

Morrendo de calor – Qual é a temperatura máxima suportada pelo ser humano?



Figura 1 – Muito calor e alta umidade relativa do ar são ingredientes que favorecem a hipertermia. Por outro lado, quanto mais seco o ar tanto melhor para a nossa transpiração

média de mortalidade registrada para uma mesma temperatura média diária. Em artigo publicado na revista *The Lancet* em 2015, pesquisadores analisaram mais de 74 milhões de mortes em 384 cidades de dezenas de países. Para cada cidade, eles calcularam a média do número de mortos para uma mesma temperatura média (média ao longo de 24 horas). Alguns resultados estão mostrados na **Figura 2**.

Em todos os gráficos vemos que existe uma temperatura ótima na qual a mortalidade apresenta um mínimo. Se, para cada temperatura, dividirmos o número de mortos pela mortalidade mínima teremos o *Risco Relativo* (RR), que mede o crescimento do número de mortes seja pelo aumento ou pela diminuição da temperatura média.

O estudo publicado na revista *The Lancet* se refere aos efeitos do calor sobre toda uma população. Mas, qual o efeito do excesso de calor sobre um indivíduo? Uma pessoa com hipertermia produz mais calor do que o seu corpo consegue dissipar. Se essa situação se mantiver por algumas horas, haverá falência múltipla dos órgãos, podendo até mesmo levar à desnaturação das proteínas do corpo.

A temperatura do corpo humano gira em torno de 36,5º C. Mantemos essa temperatura gerando calor através do nosso metabolismo.

Em repouso, o metabolismo do corpo humano produz 100 joules de calor por segundo. Somos uma máquina de 100 watts de potência.

Deve-se acrescentar ainda o calor proveniente da radiação solar. Juntos, todo esse calor é então eliminado por condução térmica e evaporação (suor).

O nosso regulador térmico fica no hipotálamo, uma pequena estrutura que fica no encéfalo e envia sinais para todo o corpo controlando tanto a produção de calor quanto a sua dissipação.

O nosso principal órgão de dissipação de calor é a pele. Ela é mantida a uma temperatura um pouco mais baixa do que aquela do interior do nosso corpo para que ela possa receber calor e, através das glândulas sudoríparas, transformá-lo em suor. Ao evaporar, o suor *retira calor* resfriando nosso corpo.

O quanto nós suamos depende da umidade do ar. A atmosfera aceita vapor d'água até uma certo valor máximo de saturação. Esse valor máximo depende da temperatura do ar (veja **Figura 3**). Atingido esse valor, o excesso do vapor d'água se condensa – é o ponto de orvalho (ou geada, se a temperatura estiver abaixo de 0ºC).

Artigo: Prof. Roberto N. Onody *

Afinal de contas, qual é a temperatura máxima suportada pelo ser humano?

Uma temperatura interna (retal) acima de 43ºC por mais de 6 horas é mortal para 99,9% dos seres humanos.

O caso mais extremo e excepcional conhecido foi registrado no ano de 1980 em Atlanta, Georgia (EUA). Willie Jones deu entrada no hospital com temperatura interna de 46,5ºC, ficou 24 dias internado, mas, sobreviveu.

Segundo a Organização Mundial de Saúde, morrem cerca de 489.000 pessoas por ano devido ao calor extremo. Claro, é muito difícil ter os números exatos (ou mesmo aproximados) uma vez que nos atestados de óbito constam apenas as causas imediatas da morte como ataque cardíaco e AVC.

Para se determinar os efeitos do calor ou do frio sobre *toda uma população*, devemos analisar a taxa

The Lancet

de mortalidade registrada para uma mesma temperatura média diária. Em artigo publicado na revista *The Lancet* em 2015, pesquisadores analisaram mais de 74 milhões de mortes em 384 cidades de dezenas de países. Para cada cidade, eles calcularam a média do número de mortos para uma mesma temperatura média (média ao longo de 24 horas). Alguns resultados estão mostrados na **Figura 2**.

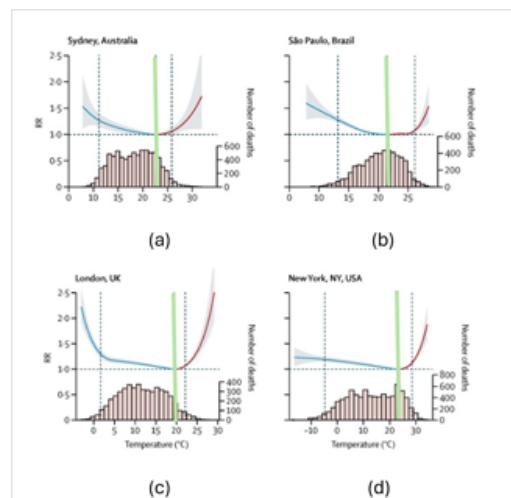


Figura 2 – Risco Relativo como função da temperatura média (o C). Em RR = 1, tem-se a Temperatura que Minimiza a Mortalidade (TMM). Ela está indicada pela barra vertical verde. Seus valores são: 22,6 para Sydney; 21,5 para São Paulo; 19,5 para Londres e 23,1 para Nova Iorque. Embaixo de cada curva, temos os histogramas do número médio de mortes por dia para cada temperatura. Há mais mortes quando a temperatura está abaixo de TMM. O frio mata mais do que o calor. Fonte: The Lancet, volume 386, página 369 (2015)

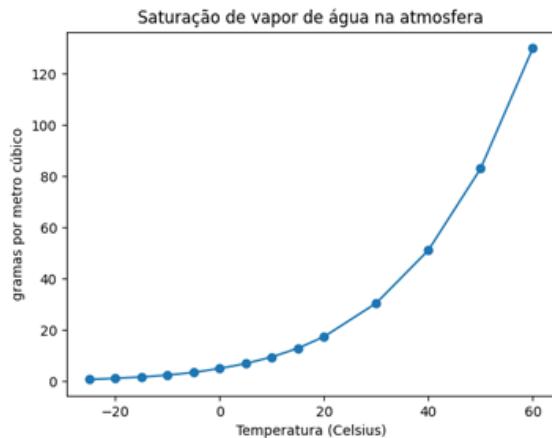


Figura 3 – Quantidade máxima de vapor d'água (em gramas por metro cúbico) presente no ar em função da sua temperatura (em graus Celsius) na pressão de 1 atmosfera. Quando essa umidade máxima é atingida, o suor não mais evapora deixando de refrigerar nosso corpo. Quanto mais seco o ar tanto melhor para a nossa transpiração

Em 2010, um estudo seminal investigou os limites humanos ao excesso de calor. No experimento, um grupo de voluntários em posição de repouso e sem roupa, foi submetido a aumentos de temperatura até que tivesse início a hipertermia. Os pesquisadores encontraram uma *temperatura crítica de bulbo úmido* acima da qual a morte é inevitável

$$T_{\text{temperatura crítica de bulbo úmido}} = T_c = 35^{\circ}\text{C}$$

Para entendermos melhor as consequências dessa temperatura crítica precisamos lembrar que ela é uma isoterma de temperatura de bulbo úmido. Há que se considerar, então, sua relação com a temperatura do ar (bulbo seco) e com a umidade relativa do ar. Isso é mostrado na **Figura 5**.

Quanto *maior* for a umidade relativa do ar tanto *pior*, mais difícil fica a sobrevivência. Por exemplo, se a umidade relativa está próxima de 100% basta uma *temperatura do ar* da ordem de 35°C para dar início a hipertermia. Se a umidade relativa do ar é baixa, a situação melhora. No mês de setembro, na cidade de São Carlos, a umidade relativa do ar girou em torno de 20%, o que significa que poderíamos suportar temperaturas de até 60°C!

Em 2023, na revista *Nature*, foi feita uma investigação mais aprofundada na qual vários aspectos fisiológicos que afetam a hipertermia foram levados em conta.

Nesse estudo, pessoas voluntárias foram separadas em 2 grupos: jovens (18 a 40 anos) e idosos (acima de 65 anos). Cada um desses grupos foi dividido em 2 subgrupos: aqueles que permaneceriam na sombra e aqueles que ficariam expostos ao sol. Os resultados estão mostrados na **Figura 6**.

Analizando esses novos resultados concluímos que o cenário piorou, pois, as temperaturas de hipertermia *diminuíram*!

No trabalho de 2010, quando a umidade relativa do ar estava próxima de 20% a temperatura de início da hipertermia era de 60°C. Agora elas caíram para: 51°C (jovens na sombra), 47°C (jovens expostos ao Sol), 46°C (idosos na sombra) e 41°C (idosos expostos ao Sol).

*Físico, Professor Sênior do IFSC – USP

e-mail: onody@ifsc.usp.br

Define-se a *umidade relativa do ar* (em %) como sendo a quantidade de vapor d'água presente no ar *dividida* pela quantidade máxima (saturação) de vapor d'água àquela temperatura.

A tolerância humana ao calor depende da temperatura e umidade do ar e da radiação solar. Nos estudos que investigam os limites humanos ao excesso de calor, utilizam-se os termômetros de bulbo úmido. Enquanto o termômetro comum de mercúrio (de bulbo seco) mede a temperatura do ar, o termômetro de mercúrio de bulbo úmido (**Figura 4**) mede a temperatura levando em conta a umidade do ar.

No termômetro de bulbo úmido, o bulbo fica em contacto permanente com uma malha porosa (em geral, algodão) embebida em água destilada. Ao evaporar, a água retira calor do bulbo do termômetro, abaixando a sua temperatura. É o mesmo processo de resfriamento que acontece nos *filtros de barro*. A água contida no interior desses filtros mantém o material poroso (barro) sempre úmido e, ao evaporar, resfria a água do filtro.

A temperatura medida pelo termômetro de bulbo úmido é sempre *menor ou igual* àquela medida pelo termômetro de bulbo seco. Quanto mais seco o ar tanto maior será a diferença das temperaturas medidas pelos termômetros de bulbo seco e úmido. Elas são exatamente iguais quando a umidade relativa do ar é de 100%.



Figura 4 – (a) Um psicrômetro é composto por um termômetro de bulbo seco (à esquerda) e um termômetro de bulbo úmido (à direita). Medindo-se as duas temperaturas pode-se calcular a umidade relativa do ar e o seu ponto de orvalho. (b) Um termômetro de globo de bulbo seco e úmido além de ter as funcionalidades do psicrômetro, mede também o calor de radiação. É muito utilizado para medir as temperaturas e o calor em ambientes industriais e garantir o conforto térmico dos trabalhadores. Ele determina o IBUTG (índice de bulbo úmido termômetro de globo), criado pela norma regulamentadora (NR15) do Ministério do Trabalho e que trata da insalubridade e segurança no trabalho

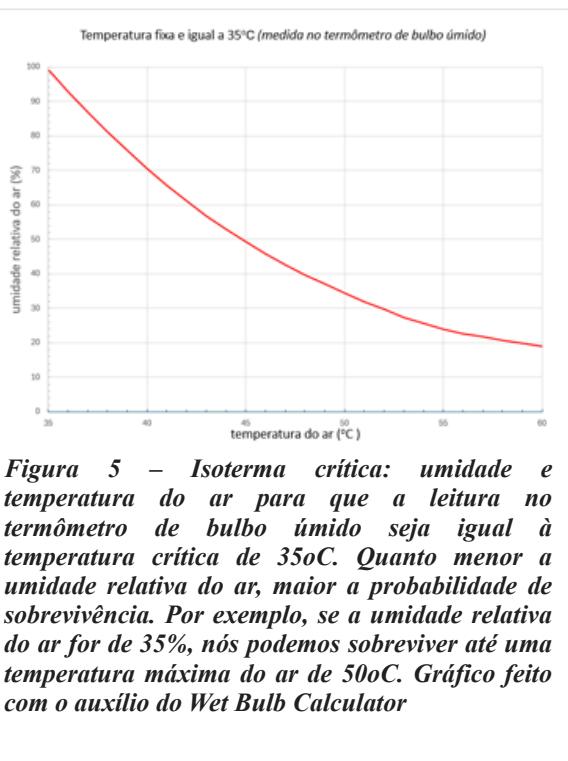


Figura 5 – Isoterma crítica: umidade e temperatura do ar para que a leitura no termômetro de bulbo úmido seja igual à temperatura crítica de 35°C. Quanto menor a umidade relativa do ar, maior a probabilidade de sobrevivência. Por exemplo, se a umidade relativa do ar for de 35%, nós podemos sobreviver até uma temperatura máxima do ar de 50°C. Gráfico feito com o auxílio do Wet Bulb Calculator

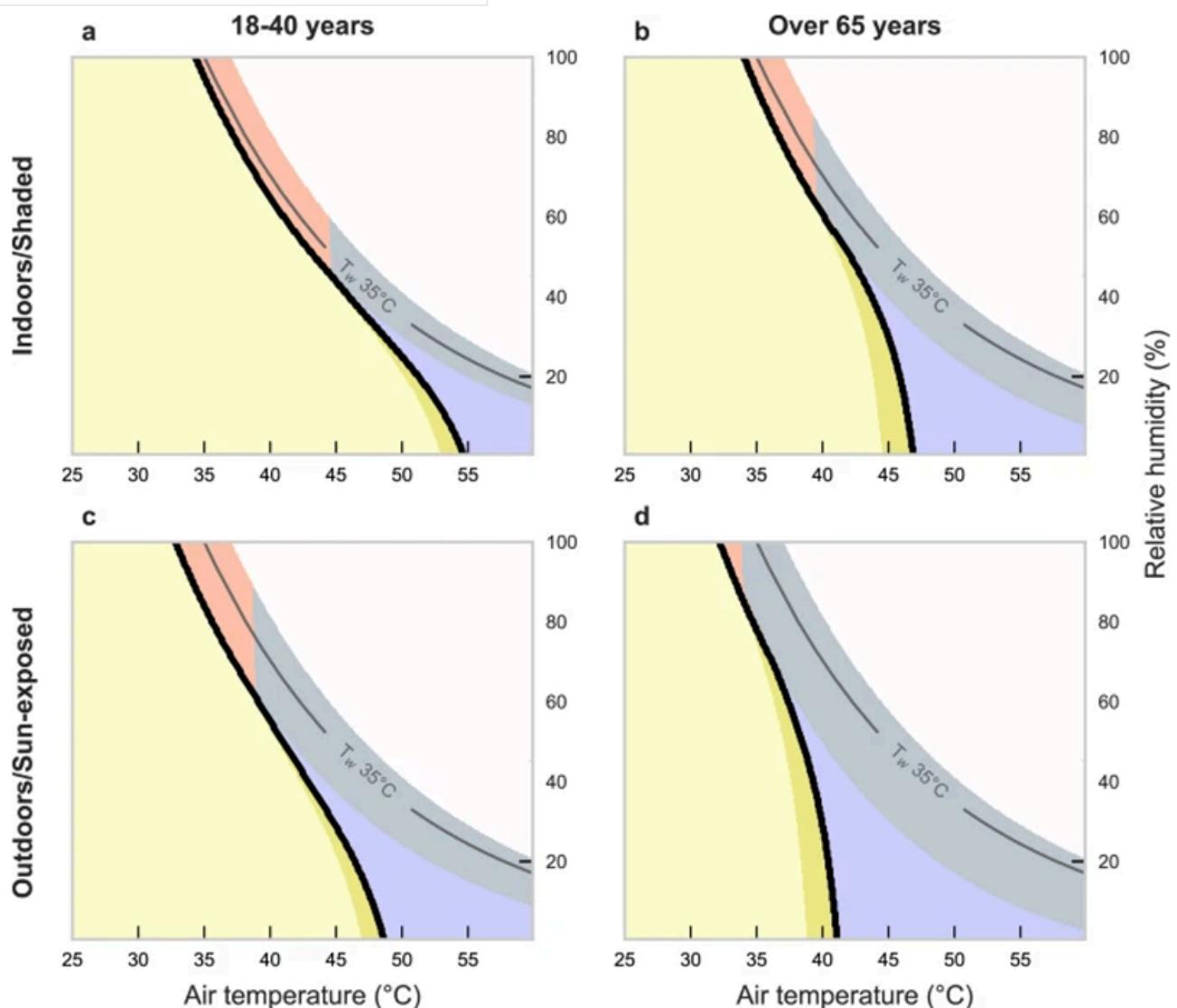


Figura 6 – Gráficos da umidade relativa do ar (%) versus a temperatura do ar (o C): (a) jovens na sombra; (b) idosos na sombra; (c) jovens expostos ao sol; (d) idosos expostos ao sol. Em todos eles, a linha preta grossa marca o limite de sobrevivência. A linha preta fina é a mesma em todos eles e corresponde à isoterma crítica de 35°C mostrada em detalhes na Figura 5. Fonte: J. Vanos et al, Nat Commun 14, 7653 (2023)

(Imagem de destaque na home – Onlymyhealth)

(Meus agradecimentos ao Sr. Rui Sintra da Assessoria de Comunicação do IFSC/USP)

Para acessar *todo* o conteúdo do site “Notícias de Ciência e Tecnologia”, [clique aqui](#)

Para acessar *todo* o conteúdo do site “Newsletter – Ciência em Panorama”, [clique aqui](#)