



Universidade: presente!

UFRGS
PROPEQS



XXXI SIC

21.25. OUTUBRO • CAMPUS DO VALE

A equação de Schrödinger não-linear para dois condensados de Bose-Einstein

Bolsista: Enrique Augusto Tiran Calderoli

Orientador: Gerardo Guido Martínez Pino

Instituto de Física - UFRGS

Introdução

A descrição do comportamento de condensados de Bose-Einstein (BEC) é um dos tópicos de pesquisa mais frutíferos da física teórica nos últimos anos. No presente trabalho, a dinâmica de dois BECs interagentes numa rede unidimensional é estudada por meio da integração numérica de duas equações de Schrödinger não-lineares (ESNL) acopladas, descritas em (1) e (2).

Metodologia

A evolução temporal de dois BECs interagentes foi obtida resolvendo duas ESNL, com dois tipos de não-linearidade: intra-espécie (U_1) e inter-espécie (U_2). Denotando os estados do primeiro e segundo condensados numa rede discreta de tamanho N por $|\Psi\rangle = |\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N\rangle$ e $|\Phi\rangle = |\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N\rangle$, respectivamente, as equações ESNL acopladas são

$$i\hbar \frac{\partial \psi_i}{\partial t} = -\omega(\psi_{i-1} + \psi_{i+1}) + V_i \psi_i + U_1 |\psi_i|^2 \psi_i + U_2 |\phi_i|^2 \psi_i, \quad (1)$$

$$i\hbar \frac{\partial \phi_i}{\partial t} = -\omega(\phi_{i-1} + \phi_{i+1}) + V_i \phi_i + U_1 |\phi_i|^2 \phi_i + U_2 |\psi_i|^2 \phi_i. \quad (2)$$

Nestas equações, ω representa a amplitude do hopping a primeiros vizinhos, enquanto $V_i = V_0 \cos(2\pi\beta i) + Fi$, sendo β a razão áurea, corresponde à energia por sítio, descrita por um potencial externo incomensurável com a rede (V_0) e um campo elétrico estático (F). O objetivo é incluir tanto a desordem por sítio como as oscilações de Bloch. Por último, U_1 e U_2 são as autointerações intra-espécie e inter-espécie atômicas. As quantidades físicas medidas nesta pesquisa são, respectivamente, o Hamiltoniano: $H(t) = \sum_i -\omega(\psi_i^* \psi_{i+1} + \psi_{i+1}^* \psi_i + \phi_i^* \phi_{i+1} + \phi_{i+1}^* \phi_i) + V_i |\psi_i|^2 + V_i |\phi_i|^2 + \frac{1}{2} U_1 |\psi_i|^4 + \frac{1}{2} U_1 |\phi_i|^4 + U_2 |\psi_i|^2 |\phi_i|^2$, o número de participação de Wegner: $W(t) = (\sum_i |\psi_i|^4)^{-1}$ e a entropia de Shannon: $S(t) = -\sum_i |\psi_i|^2 \log |\psi_i|^2$.

Resultados

Observa-se que as figuras da evolução temporal do Hamiltoniano e da entropia de Shannon são muito similares, mostrando as oscilações de Bloch (em $t = 6$ e $t = 12$) produzidas pelo campo elétrico aplicado. Todas as figuras foram calculadas para $\omega = 1$, $V_0 = 0$ e $F = 1$, variando U_1 e U_2 .

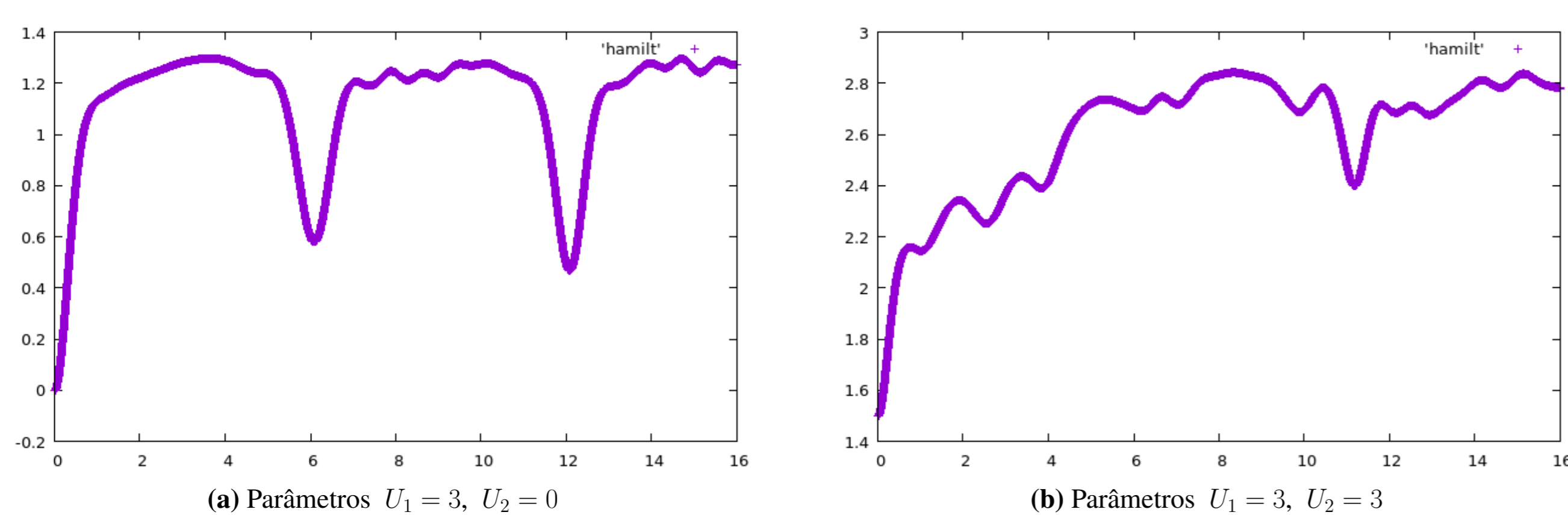


Figura 1: Evolução temporal do Hamiltoniano.

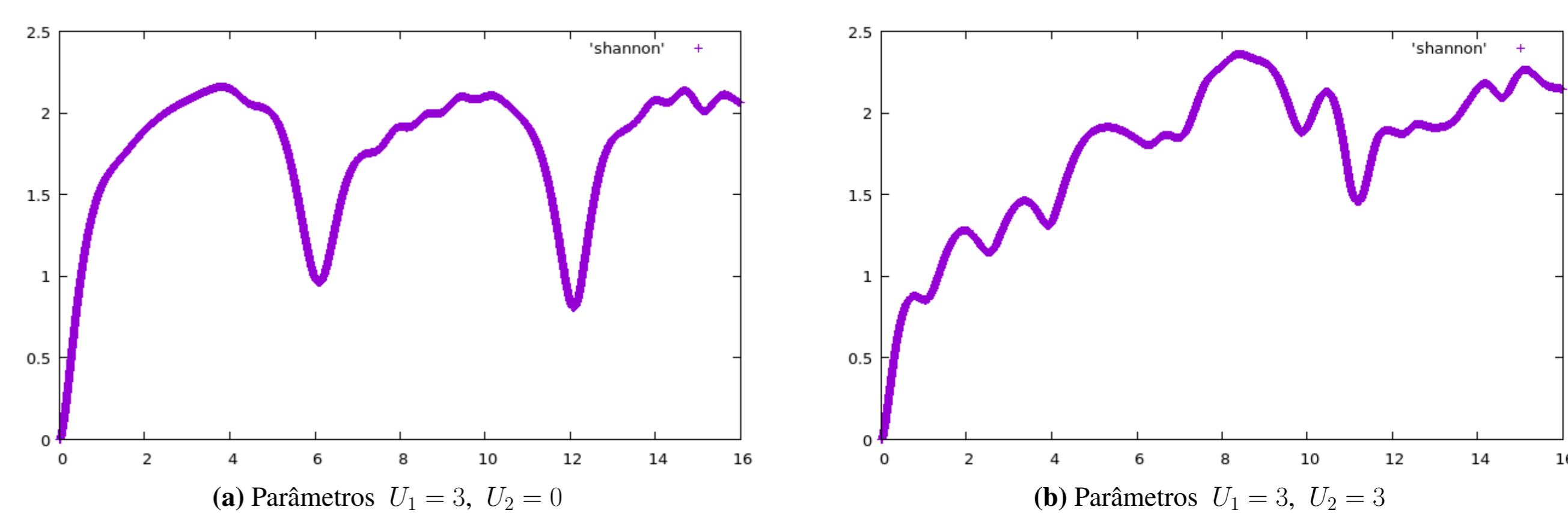


Figura 2: Evolução temporal do Shannon.

Tais oscilações se perdem quando colocamos um acoplamento não-linear inter-espécie entre os condensados ($U_2 \neq 0$), indicando a perda de coerência destas oscilações de Bloch. Por outro lado, observamos no número de participação de Wegner uma maior rapidez para atingir a deslocalização com os condensados acoplados, ou seja, $W(t)$ cresce mais rápido nesse caso.

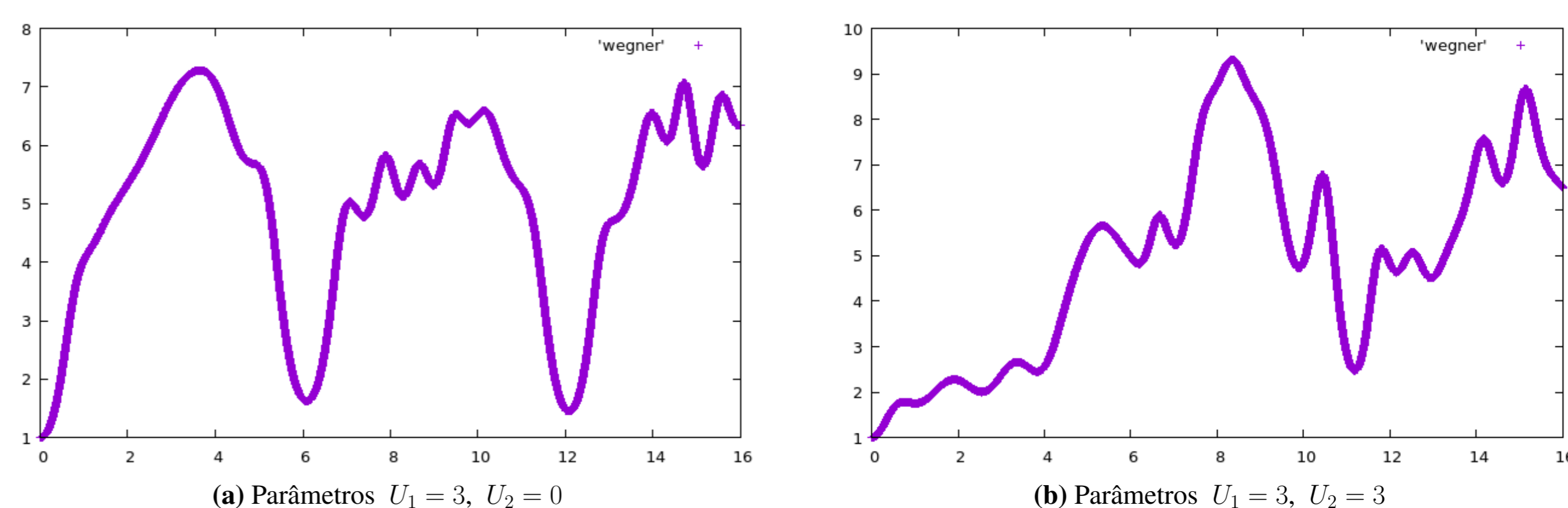


Figura 3: Evolução temporal do Wegner.

Conclusão

O procedimento aqui relatado objetivou estudar a dinâmica de um sistema de dois condensados de Bose-Einstein interagentes (U_1) e acoplados (U_2) resolvendo as ESNL descritas em (1) e (2) em função do tempo. Verificamos nosso algoritmo de dois BECs, integrando as equações acopladas para casos conhecidos ($U_2 = 0$), comprovando a qualidade dos resultados com trabalhos prévios [1],[2]. Encontramos resultados novos, como a perda de coerência das oscilações de Bloch e um aumento da rapidez com que o sistema acoplado atinge a região de deslocalização. Pretendemos desenvolver os detalhes destas descobertas e comparar com experimentos recentes [3] para tentar uma publicação com Qualis da Capes.

Referências

- [1] JUNGES, Leandro, Tese de mestrado, IF-UFRGS, 2009. “A equação de Schrödinger não linear discreta com desordem de Aubry-André e com campo elétrico DC”.
- [2] FLÖTHER, Isabel, Trabalho de conclusão de curso, IF-UFRGS, 2018. “A equação de Schrödinger não-linear com hopping a segundos vizinhos e desordem de Aubry-André”.
- [3] CASTILHO, Patricia, Tese de doutorado, IFSC-USP, 2017. “New experimental system to study coupled vortices in a two-species Bose-Einstein condensate $^{23}\text{Na} - ^{41}\text{K}$ with tunable interactions”.