

O DIAGRAMA DE HUBBLE NO ENSINO MÉDIO: UMA ABORDAGEM PRÁTICA COM DADOS SIMULADOS DO SDSS

Jizreel Pereira da Silva

*Mestre em Ensino de Física pela Universidade Federal do Estado
do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
jizreelsilva@yahoo.com.br*

Resumo: Este artigo apresenta uma proposta didática para o ensino da Lei de Hubble-Lemaître e a expansão do Universo no ensino médio, utilizando uma simulação computacional baseada na atividade *Hubble Diagram do Sloan Digital Sky Survey (SDSS)*. Foi gerado um conjunto de dados simulados que representa as medições de distância e velocidade de afastamento de galáxias por uma turma de 23 alunos. A partir desses dados, cada aluno calculou a constante de Hubble (H), permitindo uma análise estatística dos resultados e a discussão sobre as incertezas experimentais. Os resultados demonstram que, mesmo com a dispersão inerente a medições astronômicas simplificadas, é possível obter um valor médio para H e compreender a relação linear entre a distância e velocidade das galáxias, reforçando conceitos fundamentais de cosmologia de forma prática e engajadora.

Palavras-chave: Lei de Hubble; Diagrama de Hubble; Ensino de Física; Cosmologia; Simulação.

INTRODUÇÃO

A descoberta da expansão do Universo é um dos pilares da cosmologia moderna. No início do século XX, o astrônomo Edwin Hubble, em colaboração com Milton Humason, observou que as galáxias distantes estavam se afastando da nossa, e que a velocidade de afastamento era proporcional à sua distância (Hubble, 1929).

Essa relação, proposta teoricamente por Georges Lemaître em 1927 e confirmada observacionalmente por Hubble, é hoje conhecida como a Lei de Hubble-Lemaître e constitui a evidência fundamental para o modelo do Big Bang (Lemaître, 1927 & Kirshner, 2004).

A lei é expressa matematicamente pela equação:

$$v = H_0 \cdot D \quad (1)$$

Onde v é a velocidade de recessão da galáxia (geralmente em km/s), D é a distância até a galáxia (em Megaparsecs, Mpc), e H_0 é a constante de Hubble, que representa a taxa de expansão do Universo no presente (em km/s/Mpc). O valor de H_0 tem sido objeto de intenso debate e pesquisa, com medições recentes convergindo para valores distintos dependendo do método utilizado. Medições do universo local, usando “velas padrão” com Cefeídas e supernovas do Tipo Ia, apontam para um valor em torno de 73 km/s/Mpc, enquanto medições baseadas na radiação cósmica de fundo do universo primordial, como as do satélite Planck, indicam um valor próximo de 67 km/s/Mpc (Riess et al., 2022 & Planck et al., 2020). Essa discrepância é conhecida como a “tensão de Hubble” e é um dos problemas mais presentes da cosmologia moderna (Verde et al., 2019).

Ensinar conceitos de cosmologia no ensino médio pode ser desafiador devido à sua natureza abstrata. Atividades práticas que permitem aos alunos manipular dados e visualizar relações são ferramentas pedagógicas poderosas, especialmente no ensino de Astronomia, que frequentemente carece de abordagens experimentais nas escolas brasileiras (Langhi & Nardi, 2005). O projeto Sloan Digital Sky Survey (SDSS) oferece uma vasta quantidade de dados astronômicos públicos, incluindo atividades educacionais como a construção de um Diagrama de Hubble (SDSS, s.d).

Este trabalho propõe uma abordagem baseada nesta atividade, utilizando dados simulados para replicar a experiência de uma turma de ensino médio na determinação da constante de Hubble.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia seguiu os passos descritos na atividade A simple Hubble Diagram do SDSS, onde cada aluno mediu o redshift e a magnitude aparente de um conjunto de 6 galáxias. Para as incertezas e erros experimentais inerentes a um processo de medição real, foi introduzido um ruído gaussiano aos valores de referência de redshift e magnitude de galáxias conhecidas.

A velocidade de recessão v foi calculada a partir do redshift z , usando a aproximação para baixos desvios para o vermelho baseada no efeito Doppler, $v = cz$, onde c é a velocidade da luz. A distância D foi estimada a partir da magnitude aparente m , utilizando o conceito de módulo de distância. Este método depende do conhecimento da magnitude absoluta M do objeto, que funciona como uma vela padrão. Para esta simulação, assumiu-se um valor médio de $M = -20$, típico para galáxias espirais brilhantes, embora na prática os astrônomos utilizem objetos com luminosidade intrínseca mais bem calibrada, como as estrelas variáveis Cefeídas e as supernovas do Tipo Ia (Carrol & Ostlie, 2006, Kirshner, 2004, Freedman et al., 2001)

$$m - M = 5 \log_{10}(D) - 5 \quad (2)$$

Cada aluno construiu seu próprio Diagrama de Hubble, através do par (distância, velocidade) e através da regressão linear, calculou um valor para a constante de Hubble H que corresponde ao coeficiente angular da reta ajustada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 1 apresenta o Diagrama de Hubble com todos os pontos medidos e a reta de ajuste linear correspondente, pelas simulações dos 23 alunos.

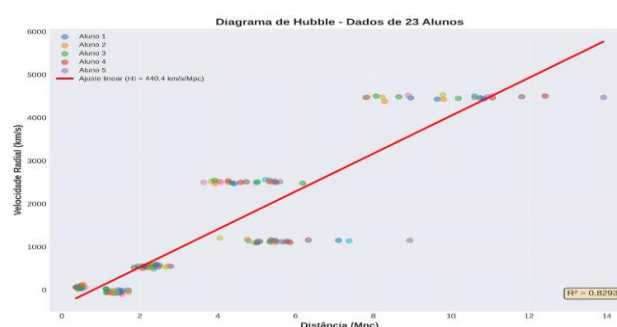


Figura 1. Linha vermelha representa o ajuste linear de todos os pontos, resultando em um valor médio de H .

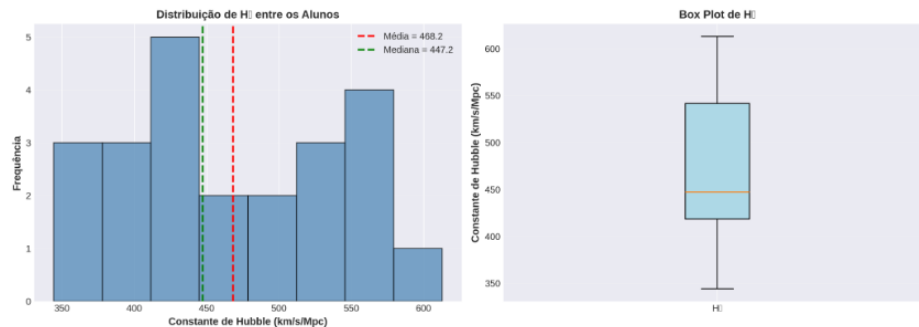


Figura 2. Histograma e box plot da distribuição dos valores de H calculados pelos 23 alunos. A média foi de 468.3 km/s/Mpc com um desvio padrão de 76.4 km/s/Mpc.

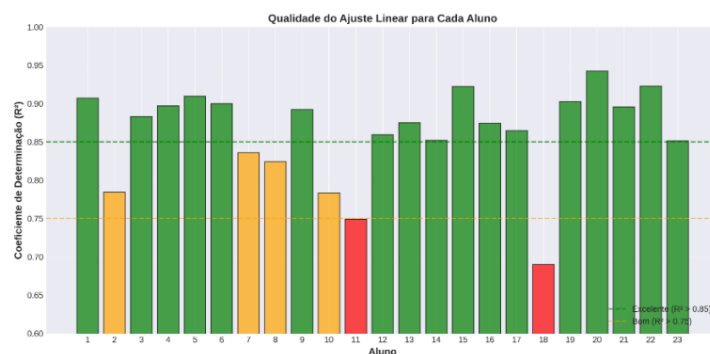


Figura 3. Qualidade do ajuste linear (R^2) para cada um dos 23 alunos.

CONCLUSÃO

A utilização de uma simulação baseada em dados reais, como os do SDSS para ensinar o Diagrama de Hubble no ensino médio se mostrou uma estratégia pedagógica eficaz. A atividade permite que os alunos vivenciem o processo científico de coleta de dados, análise, ajuste de modelo e interpretação de resultados. A dispersão nos valores da constante de Hubble, longe de ser um problema, serve como um ponto de partida para discussões mais ricas sobre a natureza da ciência experimental.

Mesmo com as simplificações, a relação linear entre distância e velocidade de recessão emerge claramente dos dados, proporcionando uma compreensão tangível e visual do universo.

Esta abordagem prática não apenas reforça conceitos de física e matemática mas também desenvolve o pensamento crítico e a familiaridade com a análise de dados, habilidades essenciais na sociedade contemporânea.

REFERÊNCIAS

- Carroll, B. W., Ostlie, D. A. *An Introduction to Modern Astrophysics*. Addison-Wesley. 2006.
- Freedman, W. L., et al. Final results from the Hubble Space Telescope Key Project to measure the Hubble constant. *The Astrophysical Journal*, 553(1), 47, 2001.
- Hubble, E. A relation between distance and radial velocity among extragalactic nebulae. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 15(3), 168-173, 1929.
- Kirshner, R. P. Hubble's diagram and cosmic expansion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(1), 8-13, 2004.
- Langhi, R., Nardi, R. O ensino de astronomia no Brasil: um levantamento sobre a realidade das escolas de nível fundamental e médio. *Física na Escola*, 6(2), 18-22, 2005.
- Lemaître, G. Um Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques. *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, A47, 49-59, 1927.
- Planck Collaboration, Aghanim, N., Akrami, Y., et al. Planck 2018 results VI. Cosmological parameters. *Astronomy & Astrophysics*, 641, A6, 2020.
- Riess, A. G., Casertano, S., Yuan, W., Macri, L. M, Scolnic, D. Large Magellanic Cloud Cepheid standards provide a 1% foundation for the determination of the Hubble constant and stronger evidence for physics beyond Λ CDM. *The Astrophysical Journal*, 876(1), 85, 2019.
- Riess, A. G., et al. A Comprehensive Measurement of the Local Value of the Hubble Constant with 1 km/s/Mpc Uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SH0ES Team. *The Astrophysical Journal Letters*, 934(1), L7, 2022.
- Sloan Digital Sky Survey (SDSS). (s.d.). Hubble Diagram. Recuperado de <https://skyserver.sdss.org/dr16/en/proj/advanced/hubble/simple.aspx>
- Verde, L., Treu, T., Riess, A. G. Tensions between the early and late Universe. *Nature Astronomy*, 3(10), 891-895, 2019.