

---

## **PROJETO DE PESQUISA**

### Programa de Iniciação Científica e Tecnológica – CBPF

Nome do Orientador e Coordenação (Pesquisador/Tecnologista/Pós-doc):  
Yuri Muller Plumm Gomes - COSMO (Pós-doc)

---

Nome do pesquisador ou tecnologista e Instituição de Pesquisa Externa: (Coorientador ou Colaborador externo, se houver):

---

Nome do Supervisor e Coordenação: (Pesquisador/Tecnologista):  
Nelson Pinto Neto (COSMO)

---

Título do Projeto:  
Libertando o gato de Schrödinger: estudo de modelos de colapso espontâneo da função de onda.

---

Palavra-chave:  
Mecânica quântica; Interpretações da mecânica quântica; Colapso da função de onda;

---

Área de conhecimento:  
Física quântica;

---

Pré-requisitos desejáveis (se houver):  
Ter cursado ao menos uma disciplina de física quântica;

---

Pré-requisitos obrigatórios (se houver):  
A partir do 5º período;

---

Possibilidade de orientação remota:

( x ) Sim

( ) Não

Rio de Janeiro, 22 de Abril de 2025

## **PROJETO: (Máximo de 3 páginas)**

Título:

Libertando o gato de Schrödinger: Estudo de modelos de colapso espontâneo da função de onda.

### 1. Introdução e Justificativa

A mecânica clássica e o eletromagnetismo atingiram seus limites no final do século XIX, quando a mecânica quântica — formulada por Bohr, Heisenberg, Schrödinger e muitos outros — mostrou-se o avanço em relação à visão de mundo estabelecida, fornecendo uma explicação extremamente bem-sucedida para os fenômenos atômicos. No entanto, essa formulação trouxe consigo diversos paradoxos que permanecem como temas de discussão até hoje. Um desses paradoxos é representado pelo "Princípio da Complementaridade" de Bohr. Esse princípio afirma que existem variáveis complementares na microfísica que não podem ser medidas (ou conhecidas) simultaneamente. Ele sustenta a chamada interpretação de Copenhague, que por sua vez é um dos principais alvos das críticas à mecânica quântica, especialmente por David Bohm com sua teoria das variáveis ocultas [1].

Além da controvérsia em torno do Princípio da Complementaridade, há também o debate sobre o colapso da função de onda, muito bem ilustrado pelo paradoxo do gato de Schrödinger. O sucesso da mecânica quântica em explicar o microcosmo é inegável, principalmente após pouco mais de 100 anos desde sua formulação, inúmeros experimentos envolvendo fenômenos quânticos e avanços tecnológicos derivados das propriedades quânticas da matéria. No entanto, ainda não há uma teoria consistente que explique a dinâmica do colapso da função de onda.

A interpretação de Copenhague postula uma divisão artificial entre o micromundo e o macromundo, sem especificar quantitativamente em qual escala essa separação ocorre. Nessa perspectiva, objetos microscópicos obedecem às regras da teoria quântica, enquanto objetos macroscópicos seguem as leis da mecânica clássica. Durante o processo de medição, quando um microssistema interage com um macrossistema, a função de onda do microssistema "colapsa" para um dos autoestados do observável medido. Postula-se que esse colapso ocorre de acordo com a regra de probabilidade de Born, mas nenhum mecanismo dinâmico é especificado para explicar como ele acontece [2,3]. Em particular, sabe-se que esse processo contradiz a linearidade da equação de Schrödinger, já que o colapso não preserva a pureza do estado anterior — uma propriedade intrínseca da dinâmica schrödingeriana.

Diante dessa inconsistência, vários autores propõem que a equação de Schrödinger seja modificada para que superposições de estados macroscópicos — como no exemplo didático do gato de Schrödinger — não possam surgir ou persistir o suficiente para serem detectadas. Teorias como essas são chamadas de modelos de colapso espontâneo (CE). Atualmente, diversos modelos, como a teoria de Ghirardi-Rimini-Weber (GRW) [4], seguida pelos modelos de Localização Contínua Espontânea (CSL) e o modelo de Diósi-Penrose (DP) [5,6], mostraram-se capazes de

abordar o problema da superposição macroscópica. Uma característica importante dos modelos CE é o “mecanismo de amplificação”, em que a taxa de colapso de um objeto é proporcional ao seu tamanho ou massa. Consequentemente, a persistência de superposições (macroscópicas) é perdida em troca da modificação da dinâmica. Em termos dos observáveis desses modelos, a equação dinâmica correspondente para o sistema que os descreve é uma equação de Lindblad, comumente usada para descrever sistemas quânticos abertos [7,8].

#### Justificativa:

- Relevância teórica: Compreender a dinâmica do colapso da função de onda é essencial para o entendimento dos fundamentos da mecânica quântica.
- Originalidade: É uma área de estudo promissora, com muitas possibilidades de investigação tanto teórica quanto experimental.
- Viabilidade: O projeto baseia-se em análise bibliográfica e simulações computacionais simples, adequadas para IC.

## 2. Objetivos

- Objetivo Geral: Investigar como os modelos de colapso espontâneo (GRW, CSL, DP) modificam a dinâmica de sistemas quânticos.

#### Objetivos Específicos:

- Aprofundar no entendimento sobre os limites da interpretação de Copenhague da mecânica quântica.
- Revisar o formalismo de Lindblad para sistemas quânticos.
- Simular cenários simplificados (via Python ou Mathematica).

## 3. Metodologia

#### Etapas do Projeto:

##### 1. Revisão Bibliográfica (Meses 1-3):

- Estudo de sistemas quânticos simples via formalismo de matriz densidade;
- Modelagem e busca por soluções analíticas e numéricas;

##### 2. Análise Teórica (Meses 4-6):

- Estudo dos modelos SC (GRW, CSL, DP) e do formalismo de Lindblad em casos simples.

##### 3. Simulações Computacionais (Meses 7-9):

- Implementação numérica de equações de Lindblad para sistemas simples.

##### 4. Síntese e Redação (Meses 10-12):

- Elaboração de relatório técnico e/ou artigo de divulgação.

#### Recursos Necessários:

- Acesso a bancos de dados (arXiv, periódicos da CAPES).
- Softwares: Python, Mathematica (licença institucional).

- Orientação semanal com especialista em fundamentos da mecânica quântica.

#### 4. Cronograma

Mês	Atividade
1-3	Revisão bibliográfica e seleção de artigos
4-6	Análise teórica dos modelos SC
7-9	Simulações numéricas e validação
10-12	Redação do relatório final

#### 5. Resultados Esperados:

- Relatório técnico com comparação sistemática entre modelos SC.
- Códigos computacionais (disponibilizados em repositório GitHub).
- Artigo de divulgação sobre o tema.

#### 6. Referências Bibliográficas:

- [1] Bohm, D., and Hiley, B. J. (2006). The undivided universe: An ontological interpretation of quantum theory. Routledge.
- [2] Sakurai, J. J., and Napolitano, J. (2020). Modern quantum mechanics. Cambridge University Press.
- [3] Neto, N. P. Teorias e interpretações da mecânica quântica. Editora Livraria da Física, 2010.
- [4] Ghirardi, G. C., Pearle, P., and Rimini, A. (1990). Markov processes in Hilbert space and continuous spontaneous localization of systems of identical particles. Physical Review A, 42(1), 78.
- [5] Diósi, L. (1989). Models for universal reduction of macroscopic quantum fluctuations. Physical Review A, 40(3), 1165.
- [6] Penrose, R. (1996). On gravity's role in quantum state reduction. General relativity and gravitation, 28, 581-600.
- [7] V. Gorini, A. Kossakowski, and E. C. G. Sudarshan, Completely positive dynamical semigroups of N-level systems, J. Math. Phys. 17, 821 (1976).
- [8] G. Lindblad, On the generators of quantum dynamical semigroups, Commun. Math. Phys. 48, 119 (1976).