



O Parâmetro R : Uma Abordagem Histórica e Geométrica Unificada para o Ensino da Relatividade Especial

Clair de Luma Capiberibe Nunes¹, Wellington Pereira de Queirós²...

¹ UFMS/INFI/ clair.capiberibe@ufms.br

² UFMS/INFI/ wellington.queiros@ufms.br

Resumo

A Teoria da Relatividade Especial (TRE), formulada por Poincaré (1905) e Einstein (1905), representa uma das transições conceituais mais significativas da história da física, constituindo um tema central no ensino de ciências. Tradicionalmente sustentada por dois postulados — o princípio da relatividade e a constância da velocidade da luz — a teoria pode ser contextualizada como resultado de debates sobre a estrutura do espaço-tempo, já sugeridos por Poincaré (1905) e desenvolvidos por Minkowski (1909). Este artigo apresenta essa trajetória histórica integrada a estratégias de ensino, mostrando que a constância de c pode ser interpretada como consequência geométrica e não apenas como hipótese inicial. A proposta introduz uma generalização do espaço-tempo plano com o uso de números hipercomplexos e álgebra geométrica (Hestenas, 2015; Özdemir, 2018), fornecendo ao ensino ferramentas que conectam matemática avançada e fundamentos físicos. O parâmetro $R^2 \in \{-1, 0, +1\}$ permite classificar as geometrias de Cayley, euclidiana, galileana e minkowskiana (Yaglom, 1968, 1979, McRae, 2007) em um quadro unificado, incentivando a análise comparativa de conceitos e evidenciando como a geometria evoluiu no pensamento científico. Para apoiar práticas pedagógicas, são apresentadas transformações de coordenadas generalizadas, uma lei unificada de composição de velocidades, a demonstração de que apenas $R^2=+1$ assegura a consistência das equações de Maxwell, especialmente a lei de Faraday e uma generalização da lei de Snell. Esse resultado permite explorar como dados experimentais consolidaram a estrutura do espaço-tempo e enriquecer o ensino de relatividade como um capítulo da história da ciência e da matemática.

Palavras-chave: *Relatividade Especial; História da Ciência; Espaço-Tempo Generalizado; Álgebra do Espaço-Tempo; Ensino de Física; Constância da Velocidade da Luz.*

Abstract

The Special Theory of Relativity (STR), formulated by Poincaré (1905) and Einstein (1905), represents one of the most significant conceptual shifts in the history of physics, constituting a central topic in science education. Traditionally supported by two postulates — the principle of relativity and the constancy of the speed of light — the theory can be contextualized as the outcome of debates on the structure of space-time, already suggested by Poincaré (1905) and developed by Minkowski (1909). This article presents this historical trajectory integrated with teaching strategies, showing that the constancy of c can be interpreted as a geometric consequence rather than merely an initial hypothesis. The proposal introduces a generalization of flat space-time using hypercomplex numbers and geometric algebra (Hestenes, 2015; Özdemir, 2018), providing educators with tools that connect advanced mathematics and physical foundations. The parameter $R^2 \in \{-1, 0, +1\}$ allows for the classification of Cayley, Euclidean, Galilean, and Minkowskian geometries (Yaglom, 1968, 1979; McRae, 2007) within a unified framework, encouraging comparative analysis of concepts and highlighting how geometry

evolved in scientific thought. To support pedagogical practices, generalized coordinate transformations, a unified law of velocity composition, the demonstration that only $R^2=+1$ ensures the consistency of Maxwell's equations — particularly Faraday's law — and a generalization of Snell's law are presented. This result enables exploration of how experimental data consolidated the structure of space-time and enriches the teaching of relativity as a chapter in the history of science and mathematics.

Keywords: *Special Relativity; History of Science; Generalized Space-Time; Space-Time Algebra; Physics Education; Constancy of the Speed of Light.*

Referências

Einstein, A. (1905). Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, 17(10), 891–921.

Hestenes, D. (2015). *Space-time álgebra* (2nd ed.). Birkhäuser.

McRae, A. S. (2007). Clifford algebras and possible kinematics. *Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications (SIGMA)*, 3(079), 1–29

Minkowski, H. (1909). Raum und Zeit. In *Jahresberichte der Deutschen Mathematiker-Vereinigung* (pp. 1-14). B. G. Teubner.

Poincaré, H. (1905). Sur la dynamique de l'électron. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 140, 1504–1508.

Poincaré, H. (1906). Sur la dynamique de l'électron. *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo*, 21, 129–176.

Özdemir, M. (2018). Introduction to hybrid numbers. *Advances in Applied Clifford Algebras*, 28(1), Article 11.

Yaglom, I. M. (1968). *Complex numbers in geometry*. Academic Press.

Yaglom, I. M. (1979). *A simple non-Euclidean geometry and its physical basis: An elementary account of Galilean geometry and the Galilean principle of relativity*. Springer-Verlag.
