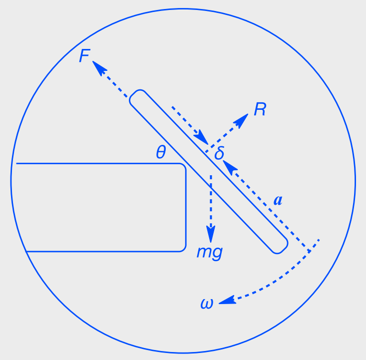
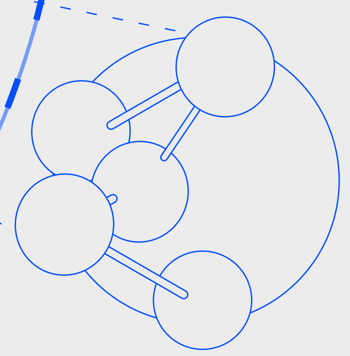
A ciência por trás da

Torrada Anti Lei De Murphy



1 − √[1 − 12a2] σα
where a = 2/12(R − 2) and R = h/

~ (3ga/74)1/2
1.6ms (with ~ 5°)



$$R = 2 + \frac{\pi^2 (1+3n^2)}{12n}$$

enterogermina®

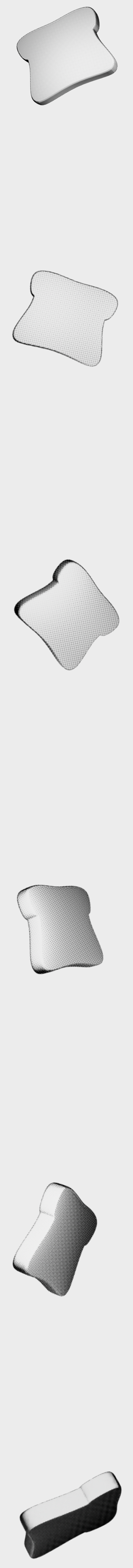
Primeira questão:
A manteiga afeta?

O fenômeno da torrada caindo de uma mesa e aterrissando com o lado da manteiga para baixo é amplamente considerado como uma prova empírica da existência da Lei de Murphy. Além disso, há uma crença generalizada de que isso é o resultado de um efeito físico genuíno, muitas vezes atribuído a uma assimetria dinâmica induzida pelo fato de um dos lados da torrada estar com manteiga.

Independente de a ***observação básica ser verdadeira ou não, essa explicação não é correta.*** A massa de manteiga adicionada à torrada (~4g) é pequena em comparação com a massa de uma fatia de torrada típica (~35g), é espalhada de maneira fina e penetra no corpo da torrada. Sua contribuição para o momento de inércia total da torrada - e, consequentemente, seu efeito na dinâmica rotacional da torrada - é, portanto, negligenciável.

De maneira semelhante, o efeito aerodinâmico da fina camada de manteiga não pode contribuir de forma significativa para uma assimetria dinâmica. É facilmente demonstrável que, para a resistência do ar ter um impacto relevante na dinâmica da queda da torrada, a altura de queda deve ser da ordem de $2(\rho_T/\rho_A)d$, onde ρ_T é a densidade da torrada, *d* é sua espessura e ρ_A a densidade do ar.

A presença da manteiga contribuirá apenas com uma pequena fração desse total; supondo-se generosamente que seja 25% e considerando os valores típicos de ρ_T ~350 kg/m³, ρ_T= 1,3 kg/m³ e d ~10^{-2} m, descobre-se que a torrada teria que cair de uma altura muito maior do que a altura típica de uma mesa para que a manteiga tivesse efeitos aerodinâmicos significativos.



Contexto da queda da torrada.

na sequência, modelamos o problema da torrada giratória como um exemplo de uma lâmina retangular rígida, homogênea e áspera, com massa ***m*** e lados ***2a***, caindo de uma plataforma rígida situada a uma altura ***h*** acima do solo. Consideramos a dinâmica da torrada a partir de um estado inicial em que seu centro de gravidade ultrapassa a borda da mesa por uma distância δ_0 conforme mostrado na Figura 1. Inicialmente, ignoramos o processo pelo qual a torrada chega a esse estado e assumimos que ela tem velocidade horizontal zero; o efeito de uma velocidade horizontal diferente de zero é tratado posteriormente. Finalmente, assumimos um impacto perfeitamente inelástico com o solo, sem ressalto.

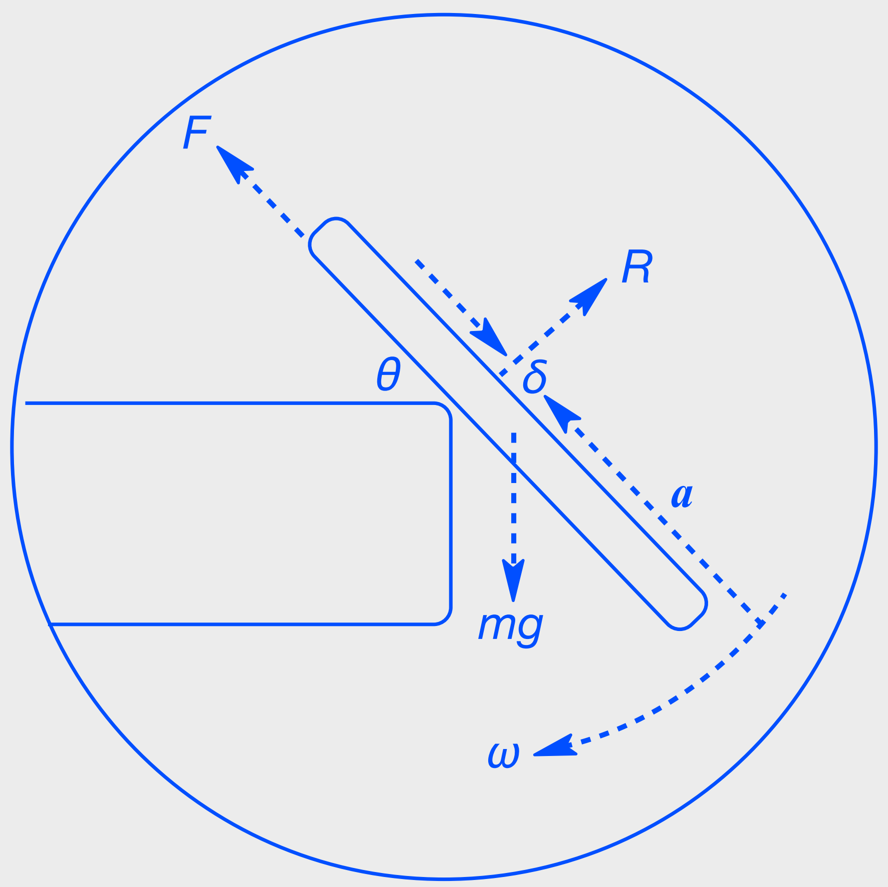


Figura 1. *A orientação inicial da torrada em rotação*

Com essas suposições, a dinâmica da lâmina é determinada pelas forças mostradas na Figura 1: o peso, ***mg***, atuando verticalmente para baixo, a força de atrito, ***F***, paralela ao plano da lâmina e direcionada contra o movimento, e a reação da mesa, ***R***. A velocidade angular resultante sobre o ponto de contato, ω , satisfaz as equações diferenciais de movimento.

(1) $m\delta\omega^2 = F - mg\cdot\sin\theta$

(2) $m\delta\omega = R - mg\cdot\cos\theta$

(3) $m(k^{2+}\delta^2)\omega = mg\delta\cdot\cos\theta$

onde k é o raio de giração apropriado, tal que $k^2 = d/3$ para a lâmina retangular considerada aqui. Multiplicando (3) por 2ωe integrando a partir das condições iniciais $\omega = 0$ *at* $\theta = 0$ leads to:

(4) $\omega^2 = (6g/a)\cdot[\eta/(1+3\eta^2)]\cdot\sin\theta$

onde usamos $\delta \equiv \eta a$, sendo $\eta (0 < \eta \le 1)$ 'parâmetro de saliência'. A Equação (4) é a equação central do problema da torrada em queda, pois fornece a taxa de rotação da torrada uma vez que ela se desprende da mesa a partir de um estado específico de saliência.

A menos que a torrada complete rotação suficiente durante sua descida até o solo para fazer com que o lado com manteiga fique voltado para cima, ela cairá com o lado da manteiga para baixo.

Considerações para o design da torrada.

O desafio científico ao projetar a torrada é diminuir o risco de que o ângulo em que a torrada aterrissa caia dentro da ***"Faixa da Lei de Murphy" de 90 graus a 270 graus***. Essa faixa é particularmente problemática porque resulta em uma alta probabilidade de aterrissagens com a manteiga para baixo. Estudos experimentais usando torradas padrão em condições controladas indicam que a torrada cai com o lado da manteiga para baixo aproximadamente 62% das vezes quando deixada cair de uma altura típica de mesa.

$$\theta = \omega r \sim \sqrt{\frac{g}{L}} \times \sqrt{\frac{h}{g}} \sim \sqrt{\frac{h}{L}}$$
$$\theta < 90^{\circ}$$
$$\theta > 270^{\circ}$$

Várias estratégias foram exploradas para mitigar o risco de pousos com a manteiga para baixo:

(a) Altura da queda: A altura da qual a torrada cai pode influenciar a probabilidade de pousos com a manteiga para cima, com alturas menores ou maiores potencialmente afetando a dinâmica da rotação.

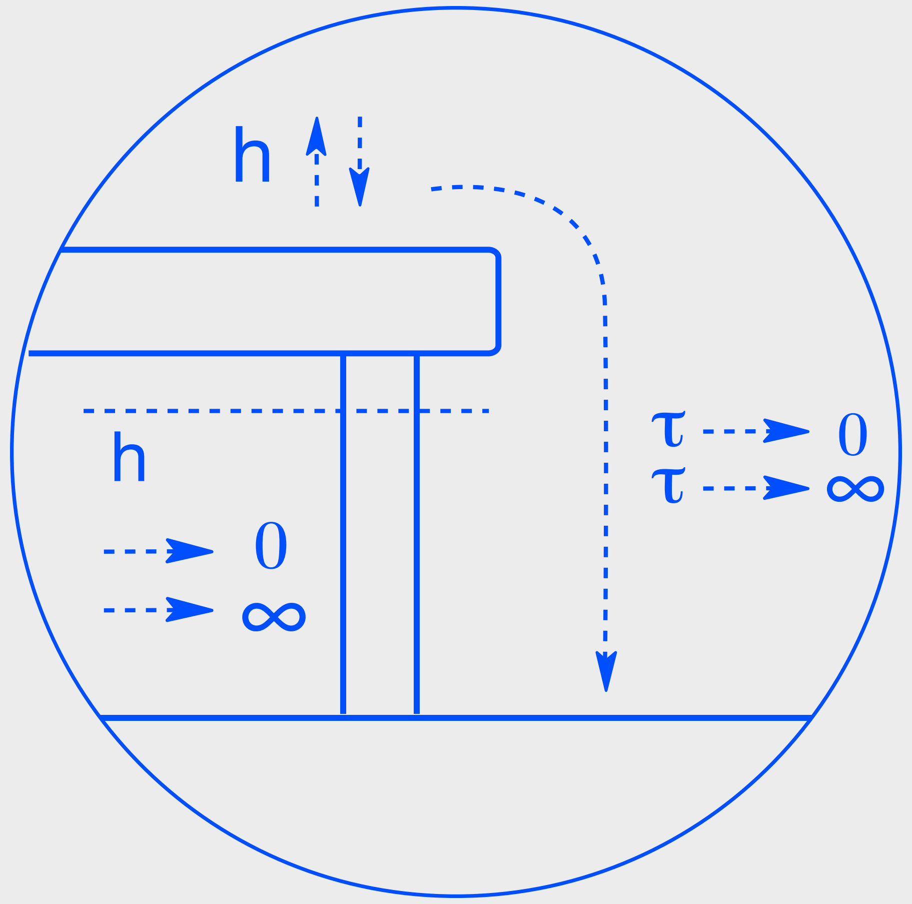


Figura 2. *A influência da altura da queda*

(b) *Tamanho da torrada*: Alterar as dimensões da torrada pode influenciar sua taxa de rotação, com pedaços menores ou maiores se comportando de maneira diferente durante a queda livre.

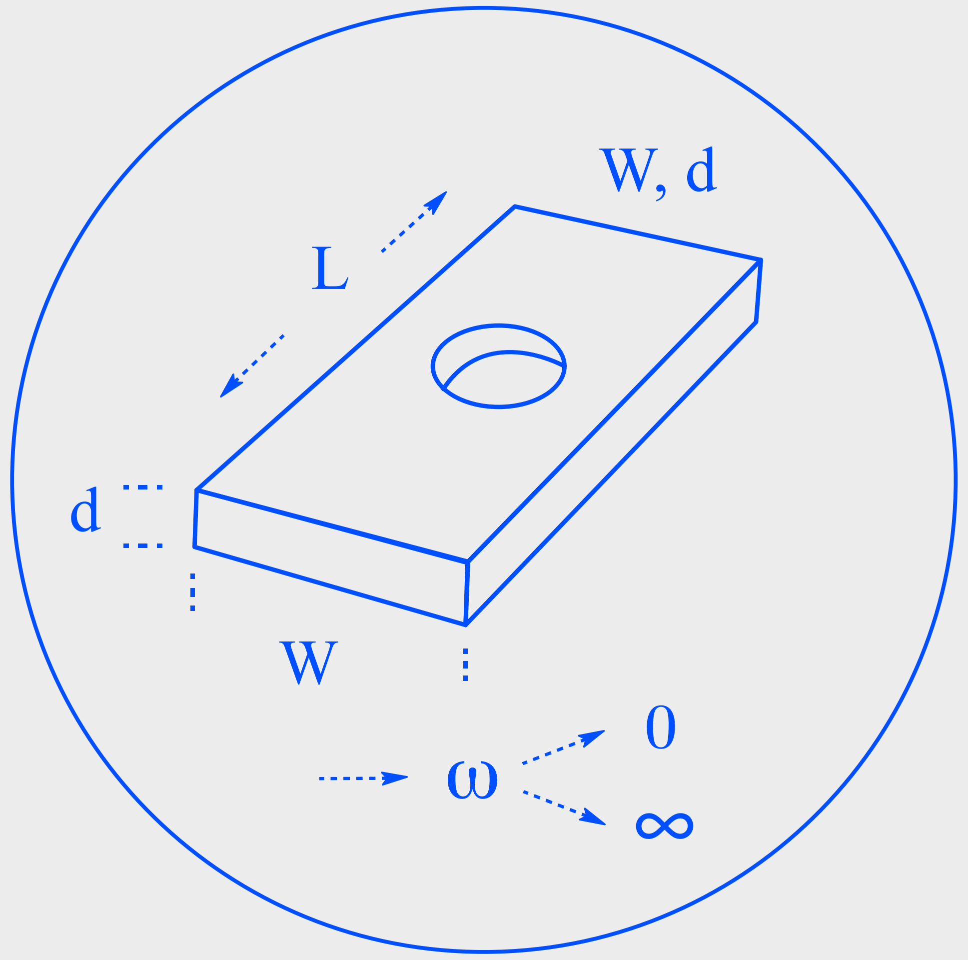


Figura 3. *O tamanho da torrada*

(c) *Forças atuantes na torrada*: As principais forças físicas envolvidas incluem a aerodinâmica, a gravidade e o atrito, cada uma das quais afeta o movimento da torrada da mesa até o chão.

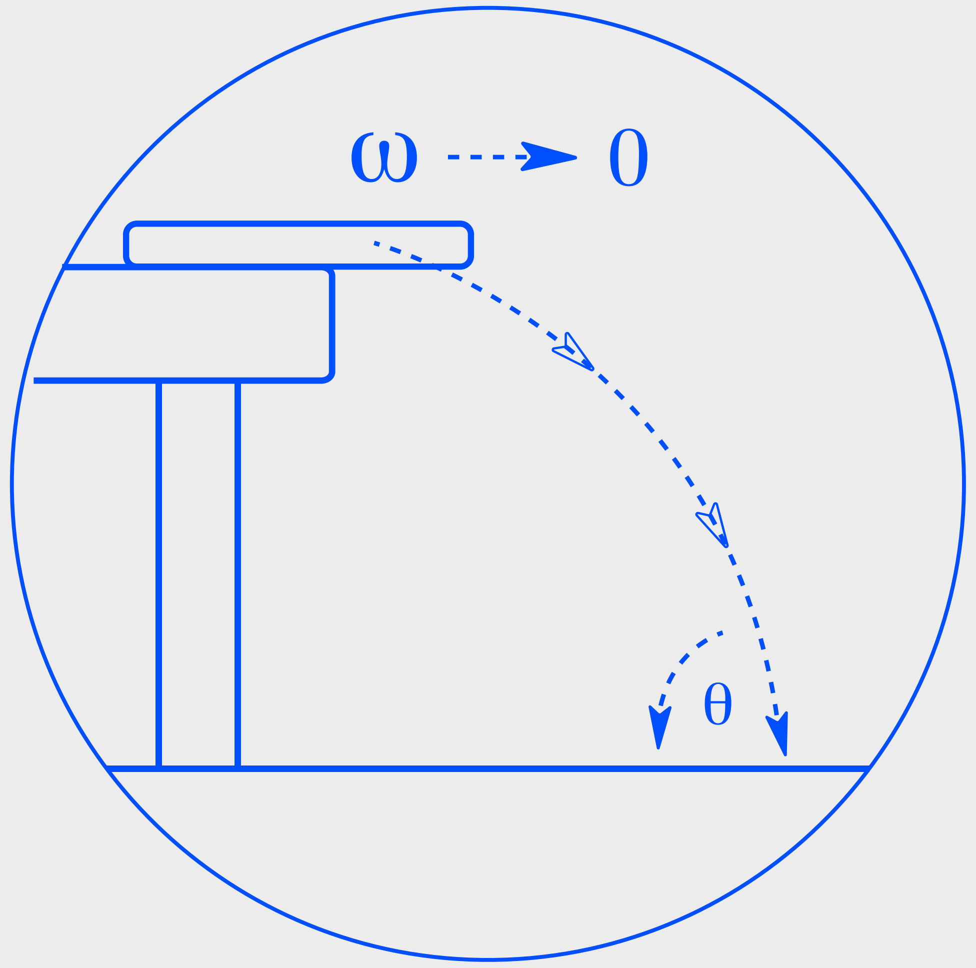


Figura 4. *Forças físicas envolvidas*

Abordagem teórica.

Entre esses fatores, a análise teórica sugere que *(a) Altura da queda*, ajustar a altura da queda, é improvável que forneça uma solução prática. Isso porque a altura só faz uma diferença significativa em valores extremos, seja alturas absurdamente baixas (Figura 5, onde a torrada mal tem tempo de girar) ou perigosamente altas (Figura 6, onde ela passa por várias rotações antes do impacto).

Os resultados do estudo reforçam essa conclusão, demonstrando que simplesmente mudar a altura da queda não melhora de forma confiável as aterrissagens

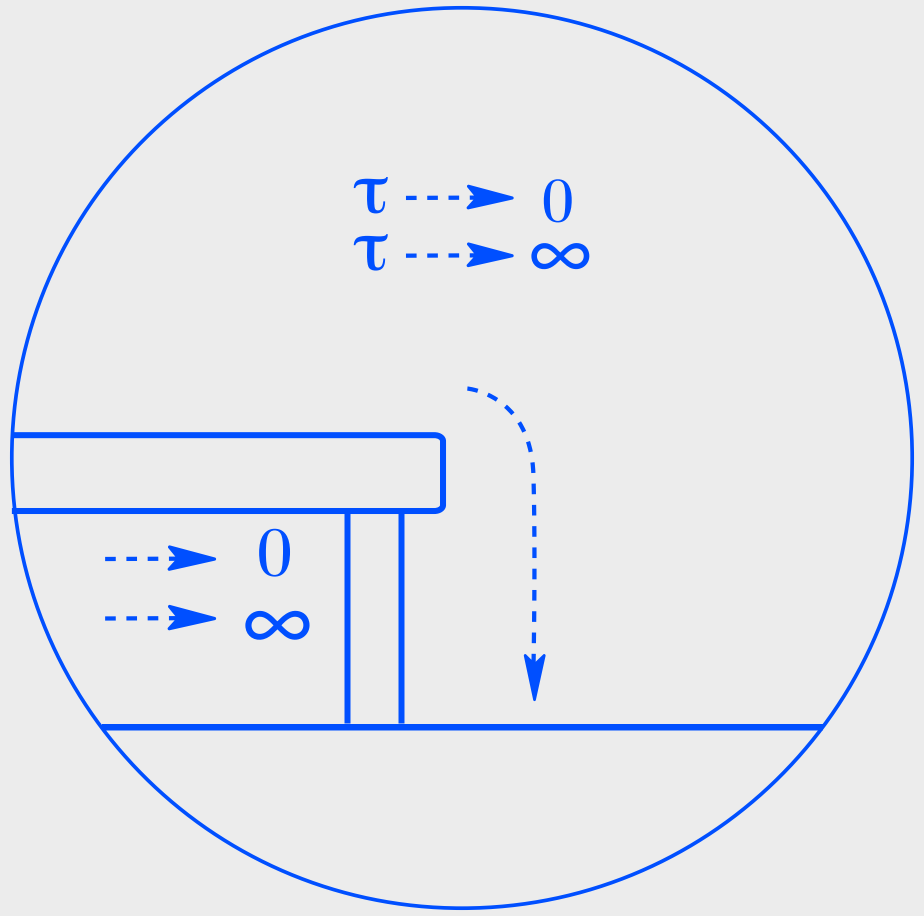


Figura 5. *Mesa mais baixa*

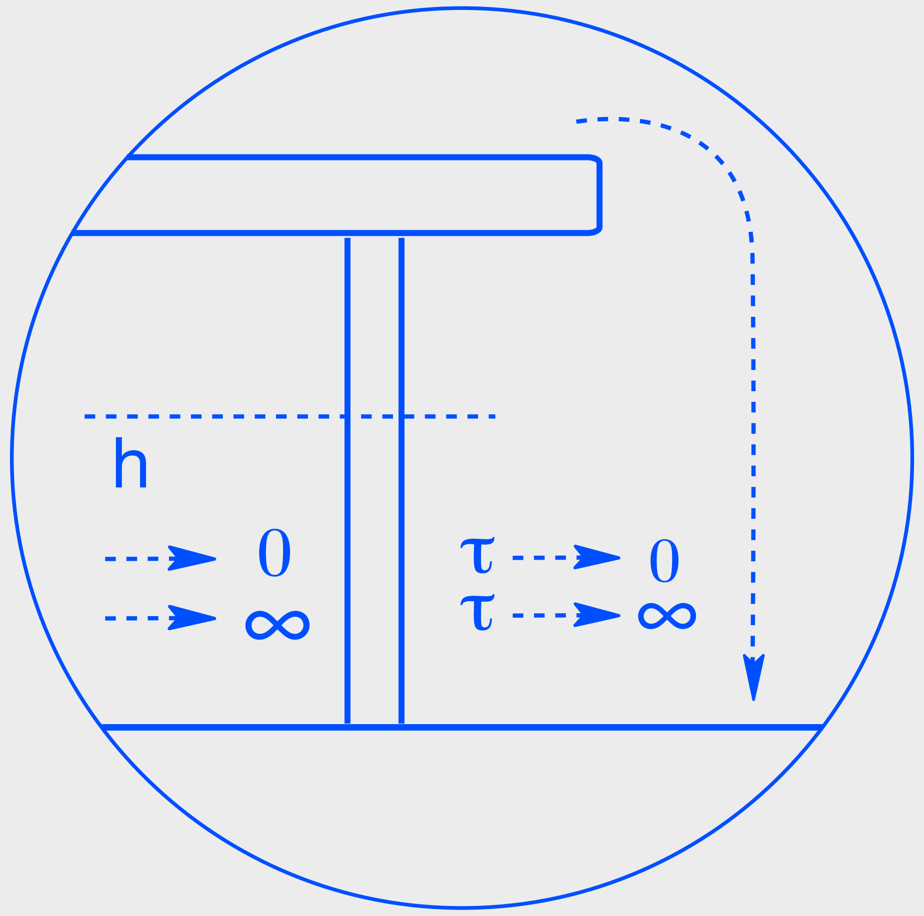
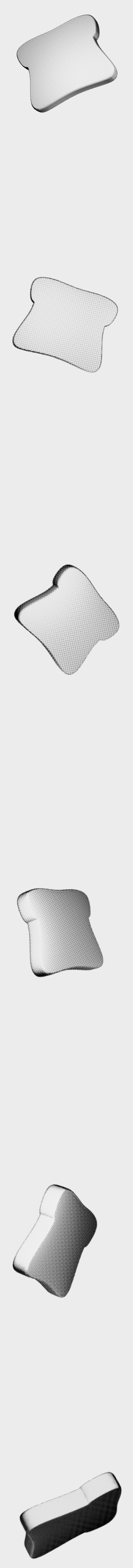


Figura 6. *Mesa mais alta*



O design vencedor da Torrada Anti-Lei de Murphy

A abordagem mais eficaz para reduzir quedas com a manteiga para baixo envolve manipular os fatores ***(b) Tamanho da torrada* e *(c) Forças atuantes na torrada.***

Quando a torrada desliza pela borda de um prato ou mesa, o atrito nos pontos de contato desempenha um papel crucial em determinar se ela começa a girar ou simplesmente cai em um movimento mais estável e balístico.

A força de atrito é dada por:

$$F_{Fricção} = \mu N$$

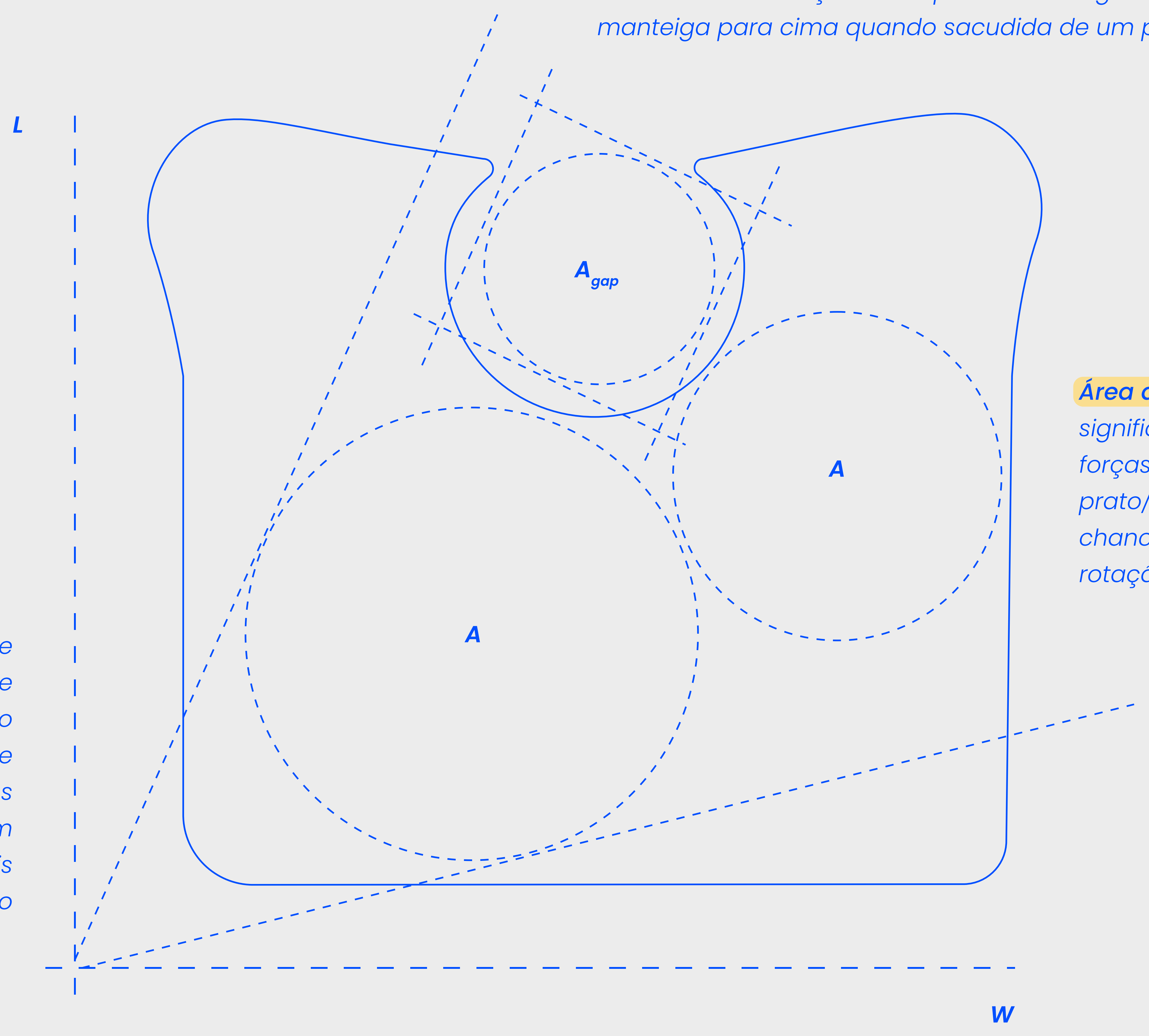
onde:

μ é o coeficiente de atrito (depende dos materiais da torrada e do prato).

N é a força normal, que equivale ao peso da torrada (Wt) em condições normais.

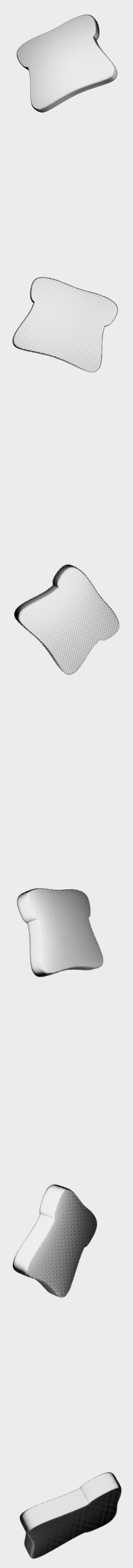
__Considerações aerodinâmicas__ desempenham um papel menor, mas contribuem para uma leve redução do peso. Uma lacuna na borda reduz o atrito e o peso, ajudando a alcançar a "velocidade de lançamento" para aterrissagens com a manteiga para cima quando sacudida de um prato/mesa.

__A torrada menor__ se beneficia de uma velocidade inicial de lançamento maior quando acidentalmente empurrada de uma mesa ou prato. As dimensões reduzidas permitem uma trajetória balística mais imediata, diminuindo o tempo



__Área de superfície reduzida__ significa menos interação com forças de fricção na borda do prato/mesa, diminuindo as chances de iniciar uma rotação descendente.

Figura 7. *O design vencedor*



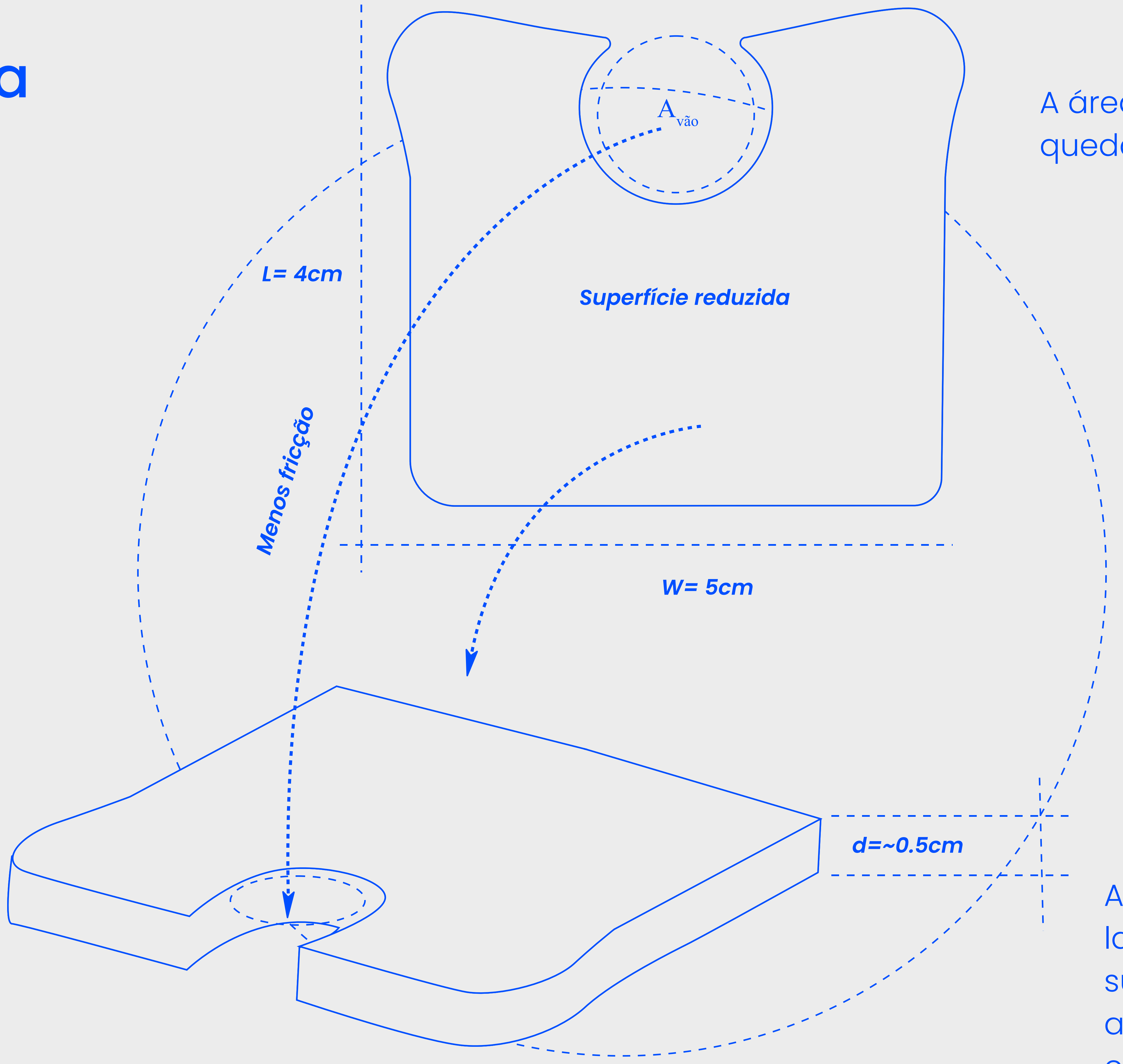
Especificações do design da Torrada Anti-Lei de Murphy

As dimensões finais da Torrada Anti-Lei de Murphy, aproximadamente **4 cm × 5 cm × 0,5 a 0,8 cm,** equilibram eficácia e praticidade.

Levando em consideração as dimensões da torrada, a área da lacuna é:

$$A = \pi r^2 = \pi(0.5)^2 = \pi(0.5)^2 \approx 0.785\text{cm}^2$$

Ao adicionar um espaço circular com raio de 0,785 cm, a torrada tem menos superfície em contato com a borda antes de cair, reduzindo assim a força de atrito efetiva. Além disso, o espaço cria uma superfície irregular, fazendo com que um lado da torrada experimente menos resistência ao ar do que o outro. Essa diferença na resistência ao ar pode causar um efeito estabilizador, reduzindo a rotação excessiva.



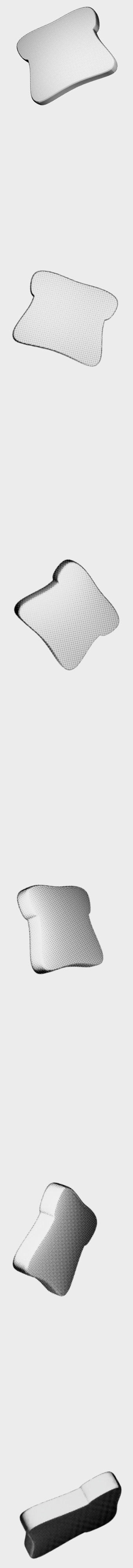
A área total de contato (antes da queda) agora é reduzida por:

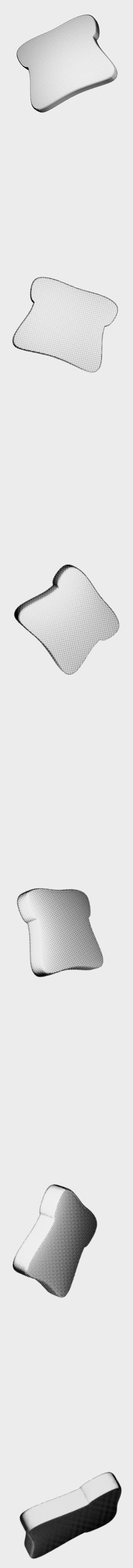
$$\frac{A_{vão}}{A_{borda}} = \frac{0.785}{4} = 19.6\%$$

À medida que a torrada deixa a mesa, suas dimensões reduzidas e a presença de uma pequena lacuna diminuem a resistência, resultando em menos torque aplicado (força rotacional).

Essa combinação minimiza a rotação, permitindo que a torrada se comporte mais como um objeto em queda simples, em vez de um objeto giratório.

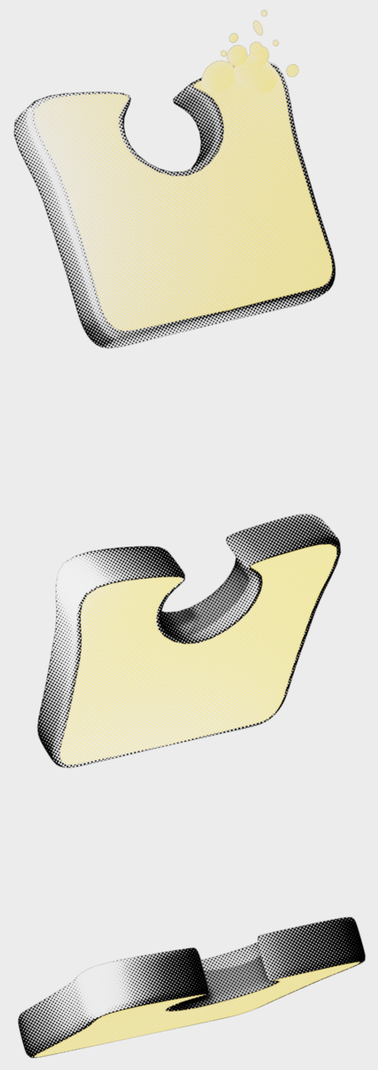
Ao controlar seu movimento no lançamento, o design ajuda a torrada a superar a "Faixa da Lei de Murphy" e aumenta a probabilidade de um pouso com o lado da manteiga para cima.





Este documento reúne todos os estudos realizados por Robert Matthews, bem como algumas ilustrações e cálculos estendidos para ajudar na compreensão de certos aspectos do projeto. Também inclui trechos de seu estudo original, *"Tumbling Toast, Murphy's Law and the Fundamental Constants."*

Importante: Embora o estudo acima seja baseado em princípios científicos para reduzir o risco da "Lei de Murphy" aplicada à torrada, não há garantia de eliminação completa desse risco, seja dada ou implícita.



enterogermina®