

O ENSINO DE GRAVITAÇÃO NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E DE LICENCIATURA EM FÍSICA DA UTFPR

Marcos Antonio Florczak¹, Mario Sergio Teixeira de Freitas²

¹UTFPR/Departamento de Física/ florczak@utfpr.edu.br

²UTFPR/Departamento de Física/ Programa de Pós-Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica/ msergio58@yahoo.com.br

Resumo

Nos cursos superiores de Engenharia, o conteúdo de Gravitação é normalmente ofertado nas unidades curriculares do segundo semestre. Na UTFPR, incluímos (disciplinas ofertadas pelos autores) este conteúdo no curso de Física 1 (primeiro semestre das Engenharias), logo após trabalhar as leis de Newton como o primeiro modelo de lei de força. Para tanto, usamos dois argumentos clássicos da literatura do ensino de Gravitação, os quais podem ajudar os alunos a entender a formulação da lei da Gravitação Universal. O primeiro argumento usa a Geometria para relacionar a aceleração de queda de um corpo na superfície da Terra com a aceleração da órbita da Lua, mostrando que a lei da Gravitação poderia fornecer resultados semelhantes. O segundo relaciona a terceira lei de Kepler para uma órbita circular à lei da Gravitação. Neste trabalho, relatamos os procedimentos que desenvolvemos para estudar a Gravitação nos cursos iniciais de Engenharia e de Licenciatura em Física da UTFPR.

Palavras-chave: ensino de Física, ensino de Astronomia

Introdução

Os cursos de graduação em Engenharia, Química, Física e Matemática possuem normalmente um conteúdo de Física em comum, divididos em 4 unidades curriculares semestrais. Os conteúdos de Gravitação costumam estar incluídos no segundo semestre, em uma disciplina designada normalmente por física 2, após o acadêmico ter cursado uma disciplina básica de Mecânica.

O curso introdutório de física, que muitas vezes é denominado de Física 1, contém uma imensa quantidade de exercícios logo após a introdução das leis de Newton, e utilizam modelos de forças derivadas das leis fundamentais. Em grande parte das vezes são exercícios idealizados sem nenhum vínculo com a realidade e que têm como objetivo fundamental o exercício correto das leis de Newton.

Na UTFPR, alternativamente, os autores deste artigo adiantaram o conteúdo de Gravitação de forma a ser ministrado imediatamente após o ensino das leis de Newton, já na disciplina de física 1, representando o primeiro modelo de uma força fundamental da natureza. Com isto, é possível introduzir conceitos básicos de astronomia e tratar de problemas que tornam o ensino de física mais atraente aos estudantes.

Neste artigo apresentamos um relato de nossa atividade que consiste de um resultado de um projeto maior que é *uso da astronomia como motivação para o*

ensino de física nos cursos de engenharias e licenciatura em física da UTFPR. As justificativas fundamentais deste projeto são:

- 1) A astronomia desperta o interesse dos alunos em estudar física.
- 2) Há muitas possibilidades de uso da astronomia nas disciplinas iniciais de física nos cursos de graduação.

As motivações mais importantes do ensino da gravitação com o enfoque na astronomia foram diversas, tais como: o grande índice de reprovação na disciplina introdutória de física na engenharia, as críticas efetuadas pelos estudantes de que há pouco estímulo às reflexões críticas e um grande número de exercícios “abstratos”. Com relação à licenciatura em física onde o assunto de gravitação se encontra em uma disciplina de mecânica do terceiro semestre, os nossos estudantes exigem mais conteúdos do que somente ferramentas matemáticas, e a astronomia fornece estes conteúdos, não apenas conceituais, mas históricos e epistemológicos. É importante destacar que no nosso modelo curricular da licenciatura em física da UTFPR não há o modelo tradicional das físicas 1, 2, 3 e 4, por exemplo, os conteúdos de física 1, foram divididos em dois semestres a partir do segundo período do curso. Desta forma substituímos física 1 por mecânica 1 e 2, de forma a ter um tempo muito maior para o aprofundamento do conteúdo de gravitação (UTFPR(1), 2009).

O ensino de gravitação

Destacamos neste artigo dois argumentos apresentados em sala de aula sobre a teoria da Gravitação Universal. Tais argumentos podem ser desenvolvidos a partir da literatura básica da Mecânica e da Astronomia, e sua ordem pode ser invertida sem prejuízo do ensino do conteúdo.

O primeiro deles se refere a uma comparação numérica entre dois valores: o da aceleração de queda de um objeto na superfície da Terra (uma maçã, para lembrar o mito), e o da aceleração da Lua, supondo sua órbita circular. O mito da queda da maçã pode ser discutido a partir do trabalho de Martins (2006). Estes valores são calculados a partir de parâmetros geométricos e de justificativas cinemáticas, sem a estrutura das leis de Newton e do modelo de gravitação universal.

Este momento se mostra muito produtivo, pois discutimos as medidas da circunferência da Terra, do diâmetro lunar, e da distância Terra-Lua, e das distâncias planetárias em relação ao Sol. Podemos usar uma série de livros ou sítios de astronomia que descrevem estes métodos (Arny, 1996; Oliveira Filho, 2004). Não é raro o espanto dos alunos com o fato de que alguns destes valores foram estimados alguns séculos antes de Cristo, ou que o modelo heliocêntrico possa ter sido cogitado antes da era das grandes navegações. Um debate da história da astronomia neste momento é muito enriquecedor para a aula de física. Esta também é uma oportunidade de revisão de conceitos básicos da Geometria e da Trigonometria, com a sedução que Astronomia proporciona para o estudo deste assunto.

Logo após o assunto das leis de Newton propomos a Lei da Gravitação Universal e mostramos que ela também fornece o mesmo valor aproximado da

razão entre estas acelerações encontradas anteriormente. Na Figura 1 mostramos o esquema de como apresentamos as comparações entre as acelerações de um objeto na superfície da Terra e a aceleração da Lua usando o modelo puramente geométrico e usando a Teoria da Gravitação Universal. (Nussenzveig, 2002; Caniato, 2011).

Neste momento se mostra oportuna uma discussão sobre as hipóteses levantadas nesta comparação, como por exemplo, a lei de forças para os objetos na superfície da Terra é considerada a mesma para a Lua. A órbita circular da Lua não é mais *natural*, mas sim, provocada por uma força (Reale, 2007). Logo estamos numa mudança grande do conhecimento onde uma lei de força que é válida para um objeto na superfície da Terra também é válida para fora dela, o que justifica o adjetivo Universal.

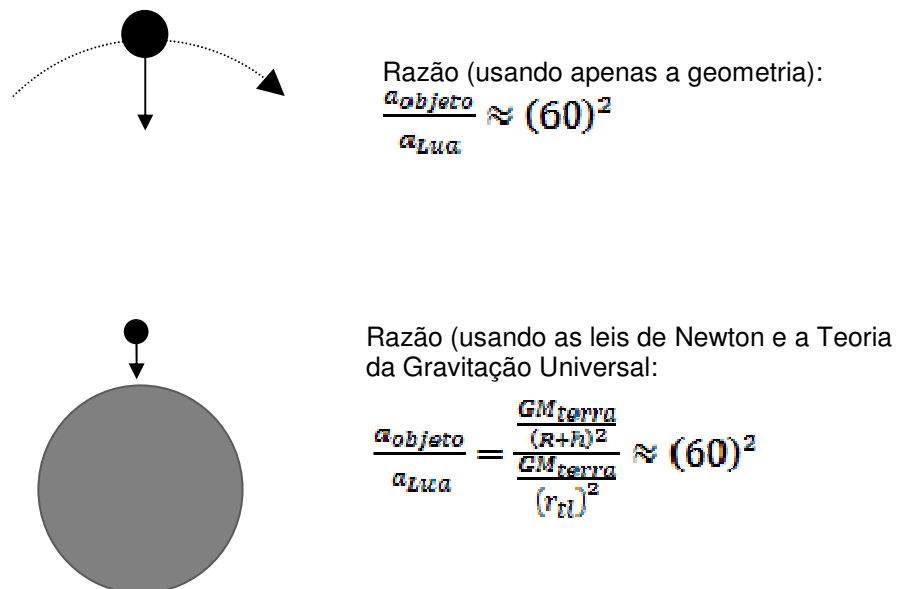


Figura 1. Razão entre as acelerações da Lua em relação a Terra, supondo uma órbita circular de raio (r_L), e a de um objeto a uma altura h da superfície da Terra de raio R .

O segundo argumento provém da análise da terceira lei de Kepler, conjuntamente com a segunda e a terceira leis de Newton. Neste tópico, propomos ao estudante que pesquise em sites confiáveis da Internet os dados numéricos das distâncias médias e períodos orbitais para os planetas, depois que faça o mesmo para alguns satélites de planetas, assim como para a Lua e satélites artificiais em torno da Terra. Sugerimos a construção de tabelas para os três grupos mencionados, com uma coluna específica para a razão entre o quadrado do período e o cubo da distância média. O estudante percebe que estas razões se mantêm razoavelmente constantes, mas com valores que diferem de grupo para grupo. Normalmente, tal constatação não é esperada pelos estudantes, freqüentemente levando-os a estabelecer uma analogia entre os satélites de Júpiter ou de Saturno e pequenos subsistemas planetários.

Abaixo mostramos duas tabelas obtida do trabalho da disciplina de mecânica 2 de um estudante da licenciatura em física da UTFPR. Os dados foram obtidos no sítio << <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>>>. Acessado em 26/06/2011. Abaixo mostramos apenas as tabelas para os planetas e os planetas anões, e a tabela dos satélites de Netuno, mas no trabalho efetuado pelo estudante há todas as tabelas de todos os planetas e seus satélites.

Sistema solar

$$\text{Massa do sol} = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$$

$$\text{Relação } 4\pi^2/GM_{\text{Sol}} = 2,9743 \times 10^{-19} \text{ (s}^2/\text{m}^3\text{)}$$

Planetas:	Semi-eixo maior(m)	Período orbital (s)	$T^2/R^3 \text{ (s}^2/\text{m}^3\text{)}$
Mercúrio	57900000000	7603200	2,97822E-19
Vênus	108200000000	19414080	2,97544E-19
Terra	149600000000	31553280	2,97368E-19
Marte	227900000000	59356800	2,97651E-19
Júpiter	778600000000	374198400	2,96661E-19
Saturno	1433500000000	928540800	2,92691E-19
Urano	2872500000000	2642889600	2,94699E-19
Netuno	4495100000000	5166720000	2,93908E-19
Ceres	413838480000	145195200	2,97449E-19
Plutão	5906376272000	7828963200	2,97471E-19
Haumea	6482916000000	8939635200	2,93311E-19
Makemake	6850333600000	9779011200	2,97478E-19
Éris	10123132800000	1758240000	2,97997E-19

Netuno

$$\text{Massa da Terra} = 1,02 \times 10^{26} \text{ kg}$$

$$\text{Relação } 4\pi^2/GM_{\text{Netuno}} = 5,8027 \times 10^{-15} \text{ (s}^2/\text{m}^3\text{)}$$

	Semi-eixo maior (m)	Período orbital (s)	$T^2/R^3 \text{ (s}^2/\text{m}^3\text{)}$
Naiad (NIII)	48227000	25436	5,76794E-15
Thalassa (NIV)	50075000	26912	5,76818E-15
Despina (NV)	52526000	28914	5,76898E-15
Galatea (NVI)	61953000	37044	5,77083E-15
Larissa (NVII)	73548000	47922	5,77244E-15

Proteus (NVIII)	117647000	96968	5,7745E-15
Triton (NI)	354760000	507760	5,77449E-15
Nereid (NII)	5513400000	31115767	5,777E-15
Halimede	15730000000	16240608	6,7767E-15
Sao	22420000000	25177824	5,62509E-15
Laomedeia	23570000000	27370656	5,72126E-15
Psamathe	46700000000	78761376	6,09082E-15
Neso	48390000000	80991360	5,78909E-15

Por ocasião da realização dos exercícios descritos acima, também propomos que, paralelamente, os estudantes procurem aproximar do seu cotidiano este conhecimento acadêmico, mediante observações amadoras dos corpos celestes no próprio céu de Curitiba. As observações são feitas tanto a olho nu como com instrumentos de pequeno porte, de preferência freqüentando as reuniões que um tradicional clube de astronomia da cidade abre regularmente ao público, incluindo sessões de planetário e visitas a um observatório na região metropolitana (CACEP, 2011).

Nestas aulas de motivação dos estudantes, a curiosidade é muito evidente, e os benefícios decorrentes ao perceberem o deslocamento dos planetas interiores e exteriores, contra o fundo estrelado, assim como outros fenômenos astronômicos, se traduzem em um desejo de se aprofundar no tópico de gravitação. As discussões trazidas para o ambiente de aula são altamente enriquecedoras do ponto de vista da aprendizagem de ciências exatas (Freitas e Florczak, 2010). Especificamente na UTFPR, essas observações amadoras são passíveis de ser pontuadas como avaliação, no contexto de *Atividades Práticas Supervisionadas*, que se constituem essencialmente de aulas extraclasse que tenham afinidade com os conteúdos desenvolvidos nas aulas presenciais (UTFPR(2), 2009).

Ao considerarmos circulares as órbitas planetárias, obtemos que a força que age sobre um planeta devido ao Sol é $F_{P(S)} = m_p w^2 R$, onde m_p é a massa planetária, w velocidade angular e R é o raio orbital. A terceira Lei de Kepler para uma órbita circular diz que a razão entre o quadrado do período orbital e cubo do raio da órbita é constante, ou seja: $\frac{T^2}{R^3} = C_1$, onde T é o período orbital e C_1 é uma constante. Combinando estas duas equações obtemos: $F_{P(S)} = \frac{4\pi^2 m_p}{C_1 R^2}$. Usando a terceira lei de Newton, força que age sobre o Sol devido ao planeta deve ter a forma: $F_{S(P)} = \frac{4\pi^2 m_s}{C_2 R^2}$

Como esta força depende diretamente da massa do astro, e pela terceira lei de Newton ela deverá ser igual à força que o planeta exerce sobre o Sol (ou a que o satélite exerce sobre o planeta), sua expressão deverá envolver as massas do corpo principal e do corpo em órbita. Por simetria, a equação de força que atende as leis de Newton e a terceira lei de Kepler para órbitas circulares é a Teoria da Gravitação Universal: $F = G \frac{m_s m_p}{R^2}$.

Abaixo mostramos um diagrama esquemático de como apresentamos este argumento aos estudantes.

Da terceira lei de Kepler... ...e a segunda lei de Newton...

$$\frac{T^2}{R^3} = cte = C_1$$

$$F_{p(s)} = m_p a = m_p \frac{4\pi^2}{T^2} R$$

$$\dots \text{ ou: } F_{p(s)} = \frac{4\pi^2 m_p}{C_1 R^2}$$

Considerando a terceira lei de Newton...

$$F_{s(p)} = \frac{4\pi^2 m_s}{C_2 R^2}$$

$$\dots \text{ se } \left\{ \begin{array}{l} \frac{4\pi^2}{C_1} = G m_s \\ \frac{4\pi^2}{C_2} = G m_p \end{array} \right.$$

obtemos:

$$F_{p(s)} = G \frac{m_p m_s}{R^2}$$

(Lei da Gravitação Universal)

Resultados

Do ponto de vista do ensino da teoria clássica da Gravitação, o segundo argumento costuma se mostrar bem recebido por parte dos acadêmicos, apresentando o problema de parecer deduzir, ou induzir esta teoria. Assim, pode ser seguida de uma aula sobre o que é uma teoria científica. Nas aulas de física dos cursos de Engenharia, este debate sobre o que é uma teoria é feito de forma extracurricular, despertando muita curiosidade sobre o tema. No debate, lançamos mão da crítica de Popper sobre a indução como base do discurso (Bastos Filho, 1995; Silveira, 1996; Popper, 1999). No curso de Licenciatura em Física este debate fica mais rico, pois os estudantes cursam as disciplinas de Mecânica no segundo e terceiro semestres, possuindo normalmente um certo domínio sobre o debate do problema da indução.

Nos cursos de Engenharia da UTFPR, a metodologia descrita acima vem despertando nos estudantes um maior interesse pelo estudo das leis de Newton, assim como pelo da Gravitação. Percebemos claramente o papel da Astronomia como poderoso veículo motivador da aprendizagem da Mecânica. Seria interessante conduzir procedimentos de pesquisa quantitativa, buscando resultados melhor consolidados; contudo, devido às contínuas alterações que vêm sofrendo os critérios adotados nos processos de seleção, a confiabilidade de tais resultados seria questionável.

No curso de Licenciatura em Física da UTFPR, o assunto de Gravitação é mais aprofundado: deduzimos o problema kepleriano, e depois o problema de dois corpos, sendo também discutidas as limitações das leis keplerianas. Nossa prática de usar os argumentos descritos acima para estudar a teoria newtoniana da Gravitação tem proporcionado aos acadêmicos da Licenciatura uma apreensão mais

abrangente dos conteúdos, mediante reflexões do ponto de vista histórico-crítico, fundamentais para a formação de um professor.

Agradecimentos

Agradecemos ao estudante de física Ramissés Feld Santos, por fornecer parte de suas tabelas referentes ao trabalho sobre a terceira lei de Kepler na disciplina de Mecânica 2.

Referências

- Arny, T. T.. Explorations. An Introduction to Astronomy. Mosby. 1996.
- Bastos Filho, J. B.. A Unificação de Newton da Física de Galileu com a Astronomia de Kepler à Luz da Crítica Popperiana à indução. Revista Brasileira de Ensino de Física, Vol 17 n. 3, setembro, 1995.
- CACEP, Clube de Astronomia do Colégio Estadual do Paraná. Disponível no endereço: <http://www.cacep.com.br/?q=node/4>. Acesso em 9 out. 2011.
- Caniato, Rodolpho. O Céu. Editora Átomo. 2011.
- Freitas, M. S. T. e Marcos A. Florczak. An Amateur Observation of a Satellite as a Motivation to Learning Kepler's Third Law and Universal Gravitation. In Kepler's Heritage in the Space Age. National Technical Museum in Prague. Prague 2010.
- Oliveira Filho, K. S. e Saraiva, M.F.O. <http://astro.if.ufrgs.br/> (2004).
- Nussenzweig, H. M. Curso de Física Básica, vol 1 – 4a ed. Blucher, SP, 2002.
- Martins, Roberto de Andrade. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. In: Cibelle Celestino Silva. (Org.). Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo, SP: Editora Livraria da Física, 2006, p. 167-189
- Popper, K. R. A Vida é Aprendizagem. Edições 70. Lisboa 1999.
- Reale, G. Aristóteles. Edições Loyola. 2007.
- Silveira, F. L.. A Filosofia da Ciência de Karl Popper: O Racionalismo Crítico. Caderno Catarinense de Ensino de Física. Vol. 10, n. 1, 1997.
- UTFPR (1). <http://www.dafis.ct.utfpr.edu.br/Licenciatura/index.html>
- UTFPR (2). Regulamento das Atividades Práticas Supervisionadas da UTFPR - Resolução nº 78/09 – COEPP. Curitiba, 2009. Disponível em:<<http://www.utfpr.edu.br/estrutura-universitaria/pro-reitorias/prograd/legislacao/utfpr-1/regulamentoaps.pdf/view> > Acesso em 9 out. 2011.