



**Fernando
Ximenes**

**Atividades experimentais para a unidade curricular
Elementos de Física da Universidade Nacional
Timor Lorosa'e**

**Experimental activities for the National University
of Timor Lorosa'e Elements of Physics course**



**Fernando
Ximenes**

**Atividades experimentais para a unidade curricular
Elementos de Física da Universidade Nacional
Timor Lorosa'e**

**Experimental activities for the National University
of Timor Lorosa'e Elements of Physics course**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Física, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Vítor Hugo Rosa Bonifácio, Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho à minha família pelo incansável apoio.

o júri

presidente

Manuel António do Santos Barroso

Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

vogais

Maria do Amparo Ferreira Faustino

Professora Auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro
(arguente)

Vítor Hugo da Rosa Bonifácio

Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro
(orientador)

agradecimentos

A Deus, pela sua infinita Graça e Amor.

Primeiro de tudo, gostaria de expressar a minha profunda gratidão ao meu orientador, professor Vítor Hugo da Rosa Bonifácio pela sua disponibilidade, dedicação, paciência, vontade, incentivo e acima de tudo, o seu conhecimento apoio e orientação concedida durante o presente trabalho.

A minha sincera gratidão ao professor Manuel António do Santos Barroso pela sua disponibilidade, vontade e apoio incondicional ao ajudar-me a tratar de alguns problemas durante o estudo. Muito obrigado por tudo.

À Professora Doutora Clara Magalhães, Engenheiro Miguel de Oliveira, Doutor Ângelo Ferreira e Professor Luís Manuel Cadillon Martins Costa pelo seu extraordinário apoio e assistência. Aos meus caros amigos universitários, principalmente aos do meu curso, gostaria de lhes expressar o meu muito obrigado pelo seu apoio incondicional durante a minha permanência em Aveiro.

Agradeço também ao grupo de técnicos do Departamento de Física da Universidade de Aveiro, David Furtado, Fernando Oliveira e Jorge Monteiro, pela disponibilidade que me concederam e pelo apoio dado na execução dos trabalhos práticos.

À Universidade Nacional Timor Lorosa'e (UNTL) pela bolsa de mestrado concedida e à Universidade de Aveiro (UA) pela colaboração que me tem dado ao longo deste percurso.

Finalmente, agradeço a toda a minha família, pelo incansável apoio, principalmente à Olandina Gomes de Jesus, à Giovania de J. Ximenes, e à Dívía de J. Ximenes que mesmo estando longe sempre me apoiaram. Muito obrigado pelo incentivo, amor e compreensão.

“Resistir é Vencer, dos gritos da dor temos sonhos falados, sonhos lindos de Timor para esquecer passados e sonho é ser livre e sonhamos a paz, amor e o futuro”. Xanana Gusmão (Díli, 1 de outubro de 1999).

palavras-chave

Atividades Experimentais, Hidrostática, Hidrodinâmica, Emissão e absorção de radiação, Unidade Curricular Elementos de Física, Universidade Nacional Timor Lorosa'e - UNTL.

resumo

As atividades experimentais desempenham um papel particularmente importante no ensino e aprendizagem das Ciências. Estas possibilitam a aprendizagem de técnicas e competências laboratoriais, estimulam a aprendizagem de conhecimento conceptual, promovem a aplicação do método científico e o desenvolvimento de atitudes científicas, entre as quais se incluem o rigor, planeamento, a recolha e tratamento de dados, a persistência e o pensamento crítico dos alunos.

A unidade curricular Elementos de Física da licenciatura de Ciências Exatas da Universidade Nacional Timor Lorosa'e (UNTL) não contempla, atualmente, uma componente prática. Assim, neste trabalho definiu-se, implementou-se e realizou-se um conjunto de atividades laboratoriais nas áreas da hidrostática, hidrodinâmica e emissão e absorção de radiação, que possam ser utilizadas numa futura componente prática desta unidade curricular. Elaboraram-se, ainda, os respetivos guiões laboratoriais por forma a que possam vir a ser utilizados no processo de ensino e aprendizagem na Faculdade da Ciências Exatas da UNTL.

keywords

Experimental Activities, Hydrostatics, Hydrodynamics, Emission and Absorption of Radiation, Course Elementos de Física, National University of Timor Lorosa'e - UNTL.

abstract

Experimental activities play a particularly important role in science teaching and learning. They teach laboratory techniques and skills, stimulate conceptual knowledge learning, promote the application of the scientific method and the development of scientific attitudes, including rigor, planning, data acquisition and analysis, persistence and students critical thinking.

Elementos de Física course ministered by the Faculty of Exact Sciences at the Timor Lorosa'e National University (UNTL) does not include a practical component. In this work we defined, implemented and executed a set of laboratory activities in hydrostatics, hydrodynamics and emission and absorption of radiation, that may be used in a future course practical component. Laboratory guides were also elaborated so that they may be used as teaching aids at the UNTL Faculty of Exact Sciences.

Índice

Listas de Figuras	iii
Listas de Tabelas	v
1. Introdução.....	1
2. Breve Contextualização do Sistema Educativo de Timor Leste	2
3. A licenciatura em Ciências Exatas da UNTL	7
4. A importância das Atividades Laboratoriais no Ensino e Aprendizagem	8
5. Unidade Curricular Elementos de Física	10
6. Atividades Experimentais Propostas	11
6.1 <i>Conteúdos de Hidrostática - Lei de Arquimedes</i>	<i>11</i>
6.2 <i>Conteúdos de Hidrodinâmica.....</i>	<i>16</i>
6.2.1 Determinar o Coeficiente de Viscosidade de um Líquido.....	16
6.2.2 Verificar a equação de Bernoulli	25
6.3 <i>Conteúdos de emissão e absorção de radiação</i>	<i>30</i>
6.3.1 Balanço Energético	30
6.3.2 Lei de Stefan-Boltzmann	35
7. Considerações Finais e Trabalho Futuro.....	43
<i>Referências</i>	<i>44</i>
<i>Anexo I: Guiões das Atividades Laboratoriais</i>	<i>47</i>
<i>Anexo II: Plano Curricular da Licenciatura de Ciências Exatas da UNTL</i>	<i>62</i>
<i>Anexo III: Conteúdos Específicos da Unidade Curricular de Elementos de Física</i>	<i>66</i>
<i>Anexo IV: Trabalhos Práticos das unidades curriculares de Física</i>	<i>67</i>

Listas de Figuras

<i>Figura 6.1. Representação das forças que atuam no corpo suspenso da mola quando este se encontra a) suspenso no ar e, b) imerso num líquido.</i>	<i>11</i>
<i>Figura 6.2. Elongamento da mola, x, em função da altura, h, imersa do cilindro. Os erros experimentais associados a cada ponto não são visíveis neste gráfico.</i>	<i>14</i>
<i>Figura 6.3. Forças que atuam numa esfera em queda num líquido.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 6.4. Velocidade, v, em função do tempo, t, para esferas de diferentes diâmetros.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 6.5. Velocidade limite, v_L, em função do diâmetro da esfera ao quadrado, D^2. Note-se que as barras de erro dos pontos experimentais estão representadas no gráfico, embora algumas não sejam visíveis.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 6.6. Dependência de velocidade limite, v_L, com o quadrado do diâmetro das esferas, D^2.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 6.7. Representação de diferenças de pressão.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 6.8. a. A pressão num líquido em repouso aumenta linearmente com a distância da superfície livre; b. Fluidos com diferentes densidades empilhados.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 6.9. Escoamento da água através de uma abertura na garrafa.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 6.10. Alcance, A, em função da raiz quadrada da altura, h.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 6.11. Logaritmo da temperatura estimada dos planetas, T_{est}, em função do logaritmo da sua distância do Sol, r, em unidades astronómicas.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 6.12. Diagrama do dispositivo experimental.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 6.13. Gráfico do logaritmo da diferença de potencial medida no sensor em função do logaritmo da temperatura do filamento da lâmpada.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 6.14. Gráfico do logaritmo da diferença de potencial medida no sensor em função do logaritmo da temperatura do filamento da lâmpada.</i>	<i>41</i>

Listas de Tabelas

<i>Tabela 6.1. Valores da altura, h, comprimento da mola, L, e da elongação da mola, x. ...</i>	<i>13</i>
<i>Tabela 6.2. Tempo de queda, t_i, que a esfera de diâmetro, D, demora a percorrer a distância, s. Apresentam-se, ainda, os valores calculados do tempo médio, t_m, e respectivo erro associado, Δt.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 6.3. Massa de uma, m_1, e cinco, m_t, esferas de 4,00 mm de diâmetro.</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 6.4. Resultados obtidos da velocidade limite, v_L, em função de diâmetro quadrado das esferas, D^2.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 6.5. Resultados medidos da altura, y_1, e das posições x_0 e x_1.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 6.6. Resultados obtidos da altura h, alcance, A, raiz quadrada de h e respectivo erro associado, $\Delta(h)$.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 6.7. Distância ao Sol, r, temperatura estimada, T_{est}, e real, T, respectivamente para os diferentes planetas do sistema solar. Apresenta-se também o desvio relativo em percentagem entre os valores estimados e reais.</i>	<i>32</i>
<i>Tabela 6.8. Valores do coeficiente do albedo para os diferentes planetas, assim como o cálculo da temperatura com e sem albedo e o respectivo desvio relativo em percentagem em relação ao valor real com e sem albedo.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabela 6.9. Resistência e resistividade do tungsténio em função da temperatura.</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 6.10. Apresentam-se os valores da diferença de potencial, V_{lamp} e V_{sens}, medidos nos terminais da lâmpada e do sensor, respectivamente, e a intensidade de corrente, I, no filamento.</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 6.11. Resistência, R, temperatura, T, e seus logaritmos em função da diferença de potencial aplicada aos terminais da lâmpada.</i>	<i>39</i>

1. Introdução

Após uma análise do plano curricular da Licenciatura de Ciências Exatas da Universidade Nacional Timor Lorosa'e (UNTL) verificou-se que a unidade curricular Elementos de Física, da área científica da Física, não possuía componente laboratorial. Concluiu-se, ainda, que a maioria dos conteúdos desta unidade curricular não tinham qualquer correspondência laboratorial durante a licenciatura. Sabemos, no entanto, que as atividades experimentais contribuem para melhorar o processo de ensino e aprendizagem dos alunos de ciências. Neste trabalho definiu-se um conjunto de atividades laboratoriais para esta unidade curricular que possam vir a ser utilizados numa futura componente prática, que venha a ser introduzida. Procurou-se, ainda, que as atividades desenvolvidas não implicassem a aquisição de equipamento de custo elevado. Com este trabalho pretendemos, ainda, incrementar os materiais didáticos em língua portuguesa disponíveis na Faculdade de Ciências Exatas da UNTL.

Na próxima secção apresenta-se uma breve evolução do sistema educativo da República Democrática de Timor-Leste (RDTL) com o objetivo de contextualizar o aparecimento da Licenciatura em Ciências Exatas da UNTL. Posteriormente discute-se a importância das atividades laboratoriais no processo de ensino e aprendizagem e analisam-se os conteúdos específicos da unidade curricular Elementos de Física. Segue-se a apresentação das atividades experimentais propostas cujos guiões se encontram no Anexo I. Por último apresentam-se algumas considerações finais.

2. Breve Contextualização do Sistema Educativo de Timor Leste

A República Democrática de Timor-Leste situa-se no sudoeste asiático na parte oriental da ilha de Timor. Após a restauração da independência, em 20 de maio de 2002, empreenderam-se esforços no sentido de reconstruir o sistema educativo daquele que é um dos países mais jovens do mundo.

A história da educação em Timor Leste pode ser dividida em quatro fases (Morais & Morgado (2016)). Na primeira fase, anterior a 1975, o sistema de ensino era parte integrante do sistema educativo português. De acordo com o Segundo Meneses (2008, p. 36) o ensino secundário particular iniciou-se, “em 1938, com a fundação, por decreto, do Colégio – Liceu de Díli, semi-oficial, no qual foi ministrado até 1952 apenas o primeiro ciclo do ensino liceal”. A partir desse ano permitiu-se a lecionação das disciplinas do segundo ciclo e a realização dos exames de admissão, do primeiro e do segundo ciclos (Meneses, 2008, p. 36).

Em 1960, a instituição Colégio – Liceu de Díli, passou a ser o liceu oficial de Timor com o nome de Dr. Francisco Vieira Machado. E, no ano seguinte, cria-se na instituição o “serviço liceal extraordinário” que correspondia a um nível de ensino pré-universitário. Os alunos matriculados eram, no entanto, “maioritariamente filhos dos militares portugueses e dos altos funcionários da administração colonial” (Meneses, 2008, p. 37).

Não existiu, neste período, uma instituição de ensino superior na região. Em 1965, foram criadas bolsas de estudo destinadas aos estudantes timorenses para frequentarem o ensino superior em Portugal, Angola e Moçambique. No ano letivo de 1966/67, autorizou-se o funcionamento do 4º ano dos cursos de professores dos estudos gerais. O ingresso no ensino superior, era feito através de um exame de aptidões, que poderia ser realizado em Díli. No ano letivo de 1967/68, estima-se que o ensino primário era frequentado por cerca de 2500 alunos, o que representaria 25 % da população em idade escolar. O número de alunos matriculados no Liceu passou de 833 no ano letivo de 1966/67 para 1200 em 1972/73 (Meneses, 2008, p. 38). Em 1974, eram poucos os timorenses com formação superior: “Antes de 1970, apenas dois estudantes por ano frequentavam a universidade, e, em 1974, havia 34 alunos a

frequentá-la” (Meneses, 2008, p. 39). No final da colonização portuguesa, não mais de 10% da população podia ser considerada literata (Nicolai, 2004, p. 42).

Na segunda fase, de 1975 a 1999, implementou-se o sistema de ensino indonésio sendo o Bahasa a língua oficial do ensino e administração (Soares, 2011, p. 2). À semelhança do que aconteceu no período colonial português a educação desempenhou um papel importante na legitimação da presença da potência colonial. O objetivo do sistema de ensino era difundir uma ideologia baseada numa Indonésia única com uma história, crenças e valores partilhados, cujo objetivo seria assimilar as futuras gerações timorenses na sociedade Indonésia (Shah & Quinn, 2014, p. 6). No entanto e, ao contrário do que se verificou até 1975, o número de escolas primárias e secundárias aumentou consideravelmente até 1993. Em particular, em 1982, havia 22 escolas, 15 estaduais e 7 privadas, com 4332 estudantes liceais e 256 professores. Gradualmente, o número de escolas e de alunos matriculados no ensino secundário foi crescendo até 1999. Como, em 1976, eram escassos os professores timorenses a lecionar este nível de ensino recorreu-se ao recrutamento de professores indonésios que até 1999 formavam a esmagadora maioria do corpo docente. No ano letivo de 1998/99 apenas 3% dos 1963 professores do 3º ciclo do ensino básico eram timorenses (Meneses, 2008, p. 65).

A Escola Superior de Economia de Díli, fundada em 1980, foi a primeira instituição de Ensino Superior de Timor Leste. No ano seguinte, foram inauguradas outras escolas semelhantes noutras localidades (Meneses, 2008, p. 65).

Em outubro de 1986 estabeleceu-se a Universitas Timor Timur denominada UNTIM. Ainda assim, a UNTIM era tratada como uma instituição de ensino superior privada, destinada à formação de professores, gestores intermédios e técnicos agrícolas. Tinha quatro faculdades: agricultura; política social; educação; economia e gestão (Pinto, 2012, p. 21).

Seguindo o programa de desenvolvimento do governador da província fundou-se, em 1989, a Politeknik Díli (Universidade Nacional Timor Lorosa’e, sem data-b). Esta instituição de ensino contava, no início do seu funcionamento em 1991, com três departamentos: mecânica; engenharia civil e administração empresarial (Pinto, 2012).

No ano letivo 1998/99, a UNTIM contava com quatro mil estudantes e setenta e três professores e o Politeknik Díli com cem estudantes e mais de trinta professores. A percentagem de ingresso de estudantes timorenses era, no entanto, muito baixa quando comparada com a dos imigrantes indonésios. Dos professores dos níveis pré-secundário, secundário e universitário 98% não eram timorenses (Universidade Nacional Timor Lorosa'e, sem data-c).

Em 1999, as duas instituições de ensino superior existentes foram destruídas e saqueadas pela milícia pró-integração e por militares indonésios. Como consequência da situação política a maior parte dos professores abandonaram o país (Martins, 2010, p. 37).

A terceira fase ocorreu, entre 1999 e 2002, durante o período de administração transitória das Nações Unidas (UNTAET - United Nations Transitional Administration For East-Timor). Neste período assistiu-se à aniquilação praticamente completa do sistema educativo existente, com 90% das escolas a deixarem de funcionar e 80% dos professores não timorenses, de todos os níveis de ensino, a abandonarem o território. A situação só começou a regressar à normalidade em 2001 quando alguns professores voluntários iniciaram atividades letivas e colocaram algumas escolas em funcionamento (Ramos & Teles, 2012, p. 43).

Em novembro de 2000, por iniciativa de ex-docentes das duas instituições procedeu-se, e com o apoio da UNTAET, à fusão da UNTIM e da Politeknik Díli numa universidade pública, denominada Universidade Nacional Timor Lorosa'e – UNTL. Note-se, no entanto, que o estatuto legal da instituição foi, apenas, aprovado em 2010 (Jornal da República, Série I, N.º 41, 2010:4318 citado por Pinto, 2012, p. 23). No processo de integração, tanto o ensino técnico como o superior passaram a ser ministrados pela UNTL. Pretendia-se, desta forma, responder às necessidades do ensino superior em Timor Leste. No mesmo ano de 2000, a UNTAET, estabeleceu um programa de bolsas de estudo denominado Timor Lorosa'e Scholarship – TLSP, que ofereceu à maioria dos estudantes universitários do último semestre a possibilidade de continuarem os seus estudos na Indonésia (Pinto, 2012, p. 23).

A UNTL possuía, em 2000, cinco faculdades: Ciências das Educação (em novembro desse ano denominada Faculdade de Educação, Artes e Humanidades) com

oito departamentos - Biologia, Matemática, Física, Química, Língua Inglesa, Língua Portuguesa, Formação dos Professores de Ensino Primário e Jardim de Infância; Ciências Sociais e Políticas com três departamentos - Estudos de Políticas de Governo, Administração Pública e Desenvolvimento Comunitário; Agricultura com três departamentos - Agronomia, Agro-Economia, e Veterinária; Economia com dois departamentos - Gestão e Estudos de Desenvolvimento; Engenharia com quatro departamentos - Mecânica, Civil, Elétrica e Informática Um processo dinâmico que levou, nos anos seguintes, ao aparecimento de novos departamentos e à mudança da Faculdade de Ciências da Educação para Faculdade de Educação, Artes e Humanidades (FEAH) (Universidade Nacional Timor Lorosa'e, sem data-c).

Na quarta fase, após 2002, enquanto país independente, procedeu-se à normalização do sistema de ensino em todo o território, estabelecendo-se, em particular, escolas primárias em quase todas as aldeias (Soares, 2011, p. 4). Em 2008, os principais problemas educativos com que Timor Leste se debatia, eram a carência de professores timorenses com formação pedagógica quer ao nível do ensino secundário quer com formação ao nível da pós-graduação (Meneses, 2008, p. 3).

No ano de 2004, graduaram-se os primeiros 300 estudantes da UNTL. No ano seguinte, o número de faculdades voltaria a aumentar com a fundação das faculdades de Medicina e Direito. Essas faculdades foram destinadas ao ensino superior geral das ciências oferecendo habilitações profissionais para a direção superior dos estabelecimentos do governo e a sociedade (Pinto, 2012, p. 28).

No ano de 2007, teve lugar a segunda graduação, tendo terminado os seus cursos 1065 alunos. A partir desse ano, foram oferecidos os primeiros cursos de Pós-Graduação "lato senso" em Timor Leste na FEAH, por iniciativa da UNTL e da cooperação Brasileira, no âmbito do "Programa de Capacitação de Docentes e Ensino da Língua Portuguesa", que assentava na cooperação entre CAPES/MEC – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Ministério da Educação, Ministério de Educação e Cultura de Timor Leste e a UNTL. Organizaram-se, então, cursos de Ensino da Língua Portuguesa, Meio Ambiente e Gestão Escolar (Universidade Nacional Timor Lorosa'e, sem data-c).

Em 2009, iniciou-se um programa de Pós-graduação de mestrado na área de avaliação, na faculdade de Ciência da Educação, pela Universidade do Minho – Portugal e o MEC/UNTL. Quando se fundou, a UNTL contava com cerca de 5.000 estudantes. No ano letivo de 2007/08 o número de alunos atingiu os 8.000. Tendo, no ano seguinte, sido admitidos mais 7.504 (Martins, 2010, p. 43).

3. A licenciatura em Ciências Exatas da UNTL

Em 2015, a UNTL criou, com o apoio da Universidade de Aveiro (UA), a Faculdade de Ciências Exatas (FCE). Pretendia-se, desta forma, disseminar e promover as Ciências Exatas no ensino superior timorense (Universidade Nacional Timor Lorosa'e, sem data-a). A UA foi responsável pela identificação das infraestruturas e dos equipamentos necessários à criação da faculdade, pela elaboração, em parceria com professores timorenses, do currículo do seu curso inaugural, pela lecionação de parte das unidades curriculares nos primeiros anos, e pela formação, numa primeira fase na UA, do corpo docente da faculdade (Universidade Nacional Timor Lorosa'e, 2015).

A Licenciatura em Ciências Exatas (LCE) permite habilitações em Matemática, Química e Física. Pretende-se, como referido no Dossiê de Curso, que os licenciados com habilitação em Física possuam uma boa formação base em física e matemática e competências sólidas na resolução computacional de problemas. Procura-se com este curso mitigar a escassez de mão de obra local qualificada requerida pelo Plano Estratégico de Desenvolvimento – PED, na áreas da indústria e da investigação científica (Universidade Nacional Timor Lorosa'e, sem data-a).

A LCE tem uma duração de 10 semestres distribuídos ao longo de 5 anos durante os quais são obtidos 300 créditos ECTS (Matemática: 67, Física 65, Química: 66, Informática: 16, Língua Portuguesa: 16, Língua Tétum: 4, Língua Inglesa: 16, Direto: 4, Projeto: 14, Menores: 16, especialização: 16). A área científica dos 16 créditos de especialização depende da habilitação pretendida pelo estudante. Para a habilitação em Física é, em particular, obrigatória a frequência das unidades curriculares de *Física dos Materiais* e *Física Médica* de 8 ECTS cada que são lecionadas no semestre IX da licenciatura (ver anexo II) (Universidade Nacional Timor Lorosa'e, 2015).

4. A importância das Atividades Laboratoriais no Ensino e Aprendizagem

De acordo com Bonito (1996, citado por Santos, 2015, p. 14), “as atividades práticas são entendidas como um método muito importante no processo de ensino e aprendizagem das ciências, traduzidas em distintas e diversificadas ações, realizadas no espaço da sala de aula, laboratório ou exterior à escola, implicando sempre que o aluno seja um sujeito ativo no próprio processo de aprendizagem.”

As designações trabalho prático, trabalho laboratorial e trabalho experimental são muitas vezes utilizadas de forma indiferenciada, atribuindo-se-lhes significados idênticos (Moreira, 2014, p. 15). O trabalho laboratorial ou atividade laboratorial refere-se às atividades desenvolvidas por norma num laboratório, que pressupõem a utilização de materiais de laboratório, mais ou menos convencionais (Leite, 2000, p. 1). O trabalho laboratorial é considerado experimental, quando é necessário o controlo e manipulação de variáveis.

As atividades laboratoriais apresentam-se assim, como um dos recursos didáticos à disposição dos professores no ensino das ciências, podendo haver um maior ou menos envolvimento dos alunos na sua realização (Dourado, 2001, pp. 13–18).

Diferentes autores têm proposto como razões a favor da utilização do trabalho laboratorial (experimental ou não experimental) no ensino das Ciências:

- i. O reforço da aprendizagem de conhecimento conceptual;
- ii. A motivação dos alunos;
- iii. As capacidades adquiridas dos procedimentos laboratoriais e da metodologia científica.

O trabalho laboratorial desenvolve igualmente atitudes científicas (Melo, 2007, pp. 18–19, e autores aí citados). Silva (1999, citado por Melo, 2007, pp. 19–20) acrescenta, a cada um dos argumentos acima indicados os seguintes cuidados a ter em conta:

- i. O trabalho prático pode aumentar a confusão em vez de tornar os conhecimentos mais claros e compreensíveis, além de não ser a melhor ferramenta para ensinar conteúdos teóricos mais abstratos;
- ii. Nem todos os alunos consideram o trabalho prático interessante ou motivador, sobretudo se desconhecem os objetivos que o mesmo pretende atingir recordando, por vezes, acontecimentos secundários irrelevantes, em vez dos aspetos principais;
- iii. O trabalho prático desenvolve as capacidades de manipulação dos instrumentos e das técnicas de medição, mas não está comprovado que as competências práticas adquiridas na aprendizagem das Ciências sejam generalizáveis a outros contextos.

A implementação das atividades laboratoriais deve, então, ser repensada, redefinida e orientada (Hodson, 1994, pp. 300–310 citado por Moreira, 2014) por forma a permitir simultaneamente, “Aprender Ciência”, adquirindo e desenvolvendo conhecimentos teóricos e conceptuais, “Aprender sobre Ciência”, desenvolvendo conhecimentos sobre a natureza e os métodos usados em ciência e a interação ciência, tecnologia, sociedade e ambiente e “Fazer Ciência”, desenvolvendo conhecimentos sobre a investigação científica e a resolução de problemas.

5. Unidade Curricular Elementos de Física

Esta unidade curricular (UC) do semestre ímpar do segundo ano tem 6 créditos ECTS o que representa 75 horas de contacto distribuídas ao longo de 15 semanas (Universidade Nacional Timor Lorosa'e, 2015). Após uma análise do plano curricular da LCE concluiu-se que esta é uma das quatro das dez unidades curriculares de área científica da Física que não possuem componente laboratorial. As outras são *Introdução aos Conceitos de Física*; *Física dos Materiais* e *Física Médica*. Verificou-se, no entanto, que os trabalhos laboratoriais da UC *Introdução aos Conceitos de Física* são explorados na UC *Laboratório de Física*. Uma situação excecional no plano curricular do curso.

Tendo em conta os conteúdos específicos de *Elementos de Física*,

- Radioatividade e Física de Partículas
- Hidrostática
- Hidrodinâmica
- Emissão e absorção de radiação
- Introdução à Teoria da Relatividade

concluímos que a maioria destes não têm qualquer correspondência laboratorial durante a licenciatura (ver Tabela no anexo III) o que nos parece uma menos valia tendo em conta que, como vimos, a realização de atividades práticas são importantes no ensino das ciências.

Com o propósito de colmatar esta lacuna pesquisaram-se artigos, em particular, nas revistas *"The Physics Teacher"* e *"Revista Brasileira de Ensino de Física"*, por forma a encontrar experiências relevantes e que requeressem, se possível, recursos materiais de custo reduzido. Isto permitiu-nos implementar atividades laboratoriais que exploram conceitos de hidrostática, hidrodinâmica e de emissão e absorção de radiação. Não são propostas atividades laboratoriais referentes aos conteúdos de Radioatividade e Física de Partículas, devido à necessidade de recursos materiais muito específicos; e de Introdução à Teoria da Relatividade por esta ser uma temática de carácter eminentemente teórico.

6. Atividades Experimentais Propostas

Como vimos as atividades experimentais propostas para a UC *Elementos de Física* encontram-se organizadas em quatro áreas temáticas. Apresentam-se, primeiro, três atividades experimentais de hidrostática e hidrodinâmica que mobilizam conhecimentos do princípio de Arquimedes, pressão atmosférica, equação de Bernoulli, equação de continuidade, coeficiente de viscosidade, densidade do líquido e impulsão. Posteriormente, planificaram-se para os temas específicos de emissão e absorção de radiação, duas atividades práticas nas quais se abordam os conceitos de conservação de energia, densidade de fluxo energético, lei de Stefan-Boltzmann e radiação térmica. Os guiões das atividades propostas encontram-se no Anexo I.

6.1 Conteúdos de Hidrostática - Lei de Arquimedes

Introdução

A Lei de Hooke estabelece uma relação de proporcionalidade entre a força, \vec{F} , exercida e o alongamento de uma mola, $x = L - L_0$, (Figura 6.1):

$$F\hat{i} = -kx\hat{i} \quad (6.1)$$

em que k é a constante elástica da mola, e x é positivo quando a mola aumenta o seu comprimento. Quando a massa, m , de um corpo está suspenso no ar (Figura 6.1a), a mola estende-se até que a força elástica da mola, \vec{F} , e o peso, \vec{P} , se anulam,

$$\vec{F} + \vec{P} = \vec{0} \quad (6.2)$$

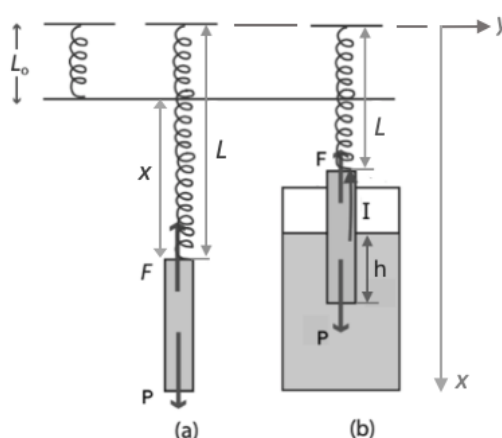


Figura 6.1. Representação das forças que atuam no corpo suspenso da mola quando este se encontra a) suspenso no ar e, b) imerso num líquido.

Ao mergulhar um corpo num fluido exerce-se sobre este uma força adicional a impulsão, \vec{I} , de direção vertical, sentido de baixo para cima e, segundo o princípio de Arquimedes, de intensidade igual ao peso do líquido deslocado pelo corpo (Figura 6.1b).

A intensidade da força de impulsão, $|\vec{I}|$, exercida sobre o corpo é assim, igual ao produto do volume do corpo imerso, V_i , pela densidade do líquido, ρ_l , e pela aceleração gravítica, g , isto é

$$|\vec{I}| = \rho_l V_i g \quad (6.3)$$

Para um sistema em equilíbrio (Figura 6.1b) a soma das forças é nula,

$$\vec{F} + \vec{P} + \vec{I} = \vec{0} \quad (6.4)$$

e, neste caso,

$$-kx + m_c g - \rho_l V_i g = 0 \quad (6.5)$$

Nesta experiência mergulha-se parcialmente um cilindro de raio, r , no líquido. O volume imerso é dado por

$$V_i = \pi r^2 h \quad (6.6)$$

em que h é a altura da parte imerso do cilindro. Sendo assim, podemos escrever a equação (6.5) como:

$$x = -\frac{\rho_l g \pi r^2}{k} h + \frac{m_c g}{k} \quad (6.7)$$

Objetivo do trabalho

Pretende-se:

- Verificar experimentalmente o Princípio de Arquimedes através do estudo da elongação de uma mola em função do volume imerso de um cilindro;
- Determinar a constante elástica da mola.

Material experimental

Balança de Jolly, paquímetro, água, copo, régua, balança, fita métrica e um corpo cilíndrico de alumínio graduado.

Procedimentos experimental

- Mediu-se o comprimento, L_o , da mola sem deformação.

- b. Mediu-se com a balança a massa, m_c , do cilindro de alumínio.
- c. Mediu-se o diâmetro, D , do cilindro de alumínio com o paquímetro.
- d. Colocou-se o cilindro na balança de Jolly.
- e. Mediu-se o comprimento da mola, L , com o corpo suspenso no ar.
- f. Encheu-se o copo de vidro com água.
- g. Mergulhou-se 1,0 cm da altura do cilindro no líquido e mediu-se o novo comprimento da mola, L .
- h. Aumentou-se a altura imersa, h , em 1,0 cm e mediu-se, de novo, o comprimento da mola, L .
- i. Repetiu-se a alínea anterior mais 6 vezes.
- j. Mediu-se novamente o comprimento, L_0 , da mola sem deformação.

Resultados obtidos

O comprimento de mola, $L_0 = 12,8 \pm 0,1$ cm, não se alterou entre o início e o fim da experiência. O cilindro de alumínio tinha uma massa, m_c , de $119,53 \pm 0,66$ g e um diâmetro, D , de $22,00 \pm 0,05$ mm. A mola com o corpo suspenso no ar tinha um comprimento, L , de $43,1 \pm 0,1$ cm. Na Tabela 6.1 apresentam-se os outros valores medidos.

$h \pm 0,1$ (cm)	$L \pm 0,1$ (cm)	$x \pm 0,2$ (cm)
1,0	42,1	29,3
2,0	41,3	28,5
3,0	40,2	27,4
4,0	39,2	26,4
5,0	38,4	25,6
6,0	37,2	24,4
7,0	36,4	23,6
8,0	35,5	22,7

Tabela 6.1. Valores da altura, h , comprimento da mola, L , e da elongação da mola, x .

O alongamento da mola, x , é calculado pela expressão

$$x = L - L_0 \quad (6.8)$$

e o seu erro associado pelo limite superior do erro

$$\Delta x = \Delta L + \Delta L_0 \quad (6.9)$$

Análise de dados

Tendo em conta a equação (6.7), verificamos que teoricamente se espera uma reta de declive $m = -\frac{\rho_l g \pi r^2}{k}$, e ordenada na origem $b = \frac{m_c g}{k}$.

Utilizando o método dos mínimos desvios quadrados obteve-se a equação

$$y = (-0,96 \pm 0,015)x + (30,00 \pm 0,075) \text{ cm}$$

com um coeficiente de correlação, r^2 de 0,9969. Na Figura 6.2 apresenta-se o gráfico da elongação em função da altura imersa bem como a reta anterior.

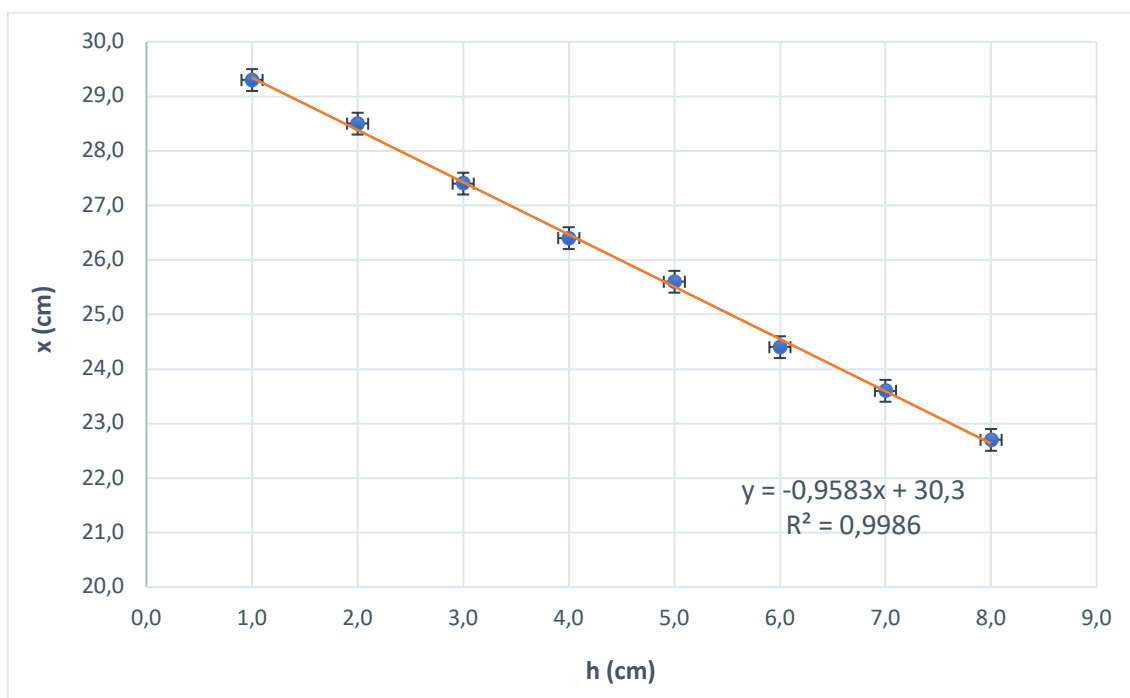


Figura 6.2. Elongamento da mola, x , em função da altura, h , imersa do cilindro. Os erros experimentais associados a cada ponto não são visíveis neste gráfico.

A constante elástica da mola, k , pode ser determinada a partir do valor do declive pela equação:

$$k = -\frac{\rho_l g \pi D^2}{4m} = 3,95 \text{ N/m}.$$

Considerando que a massa volúmica, ρ , da água à temperatura de 23,5 °C tem um valor de $997 \pm 1 \text{ kg.m}^{-3}$ calculou-se a sua incerteza, Δk , pelo limite superior do erro:

$$\Delta k = |k| \left(\left| \frac{\Delta \rho_l}{\rho_l} \right| + \left| 2 \frac{\Delta D}{D} \right| + \left| \frac{\Delta g}{g} \right| + \left| \frac{\Delta m}{m} \right| \right) \quad (6.10)$$

$$\Delta k = |3,95| \left(\left| \frac{1}{997} \right| + \left| 2 \frac{0,05}{22} \right| + \left| \frac{0,1}{9,8} \right| + \left| \frac{0,0245}{-1,0762} \right| \right)$$

$$= |3,95| (|0,001| + |0,0045| + |0,01| + |0,0227|) = 0,11 \text{ N/m}$$

Verifica-se que a maior contribuição para o erro da constante elástica da mola se deve à incerteza do declive (2,27%). O erro relativo total é,

$$\left| \frac{\Delta k}{k} \right| \times 100 (\%) = 2,8\% < 10\%.$$

Vamos, nestas análises assumir, arbitrariamente e visto ser este um valor típico utilizado nas aulas práticas dos primeiros anos de cursos universitários, que um valor é preciso se o seu erro relativo for inferior a 10%.

Pode-se, também, determinar a constante elástica da mola, k , a partir do seu alongamento quando o corpo se encontra suspenso no ar. Substituindo os valores correspondentes na equação (6.5), com $h = 0$, obtém-se $k = (3,866 \pm 0,041) \text{ N/m}$. Um valor igualmente preciso (1,1 %).

Discussão e Conclusão

Comparando os dois valores da constante elástica da mola verifica-se que, este valor está de acordo com o obtido com o cilindro imerso no líquido, que estes valores são exatos. Verificou-se, ainda, que os valores da ordenada na origem são precisos e exatos. A experiência decorreu conforme se esperava.

Referências

- [1] Serway A. Raymond., & Jewett, jr. W. J. *Physics for Scientist and Engineers with Modern Physics*, 10 Edition. University of Southern California (2014).
- [2] Struganova, I. “A Spring, Hooke’s Law, and Archimedes’ Principle”, *The Physics Teacher*, 43 (8), (2005): 516-518.
- [3] Galloni, E. E. & Kohen M. *Influence of the mass of the spring on its static and dynamic effects*, *American Journal of Physics Volume*, 47 (2), (1979): 1076-1078.

6.2 Conteúdos de Hidrodinâmica

6.2.1 Determinar o Coeficiente de Viscosidade de um líquido

Introdução

A viscosidade é uma força de atrito interno que aparece no deslizamento de camadas do fluido umas sobre as outras, dando origem a tensões tangenciais. Como resultado deste deslizamento, surge uma força dirigida em sentido oposto ao da velocidade do movimento.

Na Figura 6.3 encontram-se representadas as três forças que atuam num corpo libertado dentro de um líquido, a força gravítica, \vec{P} , a impulsão, \vec{I} , e a força de atrito, \vec{F}_{atrito} , devido ao atrito.

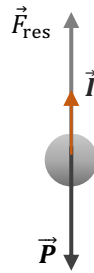


Figura 6.3. Forças que atuam numa esfera em queda num líquido.

Logo,

$$\vec{P} + \vec{F}_{atrito} + \vec{I} = m_c \vec{a} \quad (6.11)$$

em que \vec{a} é a aceleração do corpo e m_c a sua massa. Quando o corpo se desloca através de um fluido com velocidade relativamente baixa, a força de atrito é aproximadamente proporcional à velocidade, \vec{v} , isto é,

$$\vec{F}_{atrito} = -k\eta\vec{v} \quad (6.12)$$

em que a constante de proporcionalidade, k , depende da forma do corpo e η é o coeficiente de viscosidade do fluido. Para uma esfera de raio D , $k = 3\pi D$. Como o movimento é retilíneo podemos escrever a equação (6.11) da seguinte forma,

$$m_c g - k\eta v - I = m_c \frac{dv}{dt} \quad (6.13)$$

onde g é a aceleração gravítica e v é a velocidade do corpo. Se, para simplificar, definirmos $F = m_c g - I$, a equação anterior pode escrever-se como:

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{k\eta}{m_c} \left(v - \frac{F}{k\eta} \right) \quad (6.14)$$

Separando-se as variáveis e integrando a equação (6.14) obtemos a equação da velocidade em função do tempo, t ,

$$\begin{aligned} \int_{v_0}^v \frac{dv}{v - F/k\eta} &= -\frac{k\eta}{m_c} \int_{t_0}^t dt \\ \ln \left(v - \frac{F}{k\eta} \right) - \ln \left(v_0 - \frac{F}{k\eta} \right) &= -\frac{k\eta t}{m_c} \\ v &= \frac{F}{k\eta} + \left(v_0 - \frac{F}{k\eta} \right) e^{-\frac{k\eta t}{m_c}} \end{aligned}$$

Se o corpo parte do repouso, $v_0 = 0$, a equação anterior simplifica-se para:

$$v = \frac{F}{k\eta} \left(1 - e^{-\frac{k\eta t}{m_c}} \right). \quad (6.15)$$

Verifica-se, assim, que a velocidade do corpo tende assintoticamente para um valor, a velocidade limite, v_l , dada por:

$$v_l = \frac{F}{k\eta} = \frac{(\rho_{esf} - \rho_{liq}) D^2 g}{18\eta} \quad (6.16)$$

em que D é o diâmetro das esferas, e ρ_{esf} e ρ_l são a massa volúmica da esfera e do líquido, respetivamente. A expressão anterior pode ser obtida assumindo que a força resultante sobre a esfera é nula.

A Figura 6.4 representa a variação da velocidade de queda, v , dentro de glicerina, de esferas de aço de diferentes diâmetros em função do tempo, t . Verifica-se que após alguns centésimos de segundo a velocidade das esferas é praticamente constante.

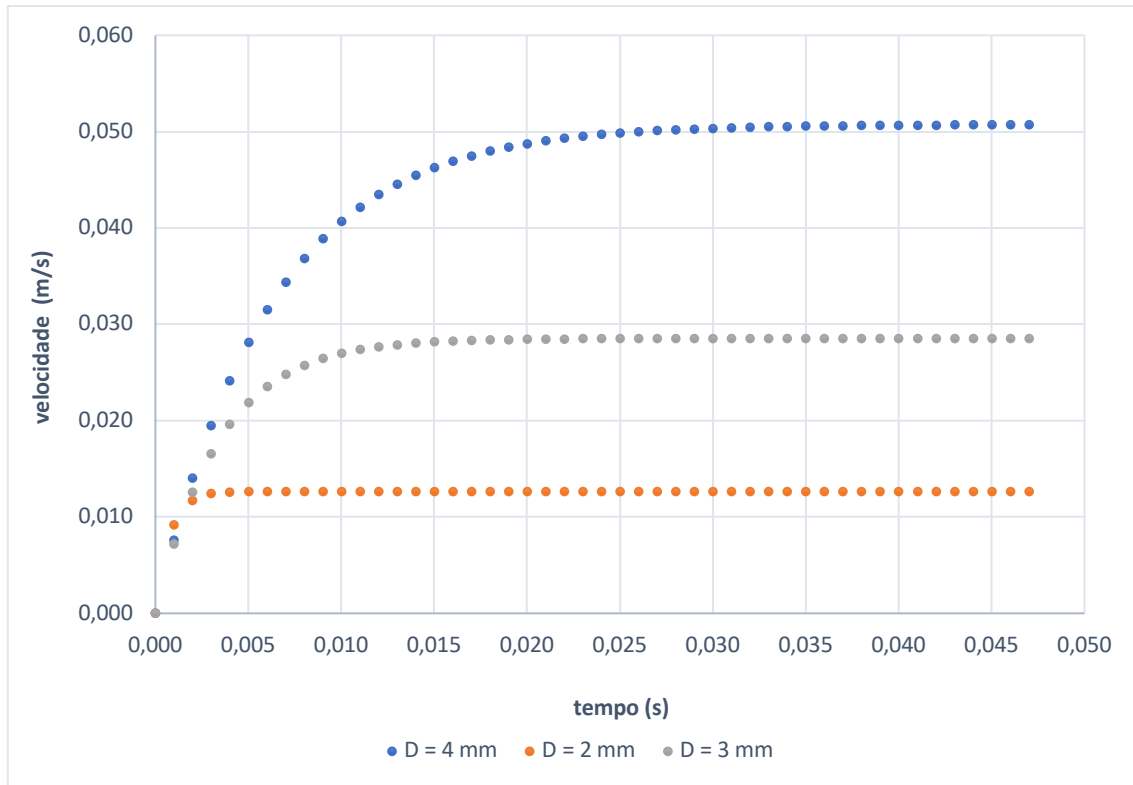


Figura 6.4. Velocidade, v , em função do tempo, t , para esferas de diferentes diâmetros.

O tempo, t_1 , para o qual a esfera atinge uma velocidade suficientemente próxima da velocidade limite pode ser calculado a partir da equação (6.15). Por exemplo, se quisermos uma velocidade igual a 99,9% da velocidade limite para a esfera de maior diâmetro, 4,0 mm, obtemos $t_1 = 0,0426$ s. Integrando a equação (6.15):

$$\int dy = \int v_y dy = \int \frac{F}{k\eta} \left(1 - e^{-\left(\frac{k\eta t}{m_c}\right)} \right) dt = \frac{F}{k\eta} \left(1 - \frac{e^{-\left(\frac{k\eta t}{m_c}\right)}}{\frac{k\eta}{m_c}} \right) \quad (6.17)$$

calcula-se que o espaço, L , percorrido nesse intervalo de tempo é 2 mm. Isto é, na prática, pode determinar-se a velocidade limite assumindo que a partir de certa altura o corpo se desloca com movimento retilíneo uniforme,

$$v_l = \frac{s}{t} \quad (6.18)$$

em que s é a distância percorrida no tempo t . No dispositivo experimental utilizado é, por isso, suficiente marcar o comprimento s uns centímetros abaixo do nível do fluido onde são largadas as esferas.

Objetivo do trabalho

Neste trabalho pretende-se determinar o coeficiente de viscosidade da glicerina.

Material experimental

Glicerina, cronómetro, micrómetro, fita métrica, marcador, pinça de plástico, tubo de vidro, termómetro digital, balança digital e esferas de aço de 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 e 4,0 mm de diâmetro.

Procedimento experimental

- a. Seleccionaram-se 5 esferas de cada diâmetro, D .
- b. Confirmou-se o diâmetro das esferas com o micrómetro.
- c. Utilizando a balança mediu-se a massa de um número conveniente de esferas de 4,0 mm de diâmetro para determinar a massa volúmica do aço.
- d. Encheu-se o tubo de vidro com glicerina
- e. Mediu-se a temperatura da glicerina com o termómetro digital.
- f. Largou-se uma esfera de maior diâmetro na zona central do tubo, junto à superfície, mas no interior do fluido. Estimou-se com a fita métrica a que distância, L , da superfície do fluido se pode considerar que a esfera cai com velocidade constante.
- g. Marcou-se com a fita métrica no tubo a distância, s , onde a velocidade da esfera é aproximadamente constante.
- h. Para 5 esferas idênticas mediu-se, utilizando o cronómetro, o tempo, t , que estas demoram a percorrer a distância s .
- i. Repetiu-se o procedimento para as outras esferas de diferentes diâmetros.

Resultados obtidos

A experiência realizou-se numa sala que se encontrava a temperatura de $23,5 \pm 0,5$ °C. Obteve-se para a massa de 5 esferas de 4,00 mm de diâmetro um valor médio de $1,27 \pm 0,01$ g. O tempo de reação estimado do observador foi de 0,15 s. Na Tabela 6.2 apresentam-se os restantes valores medidos.

$D \pm 0,05 \text{ (mm)}$	$s \pm 0,2 \text{ (cm)}$	$t \pm 0,15 \text{ (s)}$					$t_m \text{ (s)}$	$\Delta t \text{ (s)}$
		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5		
4,00	30,0	5,87	5,88	5,84	5,67	5,83	5,82	0,15
3,50		7,18	7,18	7,40	7,24	7,21	7,24	0,16
3,00		9,30	9,80	9,52	9,87	9,33	9,56	0,31
2,50		13,74	13,86	13,82	13,71	13,12	13,65	0,53
2,00		20,80	20,36	20,27	20,38	20,39	20,44	0,36
1,50		36,14	36,35	36,26	36,18	36,22	36,23	0,12

Tabela 6.2. Tempo de queda, t_i , que a esfera de diâmetro, D , demora a percorrer a distância, s . Apresentam-se, ainda, os valores calculados do tempo médio, t_m , e respetivo erro associado, Δt .

O erro, Δt , associado ao tempo médio foi calculado pela expressão

$$\Delta \bar{t} = \max |t_i - \bar{t}_m|_{i=1 \dots n} \quad (6.19)$$

Análise dos Resultados

Determinou-se a massa volúmica do aço, ρ , a partir da expressão:

$$\rho = \frac{m_1}{V} = \frac{6m_1}{\pi D^3} \quad (6.20)$$

em que m_1 é a massa de uma esfera e V e D são o seu volume e diâmetro, respetivamente. A incerteza associada, $\Delta \rho$, calculada pelo limite superior do erro é dada por

$$\Delta \rho = |\rho| \left(\left| \frac{\Delta m_1}{m_1} \right| + \left| 3 \frac{\Delta D}{D} \right| \right) \quad (6.21)$$

A necessidade de obter um valor preciso para a massa volúmica das esferas implicou que se optou por medir a massa total, m_t , de um número suficientemente grande, n , de esferas de diâmetros idênticos. Sendo a massa de uma esfera, m_1 , dada por

$$m_1 = \frac{m_t}{n} \quad (6.22)$$

e a sua incerteza associada, Δm_1 , calculada pelo limite superior do erro igual a

$$\frac{\Delta m_1}{m_1} = \frac{\Delta m_t}{m_t}. \quad (6.23)$$

Verifica-se que se a medição da massa total, m_t , for precisa a determinação da massa de uma esfera, m_1 , também o será. A medição da massa de 5 esferas foi suficiente para os propósitos deste trabalho (Tabela 6.3).

Grandeza	Valor	Erro relativo
$m_t \pm \Delta m_t$ (g)	$1,27 \pm 0,01$	0,8 %
$m_1 \pm \Delta m_1$ (kg)	$(254 \pm 2) \times 10^{-6}$	0,8 %

Tabela 6.3. Massa de uma, m_1 , e cinco, m_t , esferas de 4,00 mm de diâmetro.

Obteve-se para a massa volúmica do aço, ρ , o valor de $(7,58 \pm 0,34) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. O que corresponde a um erro relativo de 4,5%. Pretende-se, agora, construir um gráfico linearizado, no qual a relação entre duas funções das variáveis medidas é uma reta. Se definirmos as variáveis $x = D^2$ e $y = v_l$, a equação (6.16) escreve-se como:

$$y = mx \quad (6.24)$$

em que, $m = \frac{(\rho_{esf} - \rho_{liq})g}{18\eta}$ e $b = 0$. Na Tabela 6.4 apresentam-se os valores da velocidade limite, v_l , estimados a partir da equação (6.18), e a sua incerteza associada, Δv_l , calculada pelo limite superior do erro:

$$\Delta v_l = |v_l| \left(\left| \frac{\Delta s}{s} \right| + \left| \frac{\Delta t}{t_m} \right| \right) \quad (6.25)$$

onde s é a distância que a esfera percorre com velocidade aproximadamente constante, e t_m é o tempo médio.

$D \pm 0,05$ (mm)	D^2 (mm ²)	ΔD^2 (mm ²)	v_l (m/s)	Δv_l (m/s)
4,00	16,00	0,03	0,0516	0,0005
3,50	12,25	0,03	0,0414	0,0012
3,00	9,00	0,03	0,0314	0,0004
2,50	6,25	0,04	0,0219	0,0004
2,00	4,00	0,05	0,0147	0,0002
1,50	2,25	0,07	0,008280	0,000006

Tabela 6.4. Resultados obtidos da velocidade limite, v_l , em função de diâmetro quadrado das esferas, D^2 .

Tendo em conta a linearização escolhida determinou-se, assumindo que a ordenada na origem é nula, o declive, m , da reta que melhor aproxima os pontos experimentais utilizando o método dos mínimos desvios quadrados (MMDQ):

$$y = (3343 \pm 64)x \text{ m/s}$$

com o coeficiente de correlação, r^2 de 0,99331 (Figura 6.5). O erro do declive, Δm , calcula-se a partir da seguinte equação:

$$\Delta m = \frac{\Delta y}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i)^2}} \quad (6.26)$$

em que

$$\Delta y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i)^2 - m^2 \sum_{i=1}^n (x_i)^2}{n - 2}}$$

e onde $y_i = v_i$, $x_i = D_i$ e n é o número de esferas de um dado diâmetro, D_i .

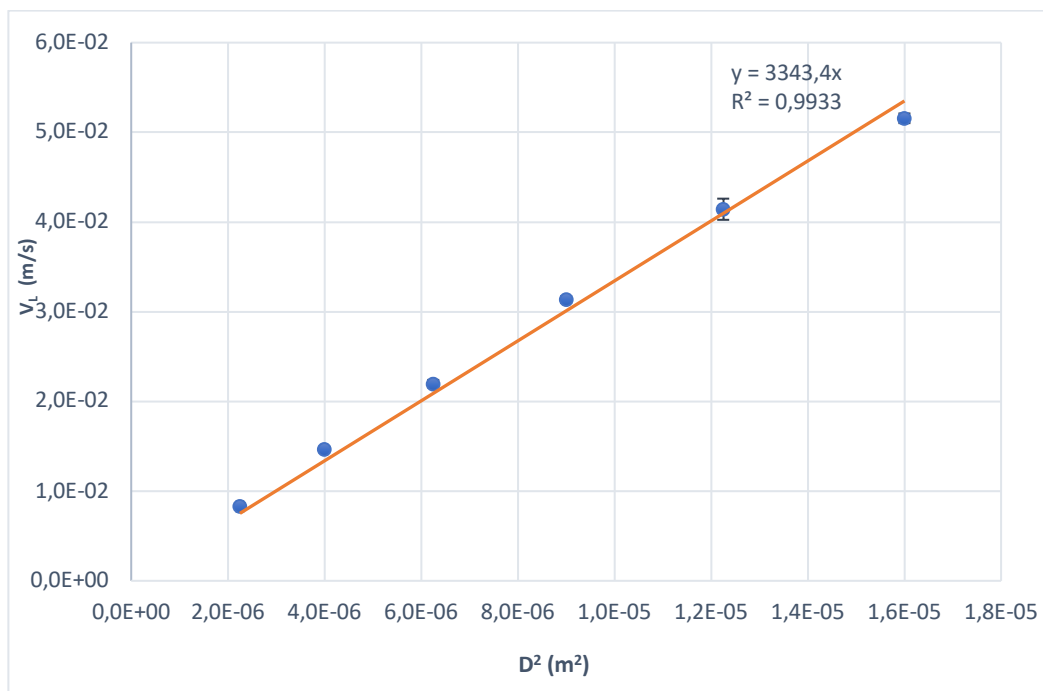


Figura 6.5. Velocidade limite, v_L , em função do diâmetro da esfera ao quadrado, D^2 . Note-se que as barras de erro dos pontos experimentais estão representadas no gráfico, embora algumas não sejam visíveis.

Verifica-se, no entanto, que 5 dos 6 pontos experimentais se encontram acima da reta. Resolveu-se, por isso, encontrar, pelo MMDQ, os parâmetros da reta $y = mx + b$. Obteve-se

$$y = (3162 \pm 76)x + (0,00200 \pm 0,00064) \text{ m/s}$$

com um coeficiente de correlação, r^2 de 0,9977 (Figura 6.6). Os erros dos parâmetros da reta, Δm e Δb , foram calculados a partir das equações habituais:

$$\Delta m = |m| \sqrt{\frac{1}{r^2} - 1} \text{ e } \Delta b = \Delta m \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}} \quad (6.27)$$

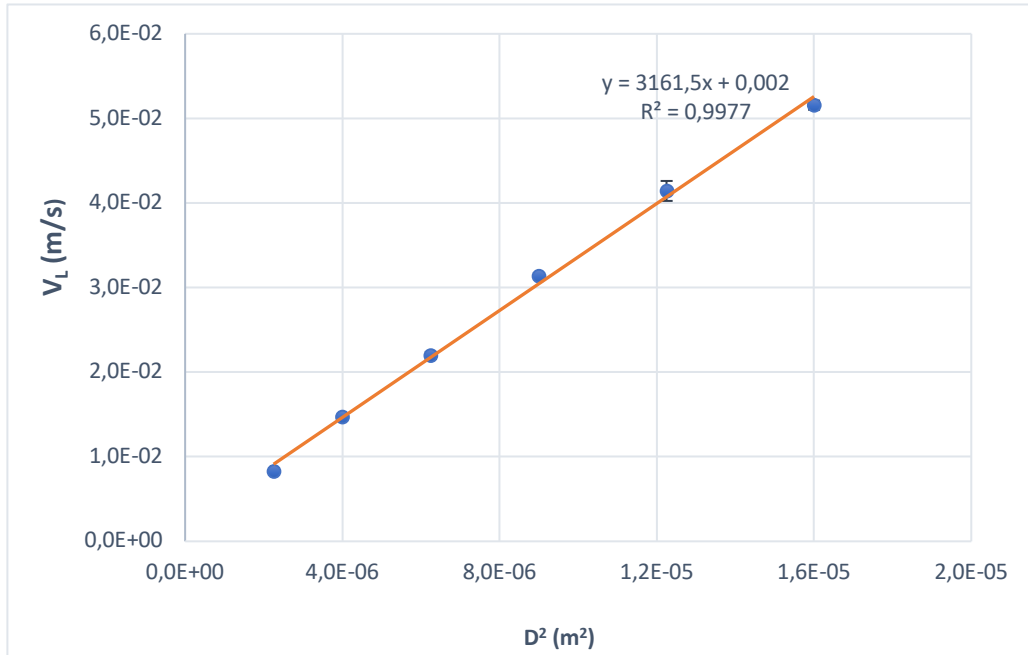


Figura 6.6. Dependência de velocidade limite, v_L , com o quadrado do diâmetro das esferas, D^2 .

Verifica-se, conforme se esperava, que o valor zero para a ordenada na origem é diferente de zero o que pode indicar a existência de erros sistemáticos. Utilizando-se o declive da reta, m , calcula-se o coeficiente de viscosidade, η , através da expressão:

$$\eta = \frac{(\rho_{esf} - \rho_l) g}{18m} = 1,09 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \text{s}^{-1} \quad (6.28)$$

em que a massa volúmica, ρ , do líquido tem valor de $(1,23 \pm 0,01) \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. A incerteza do coeficiente viscosidade, $\Delta\eta$, é determinada pelo limite superior do erro:

$$\Delta\eta = |\eta| \left(\left| \frac{\Delta\rho_{esf}}{\rho_{esf} - \rho_l} \right| + \left| \frac{\Delta\rho_l}{\rho_{esf} - \rho_l} \right| + \left| \frac{\Delta g}{g} \right| + \left| \frac{\Delta m}{m} \right| \right) \quad (6.29)$$

$$\Delta\eta = |1,09| \left(\left| \frac{340}{(7580 - 997)} \right| + \left| \frac{1}{(7580 - 997)} \right| + \left| \frac{0,1}{9,8} \right| + \left| \frac{76}{3161,5} \right| \right)$$

$$= |1,09| (|0,0516| + |0,00015| + |0,01| + |0,024|)$$

$$= 0,09 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \text{s}^{-1}$$

O coeficiente de viscosidade tem uma incerteza relativa de 8,2% resultando esta essencialmente dos erros associados à determinação da massa volúmica do aço e do declive.

Discussão e conclusão

O coeficiente de viscosidade obtido tem o valor de $1,09 \pm 0,09 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ o que corresponde uma incerteza relativa de 8,2%, que consideramos, com o critério anteriormente definido, um valor preciso. Não foi possível verificar a exatidão do valor obtido por desconhecermos o coeficiente de viscosidade para a glicerina comercial utilizada. Este valor é, no entanto, da mesma ordem de grandeza do valor tabelado para a viscosidade da glicerina pura a 20 °C, $1,41 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Sabe-se, ainda, que a viscosidade diminui com a temperatura e que a experiência foi realizada a $23,5 \pm 0,5$ °C.

De futuro, de modo a diminuir os erros associados à experiência, propõem-se aumentar a distância, s , de modo a aumentar a distância que a esfera percorre dentro do líquido diminuindo, assim, os erros associados à medição do tempo. As esferas têm também de ser colocadas sempre na mesma posição inicial no tubo, para minorar o efeito das paredes, o que por vezes não aconteceu.

Referências

- [1] Alonso, M. e Finn, E. J. *Física: um curso universitário, vol. I Mecânica*, Edgard Blucher, 2 Edição, São Paulo (1972).
- [2] Guia experimental do trabalho n.º 3 de *Mecânica Clássica: Viscosidade de um Líquido*, Universidade de Aveiro, (2015).
- [3] T. S. Simões, M. A. Queirós, M. O. Simões., *Há Química Entre Nós.*, Porto Editora, 1ª edição, (2015). <http://www.fq.pt/tabelas/massa-volumica-da-agua>

6.2.2 Verificar a equação de Bernoulli

Introdução

A razão da intensidade da força normal, F , exercida por um fluido, sobre uma área, A , denomina-se pressão, P . A pressão atmosférica é a pressão exercida pela atmosfera sobre um corpo. O instrumento que mede a pressão atmosférica denomina-se barómetro. A pressão será uma pressão absoluta, P_{abs} ou uma pressão manométrica P_{man} . A pressão absoluta é a pressão real medida relativamente ao vácuo (pressão nula absoluta), e a pressão manométrica é diferença entre a pressão absoluta e a pressão atmosférica local, P_{atm} . As pressões absolutas são positivas, mas a pressão manométrica pode ser positiva (acima da pressão atmosférica) ou negativa (abaixo da pressão atmosférica) como indicado na Figura 6.7:

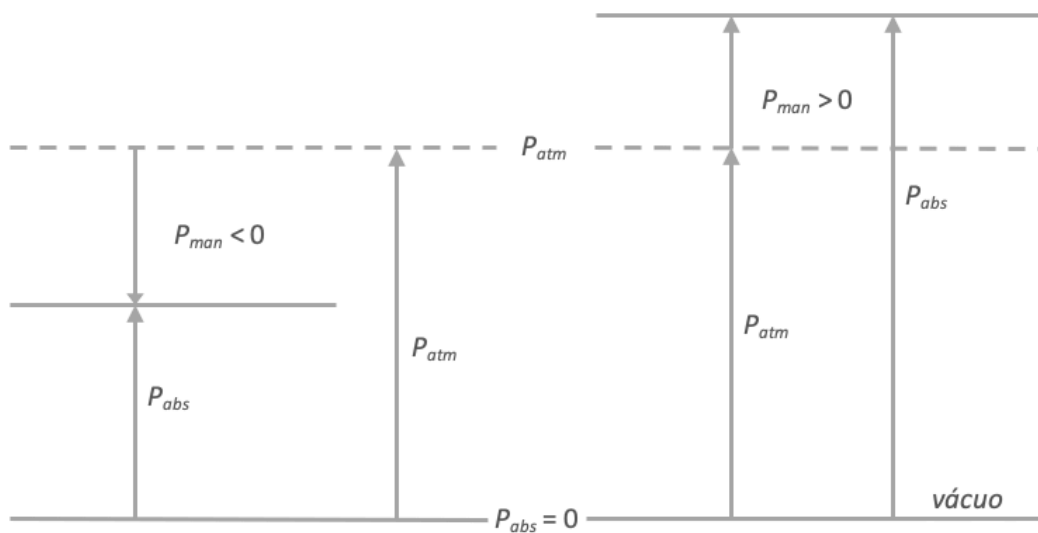


Figura 6.7. Representação de diferenças de pressão.

Consideremos agora o ponto 1 na superfície livre de um líquido (Figura 6.8a) em contacto com a atmosfera. A pressão, P_1 , é a P_{atm} , e a pressão P_2 , a uma profundidade h da superfície livre é dada pela expressão:

$$P_2 = P_1 + \rho gh = P_{atm} + \rho gh \quad (6.30)$$

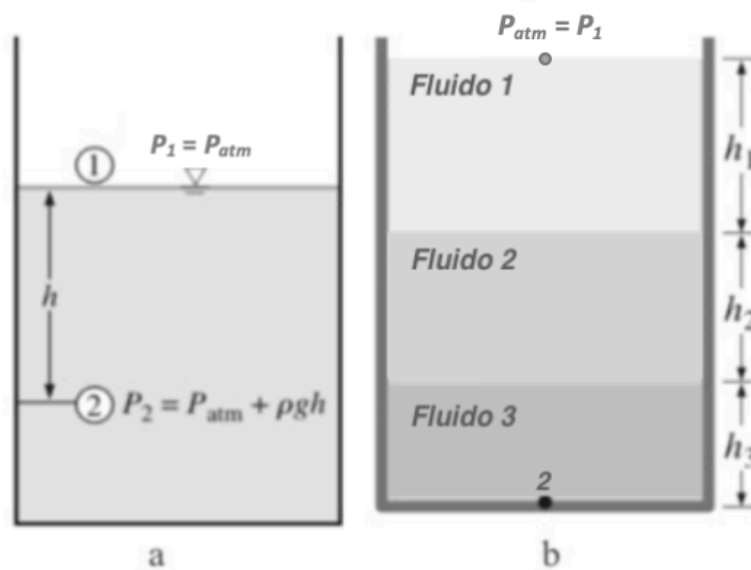


Figura 6.8. a. A pressão num líquido em repouso aumenta linearmente com a distância da superfície livre; b. Fluidos com diferentes densidades empilhados.

Na Figura 6.8b a pressão no ponto 2 do tanque pode ser determinada adicionando-se as pressões correspondentes aos vários fluidos, isto é:

$$P_2 = P_1 + \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 + \rho_3 g h_3 \quad (6.31)$$

onde P_{atm} é pressão atmosférica, g é aceleração gravidade e h_1 , h_2 e h_3 são as alturas das diferentes camadas dos fluidos. Nesta experiência utilizou-se uma garrafa de água perfurada na parte de lateral para determinar-se a velocidade, v_x , e alcance, A , da água que sai no orifício.

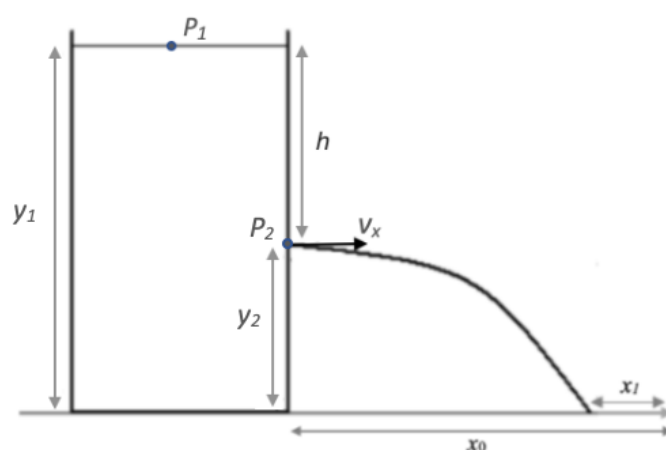


Figura 6.9. Escoamento da água através de uma abertura na garrafa.

A Figura 6.9 ilustra o que acontece quando é efetuado um orifício na parede de um recipiente cheio de água. Verifica-se que quanto mais baixo o orifício maior a

velocidade com que a água sai. A equação Bernoulli relaciona a pressão, P , velocidade, v e altura y em dois pontos de um fluido ideal em movimento

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2 \quad (6.32)$$

e permite-nos calcular a velocidade de água no orifício de saída, v_2 , assumindo que a velocidade do fluido no topo do recipiente, v_1 , é aproximadamente nula. Neste caso,

$$P_1 = P_2 = P_{atm} \quad (6.33)$$

e definindo $h = y_1 - y_2$ a equação (6.32) simplifica-se para

$$v_2 = \sqrt{2gh}. \quad (6.34)$$

Assumindo que a água se comporta como um projétil o alcance da água na Figura 6.9 é dada pela expressão

$$A = v_x \cdot t_{voo} \quad (6.35)$$

onde v_x é a velocidade horizontal de água no ponto de saída e t_{voo} o tempo de voo. Por outro lado, a posição vertical da partícula, y , ao longo do tempo é dada por:

$$y = h_0 - \frac{1}{2} g t^2 \quad (6.36)$$

com $h_0 = y_2$, isto é, a altura inicial, g a aceleração da gravidade e t o tempo. Considerando $y = 0$ quando a água atinge o solo obtém-se para o alcance

$$A = \sqrt{2gh} \cdot \sqrt{\frac{2h_0}{g}} = 2\sqrt{hh_0} \quad (6.37)$$

Objetivos do Trabalho

Este trabalho tem três objetivos:

- Verificar o aumento da pressão com o aumento da profundidade num líquido.
- Determinar o alcance de água em função da diferença de pressão.
- Comparar o alcance medido com o previsto.

Material experimental

Garrafa de água de 1,5 litros, água, régua, tabuleiro, prego ou alfinetes.

Procedimento experimental

- Encheu-se a garrafa até ao topo de água e fechou-se-a.
- Furou-se a parte lateral inferior da garrafa. Observou-se que a água inicialmente saía pelo orifício e posteriormente parava.
- Abriu-se a tampa da garrafa e observou-se que a o alcance atingido depende da diferença de alturas entre o orifício e a superfície livre do líquido.
- Repetiu-se a alínea a.
- Mediu-se a distância, x_0 entre a garrafa e a parede do tabuleiro (ver Figura 6.9).
- Mediu-se a altura da água da garrafa, y_1 , e a altura do orifício, y_2 .
- Mediu-se a distância, x_1 , entre o ponto de contacto com a superfície horizontal e o fim do recipiente.
- Repetiu-se as alíneas g e h outros 5 valores diferentes de y_1 .

Resultados obtidos

A altura do orifício, y_2 , tem o valor constante de $4,4 \pm 0,1$ cm. Os outros valores medidos são apresentados na Tabela 6.5.

$y_1 \pm 0,1$ (cm)	$x_0 \pm 0,1$ (cm)	$x_1 \pm 0,1$ (cm)
29,8	27,6	1,1
28,5	28,8	2,6
25,4	28,0	4,0
22,4	28,0	7,2
18,6	27,9	15,3
14,9	28,5	19,0

Tabela 6.5. Resultados medidos da altura, y_1 , e das posições x_0 e x_1 .

Análise de dados

Tendo em conta a expressão (6.37) optou-se por representar os resultados obtidos no gráfico do alcance, $A = x_0 - x_1$, em função de raiz quadrada da distância vertical entre o topo do fluido e o orifício, \sqrt{h} . A reta esperada tem, então, um declive, m , previsto de $4,19 \pm 0,05 \text{ cm}^{1/2}$ e uma ordenada na origem, b , nula. Na Tabela 6.6 apresentam-se os valores experimentais utilizados na Figura 6.10.

$h \pm 0,2$ (cm)	$A \pm 0,2$ (cm)	\sqrt{h} (cm ^{1/2})	$\Delta(\sqrt{h})$ (cm ^{1/2})
25,4	26,5	5,039	0,019
24,1	26,2	4,909	0,020
21,0	24,0	4,583	0,022
18,0	20,8	4,243	0,024
14,2	12,6	3,768	0,027
10,5	9,5	3,240	0,031

Tabela 6.6. Resultados obtidos da altura h , alcance, A , raiz quadrada de h e respetivo erro associado, $\Delta(\sqrt{h})$.

Os erros Δh , ΔA e $\Delta(\sqrt{h})$, foram calculados pelo limite superior do erro,

$$\Delta h = \Delta y_1 + \Delta y_2; \quad \Delta A = \Delta x_0 + \Delta x_1; \quad \Delta(\sqrt{h}) = \frac{\Delta h}{2\sqrt{h}}. \quad (6.38)$$

A Figura 6.10 representa a dependência do alcance com a raiz quadrada da altura. Pelo método dos mínimos desvios quadrado obteve-se a reta

$$y = (10,27 \pm 0,93) x + (-24,2 \pm 3,9) \text{ cm}$$

com o coeficiente de correlação, r^2 de 0,9686.

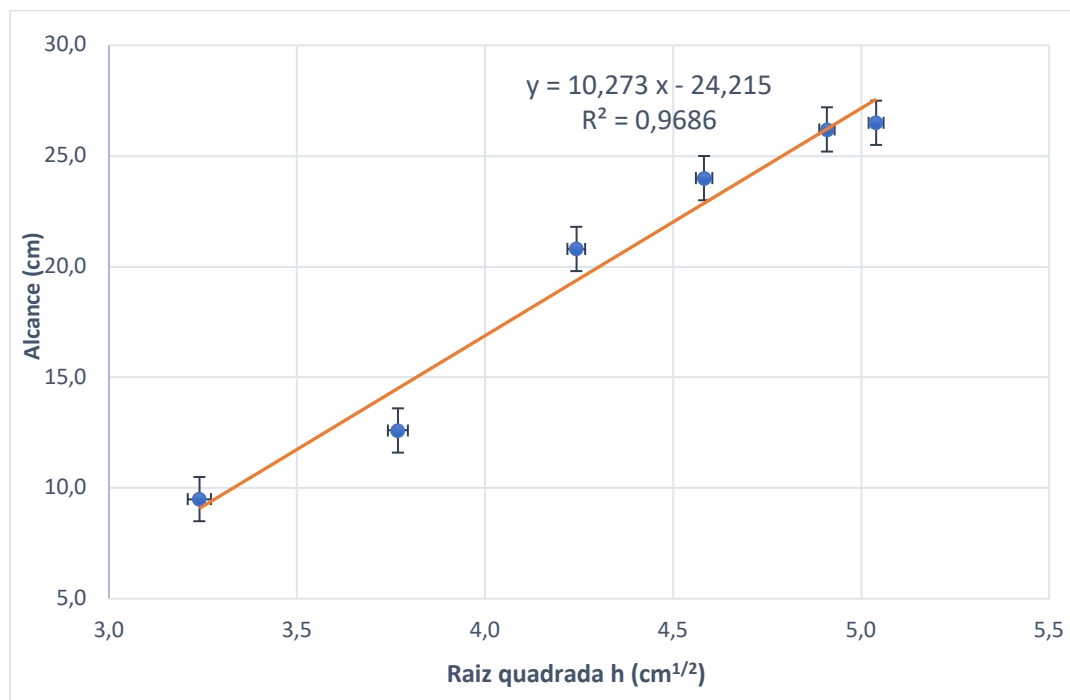


Figura 6.10. Alcance, A , em função da raiz quadrada da altura, h .

Discussão e Conclusão

Os parâmetros da reta, m e b , têm precisões 8,7% e 16%, respetivamente. A baixa precisão de b é esperada visto que o valor teórico esperado é 0. Verifica-se, no entanto, que estes valores não são exatos. A experiência não correu conforme esperado. A dificuldade em medir o alcance visto este variar no tempo levam-nos a propor a utilização de uma câmara de vídeo como método alternativo de registo.

Referências

- [1] Yunus, A. Ç., & Cimbala, J. M. *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*, McGraw-Hill, Third Edition, (2006).
- [2] White, F. M. *Fluid Mechanics with Student CD*, McGraw-Hill, Six Edition, (2008).
- [3] Taylor J. R. *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*, Second Edition, University Science Books, (1996).

6.3 Conteúdos de emissão e absorção de radiação

6.3.1 Balanço Energético

Introdução

Em 1879, o físico austro-esloveno Jožef Stefan (1835-1893) estabeleceu, a atualmente conhecida como Lei de Stefan-Boltzmann, que afirma que a energia, E , total irradiada por segundo por unidade de área de um corpo negro é diretamente proporcional à sua temperatura, T , elevada à quarta. Num corpo real podemos escrever

$$E = \varepsilon A \sigma T^4 \quad (6.39)$$

em que $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ é a constante de Stefan-Boltzmann e ε , a emissividade, que depende da superfície radiante e pode variar entre 0 e 1. No caso de um corpo negro perfeito teremos $\varepsilon = 1$, o que significa que o corpo absorve toda a energia nele incidente reemitindo-a na sua totalidade, sem perdas de energia noutros processos. Por outro lado, se um material tiver emissividade nula estamos na presença de um

corpo “branco”, neste caso, nenhuma energia é absorvida e por consequência nenhuma energia será emitida. A radiação num corpo “branco” é totalmente refletida.

Assumindo que o Sol e a Terra se comportam como corpos negros podemos estimar a temperatura média da Terra sabendo a temperatura do Sol, T_{sol} , e a distância entre os dois astros. A energia emitida pelo Sol por segundo, E_s , é dada por

$$E_s = A_s \sigma T_{sol}^4 \quad (6.40)$$

em que A_s é a área da superfície solar. Considerando que não existem perdas de energia na trajetória da radiação entre os dois corpos, o fluxo, F_r , à distância, r , é dado por:

$$F_r = \frac{A_s \sigma T_{sol}^4}{4\pi r^2} \quad (6.41)$$

Considerando a Terra um objeto esférico de raio, R_T , a sua seção transversal será de πR_T^2 . A quantidade de energia solar absorvida pela Terra por segundo pode ser descrita como:

$$E_{abs} = \pi R_T^2 F_r \quad (6.42)$$

Como um corpo negro em equilíbrio térmico com o ambiente emite uma quantidade de radiação igual à que absorve, temos

$$E_{emitido} = E_{abs} \Leftrightarrow 4\pi R_T^2 \sigma T_T^4 = \frac{4\pi R_s^2 \sigma T_s^4}{4\pi r^2} \pi R_T^2 \quad (6.43)$$

em que $A_s = 4\pi R_s^2$. Simplificando a equação anterior obtemos uma relação entre a temperatura da Terra, T_T , e a temperatura do Sol, T_s :

$$T_T = \sqrt{\frac{R_s}{2r}} T_s \quad (6.44)$$

Considerando um Sol esférico de raio $6,95 \times 10^8$ m com uma temperatura à superfície de 5800 K e a uma distância da Terra igual à unidade astronómica obtém-se para a temperatura média da Terra, T_{Terra} , um valor de 279 K (cerca de 6 °C). Utilizando as mesmas hipóteses podemos estimar as temperaturas dos outros planetas do sistema solar. A temperatura, T , de um planeta a uma distância, r , em unidades astronómicas pode ser calculada a partir da expressão,

$$T \cong \left(\frac{279}{\sqrt{r}} \right) \text{ K.} \quad (6.45)$$

Objetivo do trabalho

Utilizar a Lei de Stefan-Boltzmann para estimar a temperatura dos planetas do sistema solar.

Material experimental

Computador com acesso à internet

Procedimentos experimental

Pesquisar na internet a distância ao sol e a temperatura dos planetas do sistema solar.

Resultados obtidos

Na Tabela 6.7 apresentam-se os dados coletados da distância ao sol, r , e das temperaturas média e estimada dos diferentes planetas do sistema solar (Planetary Orbital Elements, n. d.).

Planeta	Distância ao Sol, r (UA)	T_{est} (K)	T (K)	desvio relativo em %	$\ln r$ (UA)	$\ln T_{est}$ (K)
Mercúrio	0,39	447	452	1,11	-0,94	6,11
Vénus	0,723	328	726	54,82	-0,32	6,59
Terra	1,00	279	285	2,11	0,00	5,65
Marte	1,52	226	230	1,74	0,42	5,44
Júpiter	5,20	122	120	1,67	1,65	4,79
Saturno	9,539	90	88	2,27	2,26	4,48
Úrano	19,18	64	59	8,47	2,95	4,08
Neptuno	30,06	51	48	6,25	3,40	3,87

Tabela 6.7. Distância ao Sol, r , temperatura estimada, T_{est} , e real, T , respetivamente para os diferentes planetas do sistema solar. Apresenta-se também o desvio relativo em percentagem entre os valores estimados e reais.

Análise dos resultados

A equação (6.45) pode ser linearizada da seguinte forma:

$$\ln T = -\frac{1}{2} \ln(r) + \ln(279) \quad (6.46)$$

em que $\ln T = y$, o declive, $m = -\frac{1}{2}$, $x = \ln(r)$, e $b = 5,6312$. Tendo em conta os valores apresentados na Tabela 6.7 obtemos, excluindo o planeta Vénus, a partir do método dos mínimos desvios quadráticos a equação:

$$y = (-0,522 \pm 0,004)x + (5,643 \pm 0,008) \text{ K}$$

com um coeficiente de correlação, r^2 , de 0,9997 (Figura 6.11).

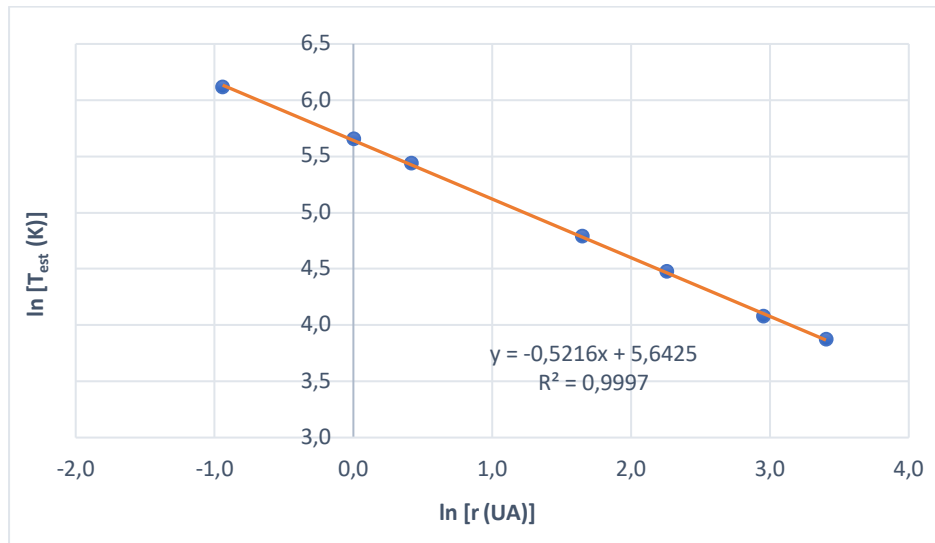


Figura 6.11. Logaritmo da temperatura estimada dos planetas, T_{est} , em função do logaritmo da sua distância do Sol, r , em unidades astronómicas.

Discussão e conclusão

Os valores obtidos para o declive e ordenada na origem são precisos, 0,77% e 0,14%, respetivamente, mas não são exatos o que não nos surpreende tendo em conta que não considerámos, entre outros factores, o albedo dos planetas e o efeito de estufa.

A Tabela 6.7 mostra que o desvio relativo

$$\left| \frac{T_{\text{est}} - T}{T} \right| \times 100 \% \quad (6.47)$$

entre os valores estimados e reais é, exceptuando Vénus, inferior a 10%. Sabemos que o efeito de estufa é particularmente importante no planeta Vénus o que justifica a diferença relativa de 50% entre a temperatura prevista pela equação (6.45) e o valor real.

O Sol emite a maior parte da sua energia no visível. Essa radiação ao atingir a superfície do planeta é essencialmente reemitida no infravermelho. Se parte desta radiação fica retida na atmosfera o resultado é um planeta mais quente. Geralmente os gases responsáveis pelo efeito de estufa são, caso existam, o dióxido de carbono, metano, óxido de nitrogénio e vapor de água.

O albedo é a razão entre a energia refletida e incidente num objecto, no nosso caso, o planeta. Este varia consoante a superfície do planeta, por exemplo o albedo da neve pode chegar a 0,9. Os planetas são observados no visível devido à reflexão da luz

solar e o seu brilho aparente depende da quantidade de luz recebida do Sol, da sua dimensão, do albedo e distância. Assim, adicionando o efeito do albedo, expresso pelo coeficiente A , obtemos a seguinte expressão:

$$T \cong \frac{279}{\sqrt{r}} (1 - A)^{\frac{1}{4}} \text{ (K)} \quad (6.48)$$

Os resultados da temperatura contando com o albedo são apresentados na tabela seguinte (Albedo of the Planets, n.d.).

Planeta	Albedo, A	Temperatura estimada pela eq. 6.48 (K)	Temperatura estimada pela eq. 6.45 (K)	desvio relativo % com a eq. (6.48)	desvio relativo % com a eq. (6.45)
Mercúrio	0,12	433	447	4,27	1,11
Vénus	0,75	232	328	68,04	54,82
Terra	0,30	255	279	10,46	2,11
Marte	0,16	217	226	5,81	1,74
Júpiter	0,34	110	122	8,10	1,67
Saturno	0,34	81	90	7,48	2,27
Úrano	0,30	58	64	1,24	8,47
Neptuno	0,29	47	51	2,68	6,25

Tabela 6.8. Valores do coeficiente do albedo para os diferentes planetas, assim como o cálculo da temperatura com e sem albedo e o respetivo desvio relativo em percentagem em relação ao valor real com e sem albedo.

Podemos observar pelos valores da Tabela 6.8 que, como seria de esperar, considerar o albedo faz descer valores de temperatura de todos os planetas. E se os valores estimados para a temperatura dos planetas Urano e Neptuno se aproximam do valor real as restantes afastam-se o que indica a presença de outros fatores que influenciam a temperatura do planeta.

Referências

- [1] Planetary Orbital Elements. (n.d.). Obtido 5 de dezembro de 2019 de <http://www.met.rdg.ac.uk/~ross/Astronomy/Planets.html>
- [2] LoPresto, M. C., & Hagoort, N. Determining Planetary Temperatures with the Stefan-Boltzmann Law. *The Physics Teacher*, 49 (2), (2011): 133-116.

- [3] LoPresto, M. C. Calculating Planetary Temperatures from Radiation, Albedo, and Greenhouse Effect in a Descriptive Astronomy or Conceptual Physics Laboratory. *The Physics Teacher*, 56 (7), (2018): 458-460.
- [4] Albedo of the Planets. (n.d.). Obtido 14 de dezembro de 2019, de <https://sciencing.com/albedo-planets-5203.html>
- [5] LoPresto, M. C. Adding Albedo and Atmospheres. *The Physics Teacher*, 51(3), (2013): 152-153.

6.3.2 Lei de Stefan-Boltzmann

Introdução

A transferência de calor pode ser definida como a mudança de energia de uma região para outra como consequência de uma diferença de temperatura entre elas. Em geral, a transferência de calor pode ocorrer através de quatro processos: condução, convecção, evaporação e radiação.

Na condução, a energia é transferida de uma região de temperatura mais elevada para outra de temperatura mais baixa dentro do mesmo meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contacto direto. Este processo pode ser visualizado como a transferência de energia ao longo do material devido à colisão entre átomos adjacentes. A convecção é um fenómeno que combina o processo de transferência de energia por condução térmica com movimentos de massa (deslocamento de partículas). Por isso, a convecção térmica é um fenómeno que se processa exclusivamente em meios fluidos, ou seja, em líquidos e gases. Na evaporação, a perda de calor ocorre como consequência da perda de massa, as moléculas mais rápidas do que a média que escapam da superfície livre de um objeto quente, removendo assim energia cinética do sistema. Por fim, a radiação envolve a conversão da energia cinética e potencial de partículas carregadas aceleradas (principalmente elétrons atômicos) em ondas eletromagnéticas. Do ponto de vista da física clássica, partículas carregadas que se movem periodicamente em torno das suas posições de equilíbrio ou estando em geral aceleradas irradiam energia eletromagnética.

Qualquer que seja a temperatura em que o corpo se encontre este absorve e emite radiação térmica. Se a temperatura do corpo se mantém constante as taxas de emissão e absorção de radiação são iguais. Nesse caso, dizemos que o corpo se encontra em equilíbrio térmico. A radiação emitida pelos corpos depende da temperatura a que estes se encontram. A lei de Stefan-Boltzmann relaciona a potência emitida, P_{rad} , por um corpo com a temperatura, T , deste

$$P_{rad} \propto \sigma T^4 \quad (6.49)$$

onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann e tem o valor de $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$. Nesta experiência não medimos diretamente a potência emitida, mas sim a diferença de potencial do sensor, V_{sens} , devida aos fótons por ele absorvidos. Para um filamento de lâmpada colocado a uma distância fixa do sensor de radiação, o fluxo de energia incidente sobre o sensor de radiação é proporcional à potência emitida. Como o fluxo da energia incidente no sensor de radiação é proporcional a sua diferença de potencial, V_{sens} , podemos escrever

$$V_{sens} \propto T^4 \quad (6.50)$$

em que T é a temperatura. Para variações de temperatura pequenas relativamente à de referência, T_{ref} , geralmente a temperatura ambiente, a temperatura, T , do filamento da lâmpada de tungsténio pode ser calculada através da seguinte equação

$$T = \frac{R - R_{ref}}{\alpha R_{ref}} + T_{ref} \quad (6.51)$$

em que R é a resistência da lâmpada de tungsténio, R_{ref} , a resistência à temperatura de referência e α o coeficiente de resistividade do filamento de tungsténio, que tem o valor $4,5 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Para temperaturas elevadas teremos de considerar uma dependência mais complexa entre R e T . No guião do fabricante encontramos a relação entre a temperatura, T , e a razão entre as resistências à temperatura, T , e a 300 K, R_{300} (Tabela 6.9) (Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO Scientific, 1988).

R/R_{300K}	Temp °K	Resistivity $\mu\Omega$ cm	R/R_{300K}	Temp °K	Resistivity $\mu\Omega$ cm	R/R_{300K}	Temp °K	Resistivity $\mu\Omega$ cm	R/R_{300K}	Temp °K	Resistivity $\mu\Omega$ cm
1.0	300	5.65	5.48	1200	30.98	10.63	2100	60.06	16.29	3000	92.04
1.43	400	8.06	6.03	1300	34.08	11.24	2200	63.48	16.95	3100	95.76
1.87	500	10.56	6.58	1400	37.19	11.84	2300	66.91	17.62	3200	99.54
2.34	600	13.23	7.14	1500	40.36	12.46	2400	70.39	18.28	3300	103.3
2.85	700	16.09	7.71	1600	43.55	13.08	2500	73.91	18.97	3400	107.2
3.36	800	19.00	8.28	1700	46.78	13.72	2600	77.49	19.66	3500	111.1
3.88	900	21.94	8.86	1800	50.05	14.34	2700	81.04	26.35	3600	115.0
4.41	1000	24.93	9.44	1900	53.35	14.99	2800	84.70			
4.95	1100	27.94	10.03	2000	56.67	15.63	2900	88.33			

Tabela 6.9. Resistência e resistividade do tungstênio em função da temperatura.

Utilizámos o método dos mínimos desvios quadráticos para aproximamos os dados da Tabela 6.9 a uma expressão polinomial do terceiro grau. A expressão que nos permitirá calcular a temperatura, T , do filamento é

$$T = 0,0491x^3 - 3,1548x^2 + 216,3x + 101,86 \quad (6.52)$$

em que $x = R/R_{300}$,

Objetivos do trabalho

Verificar experimentalmente a Lei de Stefan-Boltzmann através da análise da radiação emitida por um filamento de tungstênio.

Material experimental

Termómetro, régua, lâmpada de tungstênio (PASCO TD-8555), 3 multímetros digitais, sensor de radiação (PASCO TD-8553) e uma fonte de tensão variável (13V máx, 3A máx).

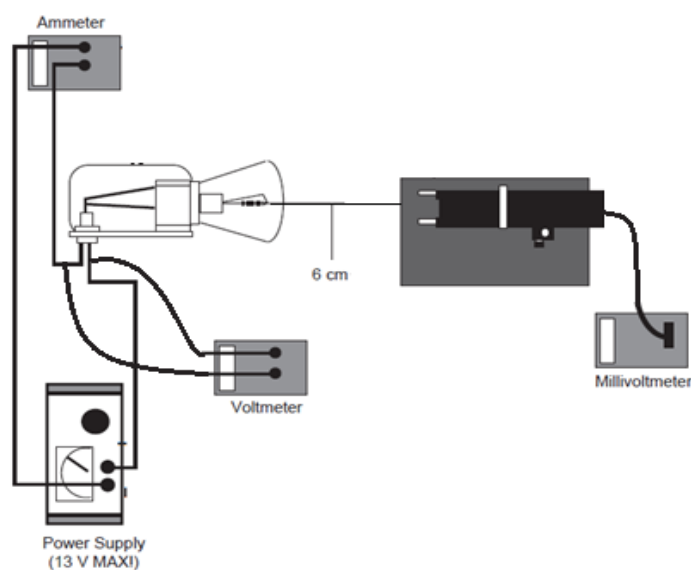


Figura 6.12. Diagrama do dispositivo experimental.

Procedimento experimental

- Mediu-se a temperatura ambiente, T_{ref} , com o termómetro.
- Ligaram-se os equipamentos conforme a Figura 6.12.
- Mediu-se com um ohmímetro a resistência à temperatura ambiente, R_{ref} , do filamento da lâmpada com esta desligada.
- Colocou-se o sensor a 6 cm de distância do filamento tendo o cuidado de excluir outros objetos na vizinhança que pudessem ser detetados pelo mesmo.
- Colocou-se uma diferença de potencial de 1 V nos terminais de lâmpada.
- Registaram-se os valores da corrente, I , e da diferença de potencial no sensor, V , quando estes estabilizaram.
- No intervalo entre medições utilizou-se uma placa para tapar o sensor de radiação.
- Incrementou-se em 1 V a diferença de potencial nos terminais da lâmpada e repetiram-se as alíneas *f* a *g* até a diferença de potencial ser aproximadamente igual a 12 V.

Resultados obtidos

A lâmpada tem uma resistência $R = (0,606 \pm 0,001) \, \Omega$ à temperatura, T_{ref} , de $22,4 \pm 0,1 \, ^\circ\text{C}$. Na Tabela 6.10 apresentam-se os restantes valores medidos.

$V_{lamp} \pm 0,01 \, (\text{V})$	$I \pm 0,01 \, (\text{A})$	$V_{sens} \pm 0,01 \, (\text{V})$
1,08	0,86	0,10
2,01	1,07	0,40
3,07	1,29	1,00
4,03	1,47	1,80
5,04	1,64	2,20
6,02	1,80	3,90
7,03	1,95	5,20
8,06	2,09	6,50
9,06	2,21	8,00
10,02	2,33	9,40
11,01	2,45	11,00
11,97	2,57	12,70

Tabela 6.10. Apresentam-se os valores da diferença de potencial, V_{lamp} e V_{sens} , medidos nos terminais da lâmpada e do sensor, respetivamente, e a intensidade de corrente, I , no filamento.

Análise de dados

Calcula-se a resistência da lâmpada de tungstênio, R , pela lei de Ohm

$$R = \frac{V_{lamp}}{I} \quad (6.53)$$

em que V_{lamp} , é a diferença de potencial aos terminais da lâmpada e I é a intensidade de corrente. Para $T = 300$ K, podemos calcular a resistência, R , pela expressão

$$R_{300} = (T - T_{ref})\alpha R_{ref} + R_{ref} \quad (6.54)$$

Com estes valores podemos calcular a razão R/R_{300} e utilizar a equação (6.52) para determinar a temperatura T . Na Tabela 6.11 apresentam-se os resultados calculados da resistência, R , da temperatura, T , da lâmpada de tungstênio.

$V_{lamp} \pm 0,01$ (V)	R (Ω)	T (K)	$\ln [T$ (K)]	$\ln [V_{sens}$ (V)]
1,08	1,26	535	6,27	-2,30
2,01	1,88	763	6,60	-0,92
3,07	2,38	947	6,79	0,00
4,03	2,74	1080	6,91	0,59
5,04	3,07	1201	7,01	0,79
6,02	3,34	1301	7,08	1,36
7,03	3,61	1396	7,15	1,65
8,06	3,86	1489	7,20	1,87
9,06	4,09	1578	7,26	2,08
10,02	4,30	1651	7,30	2,24
11,01	4,49	1722	7,33	2,40
11,97	4,66	1782	7,36	2,54

Tabela 6.11. Resistência, R , temperatura, T , e seus logaritmos em função da diferença de potencial aplicada aos terminais da lâmpada.

A equação (6.50) pode ser linearizada da seguinte forma

$$\ln V_{sens} = 4 \ln T + \ln C \quad (6.55)$$

em que $\ln V_{sens} = y$, o declive $m = 4$, $x = \ln T$, e $b = \ln C$ em que C é a constante de proporcionalidade. Tendo em conta os valores da Tabela 6.10 obtivemos a partir do método dos mínimos desvios quadráticos a expressão:

$$y = (4,476 \pm 0,064) x + (-30,47 \pm 0,45)$$

com um coeficiente de correlação, r^2 de 0,9979. Apresentam-se na Figura 6.13 os pontos experimentais e a reta obtida.

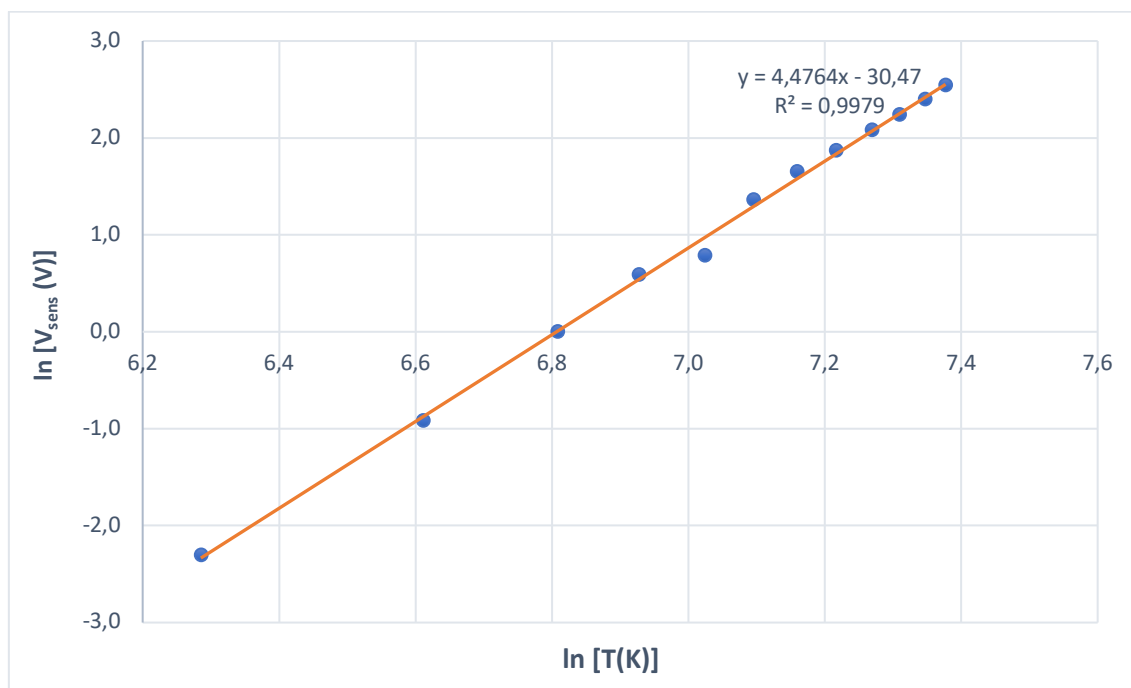


Figura 6.13. Gráfico do logaritmo da diferença de potencial medida no sensor em função do logaritmo da temperatura do filamento da lâmpada.

Discussão e Conclusão

Podemos observar pelos valores da Tabela 6.11 que a resistência do filamento aumenta com o aumento da temperatura. A partir da equação de Stefan-Boltzmann esperava-se obter um declive de 4. A reta que descreve os pontos experimentalmente tem um declive de $4,476 \pm 0,064$ a que corresponde uma incerteza relativa de 1,4%. Este valor é preciso, no entanto, não é exato.

No gráfico é possível observar que para temperaturas mais baixas o declive é mais elevado, e depois este diminui para temperaturas mais altas. Na Figura 6.14 representam-se duas linhas de tendência uma para as temperaturas inferiores a 1150 K e outra para as temperaturas superiores. Obtiveram-se as seguintes retas

$$y = (4,32 \pm 0,16) x + (-29,4 \pm 1,1)$$

e

$$y = (4,123 \pm 0,045) x + (-27,89 \pm 0,33)$$

para baixas e altas temperaturas, com os coeficientes de correlação, r^2 de 0,9959 e r^2 de 0,9994, respetivamente.

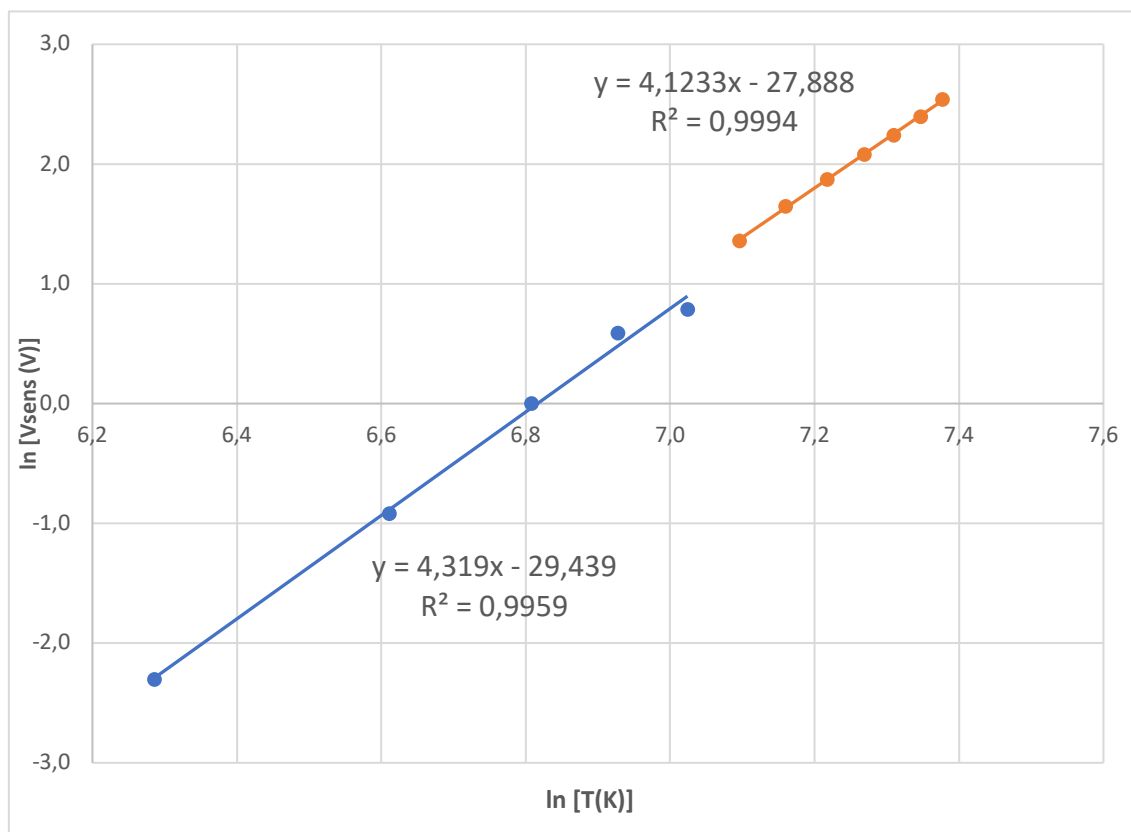


Figura 6.14. Gráfico do logaritmo da diferença de potencial medida no sensor em função do logaritmo da temperatura do filamento da lâmpada.

O desfasamento do valor teórico para as temperaturas mais baixas, deve-se essencialmente à absorção da radiação infravermelha pelo vidro da lâmpada. Essa absorção é mais significativa a temperaturas mais baixas, onde o infravermelho representa uma percentagem maior de toda a radiação emitida pela lâmpada. Note-se, no entanto que o resultado obtido para as temperaturas superiores a 1150 K ainda não é exacto. Para minorar este efeito dever-se-iam ter obtido pontos experimentais a voltagens superiores a 8,0 V. Suspeitamos, ainda, que a resistência da lâmpada à temperatura ambiente poderá não ser real esperando-se um valor menor. Tal implica uma alteração significativa da temperatura calculada do filamento mas não do declive do gráfico.

Referências

- [1] Wellons M. “The Stefan-Boltzmann Law”. *Physics Department, The College of Wooster*, Ohio 44691, USA, (2007).
- [2] Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO Scientific, *Stefan-Boltzmann Lamp Model TD-8555, Thermal Radiation System*, (1988).
- [3] Kanchi, R.R., & Uttarkar, N. K. “Study of Heat Loss from Hot Tungsten Filament Bulb Using AT89C51 Based Data Acquisition System”. *Internation Journal of Applied Physics and Mathematics*, 2 (3), (2012): 194-196.
- [4] Peralta, L., & Rego, F. “Detecção da radiação térmica emitida por um filamento de tungstênio aquecido”. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 38 (1), (2016): 1–6.

7. Considerações Finais e Trabalho Futuro

As atividades experimentais são um instrumento importante no ensino e aprendizagem. Nestas os alunos podem aplicar os seus conhecimentos, confirmar e verificar leis e teorias, e desenvolver capacidades de utilização adequada de equipamentos e instrumentos.

Pretendi, neste trabalho, desenhar uma possível componente laboratorial para a unidade curricular de Elementos de Física da licenciatura de Ciências Exatas da Universidade Nacional Timor Lorosa'e. As atividades experimentais abordam temáticas de Hidrostática, Hidrodinâmica e Emissão e Absorção de Radiação, Planificaram-se e executaram-se as experiências, discutindo-se os resultados obtidos. Escreveram-se, ainda, os respetivos guiões. Pretende-se, assim, que este trabalho seja o equivalente a um guião das atividades experimentais tanto para os futuros alunos como para os professores. Refira-se que a existência destes guiões escritos em português ajuda a colmatar a escassez de recursos didáticos pedagógica nesta língua disponível em Timor Leste.

Como trabalho futuro seria desejável não só melhorar algumas das atividades propostas, mas também aumentar o número das mesmas.

Por último, refira-se que este trabalho permitiu ao seu autor adquirir competências práticas e técnicas laboratoriais que prevê venham a ser úteis na sua futura vida profissional.

Referências

- Abreu, M. C., Matias, L., Peralta, L. F., (1994). *Física Experimental: Uma Introdução*. Departamento de Física, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Alonso, M. e Finn, E. J. (1972). *Física: um curso universitário, vol. I Mecânica*, Edgard Blucher, 2 Edição, São Paulo .
- Albedo of the Planets. (n.d.). Obtido 14 de dezembro de 2019, de <https://sciencing.com/albedo-planets-5203.html>
- Dourado, L. (2001). *Trabalho Prático, Trabalho Laboratorial, Trabalho de Campo e Trabalho Experimental no Ensino das Ciências - um contributo para uma clarificação de termos. (re)Pensar o Ensino de Ciências*, Lisboa: Ministério da Educação, Departamento do Ensino Secundário.
- Guia experimental do trabalho n.º 3 de *Mecânica Clássica: Viscosidade de um Líquido*, Universidade de Aveiro, (2015).
- Galloni, E. E. & Kohen M. (1979). *Influence of the mass of the spring on its static and dynamic effects*, *American Journal of Physics* Volume, 47 (2), 1076-1078.
- Hodson, D. (1994). Hacia Un Enfoque Más Crítico Del Trabajo De Laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 12(3), 299–313.
- Hobbs, P. V., & Wallace, J. M. (1977). *Atmospheric Science: An Introductory Survey. Second edition*, University of Washington.
- Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO Scientific (1988). *Stefan-Boltzmann Lamp Model TD-8555, Thermal Radiation System*.
- Kanchi, R.R., & Uttarkar, N. K. (2012). “Study of Heat Loss from Hot Tungsten Filament Bulb Using AT89C51 Based Data Acquisition System”. *Internation Journal of Applied Physics and Mathematics*, 2 (3), 194-196.
- LoPresto, M. C., & Hagoort, N. (2011). Determining Planetary Temperatures with the Stefan-Boltzmann Law. *The Physics Teacher*, 49 (2), 133-116.
- LoPresto, M. C. (2018). Calculating Planetary Temperatures from Radiation, Albedo, and Greenhouse Effect in a Descriptive Astronomy or Conceptual Physics Laboratory. *The Physics Teacher*, 56 (7), 458-460.
- Leite, L. (2000). As atividades laboratoriais e a avaliação das aprendizagens dos alunos. Em *Sequeira, M. et al. (org.). Trabalho prático e experimental na educação em ciências*. Braga: Universidade do Minho (pp. 91–108).
- LoPresto, M. C. (2013). Adding Albedo and Atmospheres. *The Physics Teacher*, 51(3), 152-153.

- Martins, M. F. (2010). *Autoavaliação Institucional Da Educação Superior: Uma Experiência Brasileira e Suas Implicações Para a Educação Superior De Timor-Leste*. Obtido de [http://repositorio.untl.edu.tl/bitstream/123456789/135/1/Tese Final.pdf](http://repositorio.untl.edu.tl/bitstream/123456789/135/1/Tese%20Final.pdf)
- Melo, E. da C. (2007). *A Física da Areia no Ensino das Ciências*. Obtido de <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/2585/1/2008001421.pdf>
- Meneses, D. N. de C. (2008). *Timor: de colónia a país nos fins do século XX. Um sistema educativo em re-estruturação (um estudo documental)*. Universidade Portucalense Infante D. Henrique.
- Moreira, A. R. C. C. V. (2014). *Atividade laboratorial no ensino das ciências : um estudo exploratório*. Obtido de <http://recil.grupolusofona.pt/handle/10437/5957>
- Nicolai, S. (2004). 17. Full: Learning independence Education in emergency and transition in Timor-Leste since 1999. *Education*.
- Pinto, P. S. (2012). *Hierarquia, poder e decisão na administração universitária na Universidade Nacional de Timor Lorosa'e - UNTL*. Obtido de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/23975?locale=es#>
- Planetary Orbital Elements. (n.d.). Obtido 5 de dezembro de 2019 de <http://www.met.rdg.ac.uk/~ross/Astronomy/Planets.html>
- Ramos, A., & Teles, F. (2012). *Memória das políticas educativas em Timor-Leste: A consolidação de um sistema (2007-2012)*. Universidade de Aveiro.
- Russell, H. N. (1916). On the Albedo of the Planets and Their Satellites. *Astrophysical Journal*, 43, 173-196.
- Santos, R. I. C. dos. (2015). *A importância do trabalho prático, experimental e laboratorial, assim como das aulas de campo (visitas de estudo e saídas de campo) no ensino da Biologia e da Geologia*.
- Shah, R., & Quinn, M. (2014). Mind the gap: global quality norms, national policy interpretations and local praxis in Timor-Leste. *Compare*, 46(3), 394–413. <https://doi.org/10.1080/03057925.2014.952930>
- Soares, T. (2011). *As actividades laboratoriais no ensino de ciências em Timor-Leste : uma investigação centrada nas percepções de autoridades educativas e de professores de Ciências Físico-Naturais*. Obtido de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/13606>
- Serway A. Raymond., & Jewett, jr. W. J. (2014). *Physics for Scientist and Engineers with Modern Physics*, 10 Edition. University of Southern California.
- Serway A. Raymond. & Jewett, jr. W. J. (1992). *Princípios de Física: Movimento Ondulatório e Termodinâmica para Cientistas e Engenheiros com Física Moderna*, vol. 2. 3ª edição. James Madison University Harrisonburg, Virginia.

- Struganova, I. (2005). "A Spring, Hooke's Law, and Archimedes' Principle", *The Physics Teacher*, 43 (8), 516-518.
- T. S. Simões, M. A. (2015). Queirós, M. O. Simões., *Há Química Entre Nós.*, Porto Editora, 1ª edição. Obtido 10 de janeiro de 2020 de <http://www.fq.pt/tabelas/massa-volumica-da-agua>
- Taylor J. R. (1996). *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*, Second Edition, University Science Books.
- Universidade Nacional Timor Lorosa'e. (sem data-a). Faculdade de Ciências Exatas. Obtido 12 de Julho de 2019, de <http://www.untl.edu.tl/pt/ensino/faculdades/ciencias-exatas>
- Universidade Nacional Timor Lorosa'e. (sem data-b). Faculdade de Engenharia, Ciências e Tecnologia. Obtido 12 de Julho de 2019, de <http://www.untl.edu.tl/pt/ensino/faculdades/engenharia-ciencias-e-tecnologia>
- Universidade Nacional Timor Lorosa'e. (sem data-c). História. Obtido 12 de Julho de 2019, de <http://www.untl.edu.tl/pt/universidade/historia>
- Universidade Nacional Timor Lorosa'e. (2015). *Dossiê de Curso de Licenciatura em Ciências Exatas, com habilitação em Matemática, Física ou Química (não disponível)*.
- White, F. M. (2008). *Fluid Mechanics with Student CD*, McGraw-Hill, Six Edition.
- Wellons M. (2007). "The Stefan-Boltzmann Law". *Physics Department, The College of Wooster*, Ohio 44691, USA.
- Yunus, A. Ç., & Cimbala, J. M. (2006). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*, McGraw-Hill, Third Edition.

Anexos

Anexo I: Guiões das Atividades Laboratoriais

Trabalho Verificação de princípio de Arquimedes

Objetivo

Verificar experimentalmente o Princípio de Arquimedes através do estudo da elongação de uma mola em função do volume imerso de um cilindro para determinar a constante elástica da mola.

Introdução

Num corpo, suspenso de uma mola, e parcialmente mergulhado num fluido (figura 1) atuam três forças, a elástica, o peso e a impulsão. Se o corpo se encontra em equilíbrio a soma das forças é nula,

$$\vec{F} + \vec{P} + \vec{I} = \vec{0} \quad (1)$$



Figura 1: Dispositivo experimental com detalhe do cilindro graduado.

Sabendo que a intensidade da força de impulsão, I , exercida sobre o corpo é igual ao produto do volume do corpo imerso, V_i , pela densidade do líquido, ρ_l , e pela aceleração gravítica, g , isto é,

$$I = \rho_l V_i g \quad (2)$$

e que a força elástica é dada pela lei de Hooke podemos escrever

$$-kx + m_c g - \rho_l V_i g = 0 \quad (3)$$

em que x é o alongamento da mola e m_c a massa do corpo. Podemos escrever a equação anterior como:

$$x = -\frac{\rho_l g \pi r^2}{k} h + \frac{m_c g}{k} \quad (4)$$

Material

Balança de Jolly, paquímetro, água, recipiente, régua, balança, fita métrica e um corpo cilíndrico de alumínio graduado.

Procedimentos Experimental

- Escolha uma mola adequada e meça a sua massa com a balança.
- Meça o comprimento, L_o , da mola sem deformação.
- Meça com a balança a massa, m_c , do cilindro de alumínio.
- Meça o diâmetro, D , do cilindro de alumínio com o paquímetro.
- Coloque o cilindro de alumínio na balança de Jolly.
- Encha o copo de vidro com água.
- Tenha cuidado para que o cilindro não toque nas paredes do copo.
- Mergulhe 1,0 cm da altura do cilindro no líquido e meça o novo comprimento da mola, L .
- Ajuste o suporte para aumentar a altura imersa, h , em 1,0 cm e meça, de novo, o comprimento da mola, L .
- Repita a alínea anterior pelo menos 6 vezes.
- Meça novamente o comprimento, L_o , da mola sem deformação.

Sugestões para análise de dados

- Calcule o alongamento, x , através da expressão $x = L - L_o$.
- Construa um gráfico do alongamento da mola, x em função da altura, h .
- Calcule os parâmetros da reta e os respectivos erros associados utilizando o método dos mínimos desvios quadrados (MMDQ).
- Escreva a equação da reta na forma $y = (m \pm \Delta m)x + (b \pm \Delta b)$ e representa-a no gráfico.
- Determine a partir do declive da reta, m , a constante de elástica da mola, $k \pm \Delta k$.

- f. Represente no gráfico linearizado as barras de erros x e y .
- g. Determine a constante elástica da mola, k , com o corpo suspenso no ar e compare com o corpo imerso em líquido.
- h. Comente os resultados obtidos tendo em conta o valor fornecido pelo professor.
- i. Avalie uma forma de minimizar os erros experimentais.

Referências

- [1] Serway A. Raymond., & Jewett, jr. W. J. *Physics for Scientist and Engineers with Modern Physics*, 10 Edition. University of Southern California (2014).
- [2] Struganova, I. “A Spring, Hooke’s Law, and Archimedes’ Principle”, *The Physics Teacher*, 43 (8), (2005): 516-518.

Trabalho

Coeficiente de Viscosidade de um Líquido

Objetivo do trabalho

Determinar o coeficiente de viscosidade da glicerina.

Introdução

A velocidade limite, v_L , com que um corpo esférico cai dentro de um fluido viscoso é dada por:

$$v_L = \frac{(\rho_{esf} - \rho_{liq}) D^2 g}{18\eta} \quad (1)$$

onde ρ_{esf} e ρ_{liq} são a massa volúmica do corpo esférico e do líquido, η é o coeficiente de viscosidade do líquido e D é o diâmetro da esfera.



Figura 1. Diagrama do dispositivo experimental.

Material experimental

Glicerina, cronómetro, micrómetro, fita métrica, marcador, pinça de plástico, tubo de vidro, termómetro digital, balança digital e esferas de aço de 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 e 4,0 mm de diâmetro.

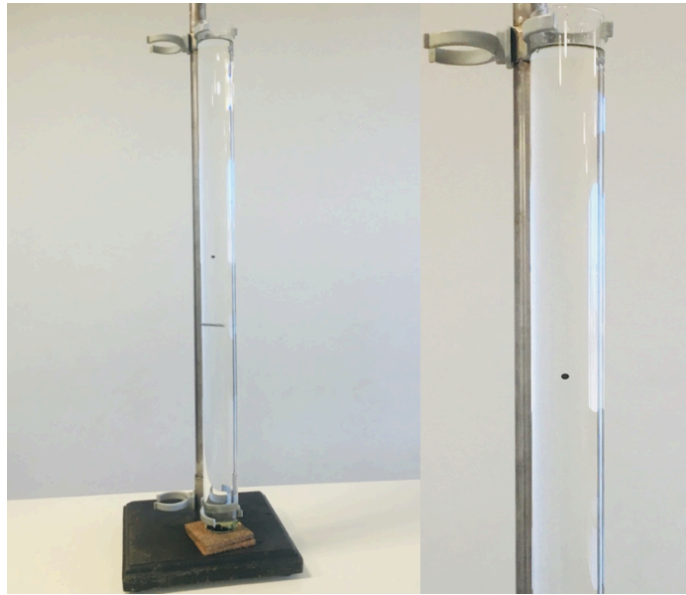


Figura 2. Dispositivo experimental

Procedimento experimental

- a. Selecione 5 esferas de cada diâmetro, D .
- b. Confirme o diâmetro das esferas com o micrómetro.
- c. Utilizando a balança meça a massa de um número conveniente de esferas de 4,0 mm de diâmetro para determinar a massa volúmica do aço.
- d. Meça a temperatura da glicerina com o termómetro digital.
- e. Largue uma esfera de maior diâmetro na zona central do tubo, junto à superfície, mas no interior do fluido. Estime com a fita métrica a que distância, L , da superfície do fluido se pode considerar que a esfera cai com velocidade constante.
- f. Marque com a fita métrica no tubo a distância, s , onde a velocidade da esfera é aproximadamente constante.
- g. Para 5 esferas idênticas meça, utilizando o cronómetro, o tempo, t , que demoram a percorrer a distância s .
- h. Repita o procedimento para as outras esferas de diferentes diâmetros. Pode diminuir a distância, s , à medida que utiliza esferas mais pequenas para que o tempo de queda não se torne demasiado longo.

Sugestões para análise de dados

- a. Calcule a massa volúmica das esferas e glicerina ($\rho_{aço}$ e $\rho_{glicerina}$).
- b. Determine para cada diâmetro o tempo, t_m , de queda médio e o respetivo erro associado, Δt .
- c. Calcule a velocidade limite, $v_l = \frac{s}{t}$, para cada conjunto das esferas e o respetivo erro associado, Δv_l .
- d. Deduza a expressão que nos permite e determine o coeficiente de viscosidade da glicerina a partir dos dados experimentais.
- e. Construa o gráfico da velocidade limite, v_l , em função do diâmetro ao quadrado das esferas, D^2 .
- f. Calcule os parâmetros da reta e os respetivos erros associados utilizando o método dos mínimos desvios quadrados (MMDQ).
- j. Escreva a equação da reta na forma $y = (m \pm \Delta m)x + (b \pm \Delta b)$ e representa-a no gráfico.
- k. Determine a partir do declive da reta, m , o coeficiente de viscosidade, $\eta \pm \Delta \eta$.
- g. Analise a precisão de $\eta \pm \Delta \eta$ e verifique se esta pode ser considerada de acordo com o valor esperado.
- l. Represente no gráfico linearizado as barras de erros x e y .
- m. Avalie uma forma de minimizar os erros experimentais.

Referências

- [1] Alonso, M. e Finn, E. J. *Física: um curso universitário, vol. I Mecânica*, Edgard Blucher, 2 Edição, São Paulo (1972).
- [2] Anónimo, *Guia experimental de Mecânica Clássica; Viscosidade de um Líquido*, Universidade de Aveiro, (2015).

Trabalho

Equação de Bernoulli

Objetivos

- Verificar o aumento da pressão com o aumento da profundidade num líquido.
- Verificar a equação de Bernoulli.
- Comparar o alcance medido experimentalmente com o previsto.

Introdução

A equação Bernoulli relaciona a pressão, P , velocidade, v , e altura, y , de dois pontos de um fluido ideal em movimento

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2 \quad (1)$$

Nesta experiência utiliza-se uma garrafa de água perfurada lateralmente. Logo,

$$P_1 = P_2 = P_{atm} \quad (2)$$

assumindo que a velocidade do fluido, v_1 , no topo do recipiente é aproximadamente nula e definindo $h = y_1 - y_2$ a equação (1) simplifica-se para

$$v_2 = \sqrt{2gh} \quad (3)$$

em que v_2 é a velocidade da água que sai do orifício (figura 1).

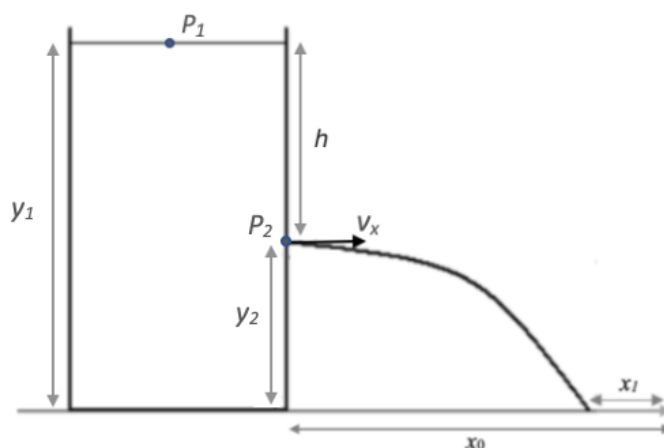


Figura 1. Escoamento de água na garrafa em queda livre

Considerando que a água se comporta como um projétil o alcance da água na figura 1 é dada pela expressão

$$A = x_0 - x_1 = v_x \cdot t_{voo} \quad (4)$$

onde $v_x = v_2$ é a velocidade horizontal de água no ponto de saída e t_{voo} é o tempo de voo. Por outro lado, a posição vertical da partícula, y , ao longo do tempo é, nesta situação, dada por:

$$y = h_0 - \frac{1}{2}gt^2 \quad (5)$$

em que h_0 é altura inicial, g é a aceleração da gravidade e t é o tempo. Considerando $y = 0$ quando a água atinge o solo obtém-se para o alcance

$$A = \sqrt{2gh} \cdot \sqrt{\frac{2h_0}{g}} = 2\sqrt{hh_0} \quad (6)$$

Material experimental

Garrafa de água de 1,5 litros, água, régua, tabuleiro, prego ou alfinetes.

Procedimento experimental

- Encha a garrafa até ao topo de água e fecha-a
- Fure a parte lateral inferior da garrafa. Observe que a água inicialmente sai pelo orifício e posteriormente para.
- Abra a tampa da garrafa observe que a o alcance atingido depende da diferença de alturas entre o orifício e a superfície livre do líquido.
- Volte a encher a garrafa e feche-a.
- Meça a distância, x_0 , entre a garrafa e a parede do tabuleiro (ver figura 1).
- Meça a altura da água da garrafa, y_1 , e a altura do orifício, y_2 .
- Meça a distância, x_1 , entre o ponto de contacto com a superfície horizontal e o fim do recipiente.
- Repita as alíneas g e h para 5 valores diferentes de y_1 .

Sugestões para análise de dados

- Deduza as expressões 3 e 6.
- Calcule o alcance, A , e o respetivo erro associado, ΔA .
- Calcule a altura, h , e o respetivo erro associado, Δh .
- Construa um gráfico do alcance, A , em função da raiz quadrada da altura, \sqrt{h} .
- Calcule os parâmetros da reta e os respetivos erros associados utilizando o método dos mínimos desvios quadrados (MMDQ).

- f. Escreva a equação da reta na forma $y = (m \pm \Delta m)x + (b \pm \Delta b)$ e representa-a no gráfico.
- g. Represente no gráfico linearizado as barras de erros x e y .
- h. Comente os resultados obtidos.
- i. Avalie uma forma de minimizar os erros experimentais.

Referências

- [1] Yunus, A. Ç., & Cimbala, J. M. *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*, McGraw-Hill, Third Edition, (2006).
- [2] White, F. M. *Fluid Mechanics with Student CD*, McGraw-Hill, Six Edition, (2008).
- [3] Taylor J. R. *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*, Second Edition, University Science Books, (1996).

Trabalho Balanço Energético

Objetivo do trabalho

Utilizar a Lei de Stefan-Boltzmann para estimar a temperatura dos planetas do sistema solar.

Introdução

A principal fonte de energia no sistema solar é a radiação do sol. Este é o principal fator que afeta a temperatura de um planeta. Assumindo que o Sol se comporta aproximadamente como um corpo negro então emite por segundo uma energia, E_S , dada por:

$$E_S = A_S \sigma T_{Sol}^4 \quad (1)$$

em que A_S é a área da superfície. Considerando que não existem perdas de energia na trajetória da radiação entre os dois corpos, o fluxo, F_r , à uma distância, r , igual à da Terra ao Sol é dado por:

$$F_r = \frac{A_S \sigma T_{Sol}^4}{4\pi r^2} \quad (2)$$

Considerando a Terra um objeto esférico de raio, R_T , a sua seção transversal será de πR_T^2 . A quantidade de energia solar absorvida pela Terra pode ser descrita como:

$$E_{abs} = \pi R_T^2 F_r \quad (3)$$

Sem qualquer tipo de perdas um corpo negro em equilíbrio térmico com o ambiente emite uma quantidade de radiação igual à que absorve. Logo

$$E_{emitido} = E_{abs} \quad (4)$$

O que permite obter uma relação entre a temperatura da Terra, T_T , e a temperatura do Sol, T_S :

$$T_T = \sqrt{\frac{R_S}{2r}} T_S \quad (5)$$

Sabendo que $T_{Sol} = 5800$ K, seu raio, $R_{Sol} = 6,95 \times 10^8$ m, e a distância Sol-Terra é aproximadamente $r = 1,5 \times 10^{11}$ m obtém-se para a temperatura da Terra, T_{Terra} , um valor de 279 K (cerca de 6 °C ou 43 °F). Utilizando as mesmas hipóteses podemos

estimar as temperaturas dos outros planetas do sistema solar. A temperatura de um planeta a uma distância, r , em unidades astronômicas pode ser escrita como,

$$T \cong \left(\frac{279}{\sqrt{r}} \right) \text{K.} \quad (6)$$

Materiais experimental

Computador

Procedimentos experimental

Pesquise na internet a distância ao sol e a temperatura dos planetas do sistema solar.

Sugestões para análise de dados

- Deduza as expressões 5 e 6.
- Calcule as temperaturas estimadas, T .
- Calcule a diferença relativa entre os valores estimado e real da temperatura.
- Construa o gráfico do logaritmo da temperatura, $\ln T$, em função do logaritmo da distância, $\ln r$, expressa em unidades astronômicas.
- Calcule os parâmetros da reta e os respectivos erros associados utilizando o método dos mínimos desvios quadrados (MMDQ).
- Escreva a equação da reta na forma $y = (m \pm \Delta m)x + (b \pm \Delta b)$ e represente-a no gráfico.
- Comente os resultados obtidos tendo em conta o albedo e o efeito de estufa.

Referências

- [1] Planetary Orbital Elements. (n.d.). Obtido 5 de dezembro de 2019 de <http://www.met.rdg.ac.uk/~ross/Astronomy/Planets.html>
- [2] LoPresto, M. C., & Hagoort, N. Determining Planetary Temperatures with the Stefan-Boltzmann Law. *The Physics Teacher*, 49 (2), (2011): 133-116.
- [3] LoPresto, M. C. Calculating Planetary Temperatures from Radiation, Albedo, and Greenhouse Effect in a Descriptive Astronomy or Conceptual Physics Laboratory. *The Physics Teacher*, 56 (7), (2018): 458-460.
- [4] Albedo of the Planets. (n.d.). Obtido 14 de dezembro de 2019, de <https://sciencing.com/albedo-planets-5203.html>

Trabalho

Lei de Stefan-Boltzmann

Objetivos do trabalho

Verificar experimentalmente a Lei de Stefan-Boltzmann através da análise da radiação emitida por um filamento de tungstênio.

Introdução

A Lei de Stefan-Boltzmann diz nos que a energia total, P , radiada por um corpo negro por unidade de área superficial, A , e por unidade de tempo é diretamente proporcional à quarta potência da sua temperatura, T ,

$$P = \sigma T^4 \quad (1)$$

em que σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($4,5 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$). Nesta experiência variamos a voltagem nos terminais de uma lâmpada com filamento de tungstênio. Estando o filamento a uma distância fixa do sensor de radiação, o fluxo de energia incidente sobre o sensor de radiação é proporcional à potência emitida. Como o fluxo da energia incidente no sensor é proporcional à diferença de potencial, V_{sens} , nos seus terminais temos

$$V_{sens} \propto T^4 \quad (2)$$

É necessário corrigir, no entanto, a variação da resistência do filamento com a temperatura. Para variações próximas da temperatura de referência, habitualmente a temperatura ambiente é válida a seguinte expressão

$$T = \frac{R - R_{ref}}{\alpha R_{ref}} + T_{ref} \quad (3)$$

em que R é a resistência da lâmpada de tungstênio, R_{ref} é a resistência à temperatura de referência e α é o coeficiente de resistividade do filamento de tungstênio, que tem o valor $4,5 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Para temperaturas elevadas teremos de considerar uma dependência mais complexa entre R e T . No guião do fabricante encontramos a relação entre a temperatura, T , e a razão entre as resistências à temperatura, T , e a 300 K, R_{300} (tabela 1).

R/R_{300K}	Temp °K	Resistivity $\mu\Omega\text{ cm}$	R/R_{300K}	Temp °K	Resistivity $\mu\Omega\text{ cm}$	R/R_{300K}	Temp °K	Resistivity $\mu\Omega\text{ cm}$	R/R_{300K}	Temp °K	Resistivity $\mu\Omega\text{ cm}$
1.0	300	5.65	5.48	1200	30.98	10.63	2100	60.06	16.29	3000	92.04
1.43	400	8.06	6.03	1300	34.08	11.24	2200	63.48	16.95	3100	95.76
1.87	500	10.56	6.58	1400	37.19	11.84	2300	66.91	17.62	3200	99.54
2.34	600	13.23	7.14	1500	40.36	12.46	2400	70.39	18.28	3300	103.3
2.85	700	16.09	7.71	1600	43.55	13.08	2500	73.91	18.97	3400	107.2
3.36	800	19.00	8.28	1700	46.78	13.72	2600	77.49	19.66	3500	111.1
3.88	900	21.94	8.86	1800	50.05	14.34	2700	81.04	26.35	3600	115.0
4.41	1000	24.93	9.44	1900	53.35	14.99	2800	84.70			
4.95	1100	27.94	10.03	2000	56.67	15.63	2900	88.33			

Tabela 1. A temperatura, T , e a resistividade, ρ , para tungstênio

Utilizámos o método dos mínimos desvios quadráticos para aproximamos os dados da tabela 1 por uma expressão polinomial do terceiro grau. Tendo-se obtido a expressão que nos permitirá calcular a temperatura, T , do filamento

$$T = 0,0491x^3 - 3,1548x^2 + 216,3x + 101,86 \quad (4)$$

e em que $x = R/R_{300}$,

Material experimental

Termómetro, régua, lâmpada de tungsténio (PASCO TD-8555), 3 multímetros digitais, sensor de radiação (PASCO TD-8553) e uma fonte de tensão variável (13V máx, 3A máx).



Figura 1. Dispositivo experimental

Procedimento experimental

- Meça a temperatura ambiente, T_{ref} , com o termómetro.
- Ligue os equipamentos conforme a figura 1.
- Meça com um ohmímetro a resistência à temperatura ambiente, R_{ref} , do filamento da lâmpada com esta desligada.

- d. Coloque o sensor a 6 cm de distância do filamento tendo o cuidado de excluir outros objetos que se encontrem na vizinhança e possam ser detetados pelo mesmo.
- e. Coloque uma diferença de potencial de 8,0 V nos terminais de lâmpada.
- f. Quando os valores da corrente, I , e da diferença de potencial no sensor, V , estabilizarem registre-os.
- g. No intervalo entre medições utilize uma placa para tapar o sensor de radiação.
- h. Incremente 0,5 V a diferença de potencial nos terminais da lâmpada e repita as alíneas f a g .
- i. Repita a alínea anterior até a diferença de potencial aos terminais da lâmpada ser igual a 12 V.

Sugestões para análise de dados

- a. Calcule a resistência, R , do filamento através da lei de ohm.
- b. Calcule a resistência, R_{300} , do filamento a uma temperatura de 300 K através da expressão (3).
- c. Divida a resistência, R , pela resistência à temperatura de referência, R_{300} .
- d. Calcule a temperatura, T , da lâmpada de tungstênio através da expressão (4)
- e. Construa um gráfico do logaritmo da diferença de potencial do sensor, V_{sens} , em função do logaritmo da temperatura, T , do filamento da lâmpada de tungstênio
- f. Calcule os parâmetros da reta e os respectivos erros associados utilizando o método dos mínimos desvios quadrados (MMDQ).
- g. Escreva a equação da reta na forma $y = (m \pm \Delta m)x + (b \pm \Delta b)$ e representa-a no gráfico.
- h. Comente os resultados obtidos.
- i. Avalie uma forma de minimizar os erros experimentais.

Referências

- [1] Wellons M. "The Stefan-Boltzmann Law". *Physics Department, The College of Wooster*, Ohio 44691, USA, (2007).
- [2] Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO Scientific, *Stefan-Boltzmann Lamp Model TD-8555, Thermal Radiation System*, (1988).

- [3] Kanchi, R.R., & Uttarkar, N. K. "Study of Heat Loss from Hot Tungsten Filament Bulb Using AT89C51 Based Data Acquisition System". *Internation Journal of Applied Physics and Mathematics*, 2 (3), (2012): 194-196.
- [4] Peralta, L., & Rego, F. "Detecção da radiação térmica emitida por um filamento de tungstênio aquecido". *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 38 (1), (2016): 1–6.

Anexo II: Plano Curricular da Licenciatura de Ciências Exatas da UNTL

Referência: Universidade Nacional Timor Lorosa'e. (2015). *Dossiê de Curso de Licenciatura em Ciências Exatas, com habilitação em Matemática, Física e Química*

Matérias de Formação	%	Unidades Curriculares	Área do conhecimento	Créditos
Unidades curriculares de base	15	▪ Introdução aos Conceitos de Matemática I	Ciências exatas	6
		▪ Introdução aos Conceitos de Matemática II	Ciências exatas e naturais	6
		▪ Introdução aos Conceitos de Física	Ciências exatas e naturais	6
		▪ Introdução aos Conceitos de Química	Ciências exatas e naturais	6
		▪ Laboratórios de Física	Ciências exatas e naturais	6
		▪ Laboratórios de Química	Ciências exatas e naturais	6
		▪ Química Básica	Ciências exatas e naturais	8
Unidades curriculares profissionais	57	▪ Cálculo I	Matemática	6
		▪ Cálculo II	Matemática	6
		▪ Cálculo III	Matemática	9
		▪ Álgebra Linear e Geometria Analítica	Matemática	6
		▪ Matemática Discreta	Matemática	6
		▪ Probabilidade e Estatística	Matemática	8
		▪ Estruturas Algébricas	Matemática	8
		▪ Análise Numérica	Matemática	6
		▪ Elementos de Física	Física	6
		▪ Mecânica Clássica	Física	8
		▪ Eletromagnetismo	Física	10
		▪ Ondas	Física	8
		▪ Instrumentação para a Física	Física	6
		▪ Física Quântica	Física	6
		▪ Termodinâmica e Física Estatística	Física	8
		▪ Estrutura atômica e molecular	Química	6
		▪ Técnicas Laboratoriais de Química	Química	8
		▪ Química orgânica	Química	8
		▪ Química Física	Química	8
		▪ Métodos Instrumentais de Análise	Química	8
		▪ Química Inorgânica	Química	8
		▪ Aplicacionais para Ciências	Informática	9
		▪ Algoritmos e Programação	Informática	8
Unidades curriculares de Especialização	15	▪ Especialização I	Ciências exatas	8
		▪ Especialização II	Ciências exatas	8
		▪ Menor I	Menor	8
		▪ Menor II	Menor	8
		▪ Projeto	Projeto	14
Unidades curriculares de conteúdo Institucional	13	▪ Educação Cívica, Ética Profissional	Desenvolvimento pessoal	4
		▪ Língua Inglesa I, II, III, IV	Desenvolvimento pessoal	16
		▪ Língua Portuguesa I, II, III, IV	Desenvolvimento pessoal	16
		▪ Língua Tétum	Desenvolvimento pessoal	4
Total	100			300

Quadro 3 - distribuição das unidades curriculares pelo tipo de matérias de formação.

AC	Ano 1 / Semestre 1 Unidades Curriculares	Créditos ECTS	Horas por Semana					Contato total no semestre
			T	TP	P	EA	Total	
M	Introdução aos Conceitos de Matemática I	6	-	5h00	-	3h00	8h00	90
F	Introdução aos Conceitos de Física	6	-	5h00	-	3h00	8h00	90
Q	Introdução aos Conceitos de Química	6	-	5h00	-	3h00	8h00	90
LT	Língua Tétum	4	-	3h00	-	2h00	5h00	54
LP	Língua Portuguesa I	4	-	4h00	-	2h00	5h00	72
LI	Língua Inglesa I	4	-	3h00	-	2h15	5h15	54
T o t a l		30	-	25h00	-	15h30	40h30	450h

Quadro 4 – carga horária e créditos das unidades curriculares do primeiro semestre de formação

AC	Ano 1 / Semestre 2 Unidades Curriculares	Créditos ECTS	Horas por Semana					Contato total no semestre
			T	TP	P	EA	Total	
D	Educação Cívica, Ética profissional	4	-	3h00	-	2h00	5h00	54
M	Introdução aos Conceitos de Matemática II	6	-	5h00	-	3h00	8h00	90
F	Laboratórios de Física	6	-	-	5h00	3h15	8h15	90
Q	Laboratórios de Química	6	-	1h00	4h00	3h15	8h15	90
LP	Língua Portuguesa II	4	-	4h00	-	2h00	6h00	72
LI	Língua Inglesa II	4	-	3h00	-	2h00	5h00	54
T o t a l		30	-	16h00	9h00	15h30	40h30	450h

Quadro 5 - carga horária e créditos das unidades curriculares do segundo semestre de formação

AC	Ano 2 / Semestre 3 Unidades Curriculares	Créditos ECTS	Horas por Semana					Contato total no semestre
			T	TP	P	EA	Total	
LP	Língua Portuguesa III	4	-	3h00	-	2h00	5h00	54
Q	Química Básica	8	-	4h00	3h00	4h30	10h30	126
M	Cálculo I	6	-	5h00	-	3h00	8h00	90
F	Elementos de Física	6	-	5h00	-	3h00	8h00	90
M	Álgebra Linear e Geometria Analítica	6	-	5h00	-	3h00	8h00	90
T o t a l		30	-	22h00	3h00	15h30	40h45	450h

Quadro 6 - carga horária e créditos das unidades curriculares do terceiro semestre de formação

AC	Ano 2 / Semestre 4 Unidades Curriculares	Créditos ECTS	Horas por Semana					Contato total no semestre
			T	TP	P	EA	Total	
LP	Língua Portuguesa IV	4	-	3h00	-	2h00	5h00	54
M	Cálculo II	6	-	5h00	-	3h00	8h00	90
Q	Estrutura Atômica e Molecular	6	-	5h00	-	3h00	8h00	90
F	Mecânica Clássica	8	-	4h00	3h00	4h30	11h30	126
M	Matemática Discreta	6	-	5h00	-	3h00	8h00	90
T o t a l		30	-	22h00	3h00	15h30	40h45	450h

Quadro 7 - carga horária e créditos das unidades curriculares do quarto semestre de formação

AC	Ano 3 / Semestre 5 Unidades Curriculares	Créditos ECTS	Horas por Semana					Contato total no semestre
			T	TP	P	EA	Total	
LI	Língua Inglesa III	4	-	4h00		2h00	6h00	72
M	Cálculo III	9	-	5h00	2h00	5h00	12h00	126
I	Aplicacionais para Ciências	9	-	3h00	4h00	4h30	11h30	126
Q	Técnicas Laboratoriais de Química	8	-	3h00	4h00	4h00	11h00	126
T o t a l		30	-	15h00	10h00	15h30	40h30	450h

Quadro 8 - carga horária e créditos das unidades curriculares do quinto semestre de formação

AC	Ano 3 / Semestre 6 Unidades Curriculares	Créditos ECTS	Horas por Semana					Contato total no semestre
			T	TP	P	EA	Total	
LI	Língua Inglesa IV	4	-	4h00	-	2h15	6h15	72
M	Probabilidades e Estatística	8	-	5h00	2h00	3h30	10h30	126
F	Eletromagnetismo	10	-	4h00	3h00	5h15	12h15	126
I	Algoritmos e Programação	8	-	3h00	4h00	4h30	11h30	126
T o t a l		30	-	16h00	9h00	15h30	40h30	450h

Quadro 9 - carga horária e créditos das unidades curriculares do sexto semestre de formação

AC	Ano 4 / Semestre 7 Unidades Curriculares	Créditos ECTS	Horas por Semana					Contato total no semestre
			T	TP	P	EA	Total	
M	Estruturas algébricas	8	-	5h00	-	4h30	9h30	90
F	Ondas	8	-	4h00	3h00	4h30	11h30	126
Q	Química Orgânica	8	-	4h00	4h00	3h30	11h30	144
F	Instrumentação para a Física	6	-	1h00	4h00	3h00	8h00	90
T o t a l		30	-	14h00	11h00	15h30	40h45	450h

Quadro 10 - carga horária e créditos das unidades curriculares do sétimo semestre de formação

AC	Ano 4 / Semestre 8 Unidades Curriculares	Créditos ECTS	Horas por Semana					Contato total no semestre
			T	TP	P	EA	Total	
M	Análise Numérica	6	-	3h00	3h00	2h00	8h00	108
F	Termodinâmica e Física Estatística	8	-	3h00	2h00	4h30	9h30	90
Q	Química-Física	8	-	4h00	3h00	4h30	11h30	126
Q	Métodos de Análise Química	8	-	4h00	3h00	4h30	11h30	126
T o t a l		30	-	14h00	11h00	15h30	40h30	450h

Quadro 11 - carga horária e créditos das unidades curriculares do oitavo semestre de formação

AC	Ano 5 / Semestre 9 Unidades Curriculares	Créditos ECTS	Horas por Semana					Contato total no semestre
			T	TP	P	EA	Total	
F	Física Quântica	6	-	4h00	3h00	3h15	8h15	126
Q	Química Inorgânica	8	-	3h00	3h00	4h45	10h45	108
a)	Especialização I	8	-				10h45	
a)	Especialização II	8	-				10h45	
T o t a l		30	-				40h30	

Quadro 12 - carga horária e créditos das unidades curriculares do nono semestre de formação

a) Unidades curriculares de Especialização (ambas devem ser da mesma área científica).

AC	Ano 5 / Semestre 10 Unidades Curriculares	Créditos ECTS	Horas por Semana					Contato total no semestre
			T	TP	P	EA	Total	
b)	Projeto	14	-	-	13h00	9h00	19h00	
c)	Menor I	8					10h45	
c)	Menor II	8					10h45	
Total		30	-				40h30	

Quadro 13 - carga horária e créditos das unidades curriculares do décimo semestre de formação

- b) O projeto desenvolvido por cada aluno poderá focar uma das áreas de especialização.
c) Unidades curriculares de menores. Ambas as unidades curriculares não precisam de ser da mesma área científica.

Especialização						
Unidades Curriculares	Horas Semanais					
	AC	T/TP	P	EA	Total	ECTS
Matemática						
Modelação Matemática e Otimização	M	6h00		4h45	10h45	8
Estatística e Análise de Dados	M	2h00	4h00	4h45	10h45	8
Física						
Física dos Materiais	F	6h00		4h45	10h45	8
Física Médica	F	6h00		4h45	10h45	8
Química						
Química dos Processos Industriais	Q	4h00		6h45	10h45	8
Análise de Águas Naturais e Residuais	Q	4h00	4h00	4h45	10h45	8

Quadro 14 - Unidades curriculares de especialização

Menor						
Unidades Curriculares	Horas Semanais					
	AC	T/TP	P	EA	Total	ECTS
Ambiente						
Introdução aos Problemas Ambientais	Q	2h00	4h00	4h45	10h45	8
Tratamento de Águas e Efluentes	CEA	6h00		4h45	10h45	8
Didática						
Educação para o Desenvolvimento Sustentável e Ensino Experimental das Ciências	DTE	3h00	3h00	4h45	10h45	8
Didática e Desenvolvimento Curricular de Matemática, Física e Química	DTE	6h00		4h45	10h45	8
Engenharia Química						
Introdução à Engenharia de Processos	EQ	6h00		4h45	10h45	8
Processos de Separação	EQ	6h00		4h45	10h45	8
Gestão						
Gestão de Empresas	G	6h00		4h45	10h45	8
Gestão Integrada de Projetos	G	6h00		4h45	10h45	8
Informática						
Base de Dados	I	2h00	4h00	4h45	10h45	8
Programação Web	I	2h00	4h00	4h45	10h45	8

Quadro 15 - Unidades curriculares de menor

T = aulas teóricas
TP = aulas teórico-práticas
T = aulas práticas, ou laboratoriais, trabalho de campo
EA = estudo autónomo

Anexo III: Conteúdos Específicos da Unidade Curricular de Elementos de Física

CONTEÚDOS ESPECÍFICOS DA UNIDADE CURRICULAR
1. Radioatividade e Física de Partículas
1.1 O Universo e forças fundamentais da Natureza
1.2 Partículas elementares
1.3 Decaimento radioativo
1.4 Aplicações da radioatividade
2 Hidrostática
2.1 Noção de fluido
2.2 Lei fundamental da hidrostática
2.2 Lei de Pascal
2.3 Lei de Arquimedes
2.4 Pressão atmosférica
2.5 Aplicações da hidrostática
3 Hidrodinâmica
3.1 Movimento dos fluidos em regime estacionário
3.2 Equação da continuidade
3.3 Equação de Bernoulli
3.4 Coeficiente de viscosidade de um líquido
4 Emissão e absorção de radiação
4.1 Sistema termodinâmico
4.2 Lei de Stefan-Boltzmann
4.3 Deslocamento de Wien
4.4 Equilíbrio térmico. Lei Zero da Termodinâmica
4.5 Radiação Solar
4.6 Balanço energético da Terra
5. Introdução à Teoria da Relatividade
5.2 Relatividade Restrita
5.3 Transformação de coordenadas e velocidades
5.4 Energia e momento relativísticos

Anexo IV: Trabalhos Práticos das unidades curriculares de Física

Ano	Semestre	Unidade Curricular	Trabalhos Práticos
1	Ímpar	Introdução aos conceitos de Física	Não há componente prática
1	Par	Laboratórios de Física	<ul style="list-style-type: none"> a. Energia mecânica ao longo de um plano inclinado b. Transformações de energia no ressalto de uma bola no solo c. Lei de Ohm d. Análise de circuito e. Medida de resistividade de materiais f. Características de um gerador g. Campo elétrico e potencial h. Simulações computacionais I e II
2	Ímpar	Elementos de Física	Não há componente prática
2	Par	Mecânica Clássica	<ul style="list-style-type: none"> a. Pendulo simples b. Centro de massa c. Movimento de projéteis d. Colisões e. Pendulo compostos f. Pendulo acoplados g. Simulações computacionais I e II
3	Par	Eletromagnetismo	<ul style="list-style-type: none"> a. Osciloscópio b. Análise de circuito c. Princípio de sobreposição d. Característica de voltagem e corrente de elementos e. Indução eletromagnética f. Medição do campo magnético g. Carga e descarga de condensadores
4	Ímpar	Ondas	<ul style="list-style-type: none"> a. Ondas numa corda b. Interferência e difração c. Polarização d. Micro-ondas e. Simulações computacionais I e II
4	Ímpar	Instrumentação para a Física	<ul style="list-style-type: none"> a. Efeito de carga b. Resposta em frequência de filtro passa alto c. Resposta em frequência passa baixo e passa banda d. Amplificador inversor e. Amplificador não inversor f. Somador g. Detetor de zero histerese h. Conversor digital-analógico i. Simulações computacionais I e II
4	Par	Termodinâmica e Física Estatística	<ul style="list-style-type: none"> a. Absorção de radiação em superfície b. Balanço energético num sistema termodinâmico c. Calibração de termopares d. Entalpia de vaporização e. Simulações computacionais I e II
5	Ímpar	Física Quântica	<ul style="list-style-type: none"> a. Efeito fotoelétrico b. Determinação de carga específica do eletrão c. Radiação do corpo negro d. Experiência de Franck-Hertz e. Simulações computacionais I e II
5	Ímpar	Física dos Materiais	Não há componente prática
5	Ímpar	Física Médica	Não há componente prática