

# Triburguers e a entropia

... ou, a história da triste constatação feita por um pensador, inútil, amigo

**José Guilherme Chaui-Berlinck**

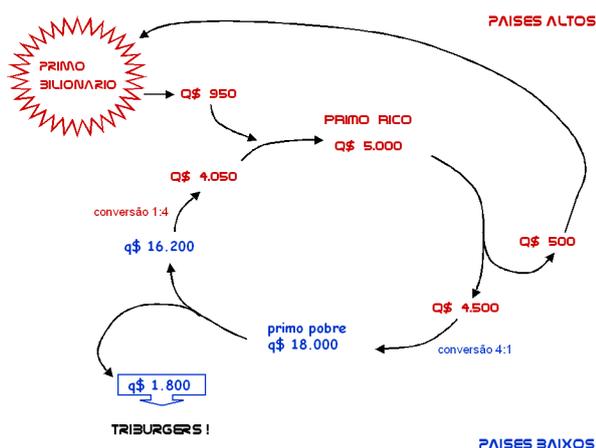
*Departamento de Fisiologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, Brasil*

Contato do autor: [jgbc@usp.br](mailto:jgbc@usp.br)

Há um primo pobre que habita os Países Baixos e, de quando em quando, precisa saldar suas dívidas, mas fica sem dinheiro. Então, um primo rico, dos Países Altos, se dispõe a emprestar \$\$ ao primo pobre, o qual usa o dinheiro para saldar suas dívidas. Assim que o primo pobre recebe seus pagamentos, devolve o \$\$ ao primo rico.

As transações são feitas da seguinte maneira (ver Figura). Em sua moeda, o tradicional Grande Quente, Q\$, o primo rico deposita Q\$ 5.000 num banco para transferência. Desses 5.000, 10% são retidos como impostos e, então, chega ao banco da filial, nos Países Baixos, 4.500 grandes quentes.

Nos Países Baixos, a moeda é o inexorável Pequeno Quente, q\$. A taxa de conversão das moedas é de 4:1, e o primo pobre retira, assim, q\$ 18.000, salda suas dívidas e, algum tempo depois, recebe seus pagamentos. Então, para fazer a devolução, volta a depositar 18.000 pequenos quentes e faz a transferência. Como de praxe, 10% são retidos como impostos e, portanto, chegam q\$ 16.200 aos Países Altos, sendo convertidos, a 1:4, em Q\$ 4.050.



O primo rico tem, contudo, um primo bilionário, que atua no setor bancário do governo dos Países Altos, e se dispõe a arcar com os eventuais déficits das transações. Como este primo recebe os Q\$ 500 que ficaram retidos em impostos nos Países Altos, quando da saída dos Q\$ 5.000, ele adiciona Q\$ 450 a estes 500 e os devolve ao primo rico. Desta maneira, o primo rico fica feliz pois, ao final, não teve prejuízo algum. O primo pobre também fica contente pois consegue, sempre, saldar suas dívidas e devolver

os empréstimos recebidos. E como ele garante, ao primo rico (o qual informa isso ao seu primo bilionário), que o dinheiro dos impostos retido nos Países Baixos é utilizado para alimentar os carentes, o primo bilionário também fica muito contente pois se sente um grande filantropo ajudando a alimentar os pobres dos Países Baixos (aliás, nos Países Altos não há pobres e, assim, não há como praticar filantropia por aquelas bandas).

Apesar de que todos garantem estar devolvendo, integralmente, o que recebem, o primo bilionário, como todo bom banqueiro, resolve fazer as contas para ver se está sumindo algum \$\$ pelo caminho. O balanço de \$\$ é, então, feito:

empréstimo do primo rico	- 5.000Q
retido em impostos (Países Altos)	- 500Q
saída dos Países Altos	- 4.500Q
conversão Q → q	18.000q
devolução do primo pobre	18.000q
retido em impostos (Países Baixos)	1.800q
conversão q → Q dos impostos	- 450Q
entrada nos Países Altos	16.200q
conversão q → Q	+ 4.050Q
impostos recebidos	+ 500Q
adicionado pelo primo bilionário	+ 450Q
<b>Balanço de \$\$</b>	<b>0</b>

E o primo bilionário fica feliz em saber que ninguém está metendo a mão na tigela. Realmente, todo o \$\$ está num ciclo sem desaparecimentos, e o que ele tem que injetar são os 450Q (1.800q) retidos como impostos nos Países Baixos, e que são utilizados para alimentar os carentes.

A alimentação nos Países Altos e nos Países Baixos é constituída por uma comida muito especial, a qual contém todos os nutrientes necessários a uma boa saúde e para a demanda energética. Essa comida são os famosos Triburguers, que todos querem e todos necessitam.

Cada Triburger, nos Países Altos, custa 10Q. Cada Triburger, nos Países Baixos, custa 50q. Nenhum problema, afinal, são economias diferentes e independentes.

Um dia, ou melhor, uma noite, o primo bilionário pula de sua cama, desperto no meio de seu sono por um

incomensurável incômodo: os Países Altos estavam sendo roubados. Ele telefona (ou, talvez, skypeie) para seus amigos do governo, os quais, por sua vez, telefonam aos amigos do governo dos Países Baixos e, ao final da noite, o primo bilionário é informado de que não há roubo algum, que todos os impostos são legais entre os países, que a taxa de conversão está correta, e que o preço dos Triburques acompanha as economias locais. E que se ele quer continuar a ser um filantropo, não há outra saída senão injetar os 450Q para manter o ciclo. E, afinal, estes 450Q não estão desaparecendo, como ele mesmo já constatara.

Conformado, porém chateado, pois algo ainda o incomoda, o primo bilionário chama, na tarde seguinte, um grande amigo, pensador inútil de nome bizarro, para ver se este consegue esclarecer o incômodo do qual padece o bilionário.

O pensador inútil examina, rapidamente, o quadro, e chega à seguinte conclusão. Não basta fazer um balanço de \$\$\$. Existe uma outra propriedade no ciclo que necessita ser definida. Que propriedade é essa, quer saber o bilionário. Mais algum tempo, e o pensador retorna com a explicação.

Ele notou que existe uma propriedade, que assim como o \$\$\$ também é conservada, e que também tem um balanço. Ou seja, o que ele vai descrever ao bilionário é uma propriedade, tão propriedade quanto o \$\$\$, mas que não é tão óbvia quanto o \$\$\$\$. É uma propriedade cujo balanço será nulo, mas que tem conseqüências diferentes das do balanço nulo de \$\$\$.

E, assim, o pensador dispara: “Como você vê, são os seus 450Q que, no final das contas, são transformados em Triburques nos Países Baixos. Ou seja, no fundo, de toda essa transação, a única coisa que resta, de fato, são esses 450Q, convertidos em 1.800q, a serem utilizados para obter Triburques por lá. O seu incômodo vem do seguinte fato. Aqui, seus 450Q valem 45 Triburques. Lá, os 1.800q valem 36 Triburques. Assim, temos uma propriedade, que chamaremos de sumiço, S, definida como \$\$\$ dividido por Triburques. O balanço de S é, portanto, o seguinte (e, como você verá, não há ninguém roubando nada)”:

$S_{\text{Injetados}}$	450Q/10	= - 45T
$S_{\text{Obtidos}}$	1.800q/50	= + 36T
$S_{\text{Transformados}}$	(450Q/10)/5	= + 9T
<b>Balanço de S no ciclo</b>		<b>0</b>

Sendo que o denominador “5”, que surge no último termo, diz respeito à degradação do potencial de obtenção de Triburques dos Países Altos que ocorre nos Países Baixos.

Assim, o pensador inútil definiu  $S = Q/T$  (ou  $q/T$ ) e mostrou que esse negócio, S, apesar de não muito evidente, é uma propriedade do ciclo, com balanço nulo e que permite aos trocadores de \$\$\$ entenderem o que ocorre, que vai além do balanço de \$\$\$, somente.

Mas, a pior mensagem ainda estava por vir. Numa outra noite, o bilionário, já mais conformado, telefonou ao pensador inútil e perguntou se havia algum outro jeito dele ser um filantropo. O pensador inútil explicou que

não. Caso ele quisesse obter algum trabalho útil, alimentado carentes nos Países Baixos (já que, nos Altos, não há nem como nem porque se fazer isso), ele teria que injetar um potencial de Triburques maior do que o que seria obtido. Ou seja, para realizar algum trabalho útil, o sumiço S se fará, sempre, presente, através de uma *transformação com perda no potencial de obtenção* de Triburques.

Saindo dos países das fábulas maravilhosas e retornando ao nosso Universo sem graça, parece que a maior dificuldade das pessoas é entender a entropia (entropia) S como uma propriedade de um sistema<sup>1</sup>. Há sempre a utilização equivocada de “entropia = bagunça”. Isto é equivocado pois, como vimos acima, a entropia é uma propriedade física de um sistema, a qual é obtida “fisicamente” através de um balanço num ciclo, exatamente como a energia. Não é preciso se pensar em bagunça para se definir entropia. O que se deve pensar é no seguinte: *a obtenção de trabalho útil sempre é associada, de maneiras diretas ou indiretas, à transferência de energia entre um reservatório quente a um reservatório frio, e tal transferência é, sempre, acompanhada por uma perda de potencial para realização de mais trabalho útil.*

Esta propriedade, de perda de trabalho útil, é caracterizada através da entropia, cuja variação é dada por  $T \times dS = dQ$ , e a entropia é, fisicamente, a propriedade que zera um dos balanços presentes num ciclo.

A associação bagunça - entropia surge da formulação de Boltzmann a qual associa a entropia ao número de estados acessíveis num sistema (logo, quanto mais estados acessíveis, maior a entropia e, dado o maior número de estados possíveis, maior a “bagunça”). Contudo, note o problema que surge ao se levar bagunça como entropia. Como as transformações espontâneas são aquelas nas quais há aumento de entropia, e como o número de estados possíveis é maior a altas temperaturas, então, os sistemas *deveriam* se aquecer, espontaneamente! Mas, se um sistema aumenta sua temperatura espontaneamente, então há um maior potencial de troca com um reservatório frio e, portanto, *poder-se-ia* obter trabalho útil vindo do nada!!! Haveria muitas exclamações para um texto científico e *motos contínuos*<sup>2</sup> poderiam ser construídos. Qual o impedimento?

Como deve ter sido notado, o impedimento está na *interpretação* que se está fazendo do significado do aumento da propriedade entropia, ao associar este aumento com “bagunça” (maior número de estados acessíveis). Há um aumento de estados acessíveis no reservatório frio, mas uma diminuição no reservatório quente. Desta forma, o “estado final” será aquele no qual não mais seja possível transferir energia do reservatório quente ao reservatório

<sup>1</sup> S não tem nada a ver com sumiço (mas ajuda), e sim com o termo grego significando evolução (mudança). Ao que consta “na lenda”, Clausius e Boltzmann foram inspirados na obra de Charles Darwin ao nomear a esta propriedade.

<sup>2</sup> Chamados “motus contínuos do segundo tipo”, pois ferem a Segunda Lei da Termodinâmica na medida em que há surgimento “espontâneo” de trabalho útil. Os do primeiro tipo ferem a Primeira Lei, ou seja, são aqueles que não são possíveis pois não há conservação de energia.

frio, ou seja, a impossibilidade de se obter trabalho útil, e o número de estados acessíveis será menor do que o número no reservatório quente inicial (portanto, deste ponto de vista, houve uma “diminuição na bagunça”).

Moto contínuo, “never more” - tenha isso em mente e não mais se iluda. A entropia é uma propriedade física, tanto quanto a energia, e sua mensuração não diz respeito à bagunça. Todo trabalho útil somente é obtido através do aumento de entropia em algum lugar do universo, isto é o fato ... e, portanto,

$$T \times dS \geq dQ_{\text{reversível}}$$

é a regra, ou seja, o aumento de entropia é sempre maior ou igual ao calor trocado de maneira reversível num sistema (dividido pela temperatura, óbvio, pois entropia não é energia).

José Guilherme Chaui-Berlinck  
23 de julho de 2012

Agradeço aos Drs. Daniela Tathiana Soltys e Pedro Leite Ribeiro por terem chamado minha atenção, e sugerido a maneira, quanto à necessidade de melhor apresentar o termo S transformados no balanço feito.

#### **Para saber melhor:**

Dugdale JS. (1996) Entropy and its physical meaning. Taylor & Francis.

Chaui-Berlinck JG, Martins RA. 2013. As duas primeiras leis. Editora da UNESP.