

**IV SIMPÓSIO DE PESQUISA E EXTENSÃO EM TECNOLOGIA**  
**Centro de Tecnologia - UFRN**

**A N A I S**

**Natal, 11,12 e 13 de Novembro de 1998**

**APRESENTAÇÃO**

Em nome da Comissão de Pesquisa e Extensão do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, temos a satisfação de desejar boas vindas e sucesso aos participantes do IV Simpósio de Pesquisa e Extensão em Tecnologia (IV SPET).

O Simpósio este ano tem caráter nacional com vários participantes apresentando trabalhos de outros Estados do Brasil.

A sessão de abertura contará com a presença de autoridades e será no dia 11 de novembro, começando às 8:30 horas no auditório da Biblioteca da UFRN. Estão programadas duas palestras convidadas: "Administração Universitária: uma Visão Tecnológica" e "O Papel do CREA nas Engenharias".

No total, setenta trabalhos foram selecionados pela Comissão Técnica para apresentação durante o Evento. Estes trabalhos serão apresentados em três sessões paralelas: no auditório da Biblioteca Central da UFRN, na sala E4 Setor de aulas IV e no auditório do Centro de Tecnologia da UFRN.

Nesta oportunidade agradecemos aos autores pelo empenho em produzir trabalhos de qualidade, aos membros da Comissão de Pesquisa e Extensão participantes da comissão organizadora e técnica, aos alunos Mário, Anderson e Francisco Targino pelo suporte técnico de secretaria e a todos que têm contribuído para o sucesso do IV Simpósio.

Finalmente, desejamos aos participantes do IV SPET que aproveitem este evento da melhor e mais agradável forma possível, debatendo idéias com os apresentadores e colegas, e ainda, desfrutando as belas praias da nossa cidade.

**Prof. Humberto César Chaves Fernandes**  
Coordenador de Pesquisa e Extensão do CT  
Coordenador Geral IV SPET

**Prof. Lúcio Flávio Ferreira Moreira**  
Coordenador Técnico

**Prof. Ângelo Roncalli O. Guerra**  
Coordenador Local

**Ver Índice da Produção Acadêmica do Centro de Tecnologia**

# O Conceito de Massa na Mecânica Relacional e na Relatividade Geral

A. K. T. Assis  
Instituto de Física "Gleb Wataghin"  
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp  
13083-970 Campinas, SP  
E-mail: [assis@ifi.unicamp.br](mailto:assis@ifi.unicamp.br)  
Homepage: [www.ifi.unicamp.br/~assis](http://www.ifi.unicamp.br/~assis)

## Resumo

Mostramos que massa é um conceito absoluto tanto na mecânica clássica quanto na teoria da relatividade geral de Einstein. Este aspecto foi criticado por Ernst Mach, que acreditava que a massa devia ser um conceito relativo na física (apenas razões de massas deviam ser importantes nos fenômenos). Mostramos que com a mecânica relacional as idéias de Mach são implementadas quantitativamente.

## Introdução

Isaac Newton (1642-1727) apresentou as bases da mecânica clássica em seu livro *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, de 1687, mais conhecido por seu primeiro nome em latim, *Principia*. A primeira parte deste livro já está traduzida para o português, [newton90]. Newton defende as concepções de tempo absoluto (que flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa) e de espaço absoluto (que permanece sempre similar e imóvel sem relação com qualquer coisa externa). Estas concepções foram criticadas por Leibniz, Berkeley e especialmente por Ernst Mach (1838-1916) em seu livro *A Ciência da Mecânica*, cuja primeira edição é de 1883, [mach60]. Ele chamava de monstruosas as concepções de espaço e tempo absolutos de Newton. Para Mach só há movimento de matéria em relação a matéria e não se pode falar de movimento de matéria em relação ao espaço vazio. Albert Einstein formulou sua teoria da relatividade geral inspirado pelas idéias de Mach, tentando implementá-las quantitativamente. Não teve sucesso neste aspecto, como ele próprio reconheceu, já que em sua teoria um corpo num universo vazio continua tendo propriedades inerciais. Mostramos aqui que com a Mecânica Relacional, [assis89] e [assis98], implementa-se quantitativamente as idéias de Mach. Vamos analisar em particular o conceito de massa na experiência de queda livre.

## Queda Livre

No *Principia* Newton apresentou a lei da gravitação universal e provou dois teoremas fundamentais (Seção XII do Livro I): Supondo-se uma força central que cai com o inverso do quadrado da distância (como é o caso da força gravitacional), uma casca esférica não vai exercer força resultante sobre um corpo colocado em qualquer ponto em seu interior (Proposição 70, Teorema 30) e vai atrair um corpo que esteja fora dela como se toda a massa da casca estivesse em seu centro (Proposição 71, Teorema 31). Deste último teorema vem que a força gravitacional da terra sobre uma maçã próxima à superfície terrestre é dada por:  $F = GM_T m / R_T^2 = mg$ . Nesta expressão  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$  é a constante de gravitação universal,  $M_T$  é a massa gravitacional da terra,  $m$  é a massa gravitacional da maçã,  $R_T$  é o raio da terra e  $g = GM_T / R_T^2 = 9,8 \text{ m/s}^2$  é o campo gravitacional na superfície da

terra. Já da proposição 70, teorema 30, vem que podemos esquecer das estrelas e galáxias pois elas estão distribuídas mais ou menos homoganeamente ao redor da terra e então seus efeitos se cancelam uns aos outros. A segunda lei do movimento de Newton afirma que (supondo massas constantes):  $F = ma$ , onde  $a$  é a aceleração da massa  $m$  em relação ao espaço absoluto ou em relação a um referencial inercial. Supondo que a única força que atua sobre o corpo é seu peso (desprezando o atrito do ar) vem que a aceleração de queda livre da maçã é dada por:  $a = GM_T/R_T^2 = 9,8m/s^2$ . Vemos que esta aceleração só depende da massa da terra, mas não da massa da maçã.

Para analisar o conceito absoluto ou relativo de massa vamos considerar três casos. Nestes três casos vamos supor que as distâncias entre corpos e seus tamanhos não se alteram, apenas suas massas ou densidades variam de um caso para outro. Caso I: Queda livre usual da maçã com aceleração de  $9,8m/s^2$ . Caso II: Dobramos a massa da terra e deixamos as massas da maçã e do restante do universo (estrelas e galáxias) inalteradas. Da expressão anterior vem que a aceleração de queda deve dobrar, indo para  $19,6m/s^2$ . Caso III: Deixamos a massa da terra com o mesmo valor do caso I, mas dividimos por dois as massas da maçã e do restante do universo (estrelas e galáxias) em relação ao caso I. Qual a aceleração da maçã no caso III?

Na mecânica clássica a aceleração da maçã no caso III deve ser  $9,8m/s^2$  pois a massa e tamanho da terra não se alteraram e  $G$  é uma constante universal. O mesmo vai ocorrer na teoria da relatividade de Einstein pois mostrou-se que a Proposição 70, Teorema 30, também é válida nesta teoria (não há efeitos observáveis no laboratório devidos a uma aglomeração simetricamente esférica de matéria em repouso ao redor dele), [reinhardt73]. Por outro lado para Mach o caso III é indistinguível do caso II, já que as razões de massa são as mesmas:  $m^{II}/M_T^{II} = m^{III}/M_T^{III}$ ,  $m^{II}/M_E^{II} = m^{III}/M_E^{III}$ ,  $M_T^{II}/M_E^{II} = M_T^{III}/M_E^{III}$ , onde  $M_E$  indica a massa de uma estrela ou galáxia qualquer e os índices superiores II e III indicam caso II e III, respectivamente. Ou seja, como as razões das massas no caso II são as mesmas que no caso III, não dá para distinguir o caso II do caso III. Logo, se no caso II a aceleração da maçã é de  $19,6m/s^2$ , o mesmo deve acontecer no caso III.

Isto é implementado na mecânica relacional. Nesta formulação a proposição 70, teorema 30, da mecânica newtoniana não é mais válida e a aceleração de queda livre é dada por (ver [assis98], Seção 9.2.1):  $a = (H_0^2/4\rho r) M_T/R_T^2$ , onde  $H_0$  é a constante de Hubble e  $\rho$  a densidade de matéria no universo. Ou seja,  $G$  deixa de ser uma constante universal e passa a depender da densidade de matéria no universo. No caso I a mecânica relacional prevê  $a_I = 9,8m/s^2$ . Nos casos II e III ela prevê  $a_{II} = a_{III} = 19,6m/s^2$ . Ou seja, como a razão da massa da terra para a densidade média de matéria é a mesma nos casos II e III, a mecânica relacional prevê a mesma aceleração de queda livre nos dois casos, implementando assim as idéias de Mach.

## Conclusão

Na mecânica clássica e na teoria da relatividade geral de Einstein massa é uma grandeza absoluta. A aceleração de queda livre depende do valor absoluto da massa da terra e não de uma razão de massas. Já na mecânica relacional a massa passa a ser um conceito relativo. Ou seja, na previsão dos fenômenos observáveis (aceleração de queda livre etc.) apenas interessam razões de massas. Ela implementa então quantitativamente as idéias filosóficas de Ernst Mach para quem todas as massas e todas as velocidades e, conseqüentemente, todas as forças, são relativas.

## Bibliografia

[assis89] A. K. T. Assis. On Mach's principle. *Foundations of Physics Letters*, 2: 301-318 (1989).

[assis98] A. K. T. Assis. *Mecânica Relacional*. Editora do Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência da UNICAMP, Campinas, 1998. ISBN: 85-86497-01-0.

[mach60] E. Mach. *The Science of Mechanics - A Critical and Historical Account of Its Development*. Open Court, La Salle, 1960.

[newton90] I. Newton. *Principia - Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, volume 1. Nova Stella/Edusp, São Paulo, 1990. Tradução de T. Ricci, L. G. Brunet, S. T. Gehring e M. H. C. Célia.

[reinhardt73] M. Reinhardt. Mach's principle - a critical review. *Zeitschritte fur Naturforschung A*, 28: 529-537 (1973).