

## POTENCIAIS GRAVITACIONAIS COM DEPENDÊNCIA DA VELOCIDADE

Luiz Felipe Demétrio (PIC/UEM), João Victor Balieiro da Silva (PIC/UEM),  
Daniel Gardelli (Orientador), e-mail: demetrio.luizfelipe.fis@gmail.com,  
jvb.silva@unesp.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Ciências Exatas/Maringá, PR.

**Física, Física Geral.**

**Palavras-chave:** Relatividade Geral, Potenciais dependentes da velocidade,  
Testes no Sistema Solar

### RESUMO

Neste trabalho foram estudados alguns potenciais gravitacionais com dependência da velocidade que historicamente tiveram o objetivo de descrever fenômenos gravitacionais no sistema solar, como a precessão do periélio das órbitas dos planetas e o desvio da luz perto de corpos massivos e, alguns deles, implementar o princípio de Mach. Em seguida foi feita uma apresentação da Teoria da Relatividade Geral, teoria que descreve a gravidade mais aceita nos dias de hoje, e sua solução para uma partícula pontual. Assim, foi possível descrever os movimentos dos corpos ao redor do Sol previstos por essa teoria usando o formalismo lagrangiano para fazer comparações entre os potenciais apresentados inicialmente. Foi possível, então, comparar diretamente as previsões de movimento de queda livre, movimento circular, precessão do periélio e desvio da luz de algumas das teorias estudadas. Como um complemento a este trabalho foram apresentadas análises do movimento de corpos em outras soluções para as equações de Einstein e um estudo detalhado sobre o paradoxo de Seeliger posto na forma de um artigo escrito pelos autores deste trabalho.

### INTRODUÇÃO

A teoria da Relatividade Geral é a mais bem sucedida teoria gravitacional dos tempos atuais, sendo capaz de descrever fenômenos do sistema solar e de ordem cosmológica com excelente precisão [3]. Entretanto, como é bem conhecido, tal teoria é baseada em conceitos matemáticos relativamente avançados, como o Cálculo Tensorial e a Geometria Diferencial [4]. Ela também utiliza a curvatura do espaço-tempo para descrever a gravitação, ao invés de uma energia gravitacional, como se faz em física clássica [5]. Tal fato impede que muitos estudantes, sem a base matemática necessária, possam entender a teoria. Com isso em mente, o presente trabalho teve como objetivo encontrar o potencial gravitacional que melhor descreve os

fenômenos gravitacionais do sistema solar, o qual, portanto tem que ser coerente com a Relatividade Geral e, então, tentar aproximá-la dos conteúdos normalmente estudados nos cursos de graduação em física.

Para atingir nosso objetivo, foram procuradas fontes históricas de físicos que tentaram descrever fenômenos gravitacionais com potenciais diferentes do newtoniano, envolvendo dependências da velocidade das partículas [2], sendo analisadas as vantagens e falhas de cada modelo. Durante o desenrolar do trabalho, a base matemática da Relatividade Geral foi estudada, com o intuito de melhor comparar suas previsões com as de outras teorias.

Acreditamos que tal material possa ser usado em cursos de Mecânica Analítica para que alunos da graduação possam entender fenômenos de Relatividade Geral sem o uso de matemática muito avançada, como a dilatação do tempo e a queda de um objeto em um buraco negro.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos utilizados em nossa pesquisa foram a leitura e discussão dos materiais citados nas referências.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram utilizadas certas aproximações da solução de Schwarzschild da Relatividade Geral para obter uma energia gravitacional efetiva de interação gravitacional em um certo sistema de coordenadas, com o custo sendo a perda da covariância. Utilizando tal potencial, pode-se descrever as órbitas relativísticas com boa precisão, mas ainda com grande trabalho matemático. Uma alternativa mais simples foi analisar a lagrangiana não-covariante obtida para a métrica de Schwarzschild com técnicas de Mecânica Clássica para que fosse possível comparar as previsões de algumas das teorias gravitacionais com a Relatividade Geral usando o formalismo desenvolvido. Com tal formalismo também pudemos analisar a cinemática de outras soluções da Relatividade Geral e o paradoxo de Seeliger o qual aparece em teorias de gravitação que utilizam ação a distância, envolvendo uma divergência na energia gravitacional para universos infinitos. Propõe-se um método geral para resolvê-lo com uma velocidade finita para a gravitação, sendo analisadas algumas consequências observáveis de tal resolução.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho foram analisados alguns potenciais gravitacionais com dependência da velocidade, com o intuito de verificar se algum deles poderia descrever os mesmos fenômenos que a Teoria da Relatividade Geral. Diferentemente da versão ensinada, verificou-se que várias tentativas de

modificar a gravitação newtoniana foram realizadas antes do surgimento da Relatividade Geral, mas sem sucesso. A maioria das modificações propostas são arbitrárias, apelando para parâmetros *ad hoc* para descrever alguns poucos fenômenos, não sendo capazes de descrever todos os testes do sistema solar, e muito menos os efeitos cosmológicos da Relatividade Geral. Além disso, a análise detalhada do potencial gravitacional de Schrödinger [1], a qual não temos conhecimento de ter sido feita antes, nos levou a concluir que este também não consegue descrever os efeitos gravitacionais da Relatividade Geral. Concluiu-se então que a Teoria da Relatividade Geral, apesar de envolver matemática muito complexa, consegue descrever com precisão os fenômenos gravitacionais observados, com o próprio conceito de potencial gravitacional tendo que ser abandonado para que se possa fazer uma descrição precisa da gravitação.

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer enormemente a UEM e ao Departamento de Física por todo o apoio dado no decorrer deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [5] CARROLL, Sean M. Lecture notes on general relativity. **arXiv preprint gr-qc/9712019**, 1997.
- [4] MEDRANO-B, RENE ADALID. Vector fields, linear spaces and tensors in physics. Part 3: Tensor analysis and its applications(CAMPOS VETORIAIS, ESPAÇOS LINEARES E TENSORES NA FÍSICA. PARTE III-ANÁLISE TENSORIAL E SUAS APLICAÇÕES). 1989.
- [2] ASSIS, Andre Koch Torres. On Mach's principle. **Foundations of Physics Letters**, v. 2, n. 4, p. 301-318, 1989.
- [3] EINSTEIN, Albert. The general theory of relativity. In: **The Meaning of Relativity**. Springer, Dordrecht, 1922. p. 54-75.
- [1] XAVIER JR, A. L.; ASSIS, André Koch Torres. O cumprimento do postulado de relatividade na mecânica clássica-uma tradução comentada de um texto de Erwin Schrödinger sobre o princípio de Mach. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, v. 12, n. 3-18, p. 280, 1994.