Tensão Superficial

BIF5715 – Cardiovascular

BIF0442 - Termodinâmica

https://i.ytimg.com/vi/tW-XZlGoycM/hqdefault.jpg

Energia de Superfície

- Trabalho de coesão (W_c) é a energia necessária, por metro quadrado, para separar o líquido do líquido ("romper uma coluna")
- Note que W_c é uma propriedade intrínseca do líquido em questão
- $[W_c] = [J\ m^{-2}] = [N\ m\ m^{-2}] = [N\ m^{-1}]$

- Trabalho de adesão (W_a) é a energia necessária para separar o líquido do sólido.

Energia de Superfície

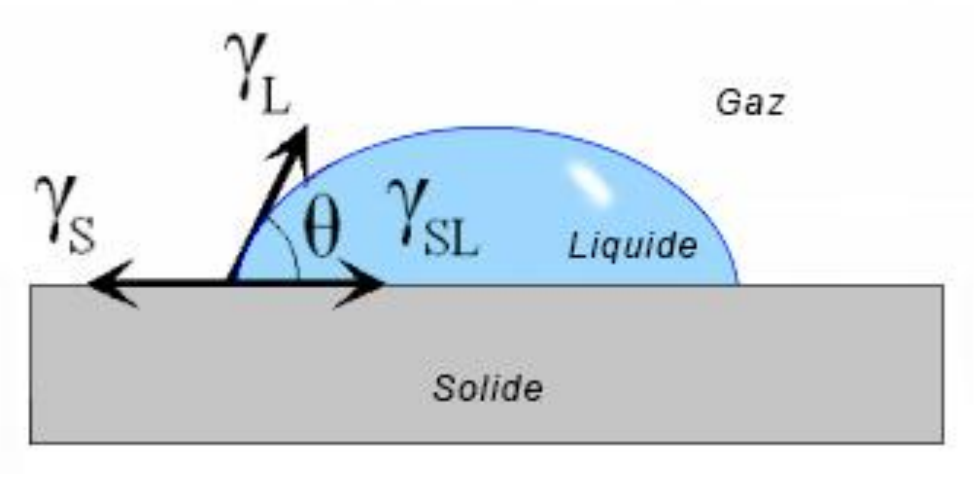
W_a : trabalho de adesão

W_c : trabalho de coesão

$$W_a = \frac{W_c}{2} \cdot (1 + \cos\theta)$$

Se $\theta = 0$ ➔ $W_a = W_c$: a superfície é "molhada", com o líquido se espalhando

Se $\theta = \pi$ ➔ $W_a = 0$: o trabalho de adesão é nulo, a superfície se mantém completamente seca



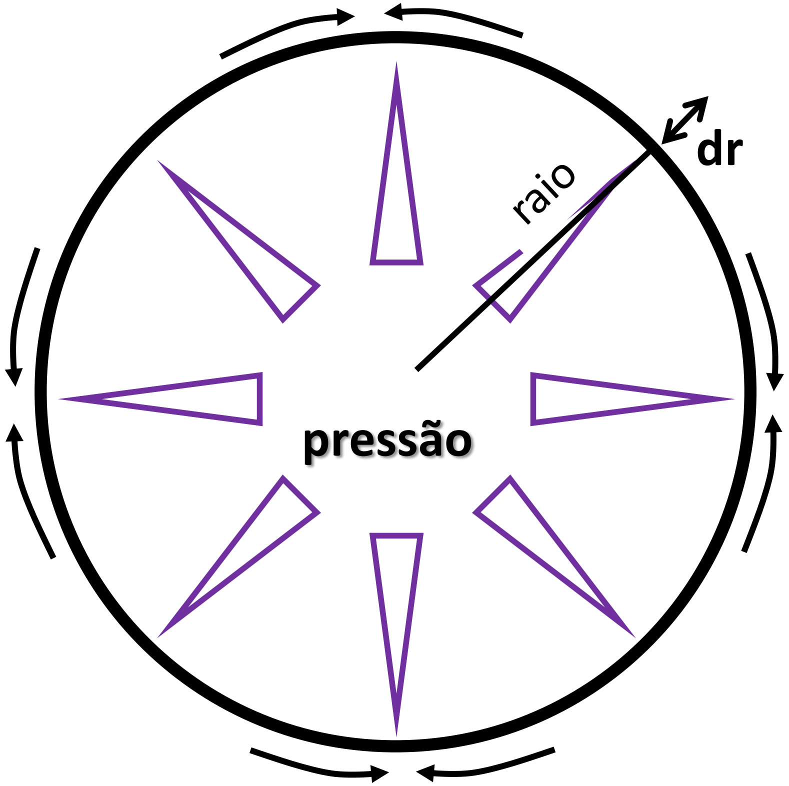
http://www.astrosurf.com/luxorion/Physique/tension-sup-young.jpg

Tensão Superficial

$$\gamma = \frac{W_c}{2} \qquad [N / m] \quad \Rightarrow \quad \frac{\text{força}}{\text{comprimento}}$$

Lembrar: γ é originário da razão energia / área

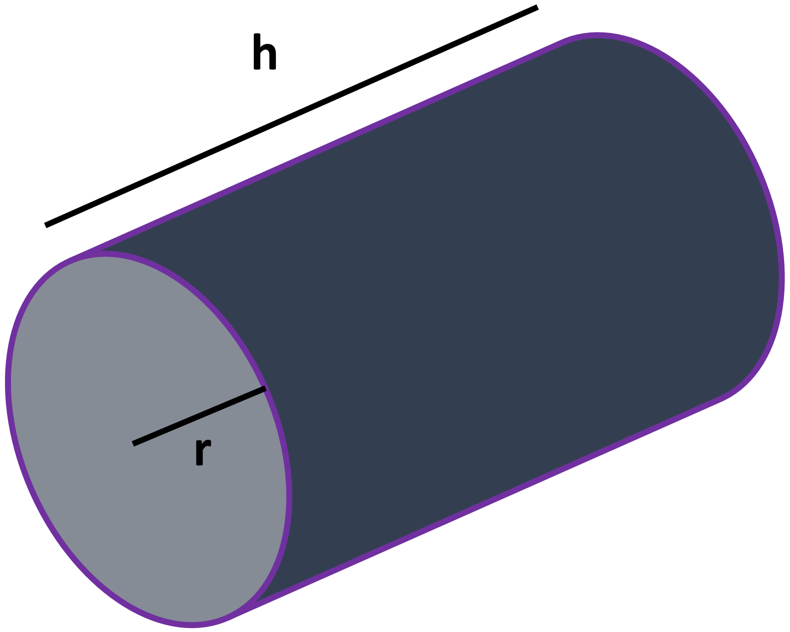
ESFERAS



- Trabalho para expandir a área em dA: $\gamma \cdot dA$
  - $A = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \rightarrow dA/dr = 8 \cdot \pi \cdot r$
  - $W_s = \gamma \cdot 8 \cdot \pi \cdot r \cdot dr$
- Trabalho realizado: $p \cdot dV$
  - $dV/dr = 4 \cdot \pi \cdot r^2$
  - $W_p = p \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot dr$
- Pela 1ª Lei TD: $W_s = W_p$. Assim:

$$p = \frac{2 \cdot \gamma}{r}$$

Cilindros



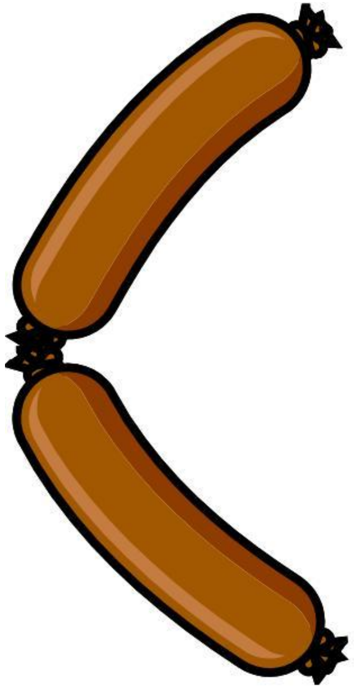
- Desprezando-se as extremidades:
  - Área = $2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$ ➔ $dA/dr = 2 \cdot \pi \cdot h$
- Assim:
  - $W_s = \gamma \cdot 2 \cdot \pi \cdot h \cdot dr$
  - $W_p = p \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot dr$

$$p = \frac{\gamma}{r}$$

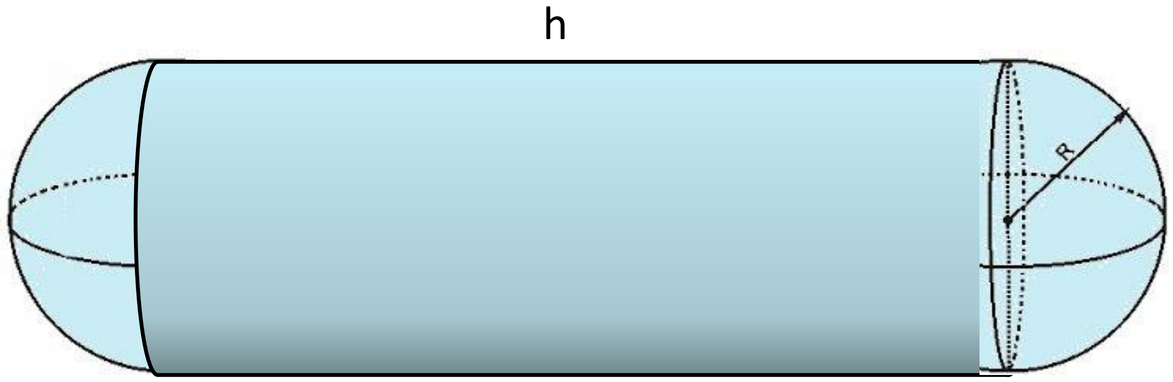
XIAO QI XA

- Explique porque as salsichas (e linguiças, etc.) rasgam, preferencialmente, ao longo do comprimento.

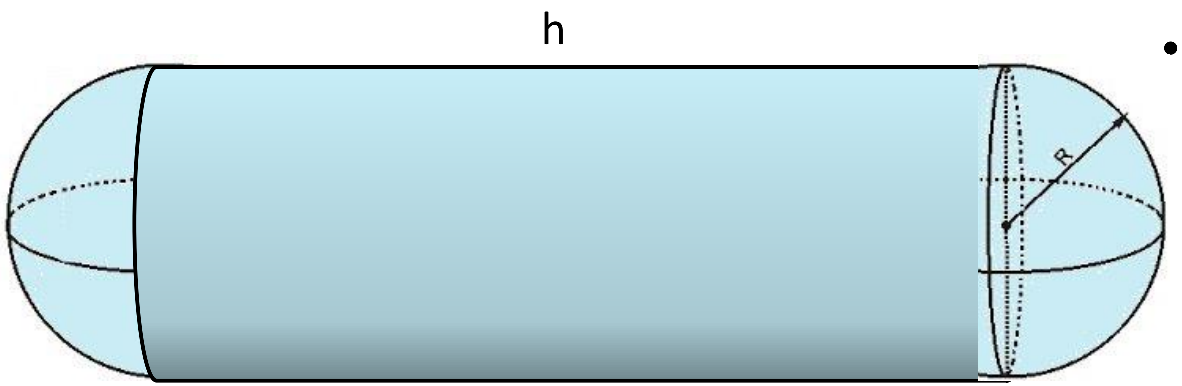
https://1.bp.blogspot.com/-f8OujfeBZwo/VJo0-oZRgcI/AAAAAAAANTE/NURXRiyWU1A/s1600/salsicha%2Bscooby%2Bdoo.gif



https://www.quia.com/files/quia/users/charblum/Pizza/sausage.JPG


h
R

XIAO QI XA

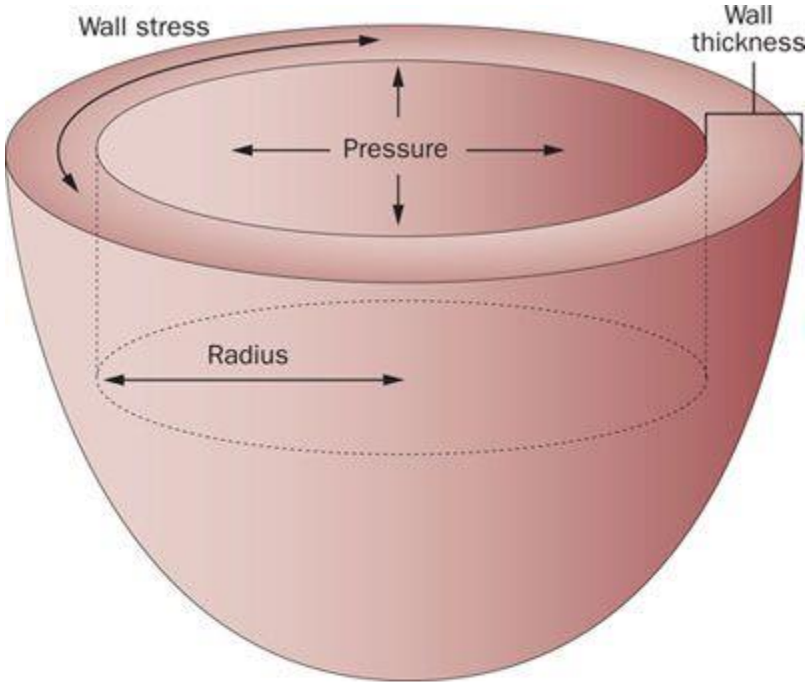


- Para o cilindro (central): $$p_h = \frac{\gamma}{r}$$
- Para a esfera (pontas): $$p_r = \frac{2 \cdot \gamma}{r}$$
- $P_r = 2P_h$ ➔ a pressão para aumentar o raio é o dobro da pressão para aumentar o comprimento.
- Assim, a força para manter o raio tem que ser o dobro da força para manter o comprimento, e a salsicha rasga “no raio”, ou seja, ao longo do comprimento.

ESTRESSE DE PAREDE

BIF5715

ESTRESSE DE PAREDE



http://www.nature.com/nrcardio/journal/v8/n12/images/nrcardio.2011.154-f3.jpg

- O estresse de parede, σ, é a **pressão** sofrida pela parede na sua espessura (z):

$$\sigma = \frac{\gamma}{z}$$

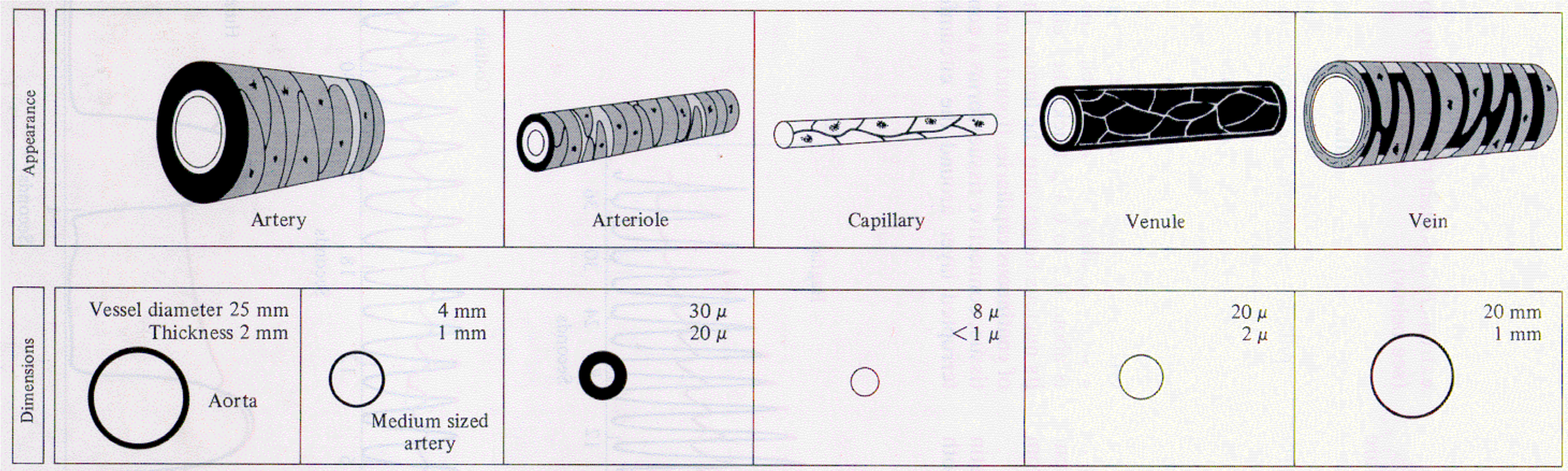
- Em cilindros:

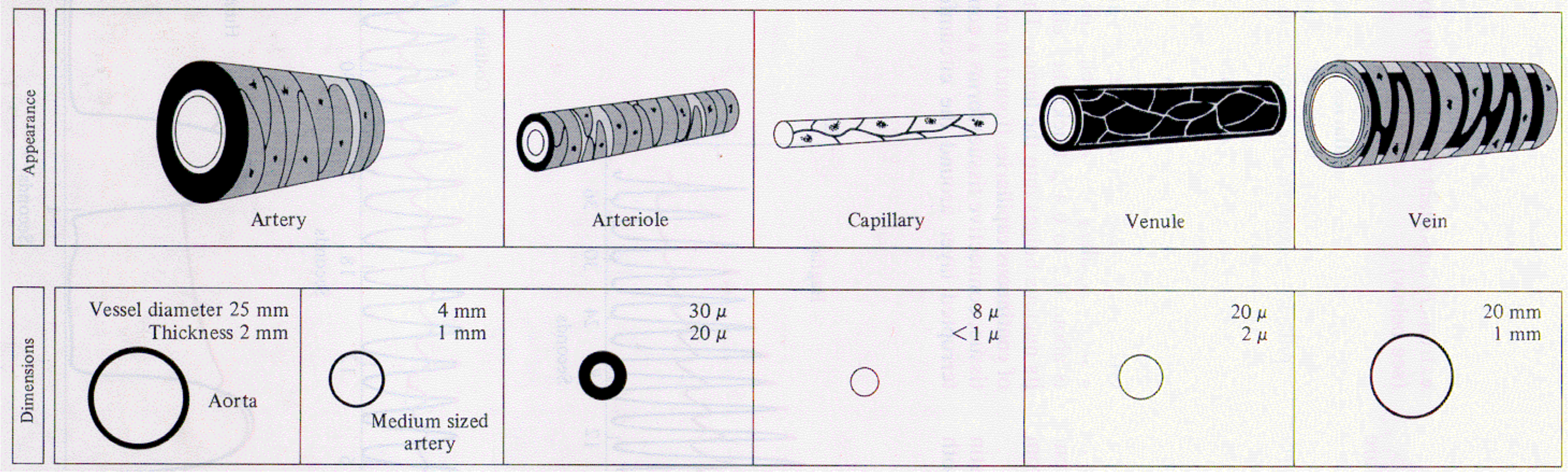
$$\sigma = \frac{P \cdot r}{z}$$

CALCULAR σ NOS VASOS

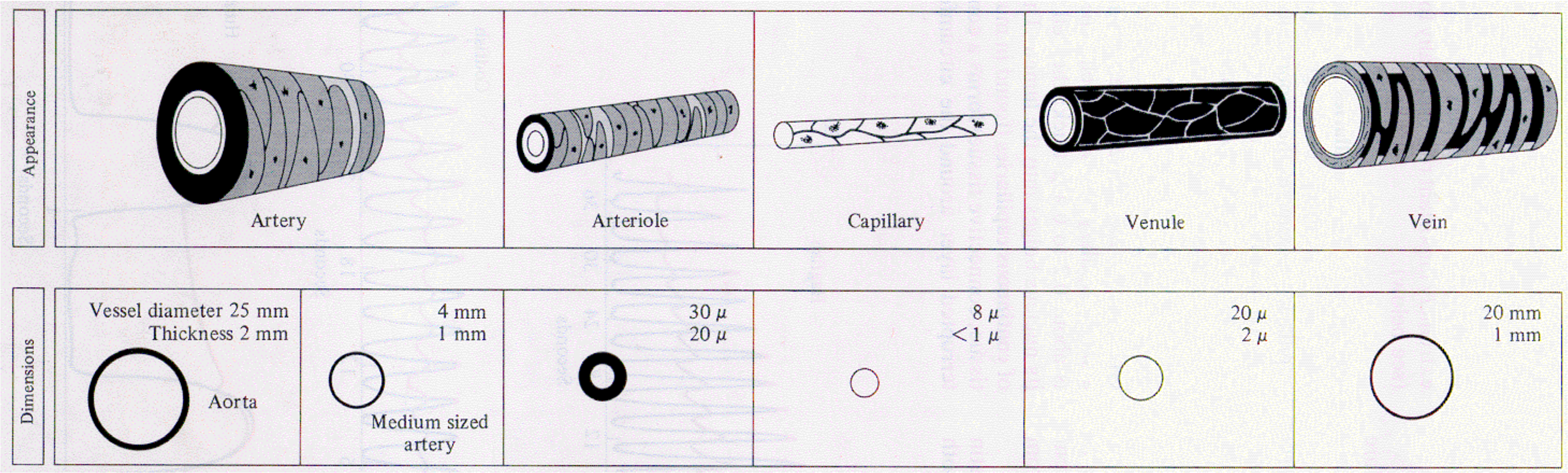
Estresse por unidade de pressão em cilindros:

r / z





	Ao	AA	aa	c	vv	VV	
r	12×10^{-3}	2×10^{-3}	15×10^{-6}	4×10^{-6}	10×10^{-6}	10×10^{-3}	*m*
z	2×10^{-3}	1×10^{-3}	20×10^{-6}	0.5×10^{-6}	2×10^{-6}	1×10^{-3}	*m*
r/z							*adim*
P	120	80	40	20	10	5	*torr*
σ							*torr*



	Ao	AA	aa	c	vv	VV	
r	12×10^{-3}	2×10^{-3}	15×10^{-6}	4×10^{-6}	10×10^{-6}	10×10^{-3}	*m*
z	2×10^{-3}	1×10^{-3}	20×10^{-6}	0.5×10^{-6}	2×10^{-6}	1×10^{-3}	*m*
r/z	**6**	**2**	**0.75**	**8**	**5**	**10**	*adim*
P	120	80	40	20	10	5	*torr*
σ	**720**	**160**	**30**	**160**	**50**	**50**	*torr*

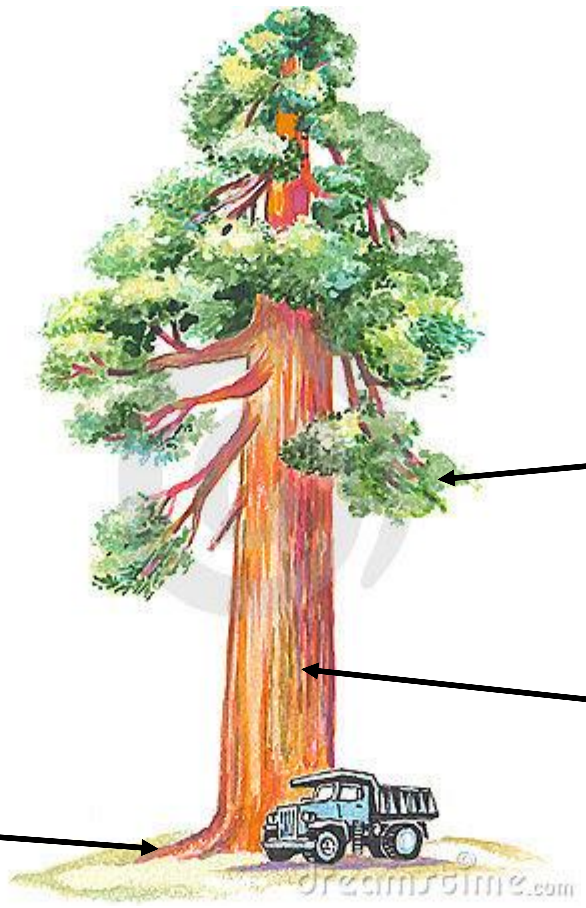
σ EM ESFERAS

Considerando o coração como uma esfera, o que você esperaria em termos de espessura da parede ao longo do crescimento filogenético em mamíferos se o estresse de parede fosse mantido constante ?

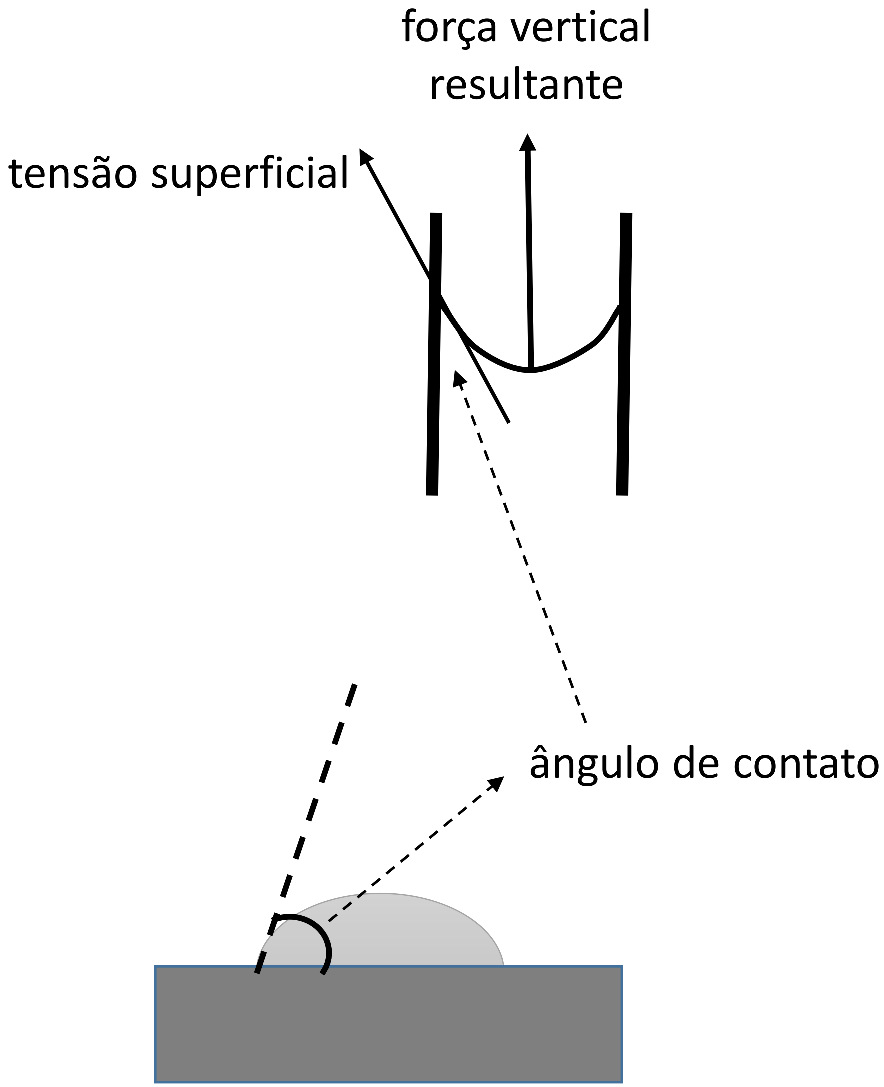
$$\sigma = \frac{P \cdot r}{2 \cdot z}$$

Árvores e xilema

BIF0442


unidade terminal (folha)
raiz e solo
(absorção por osmose)
conduto (xilema)

Capilaridade

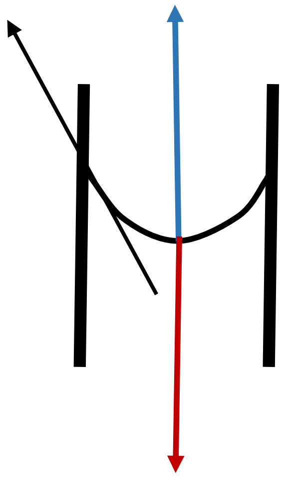


- Força vertical resultante:
  - $F_v = - 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \gamma \cdot \cos(\theta)$

- Dividindo-se pela área de secção do tubo, obtém-se a pressão:

$$P_{cap} = -\frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos(\theta)}{r}$$

Capilaridade



- O peso da coluna gera uma pressão (no sentido do campo gravitacional):

$$P_{col} = \frac{\rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot g}{\pi \cdot r^2} = \rho \cdot h \cdot g$$

- Se há equilíbrio mecânico, a pressão da coluna é igual à pressão por capilaridade. Assim, obtém-se a altura da coluna mantida por capilaridade:

$$h = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos(\theta)}{\rho \cdot g \cdot r}$$

DUTO "MOLHÁVEL"

$\theta \cong 0 \rightarrow \cos(\theta) \cong 1$

$$h = \frac{2 \cdot \gamma}{\rho \cdot g \cdot r}$$

- Considerando:
  - $\gamma_{H2O\text{-}AR} = 0.073\ J\ m^{-2}$
  - $r_{xilema} = 2 \times 10^{-5}\ m$
  - $g = 9.81\ m\ s^{-2}$
  - $\rho_{H2O} = 1000\ kg\ m^{-3}$

- Calcule a altura da coluna de xilema

Os poros

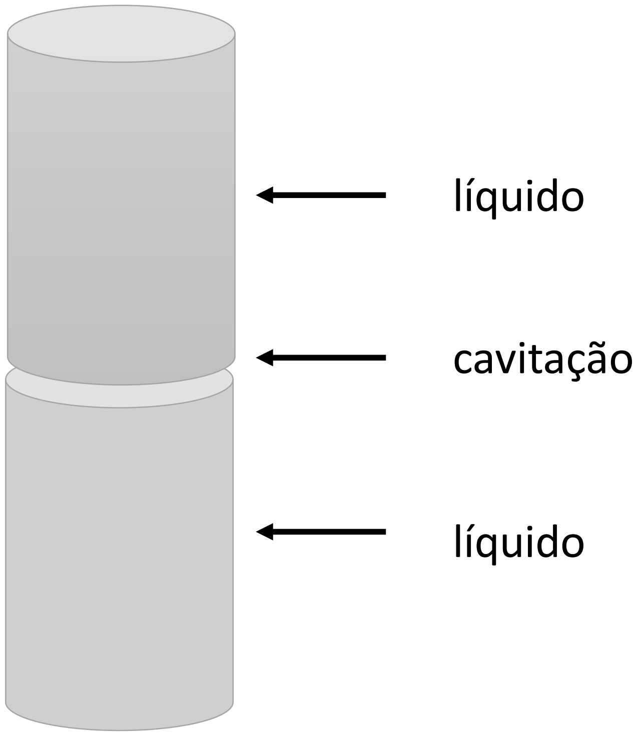
Os dutos do xilema terminam nas folhas, em estruturas chamadas poros.

Os poros têm raio aproximado de $5x10^{-9}$ metros.

Qual a altura que pode ser sustentada ?

- Desta forma, excluindo-se o primeiro metro de altura a partir da raiz, o restante da coluna do xilema é mantido sob pressão negativa. É como se as colunas estivessem penduradas nas folhas.
- A estrutura do lenho deve resistir a estas pressões, para não implodir.

CAVITAÇÃO



- Se a força de “estiramento” numa porção do líquido atinge um certo valor (particular para o líquido), a coesão entre as partes se perde e forma-se a cavitação, com gás ocupando o local.
- Assim, para não haver perda de continuidade, a pressão de cavitação deve ser menor que a pressão de estiramento à qual o líquido está submetido.

Pressão de cavitação da água

Para água pura, a pressão de cavitação para temperaturas entre 0ºC e 80ºC é, aproximadamente:

$$\mathbf{P_{cav} = 26 - 0.1125 \cdot T}$$

Sendo

P_{cav} [MPa]

T [ºC]

- Qual é a altura de coluna hídrica máxima que pode ser sustentada sem cavitação a 10 ºC ?
- E a 50 ºC ?

Herbert, E., Balibar, S., & Caupin, F. (2006). Cavitation pressure in water. *Physical Review E*, *74*(4), 041603.

Coluna hídrica máxima

$$\rho \cdot h \cdot g < P_{cav} = \left(26 - 0.1125 \cdot T\right) \cdot 10^{6}$$

Hidrodinâmica

O xilema fica pendurado devido à capilaridade. Mas isto é estático.

Para que o xilema suba em um fluxo continuado, é preciso que algo mais aconteça.

O que é esse algo a mais?

- Fluxo laminar de Hagen-Poiseuille

$$\dot{V} = \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \mu \cdot L} \cdot \Delta P$$

A árvore na montanha, hia hia hou

O Monte Olimpo, em Marte, tem 25 km de altura.

Estabeleça o que você precisa saber para decidir se é possível manter uma sequoia por lá, supondo haver, no solo, água sem restrição.

- $g_{Marte} = 0.38 \cdot 9.81 \text{ m s}^{-2}$
- Incidência solar: 590 watts / m^2
- Taxa aproximada de fotossíntese
  - Para cada watt por metro quadrado de folha, tem-se a produção de 50 mg de glicose por hora. Como cada mol de glicose consome 1 mol de CO2 e de água, o consumo de gás carbônico é:

$$\bar{V}_{CO2} = 0.47 x 10^{-6} \frac{mol}{w \cdot m^2 \cdot s}$$