

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Instituto de Física  
Trabalho de Conclusão de Curso

# Harmony in Chaos: Unraveling the Thermodynamic Tapestry of Nature

Trabalho de Conclusão de Curso

Olivia Thermoflux

Porto Alegre, RS  
2023



Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Instituto de Física  
Trabalho de Conclusão de Curso

# Harmony in Chaos: Unraveling the Thermodynamic Tapestry of Nature

**Olivia Thermoflux**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como  
requisito parcial para obtenção do título de Bacharel  
em Física.

**Orientador:**  
Prof. Maxwell Stellarium, D.Sc.

**Porto Alegre, RS  
2023**

Thermoflux, Olivia

Harmony in Chaos: Unraveling the Thermodynamic Tapestry of Nature / Olivia Thermoflux. -- 2023.

62 f.

Orientador: Maxwell Stellarium, D.Sc.

Trabalho (Conclusão de Curso) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Física, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

keyword1, keyword2, keyword3, ...,  
keyword10. I. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.  
Instituto de Física. II. Título.

# Agradecimentos

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho acadêmico. A conclusão deste projeto foi possível graças ao apoio e colaboração de diversas pessoas, e é com grande apreço que dedico algumas palavras de agradecimento.

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão ao meu orientador, [Nome do Orientador], pela orientação valiosa, paciência e incentivo ao longo de todo o processo. Suas sugestões e feedbacks foram fundamentais para o aprimoramento deste trabalho.

Agradeço também aos meus colegas de classe e amigos, que compartilharam ideias, trocaram conhecimentos e ofereceram suporte emocional durante os desafios enfrentados. O ambiente colaborativo que criamos juntos foi essencial para o sucesso desta empreitada.

À minha família, expresso minha eterna gratidão pelo apoio incondicional. Seu encorajamento e compreensão foram a âncora que me sustentou nos momentos mais desafiadores.

Por fim, agradeço a todas as fontes de conhecimento e recursos que consultei ao longo deste trabalho. A diversidade de perspectivas e a riqueza de informações foram cruciais para a construção de uma base sólida para este estudo.

Cada um de vocês desempenhou um papel vital neste trabalho, e estou verdadeiramente grato por fazer parte de uma comunidade tão inspiradora. Obrigado por tornarem esta jornada acadêmica significativa e enriquecedora.



# Resumo

O artigo intitulado "Harmony in Chaos: Unraveling the Thermodynamic Tapestry of Nature" empreende uma investigação abrangente sobre a sutil inter-relação entre ordem e desordem inerente aos fenômenos naturais, empregando o arcabouço teórico da termodinâmica. Adentrando nas complexidades da dinâmica energética, entropia e padrões emergentes, esta pesquisa elucidada o equilíbrio delicado manifestado nos sistemas dinâmicos prevalentes no mundo natural. Por meio de uma análise metódica dos princípios termodinâmicos, o estudo busca esclarecer os mecanismos fundamentais que orquestram a intrincada interação entre caos e harmonia. Os resultados oferecem uma contribuição acadêmica para a compreensão mais profunda das forças que ditam a tapeçaria diversificada e complexa do ambiente natural, aprimorando assim nossa compreensão ampliada da sinfonia termodinâmica que rege o universo.

**Palavras-chave:** keyword1, keyword2, keyword3, ..., keyword10





# Abstract

The article titled "Harmony in Chaos: Unraveling the Thermodynamic Tapestry of Nature" undertakes a comprehensive investigation into the nuanced interrelationship between order and disorder inherent in natural phenomena, employing the theoretical framework of thermodynamics. Delving into the intricacies of energy dynamics, entropy, and emergent patterns, this research elucidates the delicate balance manifest in the dynamic systems prevalent in the natural world. Through a meticulous examination of thermodynamic principles, the study seeks to elucidate the fundamental governing mechanisms orchestrating the intricate interplay of chaos and harmony. The findings offer a scholarly contribution to the deeper comprehension of the forces dictating the diverse and complex tapestry of the natural environment, thereby enhancing our broader insights into the thermodynamic symphony that governs the universe.

**Keywords:** keyword1, keyword2, keyword3, ..., keyword10



# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>x</b>
<b>Lista de Símbolos</b>	<b>xiv</b>
<b>1 Libero Ultrices</b>	<b>1</b>
<b>2 Vivamus Vestibulum</b>	<b>3</b>
2.1 Lorem Ipsum . . . . .	3
<b>3 Consectetur Adipiscing</b>	<b>5</b>
<b>4 Suspendisse Potenti</b>	<b>7</b>
<b>5 Malesuada Fames</b>	<b>9</b>
5.1 Elit Elementum . . . . .	9
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>11</b>

# Lista de Figuras

# Lista de Símbolos

$\Delta C_p$	Diferença entre as capacidades caloríficas na fase líquida e sólida	J/K
$\Delta G_{i/i}^{*res}$	Energia livre para restaurar as cargas em líquido $i$ puro	J/mol
$\Delta G_{i/s}^{*res}$	Energia livre para restaurar as cargas em volta de uma molécula de soluto	J/mol
$\Delta H_{fus}$	Entalpia molar de fusão	J/mol
$\Delta W$	Energia de troca	J/mol
$\hat{f}_i$	Fugacidade da espécie $i$ em uma mistura	Pa
$\bar{G}_i$	Energia de Gibbs parcial molar do componente $i$	J/mol
$C_{HB}$	Constante para ligação de hidrogênio	kCal mol <sup>-1</sup> Å <sup>4</sup> e <sup>-2</sup>
$E_{m,n}^{HB}$	Termo relacionado a formação de ligação de hidrogênio	J/mol
$\tau_{ij}$	Parâmetro dependente da temperatura do modelo NRTL e parâmetro estimado no modelo UNIQUAC	—
$\tilde{Y}_i$	Valor calculado da propriedade	—
$A, B, C$	Constantes de Antoine para a água	—
$a_w$	Atividade de água	—
$a_{eff}$	Área superficial de um segmento padrão $\sigma$	Å <sup>2</sup>
$b_{ij}$	Parâmetro de interação do modelo NRTL	—
$C$	Parâmetro energético do modelo BET	—
$f_{pol}$	Fator de polarização	—
$f_i$	Fugacidade da espécie $i$ pura	Pa
$G_i$	Energia de Gibbs do componente $i$	J/mol
$G_{ij}$	Parâmetro de interação do modelo NRTL	—

$g_{ij}$	Parâmetros de energia característicos das interações do modelo de Wilson	–
$m_{ins}$	Massa de sólidos insolúveis no alimento	g/100g
$n_i$	Número de mols da espécie $i$	mol
$n_i$	Número de segmentos $p_s(\sigma_n)$	–
$P$	Pressão	kPa
$p_s(\sigma_n)$	Perfil sigma	–
$P_{sat}$	Pressão de saturação	kPa
$q_i$	Parâmetros de área superficial normalizada	–
$R$	Constante dos gases	8,314 J/molK
$r_i$	Parâmetro de volume normalizado	–
$r_{eff}$	Raio do segmento padrão	Å
$T$	Temperatura absoluta	K
$T_{bolha}$	Temperatura de bolha	K
$T_{fus}$	Temperatura de fusão	K
$V_i$	Volume da cavidade	Å <sup>3</sup>
$v_i$	Volume molar da substância $i$ no modelo de Wilson	–
$X$	Massa de água total ou umidade	g/100g
$x_i$	Fração molar da espécie $i$ na fase líquida	–
$X_m$	Massa de água presente na monocamada adsorvida	g/100g
$y_i$	Fração molar da espécie $i$ na fase vapor	–
$Y_i$	Valor experimental da propriedade	–
$z$	Número de coordenação	–
$G$	Energia de Gibbs	J/mol

### Letras Gregas

$\alpha, \beta, \pi$	Fases quaisquer	–
$\alpha'$	Constante de desajuste de carga	–
$\alpha_{ij}$	Parâmetro de não-randomicidade do modelo NRTL	–

$\epsilon_0$	Permissividade no vácuo	$2,395 \times 10^{-4} \text{ e}^2 \text{ mol kCal}^{-1} \text{ \AA}^{-1}$
$\gamma_i$	Coefficiente de atividade do componente $i$ na mistura	—
$\Gamma_s(\sigma_m)$	Coefficiente de atividade para cada segmento de carga $\sigma$	—
$\Lambda_{ij}$	Parâmetro de interação do modelo de Wilson	—
$\mu_i$	Potencial químico da espécie $i$	J/mol
$\phi_i$	Fração de volume normalizado	—
$\sigma$	Densidade de carga	$e/\text{\AA}^2$
$\sigma_{\text{HB}}$	$\sigma$ de corte para ligação de hidrogênio	$e/\text{\AA}^2$
$\sigma_m$	Densidade de carga média de dado segmento	$e/\text{\AA}^2$
$\Theta$	Fração de superfície - modelo UNIFAC	—
$\theta_i$	Fração de área normalizada	—

### Sobrescritos

o	Referência
ads	Fase adsorvida
calc	Calculado
comb	Combinatorial
E	Propriedade em excesso
exp	Experimental
L	Fase líquida
res	Residual
S	Fase sólida
sol	Fase em solução
V	Fase vapor

### Siglas

APF	Abaixamento do Ponto de Fusão
-----	-------------------------------

ASOG	<i>Analytical-Solution-of-Groups</i>
BET	<i>Brunauer-Emmett-Teller</i>
COSMO	<i>COnductor-like Screening MOdel</i>
COSMO-RS	<i>COnductor-like Screening MOdel for Realistic Solvation</i>
COSMO-SAC	<i>COnductor-like Screening MOdel Segment Activity Coefficient</i>
DSC	<i>Diferencial Scanning Temperature</i>
DTU	<i>Danmarks Tekniske Universitet</i>
ELV	Equilíbrio Líquido-Vapor
ERM	Erro Relativo Médio
ESL	Equilíbrio Sólido-Líquido
NP	Número de pontos experimentais
NRTL	<i>Non-Random Two Liquid</i>
SAFT-VR	<i>Statistical Associating Fluid Theory of Variable Range</i>
UNIFAC	<i>UNIversal quasi-chemical Functional-group Activity Coefficients</i>
UNIQUAC	<i>UNIversal QUAsi-Chemical</i>



# Capítulo 1

## Libero Ultrices

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut convallis, urna vitae tempor posuere, lectus orci dapibus tellus, ac varius nulla turpis ac elit. In hac habitasse platea dictumst. Phasellus ac bibendum mi. Vivamus vestibulum ullamcorper justo, vel gravida urna hendrerit sit amet. Integer euismod lacus quis nulla bibendum, vel consequat elit dapibus. Sed at nulla nec nisi pellentesque bibendum. Suspendisse potenti. Integer consectetur vestibulum mi, nec pharetra nunc suscipit id. Ut commodo, lacus non vehicula rhoncus, odio augue cursus ligula, eu semper nisi orci vel nisl. Suspendisse id tristique velit. Integer vel tellus quis libero ultrices vehicula ac ac nulla.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Curabitur interdum sagittis diam, eu cursus justo cursus eu. Suspendisse potenti. Nunc euismod orci a risus tincidunt, vel malesuada elit elementum. Aliquam vel quam ut justo faucibus aliquam. Sed ac mauris eu tellus euismod tincidunt. Phasellus facilisis tortor in justo cursus, non tincidunt massa convallis. Duis eu luctus quam. Sed ac tellus sit amet elit auctor venenatis. Integer in nibh ut dui viverra iaculis. Suspendisse potenti. Vivamus condimentum aliquet felis, id facilisis odio fermentum eu. Sed sagittis lectus eu mauris laoreet, quis aliquet nulla euismod. Curabitur tristique neque eget quam scelerisque, eu hendrerit ligula interdum. Quisque in mauris eu justo dictum ultrices.

Aenean vehicula velit id cursus egestas. Etiam auctor sodales luctus. Fusce ullamcorper vel quam eu malesuada. Nullam aliquet sapien vitae justo congue, sed bibendum elit sollicitudin. Nulla facilisi. Fusce vestibulum tortor nec tortor pellentesque, a pellentesque risus pulvinar. Proin auctor dolor eget cursus efficitur. Mauris eu mauris nec purus euismod ultricies. Nulla facilisi. In ac gravida nisl. Donec ac hendrerit justo.

Etiam id semper orci. Integer malesuada lectus at nisi tristique, eu rhoncus felis feugiat. Sed eu turpis vel urna tincidunt congue eget et risus. Integer tincidunt, elit ac pharetra sollicitudin, eros est mattis lacus, at sagittis felis tortor ac urna.

# Capítulo 2

## Vivamus Vestibulum

### 2.1 Lorem Ipsum

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut convallis, urna vitae tempor posuere, lectus orci dapibus tellus, ac varius nulla turpis ac elit. In hac habitasse platea dictumst. Phasellus ac bibendum mi. Vivamus vestibulum ullamcorper justo, vel gravida urna hendrerit sit amet. Integer euismod lacus quis nulla bibendum, vel consequat elit dapibus. Sed at nulla nec nisi pellentesque bibendum. Suspendisse potenti. Integer consectetur vestibulum mi, nec pharetra nunc suscipit id. Ut commodo, lacus non vehicula rhoncus, odio augue cursus ligula, eu semper nisi orci vel nisl. Suspendisse id tristique velit. Integer vel tellus quis libero ultrices vehicula ac ac nulla.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Curabitur interdum sagittis diam, eu cursus justo cursus eu. Suspendisse potenti. Nunc euismod orci a risus tincidunt, vel malesuada elit elementum. Aliquam vel quam ut justo faucibus aliquam. Sed ac mauris eu tellus euismod tincidunt. Phasellus facilisis tortor in justo cursus, non tincidunt massa convallis. Duis eu luctus quam. Sed ac tellus sit amet elit auctor venenatis. Integer in nibh ut dui viverra iaculis. Suspendisse potenti. Vivamus condimentum aliquet felis, id facilisis odio fermentum eu. Sed sagittis lectus eu mauris laoreet, quis aliquet nulla euismod. Curabitur tristique neque eget quam scelerisque, eu hendrerit ligula interdum. Quisque in mauris eu justo dictum ultrices.

Aenean vehicula velit id cursus egestas. Etiam auctor sodales luctus. Fusce ullamcorper vel quam eu malesuada. Nullam aliquet sapien vitae justo congue, sed bibendum elit sollicitudin. Nulla facilisi. Fusce vestibulum tortor nec tortor pellentesque, a pel-

lentesque risus pulvinar. Proin auctor dolor eget cursus efficitur. Mauris eu mauris nec purus euismod ultricies. Nulla facilisi. In ac gravida nisl. Donec ac hendrerit justo. Etiam id semper orci. Integer malesuada lectus at nisi tristique, eu rhoncus felis feugiat. Sed eu turpis vel urna tincidunt congue eget et risus. Integer tincidunt, elit ac pharetra sollicitudin, eros est mattis lacus, at sagittis felis tortor ac urna.

## Capítulo 3

# Consectetur Adipiscing

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut convallis, urna vitae tempor posuere, lectus orci dapibus tellus, ac varius nulla turpis ac elit. In hac habitasse platea dictumst. Phasellus ac bibendum mi. Vivamus vestibulum ullamcorper justo, vel gravida urna hendrerit sit amet. Integer euismod lacus quis nulla bibendum, vel consequat elit dapibus. Sed at nulla nec nisi pellentesque bibendum. Suspendisse potenti. Integer consectetur vestibulum mi, nec pharetra nunc suscipit id. Ut commodo, lacus non vehicula rhoncus, odio augue cursus ligula, eu semper nisi orci vel nisl. Suspendisse id tristique velit. Integer vel tellus quis libero ultrices vehicula ac ac nulla.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Curabitur interdum sagittis diam, eu cursus justo cursus eu. Suspendisse potenti. Nunc euismod orci a risus tincidunt, vel malesuada elit elementum. Aliquam vel quam ut justo faucibus aliquam. Sed ac mauris eu tellus euismod tincidunt. Phasellus facilisis tortor in justo cursus, non tincidunt massa convallis. Duis eu luctus quam. Sed ac tellus sit amet elit auctor venenatis. Integer in nibh ut dui viverra iaculis. Suspendisse potenti. Vivamus condimentum aliquet felis, id facilisis odio fermentum eu. Sed sagittis lectus eu mauris laoreet, quis aliquet nulla euismod. Curabitur tristique neque eget quam scelerisque, eu hendrerit ligula interdum. Quisque in mauris eu justo dictum ultrices.

Aenean vehicula velit id cursus egestas. Etiam auctor sodales luctus. Fusce ullamcorper vel quam eu malesuada. Nullam aliquet sapien vitae justo congue, sed bibendum elit sollicitudin. Nulla facilisi. Fusce vestibulum tortor nec tortor pellentesque, a pellentesque risus pulvinar. Proin auctor dolor eget cursus efficitur. Mauris eu mauris nec purus euismod ultricies. Nulla facilisi. In ac gravida nisl. Donec ac hendrerit justo.

Etiam id semper orci. Integer malesuada lectus at nisi tristique, eu rhoncus felis feugiat. Sed eu turpis vel urna tincidunt congue eget et risus. Integer tincidunt, elit ac pharetra sollicitudin, eros est mattis lacus, at sagittis felis tortor ac urna.

# Capítulo 4

## Suspendisse Potenti

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut convallis, urna vitae tempor posuere, lectus orci dapibus tellus, ac varius nulla turpis ac elit. In hac habitasse platea dictumst. Phasellus ac bibendum mi. Vivamus vestibulum ullamcorper justo, vel gravida urna hendrerit sit amet. Integer euismod lacus quis nulla bibendum, vel consequat elit dapibus. Sed at nulla nec nisi pellentesque bibendum. Suspendisse potenti. Integer consectetur vestibulum mi, nec pharetra nunc suscipit id. Ut commodo, lacus non vehicula rhoncus, odio augue cursus ligula, eu semper nisi orci vel nisl. Suspendisse id tristique velit. Integer vel tellus quis libero ultrices vehicula ac ac nulla.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Curabitur interdum sagittis diam, eu cursus justo cursus eu. Suspendisse potenti. Nunc euismod orci a risus tincidunt, vel malesuada elit elementum. Aliquam vel quam ut justo faucibus aliquam. Sed ac mauris eu tellus euismod tincidunt. Phasellus facilisis tortor in justo cursus, non tincidunt massa convallis. Duis eu luctus quam. Sed ac tellus sit amet elit auctor venenatis. Integer in nibh ut dui viverra iaculis. Suspendisse potenti. Vivamus condimentum aliquet felis, id facilisis odio fermentum eu. Sed sagittis lectus eu mauris laoreet, quis aliquet nulla euismod. Curabitur tristique neque eget quam scelerisque, eu hendrerit ligula interdum. Quisque in mauris eu justo dictum ultrices.

Aenean vehicula velit id cursus egestas. Etiam auctor sodales luctus. Fusce ullamcorper vel quam eu malesuada. Nullam aliquet sapien vitae justo congue, sed bibendum elit sollicitudin. Nulla facilisi. Fusce vestibulum tortor nec tortor pellentesque, a pellentesque risus pulvinar. Proin auctor dolor eget cursus efficitur. Mauris eu mauris nec purus euismod ultricies. Nulla facilisi. In ac gravida nisl. Donec ac hendrerit justo.

Etiam id semper orci. Integer malesuada lectus at nisi tristique, eu rhoncus felis feugiat. Sed eu turpis vel urna tincidunt congue eget et risus. Integer tincidunt, elit ac pharetra sollicitudin, eros est mattis lacus, at sagittis felis tortor ac urna.



# Capítulo 5

## Malesuada Fames

### 5.1 Elit Elementum

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut convallis, urna vitae tempor posuere, lectus orci dapibus tellus, ac varius nulla turpis ac elit. In hac habitasse platea dictumst. Phasellus ac bibendum mi. Vivamus vestibulum ullamcorper justo, vel gravida urna hendrerit sit amet. Integer euismod lacus quis nulla bibendum, vel consequat elit dapibus. Sed at nulla nec nisi pellentesque bibendum. Suspendisse potenti. Integer consectetur vestibulum mi, nec pharetra nunc suscipit id. Ut commodo, lacus non vehicula rhoncus, odio augue cursus ligula, eu semper nisi orci vel nisl. Suspendisse id tristique velit. Integer vel tellus quis libero ultrices vehicula ac ac nulla.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Curabitur interdum sagittis diam, eu cursus justo cursus eu. Suspendisse potenti. Nunc euismod orci a risus tincidunt, vel malesuada elit elementum. Aliquam vel quam ut justo faucibus aliquam. Sed ac mauris eu tellus euismod tincidunt. Phasellus facilisis tortor in justo cursus, non tincidunt massa convallis. Duis eu luctus quam. Sed ac tellus sit amet elit auctor venenatis. Integer in nibh ut dui viverra iaculis. Suspendisse potenti. Vivamus condimentum aliquet felis, id facilisis odio fermentum eu. Sed sagittis lectus eu mauris laoreet, quis aliquet nulla euismod. Curabitur tristique neque eget quam scelerisque, eu hendrerit ligula interdum. Quisque in mauris eu justo dictum ultrices.

Aenean vehicula velit id cursus egestas. Etiam auctor sodales luctus. Fusce ullamcorper vel quam eu malesuada. Nullam aliquet sapien vitae justo congue, sed bibendum elit sollicitudin. Nulla facilisi. Fusce vestibulum tortor nec tortor pellentesque, a pel-

lentesque risus pulvinar. Proin auctor dolor eget cursus efficitur. Mauris eu mauris nec purus euismod ultricies. Nulla facilisi. In ac gravida nisl. Donec ac hendrerit justo. Etiam id semper orci. Integer malesuada lectus at nisi tristique, eu rhoncus felis feugiat. Sed eu turpis vel urna tincidunt congue eget et risus. Integer tincidunt, elit ac pharetra sollicitudin, eros est mattis lacus, at sagittis felis tortor ac urna.

# Referências Bibliográficas