

**Título em Português:** Introdução à conceitos básicos de informação quântica utilizando Ressonância Magnética Nuclear (RMN)

**Título em Inglês:** Introduction to simple quantum information concepts using Nuclear Magnetic Resonance (NMR)

**Autor:** Ygor de Castro Lourenço

**Instituição:** Universidade de São Paulo

**Unidade:** Instituto de Física de São Carlos

**Orientador:** Arthur Gustavo de Araujo Ferreira

**Área de Pesquisa / SubÁrea:** Física da Matéria Condensada

**Agência Financiadora:** CNPq - PIBIC

## **Informação Quântica Via Ressonância Magnética Nuclear**

**Ygor de Castro Lourenço**

**Orientador:**

**Arthur Gustavo de Araújo Ferreira**

Universidade de São Paulo

email:ygorcl@usp.br

### **Objetivos**

Esta pesquisa consiste na montagem de um sistema de computação quântica da ressonância magnética nuclear. Esse sistema utiliza um cristal líquido contendo um núcleo de spin quadrupolar como o meio físico. O ordenamento cristalino dessa amostra produz um gradiente de campo elétrico que interage com o momento de quadrupolo elétrico do núcleo estudado e é essencial para a distinção dos níveis de energia do spin nuclear.

A amostra é introduzida em um campo magnético de 9.8T e será utilizada para representar um sistema de 2 qubits.

A manipulação do sistema é feita através de pulsos de radiofrequência, os quais se comportam como operações unitárias. Esses pulsos são modulados em amplitude e fase para gerar a operação desejada e são gerados de maneira que não possuam variações abruptas de amplitude ou fase. Através dos pulsos de radiofrequência são produzidos os estados da base computacional, portas lógicas quânticas e pretende-se também reproduzir algoritmos quânticos.

O estado quântico do sistema pode ser mapeado utilizando o processo chamado de tomografia do estado quântico.

### **Métodos e Procedimentos**

Inicialmente foi estudado o cristal líquido da molécula de dodecil sulfato de sódio que possui o núcleo quadrupolar ( $\text{spin} > \frac{1}{2}$ ) de sódio e um gradiente de campo elétrico quando a distribuição de cargas é feita com o alinhamento adequado. Foram preparadas amostras com diferentes concentrações. Em seguida, as amostras foram colocados dentro do campo magnético e realizado um tratamento térmico denominado de annealing para melhorar o ordenamento cristalino.

O campo magnético é gerado por um magneto supercondutor de 9.8 Tesla. A sonda utilizada é sintonizada na frequência do sódio 23 (cerca de 100MHz), e possui controle de temperatura que permite manter a amostra na temperatura mais adequada para os experimentos. O espetrómetro utilizado é um Tecmag Discovery.

## Resultados

Com a amostra inserida no campo e feito os tratamentos e calibrações necessárias, foi obtido o espectro abaixo para se observar o valor do acoplamento quadrupolar e a razão entre as amplitudes.

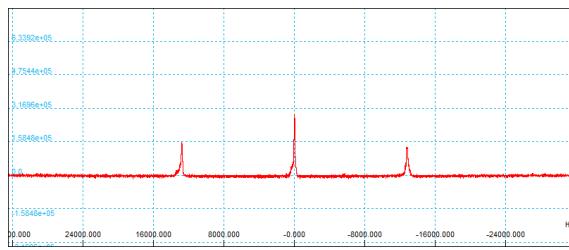


Figura 1: Espectro da amostra de dodecil sulfato de sódio a uma temperatura de 26°C e um valor de acoplamento quadrupolar próximo de 15600Hz

Após verificar-se o valor do acoplamento quadrupolar, foram produzidos os pulsos para gerar os estados da base computacional assim como demonstrado na figura 2.

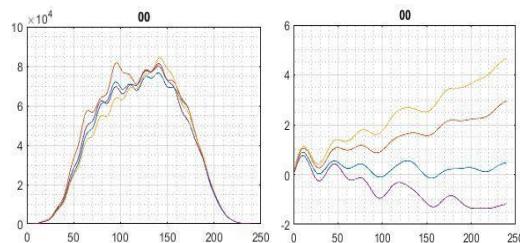


Figura 2: à esquerda temos as amplitudes e à direita as fases de um SMP que produz o estado 00 da base computacional.

Com isso já foram construídos os estados da base computacional do sistema quântico e estão sendo produzidas as portas lógicas e os algoritmos quânticos. As fidelidades dessas operações serão posteriormente verificadas através do processo de tomografia do estado quântico.

## Referências

- [1] FORTUNATO, E. M. et al. **Design of strongly modulating pulses to implement precise effective Hamiltonians for quantum information processing**. Journal of Chemical Physics, v. 116, n. 17, p. 7599-7606, 2002.
- [2] ARAÚJO-FERREIRA, A. G. **Aplicação do formalismo de dois modos de um condensado de Bose-Einstein em um sistema de ressonância magnética nuclear**. 2014. 95 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
- [3] TELES, J. **Tomografia de estado quântico via ressonância magnética nuclear através de rotações globais do sistema de spins**. Tese (Doutorado em Física Aplicada) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007

## Conclusões

## Quantum Information via Nuclear Magnetic Resonance

**Ygor de Castro Lourenço**

**Orientador:**

**Arthur Gustavo de Araújo Ferreira**

Universidade de São Paulo

email:ygorcl@usp.br

### **Objectives**

This research involves the assembly of a nuclear magnetic resonance quantum computing system. This system utilizes a liquid crystal containing a quadrupolar spin nucleus as the physical medium. The crystalline ordering of this sample generates an electric field gradient that interacts with the electric quadrupole moment of the studied nucleus and is essential for distinguishing the nuclear spin energy levels.

The sample is introduced into a magnetic field of 9.8 Tesla and will be used to represent a 2-qubit system. The manipulation of the system is performed through radiofrequency pulses, which behave as unitary operations. These pulses are modulated in amplitude and phase to generate the desired operation and are generated in such a way that they have no abrupt variations in amplitude or phase. The radiofrequency pulses produce states of the computational basis and quantum logic gates and are also intended to reproduce quantum algorithms.

The system's quantum state can be mapped using a process called quantum state tomography.

### **Experimental procedures**

Initially, the liquid crystal of the sodium dodecyl sulfate molecule, which contains the quadrupolar nucleus ( $\text{spin} > \frac{1}{2}$ ) of sodium and an electric field gradient when the charge distribution is appropriately aligned, was studied. Samples with different concentrations were prepared. Then, the samples were placed inside the magnetic field, and a thermal treatment called annealing was performed to improve the crystalline ordering.

A superconducting magnet of 9.8 Tesla generates the magnetic field. The probe used is tuned to the frequency of sodium-23 (approximately 100MHz) and has temperature control to maintain the sample at the most suitable temperature for the experiments. The spectrometer used is a Tecmag Discovery.

## Results

With the sample inserted into the field and the necessary treatments and calibrations performed, the spectrum below was obtained to observe the value of the quadrupolar coupling and the ratio between the amplitudes.

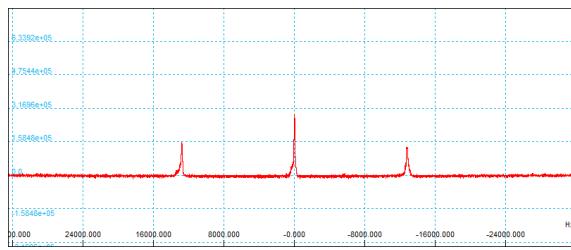


Figura 1: Specter of the sodium dodecyl sulfate sample at a temperature of 26°C displaying a quadrupolar coupling of around 15600Hz

After verifying the value of the quadrupolar coupling, pulses were generated to create states of the computational basis, as shown in Figure 2.

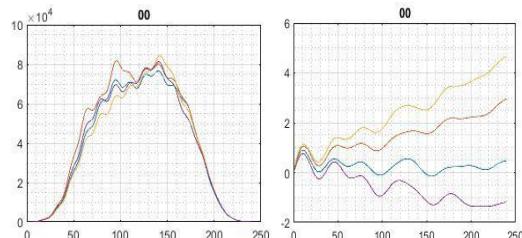


Figura 2: To the left we see the amplitudes and to the right the phases of the SMP's that produce the computational basis state 00.

## Conclusions

With this, the computational basis states of the quantum system have already been constructed, and quantum logic gates and algorithms are being produced. The fidelities of these operations will be subsequently verified through quantum state tomography.

## References

- [1] FORTUNATO, E. M. et al. **Design of strongly modulating pulses to implement precise effective Hamiltonians for quantum information processing**. Journal of Chemical Physics, v. 116, n. 17, p. 7599-7606, 2002.
- [2] ARAÚJO-FERREIRA, A. G. **Aplicação do formalismo de dois modos de um condensado de Bose-Einstein em um sistema de ressonância magnética nuclear**. 2014. 95 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
- [3] TELES, J. **Tomografia de estado quântico via ressonância magnética nuclear através de rotações globais do sistema de spins**. Tese (Doutorado em Física Aplicada) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007