ISSN:2594-6153

Aplicação da LPA2v à Modelagem do Experimento Mental do Gato de Schrödinger

Alexandre Tiago Martins[1], Marcos Carneiro Rodrigues[1], Arnaldo de Carvalho Junior[1,2], João Inácio da Silva Filho[1]

[1]Universidade Santa Cecília (UNISANTA) -Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEMec), Santos-SP, Brasil
[2]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) - Laboratório de Inteligência Artificial Aplicada (EAILab), Cubatão-SP, Brasil.

E-mail: alexandre.engenharia@yahoo.com

Resumo: O presente trabalho apresenta uma abordagem para a modelagem do experimento mental do Gato de Schrödinger utilizando a Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores (LPA2v). Na mecânica quântica tradicional, a superposição de estados desafia o Princípio da Não-Contradição da lógica clássica, gerando ambiguidades na interpretação do colapso da função de onda. Por meio do formalismo da LPA2v, mapeiam-se os estados de vida e morte em um reticulado de dois valores de anotação (μ,λ), correspondentes aos graus de evidência favorável e desfavorável. Demonstra-se que o estado de superposição quântica pode ser representado analiticamente no reticulado paraconsistente sem incorrer em trivialização lógica, fornecendo uma métrica quantitativa para o Grau de Certeza (G_C) e o Grau de Contradição (Gct) antes e após a medição.

Palavras-chave: lógica paraconsistente anotada; LPA2v; gato de Schrödinger; superposição quântica; mecânica quântica.

Application of PAL2v to Modeling the Schrödinger's Cat Thought Experiment

Abstract: This paper presents an approach to modeling Schrödinger's Cat thought experiment using Paraconsistent Annotated Logic with annotation of two values (PAL2v). In quantum mechanics, state superposition challenges the classical Principle of Non-Contradiction, generating ambiguities in interpreting wave-function collapse. Through the PAL2v formalism, life and death states are mapped onto a two-value annotation lattice (μ, λ), representing degrees of favorable and unfavorable evidence. It is shown that the quantum superposition state can be analytically represented in the paraconsistent lattice without logical trivialization, providing a quantitative metric, Degree of Certainty (D_C) and Degree of Contradiction (D_Ct), before and after measurement.

Keywords: paraconsistent annotated logic; PAL2v; Schrödinger's cat; quantum superposition; quantum mechanics.

Introdução

O experimento mental formulado por Erwin Schrödinger em 1935 [1] ilustra o paradoxo da medição na mecânica quântica, no qual um sistema macroscópico (um gato contido em uma caixa isolada juntamente com um dispositivo atômico radioativo e um frasco de veneno) assume uma combinação linear de estados dada pela Eq. (1):

$$|\psi\rangle = (1/\sqrt{2})\,|vivo\rangle + (1/\sqrt{2})\,|morto\rangle \quad (1)$$

Na lógica proposicional clássica bivalente, uma proposição P (“O gato está vivo”) e sua negação ¬P (“O gato está morto”) são mutuamente exclusivas sob a vigência do Princípio da Não-Contradição ¬(P ∧ ¬P). A tentativa de atribuir simultaneamente valores de verdade opostos a uma proposição no formalismo clássico conduz à inconsistência e aciona o princípio da explosão (*ex falso sequitur quodlibet*), anulando a capacidade dedutiva do sistema. Lógicas não clássicas construídas sobre semânticas paraconsistentes tratam essa mesma inconsistência de forma controlada, atribuindo a cada fórmula um papel causal e informacional na contradição sem que disso decorra a trivialização do sistema [2].

Para contornar essa restrição lógica sem recorrer exclusivamente a interpretações ontológicas particulares, aplica-se a Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores - LPA2v (*Paraconsistent Annotated Logic by 2-value annotations*- PAL2v), cujo arcabouço teórico, algorítmico e as principais aplicações de engenharia foram recentemente sistematizados em revisão abrangente da literatura [3]. Essa lógica permite tratar proposições cujos fatores de anotação expressam graus de evidência no intervalo [0,1], absorvendo estados contraditórios sem incorrer em trivialização.

Objetivo: O objetivo deste artigo é abordar a representação analítica da superposição e do colapso de estados do experimento do Gato de Schrödinger dentro do espaço bidimensional do reticulado da LPA2v, relacionando as perspectivas quânticas aos conceitos de Grau de Certeza (G_C) e Grau de Contradição (Gct).

Fundamentação Teórica da LPA2v

A LPA2v é uma lógica não clássica que associa a cada proposição atômica P um par ordenado de anotação P(μ, λ), onde [2],[3],[4]:

μ ∈ [0, 1] representa o grau de evidência favorável à proposição P.

λ ∈ [0, 1] representa o grau de evidência desfavorável à proposição P (ou favorável à negação ¬P).

A partir dos valores de anotação An(μ,λ), calculam-se duas variáveis de controle fundamentais para a avaliação lógica no Reticulado associado à PAL2v [2,3]:

O Grau de Certeza (G_C) que é dado pela Eq. (2)

$$G_C = \mu - \lambda \qquad (G_C \in [-1, 1]) \tag{2}$$

O Grau de Contradição (Gct) que é dado pela Eq. (3):

$$Gct = \mu + \lambda - 1 \quad (Gct \in [-1, 1]) \tag{3}$$

Quando $Gct > 0$, o sistema exibe tendência à inconsistência (excesso de evidências concomitantes); quando $Gct < 0$, o sistema indica paracompletude ou indeterminação (ausência de evidências suficientes).

Algoritmos de extração e filtragem desses graus de evidência foram implementados e validados em sistemas especialistas de engenharia real, como analisadores paraconsistentes com filtro de evidência [4,5].

Modelagem do Experimento em LPA2v

Verifica-se, através das equações (2) e (3), que um espaço de estados pode ser definido sobre um reticulado cartesiano L = [0, 1] × [0, 1], cujos quatro vértices delimitam os estados lógicos puros que podem ser localizados nos vértices do Reticulado associado à LPA2v [2]. Essas condições podem ser modeladas a partir de valores discretos na anotação *An*:

A anotação *An*(1, 0) → leva ao estado lógico extremo Verdadeiro (V)

A anotação *An*(0, 1) → leva ao estado lógico extremo Falso (F)

A anotação *An*(1, 1) → leva ao estado lógico extremo Inconsistente (⊤)

A anotação *An*(0, 0) → leva ao estado lógico extremo Paracompleto (⊥)

Seja a proposição P: "O gato está vivo", cuja negação ¬P equivale a "O gato está morto".

Estado de Superposição Quântica ($t < t_{med}$)

Antes da realização da medição ($t < t_{med}$), a probabilidade de decaimento do núcleo radioativo no intervalo da meia-vida é p = 0,5, correspondendo às amplitudes de probabilidade $|\alpha|^2 = 0{,}5$ e $|\beta|^2 = 0{,}5$, segundo a formulação original de Schrödinger [1].

Mapeando os módulos ao quadrado das amplitudes aos graus de evidência da LPA2v [2]:

Grau de evidência favorável à vida (μ): $\mu = |\alpha|^2 = 0{,}5$

Grau de evidência desfavorável à vida (λ): $\lambda = |\beta|^2 = 0{,}5$

Assim, o estado de superposição quântica é denotado em LPA2v por P(0,5;0,5). Aplicando-se as Eqs. (2) e (3) de G_C e Gct:

$$G_C = 0{,}5 - 0{,}5 = 0$$

$$Gct = 0{,}5 + 0{,}5 - 1 = 0$$

O par (0,5;0,5) mapeia o sistema no centro geométrico do reticulado da LPA2v, representando o ponto de Indeterminação Central Perfeita.

É importante notar que o próprio reticulado da LPA2v admite, como caso-limite formal, a anotação P(1,1) [3], correspondente ao vértice de Inconsistência Máxima do espaço de estados, como mostra os valores obtidos a partir das Eqs. (2) e (3):

$$Gc = 1 - 1 = 0$$

$$Gct \quad = 1 + 1 - 1 = +1 \ (Inconsistência\ Máxima)$$

Esse vértice não decorre da probabilidade física do decaimento radioativo, mas representa a fronteira estrutural do reticulado paraconsistente na qual as duas evidências (vida e morte) atingiriam simultaneamente seu valor máximo, um limite matemático útil para caracterizar o comportamento do sistema nas bordas do espaço de anotação, complementando o ponto central (0,5; 0,5) obtido pela leitura probabilística padrão. A Tabela 1 sintetiza o mapeamento dos estados do experimento no espaço cartesiano da LPA2v.

Tabela 1. Mapeamento dos Estados Quânticos no Reticulado da LPA2v.

Estado do Sistema	Proposição P	μ	λ	Grau de Certeza (G_C)	Grau de Contradição (G_{ct})	Região no Reticulado
Superposição (probabilística)	Gato Vivo	0,5	0,5	0,0	0,0	Centro (G_C=0, G_{ct}=0)
Superposição (limite formal do reticulado)	Gato Vivo	1,0	1,0	0,0	+1,0	Vértice Inconsistente (⊤)
Colapso (Vivo)	Gato Vivo	1,0	0,0	+1,0	0,0	Vértice Verdadeiro (V)
Colapso (Morto)	Gato Vivo	0,0	1,0	-1,0	0,0	Vértice Falso (F)

Resultados e Discussão

A modelagem por meio da LPA2v permite descrever o colapso da função de onda não como uma ruptura descontínua da lógica, mas como uma trajetória dinâmica dos parâmetros (μ(t),λ(t)) no reticulado. Trajetórias desse tipo, variáveis de anotação evoluindo continuamente entre estados de evidência conflitante e estados de certeza, já foram construídas e validadas experimentalmente em redes neurais paraconsistentes aplicadas ao rastreamento de trajetórias em sistemas de controle [5], o que reforça a plausibilidade formal de se tratar o colapso quântico como uma trajetória contínua no espaço (μ, λ), e não como uma descontinuidade lógica.

Transição de Estado e Medição

A intervenção do observador ($t = t_{med}$) atua como um operador de redução lógica que desloca o ponto de anotação para uma das fronteiras consistentes de decisão ($\tau = 0$):

Resultado Observado: Gato Vivo — $\lim_{(t\to t_{med})} (\mu, \lambda) = (1, 0) \Rightarrow G_C \to +1, G_{CT} \to 0$

Gato Morto — $\lim_{(t\to t_{med})} (\mu, \lambda) = (0, 1) \Rightarrow G_C \to -1, G_{CT} \to 0$

Ao contrário do cálculo proposicional clássico, no qual a presença de estados sobrepostos exige a violação do Princípio do Terceiro Excluído ou da Não-Contradição, a LPA2v acomoda a contradição de forma bem-definida [2],[3]. A viabilidade prática desse tratamento quantitativo de graus de certeza e de contradição sobre dados experimentais ambíguos ou conflitantes já foi demonstrada em outros domínios, como na extração de graus de evidência a partir de sinais

espectroscópicos para caracterização de lesões biológicas [6], o que sugere a extensibilidade do formalismo a sistemas físicos nos quais a evidência disponível é inerentemente incompleta ou concorrente, conforme a Figura 1, feito em *software* Matlab.

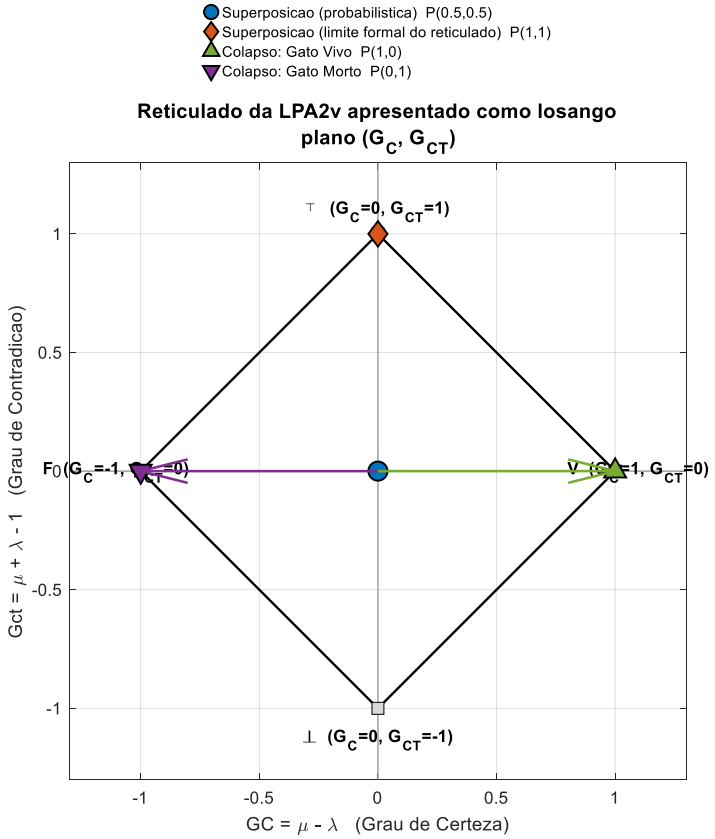


Figura 1: Reticulado da LPA2v aplicado aos Estados Quânticos do Experimento Mental do Gato de Schrödinger.

Conclusões

A utilização da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores (LPA2v) mostrou-se uma ferramenta adequada para abordar o experimento do Gato de Schrödinger. A superposição de estados é representada de forma consistente no reticulado da LPA2v como indeterminação central (P(0,5;0,5)), sendo o vértice de inconsistência máxima P(1,1) uma fronteira estrutural do próprio reticulado, útil para caracterizar formalmente os limites do espaço de anotação. O colapso da função de onda é modelado como uma trajetória contínua das variáveis de anotação (μ,λ) rumo aos vértices clássicos de certeza ($G_C = \pm 1$). A estrutura da LPA2v evita o colapso dedutivo por explosão lógica, oferecendo um arcabouço matemático aplicável ao processamento de informação sob incerteza, com precedentes de validação em sistemas de engenharia reais.

Referências

1. Schrödinger, E. (1983). The present situation in quantum mechanics, Naturwiss, 23. Translated to english in Quantum Theory and Measurement, JA Wheeler and WH Zurek (Eds.), 807-812.

2. Mu, K. (2024). Identifying roles of formulas in inconsistency under Priest's minimally inconsistent logic of paradox. Artificial Intelligence, 335, 104199. DOI: 10.1016/j.artint.2024.104199.

3. De Carvalho Junior, A., Justo, J. F., de Oliveira, A. M., & da Silva Filho, J. I. (2024). A comprehensive review on paraconsistent annotated evidential logic: Algorithms, Applications, and Perspectives. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 127, 107342. DOI:10.1016/j.engappai.2023.107342.

4. Côrtes, H. M., Santos, P. E., & da Silva Filho, J. I. (2023). Cubic paraconsistent analysers with evidence filter and temporal analysis. Expert Systems with Applications, 230, 120536. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.120536.

5. De Carvalho Junior, A., Angelico, B. A., Justo, J. F., de Oliveira, A. M., & da Silva Filho, J. I. (2023). Model reference control by recurrent neural network built with paraconsistent neurons for trajectory tracking of a rotary inverted pendulum. Applied Soft Computing, 133, 109927. DOI: 10.1016/j.asoc.2022.109927.

6. Garcia, D. V., da Silva Filho, J. I., Silveira Jr, L., Pacheco, M. T. T., Abe, J. M., Carvalho Jr, A., ... & Mario, M. C. (2019). Analysis of Raman spectroscopy data with algorithms based on paraconsistent logic for characterization of skin cancer lesions. Vibrational Spectroscopy, 103, 102929. DOI: 10.1016/j.vibspec.2019.102929.