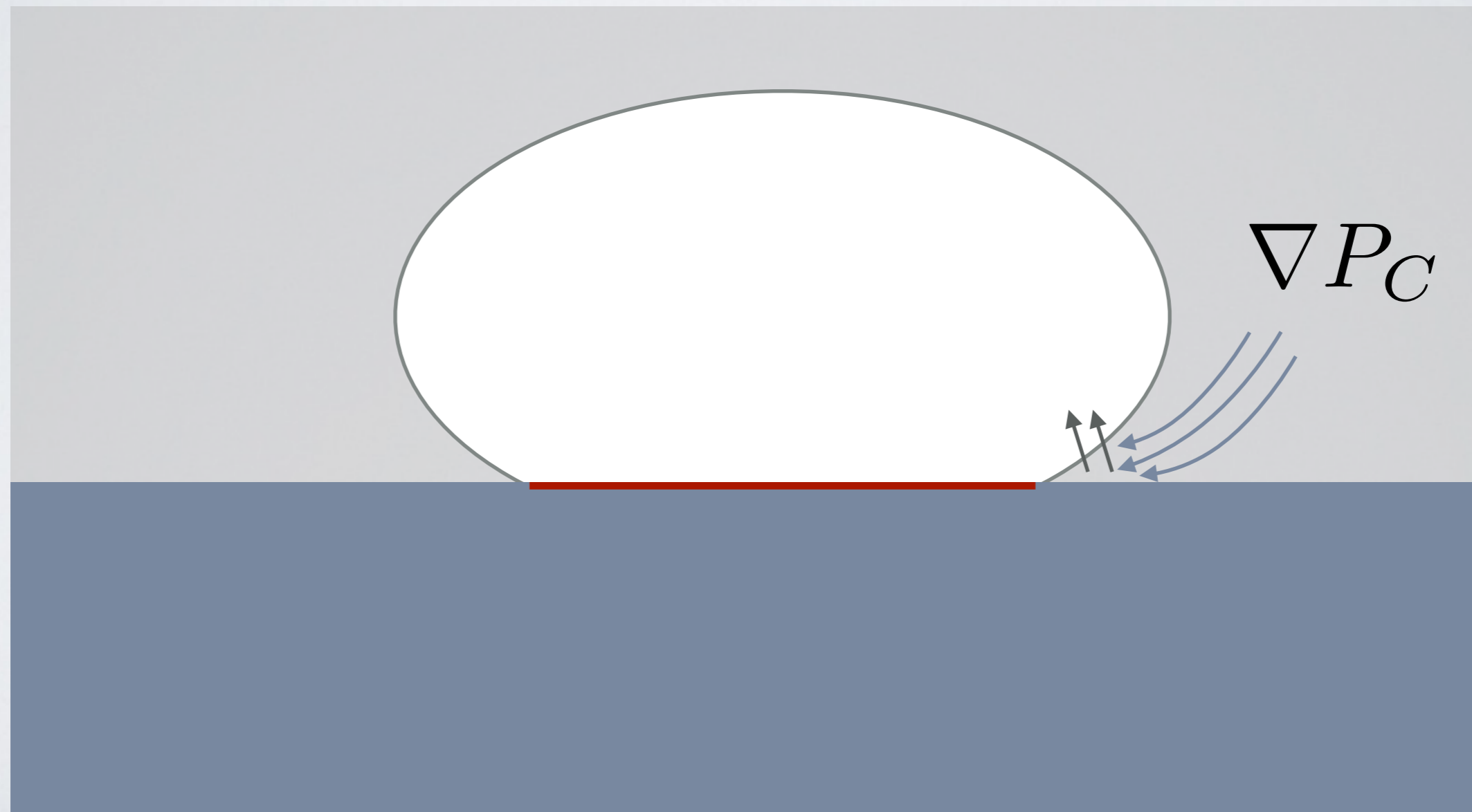
CRESCIMIENTO DE ÁREAS SECAS

Dry spot enlarging



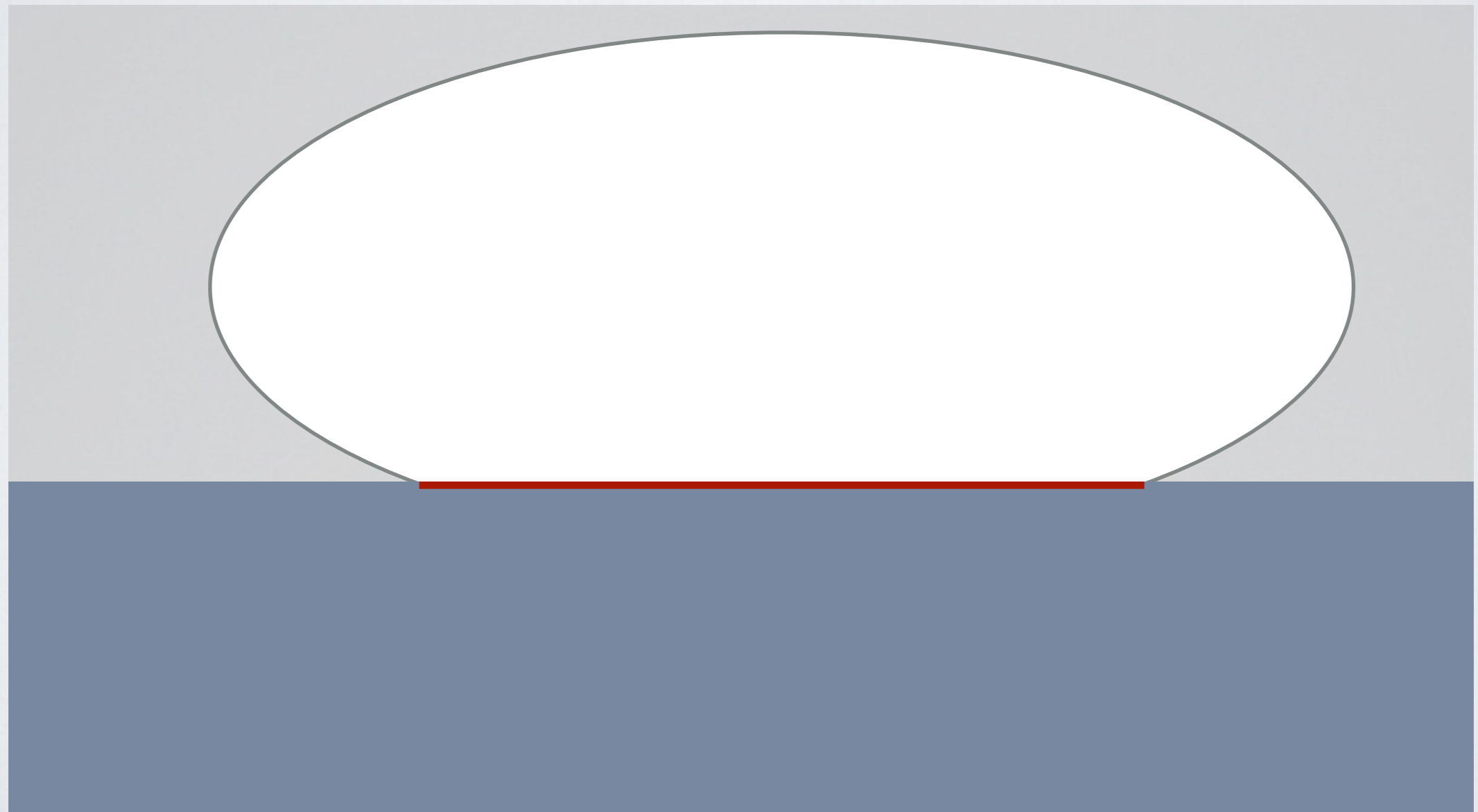
CRESCIMIENTO DE ÁREAS SECAS

Dry spot enlarging



CRESCIMIENTO DE ÁREAS SECAS

Dry spot enlarging



CRESCIMENTO DE ÁREAS SECAS

calor proveniente da superfície $>$ calor necessário para
evaporação

CRESCIMENTO DE ÁREAS SECAS

calor proveniente da superfície $>$ calor necessário para
evaporação



evaporação contínua

CRESCIMENTO DE ÁREAS SECAS

calor proveniente da superfície $>$ calor necessário para
evaporação



evaporação contínua



CHF

CRESCIMENTO DE ÁREAS SECAS

Gradiente de pressão capilar

$$\frac{dP}{dr} = -2 \frac{d\sigma H}{dr}$$

CRESCIMENTO DE ÁREAS SECAS

Gradiente de pressão capilar

$$\frac{dP}{dr} = -2 \frac{d\sigma H}{dr}$$

Fluxo crítico

$$q''_{cr} = C_0 \frac{\sigma h_{LV}}{\nu} \frac{\delta_0}{D_d}$$

CRESCIMENTO DE ÁREAS SECAS

Gradiente de pressão capilar

$$\frac{dP}{dr} = -2 \frac{d\sigma H}{dr}$$

Fluxo crítico

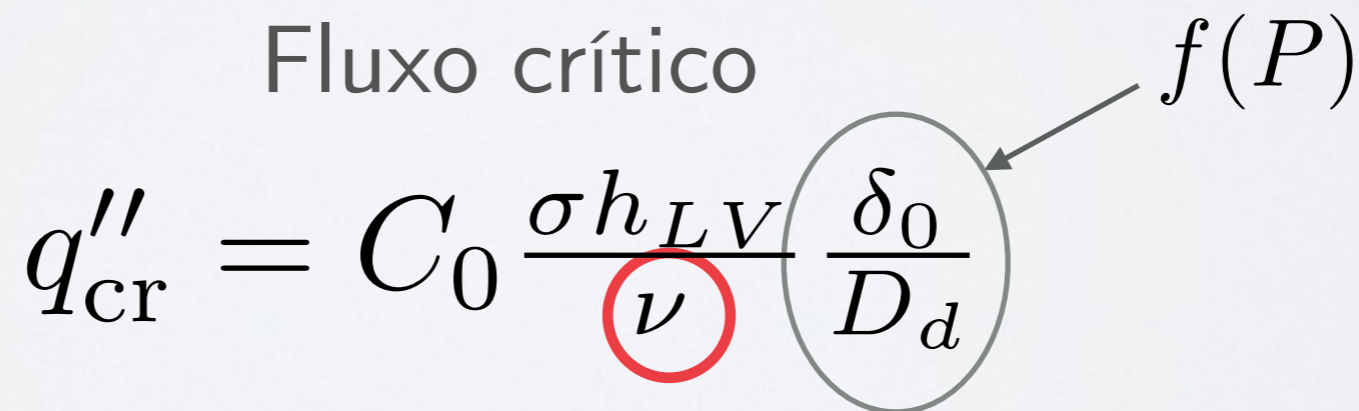
$$q''_{cr} = C_0 \frac{\sigma h_{LV}}{\nu} \left(\frac{\delta_0}{D_d} \right) \leftarrow f(P)$$

CRESCIMENTO DE ÁREAS SECAS

Gradiente de pressão capilar

$$\frac{dP}{dr} = -2 \frac{d\sigma H}{dr}$$

Fluxo crítico

$$q''_{cr} = C_0 \frac{\sigma h_{LV}}{\nu} \left(\frac{\delta_0}{D_d} \right) f(P)$$


CRESCIMENTO DE ÁREAS SECAS

Baixa pressão

$$q''_{cr,l} = 0,5 \frac{h_{LV}^{81/55} \sigma^{9/11} \rho_V^{13/110} k^{7/110} g^{21/55} f(\text{Pr})}{\nu^{1/2} c_p^{2/10} R^{79/110} T_{\text{sat}}^{21/22}}$$

Alta pressão

$$q''_{cr,h} = 0,06 h_{LV} \rho_V^{0,6} \sigma^{0,4} (g(\rho_L - \rho_V) / \mu)^{0,2}$$

CRESCIMENTO DE ÁREAS SECAS

Baixa pressão

$$q''_{cr,l} = 0,5 \frac{h_{LV}^{81/55} \sigma^{9/11} \rho_V^{13/110} k^{7/110} g^{21/55} f(\text{Pr})}{\nu^{1/2} c_p^{2/10} R^{79/110} T_{\text{sat}}^{21/22}}$$

Alta pressão

$$q''_{cr,h} = 0,06 h_{LV} \rho_V^{0,6} \sigma^{0,4} (g(\rho_L - \rho_V) / \mu)^{0,2}$$

Kutateladze: $q''_{cr} = K h_{LV} \rho_V^{1/2} (\rho g(\rho_L - \rho_V))^{1/4}$

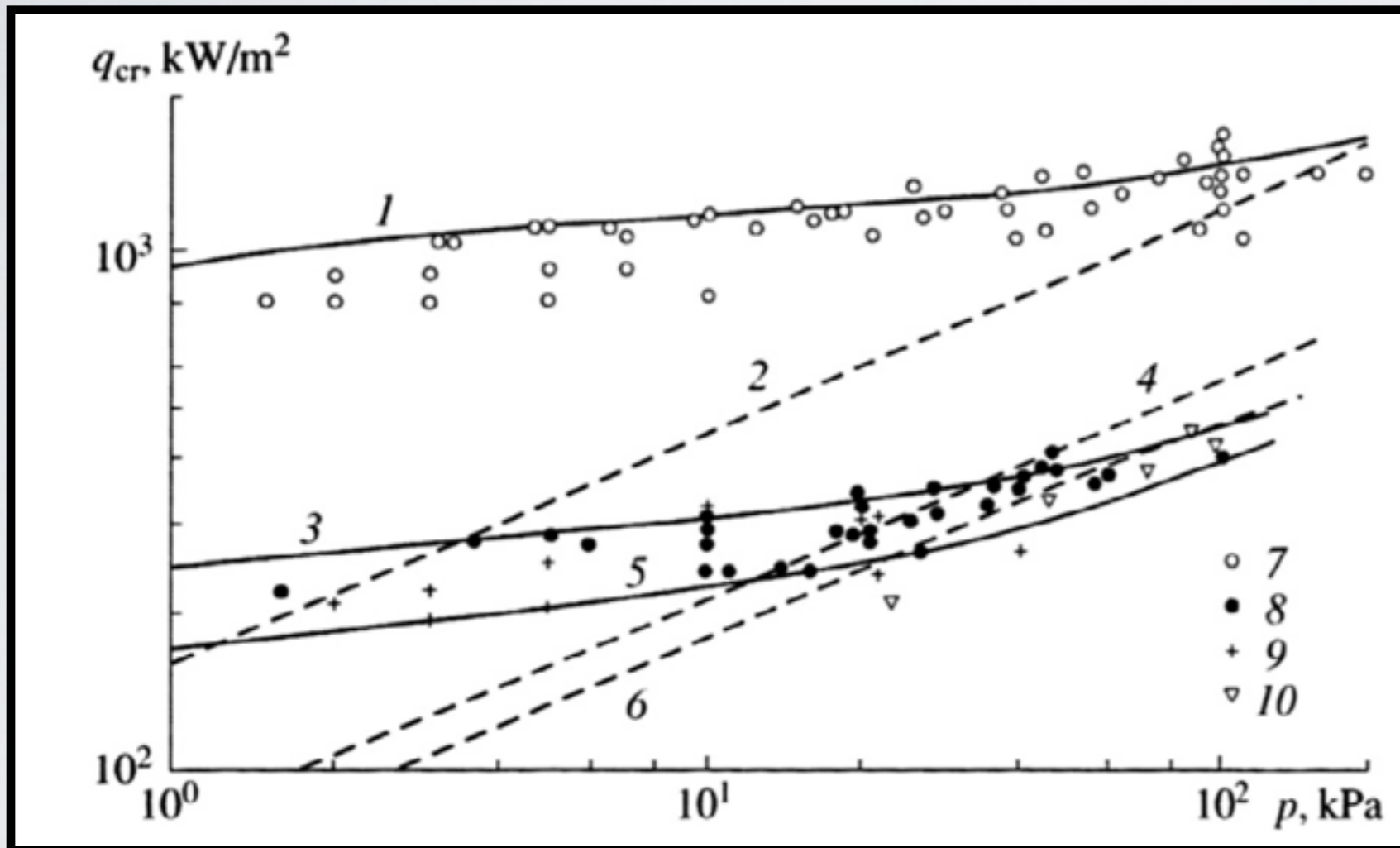
CRESCIMENTO DE ÁREAS SECAS

Regra de interpolação

$$q''_{cr} = \left(q''_{cr,l}{}^3 + q''_{cr,h}{}^3 \right)^{1/3}$$

RESULTADOS

RESULTADOS

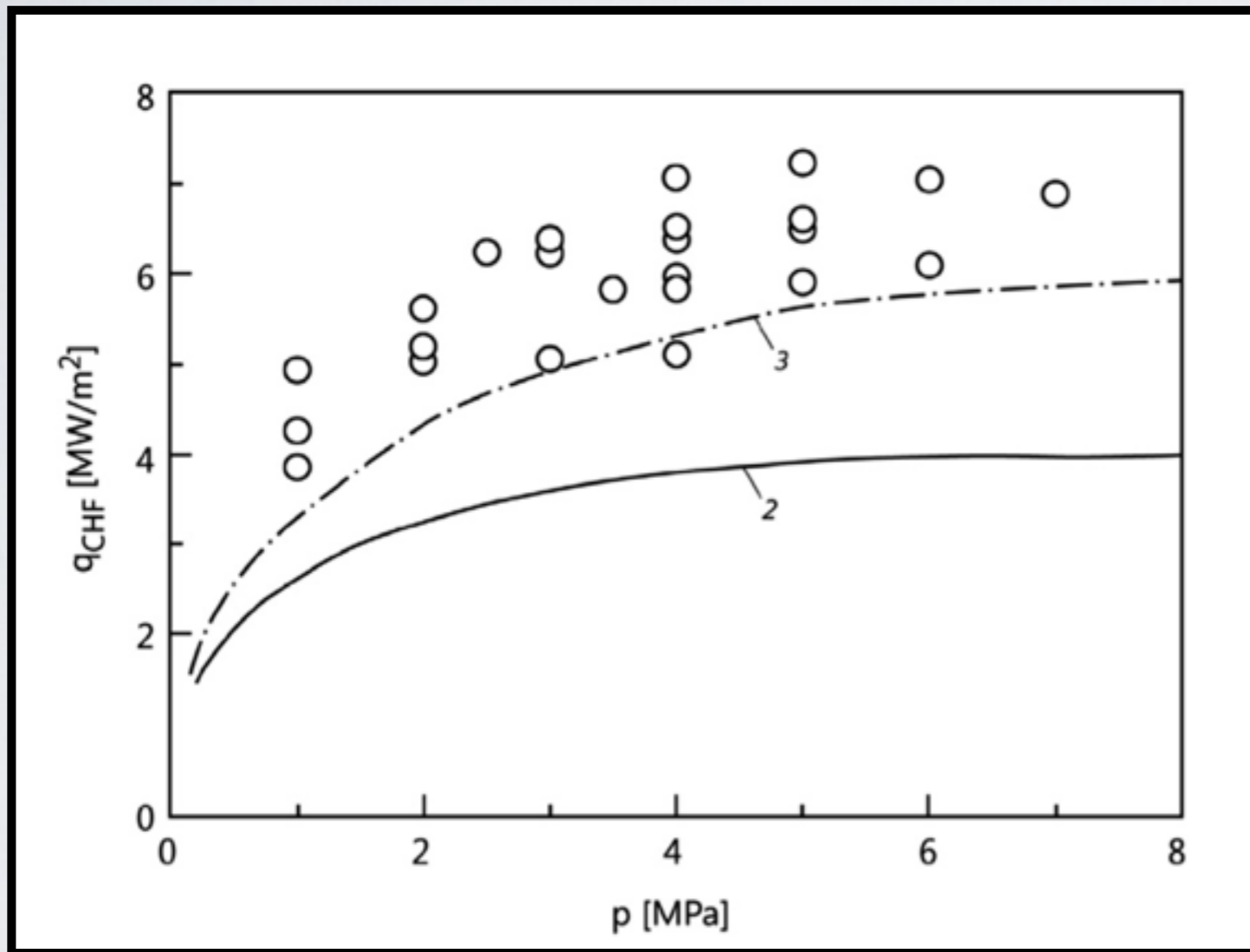


1, 2, 7: água
3,4,8: etanol
5,6,9,10: isopropanol

In: V. V. Yagov, *Is a crisis in pool boiling actually a hydrodynamic phenomenon?*, IJHMT 73 (2014), 265-273

RESULTADOS

RESULTADOS



Água
2: Zuber
3: Yagov

In: V. V. Yagov, *Is a crisis in pool boiling actually a hydrodynamic phenomenon?*, IJHMT 73 (2014), 265-273

QUESTIONANDO MODELOS

“We create defensive fortifications for our ideas,
and close our ears to the rest of the story”

–J. H. Lienhard

“One sees what one wants to see to support a
particular mechanistic model”

–A. E. Bergles

OBRIGADO!

