



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

Instituto de Física

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

**VARIAÇÕES DIURNAS NA PRESSÃO ATMOSFÉRICA:  
UM ESTUDO INVESTIGATIVO BASEADO  
NA UTILIZAÇÃO DA PLACA ARDUINO**

Luiz Raimundo Moreira de Carvalho

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Helio Salim de Amorim

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2014

## FICHA CATALOGRÁFICA

C331v Carvalho, Luiz Raimundo Moreira de

Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino / Luiz Raimundo Moreira de Carvalho. – Rio de Janeiro: UFRJ / IF, 2014.

xxiii, 234 f. : il. ; 30cm

Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Orientador: Dr. Helio Salim de Amorim

Referências Bibliográficas: f. 133-143.

1. Física - ensino e aprendizagem. 2. Pressão atmosférica. 3. Atividade experimental investigativa. I. Amorim, Helio Salim de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino.

CDD 530.07

**VARIAÇÕES DIURNAS NA PRESSÃO ATMOSFÉRICA:  
UM ESTUDO INVESTIGATIVO BASEADO  
NA UTILIZAÇÃO DA PLACA ARDUINO**

Luiz Raimundo Moreira de Carvalho

Orientador:  
Prof. Dr. Helio Salim de Amorim

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

---

Presidente, Prof. Dr. Helio Salim de Amorim  
(Instituto de Física – UFRJ)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Claudine Pereira Dereczynski  
(Instituto de Geociências – UFRJ)

---

Prof. Dr. Vitorvani Soares  
(Instituto de Física – UFRJ)

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2014

### ***Dedicatória***

*À minha amada esposa, Anna, pelo amor, pela cumplicidade e pelo companheirismo que sempre me foram oferecidos, dedico este trabalho.*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, **Helio Salim de Amorim**, pela sabedoria compartilhada e pela acolhida incondicional que me foi dada.

À professora **Claudine Pereira Dereczynski** e ao professor **Vitorvani Soares**, que gentilmente aceitaram participar da banca, pelas valiosas contribuições apresentadas sobre esta dissertação.

Aos alunos da **Escola Técnica Estadual Henrique Lage** (Niterói/RJ) que participaram da primeira aplicação do produto educacional desta dissertação em outubro/novembro de 2013: turmas 1231 (Eletrônica), 1232 (Eletrônica), 2231 (Eletrônica), 2331 (Eletrotécnica) e 2431 (Estruturas Navais).

Ao **Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil**, por ter prontamente disponibilizado informações de excelente qualidade do **Banco Nacional de Dados Oceanográficos**.

Aos colegas do Mestrado Profissional em Ensino de Física da UFRJ, **Alexandre Marcelo Pereira**, **Carlos Frederico Marçal Rodrigues**, **Eric Barros Lopes**, **Leonardo Pereira Vieira**, **Manoel Jorge Rodrigues Marim**, **Marcelo Elias da Silva**, **Marcos Paulo da Cunha Martinho** e **Servio Tulio Lunguinho de Sousa**, pela jornada compartilhada, pelas valiosas trocas de experiências, pela amizade e pelo convívio prazeroso e descontraído.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, **Susana Lehrer de Souza Barros** (*in memoriam*), **Alexandre Carlos Tort**, **Carlos Eduardo Aguiar**, **Deise Miranda Vianna**, **Fernando de Souza Barros**, **Helio Salim de Amorim**, **Joaquim Lopes Neto**, **Marcus Venicius Cougo Pinto**, **Marta Feijó Barroso** e **Penha Maria Cardozo Dias** pela formação acadêmica de excelente qualidade que me proporcionaram com suas aulas.

Ao professor **Carlos Eduardo Aguiar**, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UFRJ, pelo zelo profissional e pessoal oferecido aos alunos do Mestrado Profissional em Ensino de Física, e à **Dilma Conceição dos Santos**, pela conduta sempre cordial e atenciosa dada a todos os alunos na Secretaria de Pós-Graduação do Instituto de Física.

Ao meu pai, **Marcos Antônio Batista de Carvalho**, pela atenciosa revisão da língua portuguesa do texto desta dissertação. À minha esposa, **Anna Caroline Maia**, e à minha sogra, **Itacy Sonia Maia**, por todo o apoio que me deram durante o período em que realizei este trabalho. À minha avó, **Dolores Alejandro Rebello Moreira**, e à minha mãe, **Elizabeth Maria Moreira Miccolis**, pelo bom humor que sempre transmitem a mim e a todas as pessoas.

## **RESUMO**

### **VARIAÇÕES DIURNAS NA PRESSÃO ATMOSFÉRICA: UM ESTUDO INVESTIGATIVO BASEADO NA UTILIZAÇÃO DA PLACA ARDUINO**

Luiz Raimundo Moreira de Carvalho

Orientador:  
Prof. Dr. Helio Salim de Amorim

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Este trabalho apresenta uma atividade experimental investigativa sobre as marés atmosféricas. O fenômeno é analisado a partir de medições automatizadas da pressão atmosférica, feitas com o uso de um sensor digital de pressão controlado por uma placa Arduino. Uma investigação comparativa é realizada entre as marés atmosféricas, produzidas pela ação térmica do Sol sobre a atmosfera terrestre, e as marés oceânicas, causadas pela ação gravitacional da Lua e do Sol. A atividade foi aplicada a estudantes do Ensino Médio da ETE Henrique Lage, durante as aulas de Física, a partir de um roteiro didático que compõe o produto educacional desta dissertação.

Palavras-chave: Física - ensino e aprendizagem; pressão atmosférica; atividade experimental investigativa.

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2014

## **ABSTRACT**

### **DAILY VARIATIONS IN ATMOSPHERIC PRESSURE: AN INVESTIGATIVE STUDY BASED ON THE USE OF ARDUINO BOARD**

Luiz Raimundo Moreira de Carvalho

Supervisor:  
Prof. Dr. Helio Salim de Amorim

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This work presents an investigative experimental activity on atmospheric tides. The phenomenon is discussed from automated atmospheric pressure measurements made using a digital pressure sensor controlled by an Arduino board. A comparative investigation is performed between atmospheric tides, produced by the thermal action of the Sun on the Earth's atmosphere, and oceanic tides, caused by the gravitational effects of the Moon and the Sun. The activity was applied to high school students of ETE Henrique Lage, during physics classes, from a teaching guide that composes the educational product of this dissertation.

Keywords: Physics - teaching and learning; atmospheric pressure; investigative experimental activity.

Rio de Janeiro  
February 2014

# Sumário

Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xviii
Lista de Siglas e Abreviaturas	xx
Lista de Termos Utilizados em Equações	xxii
Lista de Símbolos Químicos e Fórmulas Químicas	xxiii

INTRODUÇÃO	1
------------	---

## CAPÍTULO 1 – A APRENDIZAGEM POR INVESTIGAÇÃO

1.1. Algumas orientações para o ensino de Física	2
1.2. Referenciais teóricos para o ensino por investigação	9
1.3. As concepções alternativas	14
1.4. Atividade investigativa × laboratório tradicional	18
1.5. A contribuição da História da Ciência	22
1.6. Uma introdução ao fenômeno das marés atmosféricas	27
1.7. O que encontramos nos livros didáticos?	29
1.8. Uma proposta para o estudo das marés atmosféricas	34

## CAPÍTULO 2 – AS MARÉS

2.1. Introdução: as marés oceânicas	37
2.2. A causa das marés oceânicas	40
2.3. As marés oceânicas e a Teoria da Gravitação	42
2.4. As marés atmosféricas e a Teoria da Gravitação	49



## CAPÍTULO 3 – A PRESSÃO ATMOSFÉRICA

3.1. Introdução histórica: o barômetro de mercúrio	55
3.2. O nascimento do conceito de pressão atmosférica	59
3.3. A pressão atmosférica e a altitude	66
3.4. Da pressão atmosférica à maré atmosférica	70
3.5. Medidas das marés	70

## CAPÍTULO 4 – BARÔMETRO DIGITAL: UM PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO

4.1. Automação da medida da pressão atmosférica	74
4.2. O Arduino	75
4.3. O sensor BMP085 da Bosch	78
4.4. O <i>data logging shield</i> da Adafruit	84

## CAPÍTULO 5 – INVESTIGAÇÕES SOBRE AS MARÉS

5.1. Dados sobre as marés oceânicas	88
5.2. Análise de dados sobre as marés oceânicas	89
5.3. Algumas considerações pedagógicas importantes	98
5.4. Dados sobre a pressão e a temperatura	100
5.5. Análise de dados sobre a pressão e a temperatura	102
5.6. Investigações meteorológicas	109
5.7. Investigações geográficas	112
5.8. Considerações finais sobre o trabalho investigativo	118

## CAPÍTULO 6 – APLICAÇÃO EM AULA

6.1. Algumas propostas para o professor	120
6.2. Algumas propostas para os estudantes	122
6.3. Oportunidades de aprendizagem	123
6.4. Participantes do piloto do projeto	125
6.5. Relatos dos estudantes	126

CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	133
APÊNDICE A – O que encontramos nos livros didáticos ? .....	144
APÊNDICE B – Dados físicos e informações complementares	
B.1. Salinidade da água na superfície dos oceanos .....	151
B.2. Pressões hidrostáticas correspondentes a 1 atm .....	151
B.3. Valores de pressão de vapor .....	152
B.4. Fusos horários .....	153
APÊNDICE C – Carta de Evangelista Torricelli para Michelangelo Ricci, 11/06/1644 .....	156
APÊNDICE D – Modelos de placas Arduino .....	158
APÊNDICE E – <i>Sketches</i> para Arduino e procedimentos complementares	
E.1. <i>Sketch</i> para controle do sensor BMP085 e <i>data logger</i> .....	160
E.2. <i>Sketch</i> para sincronização do RTC .....	165
E.3. Sincronização de hora na internet .....	165
E.4. Abertura de arquivos CSV no <i>Microsoft Excel</i> .....	168
E.5. Abertura de arquivos TXT no <i>Microsoft Excel</i> .....	175
E.6. O <i>serial monitor</i> do IDE Arduino .....	177
APÊNDICE F – Gráficos de pressão, temperatura e marés oceânicas	
F.1. Gráficos da pressão atmosférica e da temperatura ambiente .....	178
F.2. Gráficos de pressão produzidos por alunos da ETEHL .....	182
F.3. Gráficos de temperatura produzidos por alunos da ETEHL .....	183
F.4. Gráficos de marés oceânicas produzidos por alunos da ETEHL .....	185
ANEXO I <i>Roteiro didático</i> .....	187
ANEXO II <i>Orientações para o professor</i> .....	212

## Lista de Figuras

FIGURA 1 – Características comumente presentes em atividades experimentais no ensino de Física	20-21
FIGURA 2 – Pressão atmosférica: 18 a 21/set/2013, Cidade do México / México (Lat. 19º 20' N ; Long. 99º 11' O)	29
FIGURA 3 – Pressão atmosférica: 10 a 21/set/2013, Cidade do México / México (Lat. 19º 20' N ; Long. 99º 11' O)	29
FIGURA 4 – Amplitude da maré oceânica	37
FIGURA 5 – Padrões de amplitude das marés oceânicas	38
FIGURA 6 – Amplitudes das marés oceânicas em torno da Europa	39
FIGURA 7 – Regiões navegadas por Piteas	39
FIGURA 8 – Localização da Baía de Fundy no Canadá; maré alta e maré baixa registradas em Alma - New Brunswick	40
FIGURA 9 – Modelo simplificado para explicar as marés oceânicas	42
FIGURA 10 – Força das marés	45
FIGURA 11 – Representação das marés altas e das marés baixas	48
FIGURA 12 – Diferença entre a direção do eixo Terra-Lua e a direção do eixo das marés altas	49
FIGURA 13 – Composição do ar seco	51
FIGURA 14 – Densidade do ar seco em função da temperatura, para uma pressão atmosférica de 1 atm (101.325 Pa)	53
FIGURA 15 – Densidade da água em função da temperatura e da salinidade	53
FIGURA 16 – Esquema do baroscópio de Torricelli	55
FIGURA 17 – Representação dos experimentos conduzidos por Pascal nas ruas da cidade de Rouen, na França	58

FIGURA 18 – Réplica do termoscópio de Galileo, <i>Museo Galileo</i> - Florença / Itália	60
FIGURA 19 – <i>Una riunione dell'Accademia del Cimento</i> , afresco de Gaspero Martellini - Florença / Itália	60
FIGURA 20 – Esquema do termobaroscópio de Galileo	61
FIGURA 21 – Experimento de Torricelli	65
FIGURA 22 – Marégrafo na Praça de San Marco - Veneza / Itália	71
FIGURA 23 – Projeto de instrumentação de um barômetro digital	75
FIGURA 24 – Arduino Uno R3	76
FIGURA 25 – IDE Arduino: versão 1.0.5	77
FIGURA 26 – Sensor BMP085	79
FIGURA 27 – Conexões entre o sensor BMP085 e o Arduino Uno	80
FIGURA 28 – Sensor BMP085 conectado ao <i>data logging shield</i>	80
FIGURA 29 – <i>Pin header</i> soldado à <i>breakout board</i> do sensor BMP085	81
FIGURA 30 – <i>Pin header</i> de 40 x 1 com espaçamento de 0,1" (2,54 mm)	81
FIGURA 31 – Barra fêmea soldada à área livre do <i>data logging shield</i> para o encaixe do sensor de pressão barométrica BMP085	82
FIGURA 32 – Barra fêmea de 40 x 1 com espaçamento de 0,1" (2,54 mm)	82
FIGURA 33 – Ligações feitas no verso do <i>data logging shield</i>	83
FIGURA 34 – <i>Data logging shield</i> da Adafruit	84

FIGURA 35 – Cartão microSD e adaptador microSD para SD	85
FIGURA 36 – Exemplo de visualização de dados no <i>Microsoft Excel</i>	85
FIGURA 37 – RTC incluído no <i>data logging shield</i>	86
FIGURA 38 – <i>Adafruit assembled data logging shield for Arduino</i>	87
FIGURA 39 – Medidas de maré: 1º a 30/set/2013 - Ilha Fiscal / RJ	89
FIGURA 40 – Medidas de maré: 1º a 09/set/2013 - Ilha Fiscal / RJ	92
FIGURA 41 – Ocorrência da maré alta: 1º a 09/set/2013 - Ilha Fiscal / RJ	92
FIGURA 42 – Maré alta em intervalos de tempo expressos em minutos	93
FIGURA 43 – Dia lunar	94
FIGURA 44 – Comparação entre um modelo senoidal simples, um modelo de batimentos e os resultados experimentais de maré	95
FIGURA 45 – Marés de sizígia e marés de quadratura	96
FIGURA 46 – Fases da Lua nas marés de sizígia e de quadratura	97
FIGURA 47 – Nível médio da água: 1º a 30/set/2013 - Ilha Fiscal / RJ	98
FIGURA 48 – Pressão atmosférica na Cidade do México	101
FIGURA 49 – Pressão atmosférica: 8 a 25/set/2013, Newark - Delaware / EUA (Lat. 39º 40' N ; Long. 75º 40' O)	102
FIGURA 50 – Oscilações na pressão atmosférica: Niterói e Teresópolis	105
FIGURA 51 – Ocorrência da maré barométrica alta em Niterói e Teresópolis (11 a 14/set/2013)	106

FIGURA 52 – Oscilações na temperatura ambiente: Niterói e Teresópolis	107
FIGURA 53 – Ocorrência da temperatura máxima em Niterói e Teresópolis (11 a 14/set/2013)	108
FIGURA 54 – Tendências inversas de longa duração: temperatura e pressão em Niterói observadas no período de 10 a 16/set/2013	110
FIGURA 55 – Notícia sobre a chegada de uma frente fria: 17/set/2013	111
FIGURA 56 – Temperatura ambiente: 13 a 20/set/2013 - Niterói / RJ	111
FIGURA 57 – Oscilações na pressão atmosférica: Niterói e Goiânia	112
FIGURA 58 – Oscilações na pressão atmosférica: Niterói e Cidade do México	114
FIGURA 59 – Oscilações na pressão atmosférica: Niterói e Newark	116
FIGURA 60 – Pressão atmosférica: 8 a 25/set/2013, Thule / Groenlândia (Lat. 76° 30' N ; Long. 68° 42' O)	117
FIGURA 61 – Pressão atmosférica: 8 a 25/set/2013, Polo Sul (Lat. 90° S)	118
FIGURA 62 – Exemplo de visualização no <i>serial monitor</i> do IDE Arduino	121
FIGURA 63 – Média anual da salinidade da água na superfície dos oceanos	151
FIGURA 64 – Pressão de vapor em função da temperatura	153
FIGURA 65 – Fusos horários do hemisfério ocidental	154
FIGURA 66 – Fusos horários do hemisfério oriental	155
FIGURA 67 – Produtos Arduino	158
FIGURA 68 – Abrir o “Painel de Controle”	166

FIGURA 69 – Selecionar “Relógio, Idioma e Região”	166
FIGURA 70 – Selecionar “Data e Hora”	167
FIGURA 71 – Selecionar a guia “Horário na Internet” e clicar no botão “Alterar configurações...”	167
FIGURA 72 – Marcar a caixa “Sincronizar com um servidor de horário na Internet”	167
FIGURA 73 – Abrir a lista “Servidor” e selecionar um servidor de horário na internet	168
FIGURA 74 – Clicar no botão “Atualizar agora”	168
FIGURA 75 – Arquivo CSV aberto no <i>Microsoft Excel</i>	169
FIGURA 76 – Estrutura dos dados salvos no arquivo CSV	170
FIGURA 77 – Selecionar todas as células contendo dados	171
FIGURA 78 – Abrir a guia “Dados” e selecionar o recurso “Texto para colunas...”	172
FIGURA 79 – Selecionar a opção “Delimitado” e clicar no botão “Avançar”	172
FIGURA 80 – Marcar a caixa “Vírgula” e clicar no botão “Avançar”	172
FIGURA 81 – Marcar a 1ª coluna, selecionar a opção “Data”, abrir a lista e escolher “AMD” (ano/mês/dia)	173
FIGURA 82 – Marcar a 2ª coluna e clicar no botão “Avançado...”	173
FIGURA 83 – Escolher “.” (ponto) na lista “Separador decimal” e clicar no botão “OK”	173
FIGURA 84 – Especificar a célula inicial para abrigar os novos dados e clicar no botão “Concluir”	174
FIGURA 85 – Dados originais (coluna “A”) e respectivas medidas de tempo (coluna “E”), temperatura (coluna “F”) e pressão (coluna “G”)	174

FIGURA 86 – Informar a linha em que começam os dados no arquivo TXT e clicar no botão “Avançar”	175
FIGURA 87 – Marcar a caixa “Ponto e vírgula” e clicar no botão “Avançar”	175
FIGURA 88 – Marcar a 1ª coluna, selecionar a opção “Data”, abrir a lista e escolher “DMA” (dia/mês/ano), clicar no botão “Concluir”	176
FIGURA 89 – Dados de maré apresentados em TXT e transportados para o <i>Microsoft Excel</i>	176
FIGURA 90 – Abertura do <i>serial monitor</i> através do menu “Tools”	177
FIGURA 91 – Seleção da taxa de transmissão no <i>serial monitor</i>	177
FIGURA 92 – Pressão atmosférica: 13 a 21/ago/2013 - Teresópolis / RJ	178
FIGURA 93 – Temperatura ambiente: 13 a 21/ago/2013 - Teresópolis / RJ	179
FIGURA 94 – Pressão atmosférica: 25 a 29/ago/2013 - Teresópolis / RJ	179
FIGURA 95 – Temperatura ambiente: 25 a 29/ago/2013 - Teresópolis / RJ	179
FIGURA 96 – Pressão atmosférica: 9 a 22/set/2013 - Niterói / RJ	180
FIGURA 97 – Temperatura ambiente: 9 a 22/set/2013 - Niterói / RJ	180
FIGURA 98 – Pressão atmosférica: 10 a 15/set/2013 - Teresópolis / RJ	181
FIGURA 99 – Temperatura ambiente: 10 a 15/set/2013 - Teresópolis / RJ	181
FIGURA 100 – Pressão atmosférica: 18 a 21/set/2013 - Goiânia / GO	181
FIGURA 101 – Visão panorâmica do afresco <i>Una riunione dell'Accademia del Cimento</i>	220
FIGURA 102 – Modelo que descreve a pressão em um líquido ideal	222



FIGURA 103 – Modelo que descreve a pressão em função da altitude em uma atmosfera isotérmica	225
FIGURA 104 – Campo gravitacional terrestre na região da troposfera	226
FIGURA 105 – Notícia sobre a chegada de uma frente fria: 14/ago/2013	227
FIGURA 106 – Temperatura ambiente: 14 a 21/ago/2013 - Teresópolis / RJ	227
FIGURA 107 – Período das oscilações rápidas e semi-período da envoltória	232

## Lista de Tabelas

TABELA 1 – Referenciais teóricos piagetiano e sócio-interacionista que fundamentam uma metodologia de ensino por investigação	12
TABELA 2 – Comparações entre características de um laboratório tradicional e atividades investigativas	19
TABELA 3 – Aspectos verificados na análise de conteúdos em livros didáticos de Física	30
TABELA 4 – Relação dos livros de Física analisados	31
TABELA 5 – Resultados da análise dos livros de Física	32
TABELA 6 – Frações da massa molar	52
TABELA 7 – Sequências de medidas da pressão atmosférica e da temperatura ambiente	100
TABELA 8 – Pressão média em Teresópolis, Niterói e Goiânia	103
TABELA 9 – Altitude de localidades em Teresópolis, Niterói e Goiânia	104
TABELA 10 – Comparação entre as pressões previstas pelo modelo e as pressões médias aferidas nos experimentos	105
TABELA 11 – Diferenças de longitude para algumas localidades	115
TABELA 12 – Oportunidades de aprendizagem potencialmente produzidas pela atividade experimental investigativa	124
TABELA 13 – Turmas participantes do piloto do projeto da atividade experimental investigativa	125
TABELA 14 – Aspectos verificados na análise de conteúdos em livros didáticos de Física	144-145
TABELA 15 – Codificação utilizada para o nível de abordagem dos conteúdos de Física analisados	145
TABELA 16 – Alturas de colunas líquidas capazes de produzir pressões hidrostáticas de 1 atm (101.325 Pa)	152
TABELA 17 – Exemplos de valores de pressão de vapor (20 °C)	152

TABELA 18 – Comparação entre características de placas Arduino	159
TABELA 19 – Etapas para a sincronização de hora na internet	166
TABELA 20 – Etapas para separar as informações de um arquivo CSV no <i>Microsoft Excel</i>	171
TABELA 21 – Etapas para separar as informações de um arquivo TXT no <i>Microsoft Excel</i>	175
TABELA 22 – Alguns detalhes do afresco <i>Una riunione dell'Accademia del Cimento</i>	220
TABELA 23 – Fusos horários de algumas localidades	228

## Lista de Siglas e Abreviaturas

BNDO	.....	Banco Nacional de Dados Oceanográficos
CD/FNDE	.....	Conselho Deliberativo do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
CHM	.....	Centro de Hidrografia da Marinha
CNE	.....	Conselho Nacional de Educação
CPTEC	.....	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CPU	.....	<i>Central Processing Unit</i>
CSV	.....	<i>Comma-Separated Values</i>
DHN	.....	Diretoria de Hidrografia e Navegação
EM	.....	Ensino Médio
EOC	.....	<i>end of conversion</i>
EPROM	.....	<i>Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
EEPROM	.....	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
ETE	.....	Escola Técnica Estadual
ETEHL	.....	Escola Técnica Estadual Henrique Lage
EUA	.....	Estados Unidos da América
FNDE	.....	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
GND	.....	<i>ground</i>
GO	.....	Goiás
I <sup>2</sup> C	.....	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
IDE	.....	<i>Integrated Development Environment</i>
INMET	.....	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	.....	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IO	.....	<i>Input / Output</i>
LDB	.....	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei 9.634 de 20/12/1996)

NR	.....	Nível de Redução
OCEM	.....	Orientações Curriculares para o Ensino Médio
PCN+	.....	Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais
PCNEM	.....	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PDF	.....	<i>Portable Document Format</i>
PNLD	.....	Programa Nacional do Livro Didático
PNLEM	.....	Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio
PSS	.....	<i>Practical Salinity Scale</i>
PSSC	.....	<i>Physical Science Study Committe</i>
PWM	.....	<i>Pulse-width modulation</i>
R3	.....	Revisão 3
RJ	.....	Rio de Janeiro
RTC	.....	<i>Real Time Clock</i>
SD	.....	<i>Secure Digital</i>
SDA	.....	<i>serial data</i>
SCL	.....	<i>serial clock</i>
SRAM	.....	<i>Static Random-Access Memory</i>
TXT	.....	<i>text file format</i>
UART	.....	<i>Universal Asynchronous Receiver / Transmitter</i>
USB	.....	<i>Universal Serial Bus</i>
UTC	.....	<i>Universal Time Coordinated</i>
VCC	.....	<i>power supply</i>
XCLR	.....	<i>master clear</i>

## Lista de Termos Utilizados em Equações

- $A ; B$  ..... amplitude
- $d ; D$  ..... distância / posição
- $f$  ..... frequência
- $\bar{f}$  ..... frequência média
- $F$  ..... força
- $g$  ..... aceleração da gravidade na superfície da Terra ( $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$ )
- $G$  ..... constante da Gravitação Universal ( $G \approx 6,673 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$ )
- $h$  ..... altura / profundidade
- $m ; M$  ..... massa
- $M$  ..... massa molar
- $n$  ..... número de mols
- $p$  ..... pressão
- $r ; R$  ..... distância / posição / raio
- $\ddot{r}$  ..... aceleração
- $R$  ..... constante universal dos gases ( $R \approx 8,314 \text{ J/mol.K}$ )
- $\rho$  ..... densidade
- $t$  ..... tempo
- $T$  ..... temperatura absoluta
- $T ; \tau$  ..... período
- $V$  ..... volume
- $z$  ..... altitude

## Lista de Símbolos Químicos e Fórmulas Químicas

Ar	.....	argônio
CH <sub>4</sub>	.....	metano
CO <sub>2</sub>	.....	dióxido de carbono (gás carbônico)
H <sub>2</sub>	.....	hidrogênio
He	.....	hélio
Kr	.....	criptônio
N <sub>2</sub>	.....	nitrogênio
Ne	.....	neônio
N <sub>2</sub> O	.....	óxido nitroso
NO <sub>2</sub>	.....	dióxido de nitrogênio
O <sub>2</sub>	.....	oxigênio
O <sub>3</sub>	.....	ozônio
Xe	.....	xenônio





# INTRODUÇÃO

Uma análise do comportamento das marés oceânicas possibilita um estudo comparativo com as chamadas marés atmosféricas. Por outro lado, uma incursão pelo fenômeno das marés atmosféricas permite que sejam explorados diversos temas considerados relevantes no ensino de Física, não se limitando apenas à medida da pressão atmosférica. A comparação entre o fenômeno das **marés oceânicas** e o fenômeno das **marés atmosféricas** no contexto de uma **atividade experimental investigativa para o Ensino Médio** é o tema desta dissertação.

No Capítulo 1 serão trazidos os referenciais pedagógicos que, em conjunto com as orientações apresentadas nos documentos oficiais, justificam o desenvolvimento e a aplicação de uma atividade experimental investigativa e ressaltam a sua importância enquanto metodologia de ensino.

O Capítulo 2 abordará a Teoria da Gravitação newtoniana como fundamento de um modelo para a existência das marés oceânicas, mas que não se aplica às marés atmosféricas, que se manifestam como variações diurnas na pressão atmosférica. Nesse sentido, uma análise histórica do conceito de pressão atmosférica e de sua medida será realizada no Capítulo 3.

A implantação de uma atividade investigativa baseada em um estudo da pressão atmosférica conta com a elaboração de um projeto de instrumentação de um barômetro digital que será apresentado no Capítulo 4. Os resultados experimentais e uma comparação entre as marés oceânicas e atmosféricas estará presente no Capítulo 5, onde também será constatado que as marés atmosféricas são resultantes da ação da radiação solar sobre a atmosfera terrestre. O Capítulo 5 é o núcleo da atividade experimental investigativa que serviu de base para a construção do roteiro didático *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino* (Anexo I), que também inclui considerações dos Capítulos 2 e 3.

Finalmente, o Capítulo 6 apresentará de forma breve alguns aspectos da aplicação em aula do produto educacional (material instrucional) contido no Anexo I desta dissertação.

# Capítulo 1

## A aprendizagem por investigação

### 1.1. Algumas orientações para o ensino de Física

Desde a sua publicação, os *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio* (PCNEM) constituíram-se como um dos documentos oficiais mais relevantes a respeito das significativas mudanças pelas quais a Física no Ensino Médio vem passando. Baseado na legislação em vigor, os PCNEM afirmam que [PCNEM 2000]:

*“A LDB/96, ao considerar o Ensino Médio como última e complementar etapa da Educação Básica, e a Resolução CNE/98, ao instituir as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, que organizam as áreas de conhecimento e orientam a educação à promoção de valores como a sensibilidade e a solidariedade, atributos da cidadania, apontam de que forma o aprendizado de Ciências e de Matemática, já iniciado no Ensino Fundamental, deve encontrar complementação e aprofundamento no Ensino Médio. Nessa nova etapa, em que já se pode contar com uma maior maturidade do aluno, os objetivos educacionais podem passar a ter maior ambição formativa, tanto em termos da natureza das informações tratadas, dos procedimentos e atitudes envolvidas, como em termos das habilidades, competências e dos valores desenvolvidos.” [p. 6]*

Destaca-se nesse documento o diferencial conferido aos “*objetivos educacionais*” do novo Ensino Médio, para os quais se atribui “*maior ambição formativa*”. Nessa perspectiva, a Física e as demais disciplinas do Ensino Médio devem efetivamente propiciar “*um aprendizado útil à vida e ao trabalho,*

no qual as informações, o conhecimento, as competências, as habilidades e os valores desenvolvidos sejam instrumentos reais de percepção, satisfação, interpretação, julgamento, atuação, desenvolvimento pessoal ou de aprendizado permanente” [PCNEM 2000, p. 4]. O novo Ensino Médio apresenta, portanto, objetivos educacionais que contrastam com as tradicionais ideias de que a escola de nível médio ou deveria apresentar um caráter puramente profissionalizante, ou deveria servir como uma preparação para outra etapa de escolaridade. As mudanças no Ensino Médio vêm ocorrendo em todos os aspectos, dentre os quais destacam-se quatro: os conteúdos disciplinares, as metodologias de ensino, os objetivos educacionais e a avaliação. Acerca do ensino de Física em particular, os PCNEM afirmam que [PCNEM 2000]:

*“Incorporado à cultura e integrado como instrumento tecnológico, esse conhecimento tornou-se indispensável à formação da cidadania contemporânea. Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas. É necessário também que essa cultura em Física inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos, técnicos ou tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional.” [p. 22]*

Sob a orientação dos PCNEM, as transformações ocorridas no Ensino Médio hoje, em particular no ensino de Física, devem envolver novas abordagens metodológicas e de conteúdos, assim como devem ressaltar “a formação de uma cultura científica efetiva” [PCNEM 2000, p. 22], expressa tanto na compreensão das ideias (conceitos científicos), na percepção das ações (procedimentos técnicos) e na familiaridade com os recursos

tecnológicos, quanto na compreensão do conhecimento como um produto de um processo histórico.

Complementando os PCNEM, foram desenvolvidas posteriormente novas orientações para o Ensino Médio, compiladas em um documento oficial intitulado *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+)*. Nesse documento, é ressaltada a importância da experimentação no ensino de Física [PCN+ 2007]:

*“É indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física, privilegiando-se o fazer, manusear, operar, agir, em diferentes formas e níveis. É dessa forma que se pode garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, desenvolvendo sua curiosidade e o hábito de sempre indagar, evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável.” [p. 84]*

Difícilmente será contestada a necessidade da experimentação no processo de ensino-aprendizagem em ciências, uma vez que *“os professores de ciências, tanto no ensino fundamental como no ensino médio, em geral acreditam que a melhoria do ensino passa pela introdução de aulas práticas no currículo”* [Borges 2002, p. 294]. Entretanto, destacar a importância de atividades experimentais no ensino de Física não é uma inovação, mas algo que já ocorre há muitas décadas, bastando lembrar, por exemplo, de projetos como os desenvolvidos pelo *Physical Science Study Committe (PSSC)* na década de 1960. Mas diferentemente do que se propunha em décadas passadas, as concepções didáticas correntes sugerem que a Física no Ensino Médio deve destacar a construção de uma aprendizagem que privilegie a formação de uma cultura científica [PCNEM 2000], para a qual a experimentação exerce um papel fundamental. Assim, o ensino experimental não deve ser entendido em seu sentido tradicional, mas como uma ação educativa diferenciada, como ressaltado nos PCN+ [PCN+ 2007]:

*“Isso inclui retomar o papel da experimentação, atribuindo-lhe uma maior abrangência para além das situações convencionais de experimentação em laboratório. As abordagens mais tradicionais precisariam, portanto, ser revistas, evitando-se ‘experiências’ que se reduzem à execução de uma lista de procedimentos previamente fixados, cujo sentido nem sempre fica claro para o aluno.” [p. 84]*

A experimentação em Física, na escola de nível médio, manifesta-se das mais variadas maneiras [Borges 2002 ; Rosa 2003]. Mas o desenvolvimento de atividades experimentais na escola ocorre tradicionalmente de duas formas: a partir de *demonstrações* e a partir de *roteiros de experimentos*. A demonstração *“caracteriza-se por um pequeno envolvimento do aluno com o equipamento, embora ele possa acompanhar todas as etapas de raciocínio lógico do processo de demonstração por parte do professor”* [Rosa 2003, p. 20]. Já o uso de roteiros de experimentos procura, em geral, desenvolver *“habilidades específicas relacionadas ao manuseio de equipamentos, obtenção e análise de dados, verificando leis ou fenômenos”* [Rosa 2003, p. 20]. Essas formas clássicas de abordagens didáticas foram predominantes nas escolas e universidades e ainda são muito presentes no ensino de Física atual, tanto no Ensino Médio quanto no Ensino Superior. Entretanto, o uso de demonstrações e/ou de roteiros de experimentos no ensino de Física (quando este não se manifesta de uma forma exclusivamente teórica), realizados nos moldes mais tradicionais, não condiz com as atuais concepções acerca das metodologias de ensino e dos objetivos para a aprendizagem em Física, anteriormente destacados nos documentos oficiais dos PCNEM e dos PCN+, uma vez que tais moldes tradicionais costumam atribuir à experimentação um caráter comprobatório ou meramente ilustrativo das teorias científicas, reduzindo assim a importância da experimentação no processo de ensino-aprendizagem. *“O mesmo vale dizer de elementos históricos, éticos e estéticos, indiscutivelmente presentes na Física, mas cujo aprendizado nem sempre foi tomado como objetivo, senão como elemento de motivação, como adorno ou complemento cultural [...]”* [Menezes 2000, p. 7]. Por outro lado, é muito importante ressaltar que tanto experimentos demonstrativos quanto experimentos conduzidos por

um roteiro/guia sofrem com um certo grau de depreciação não enquanto técnicas pedagógicas em si, mas em função de objetivos didáticos que atualmente são tidos como superados, como a aplicação de um experimento para a “comprovação” de uma teoria científica ou para “ensinar o método científico” [Borges 2002]. Tais objetivos didáticos são comumente associados à aplicação de demonstrações experimentais e de roteiros de experimentos, porém, na realidade, não são exclusivos destas técnicas pedagógicas. O problema, portanto, não está na forma de ação didática desenvolvida, mas nos objetivos pedagógicos estruturados de acordo com uma determinada visão educativa. Segundo os PCN+ [PCN+ 2007]:

*“Fazer opções por determinadas formas de ação ou encaminhamento das atividades não é tarefa simples, já que exige o reconhecimento do contexto escolar específico, suas características e prioridades expressas nos projetos dos professores e alunos e nos projetos pedagógicos das escolas. Discutir estratégias não deve, também, confundir-se com a prescrição de técnicas a serem desenvolvidas em sala de aula.”*  
[p. 82-83]

O desenvolvimento de atividades experimentais no ensino de Física, seja com o uso de demonstrações, com a aplicação de roteiros de experimentos ou com qualquer outra forma de ação ou encaminhamento das atividades, deve ser orientado pelos objetivos revelados por uma determinada concepção pedagógica. *“Por exemplo, se o objetivo é que os alunos, sem nenhum conhecimento anterior, aprendam a utilizar corretamente o voltímetro e o amperímetro, então, uma atividade orientada pelo professor e baseada em um roteiro pode ser a melhor alternativa”* [Borges 2002, p. 302]. Assim, a utilização de um roteiro de experimento no desenvolvimento de uma atividade não é problemática pelo fato de um roteiro ser um roteiro, mas uma atividade experimental baseada na aplicação de um roteiro pode ser inadequada em função da forma como o roteiro traduz objetivos pedagógicos, sobretudo se tais objetivos estiverem em desacordo com as propostas difundidas para o atual

Ensino Médio. O mesmo se poderia dizer acerca do uso de uma demonstração experimental. Para A. Tarciso Borges [Borges 2002]:

*“O trabalho no laboratório pode ser organizado de diversas maneiras, desde demonstrações até atividades prático-experimentais dirigidas diretamente pelo professor ou indiretamente, através de um roteiro. Todas podem ser úteis, dependendo dos objetivos que o professor pretende com a realização das atividades propostas.”* [p. 303]

Em contraste com os objetivos pedagógicos tradicionalmente revelados pelo ensino experimental de décadas passadas, é pertinente inserir hoje uma proposta de *ensino investigativo*, a partir do que se observa nos PCNEM e nos PCN+ acerca do novo Ensino Médio. Encarar uma atividade experimental sob o prisma do ensino por investigação é manifestar aspectos pedagógicos alinhados com a configuração pretendida para o novo Ensino Médio, estando, portanto, de acordo com as considerações expressas nas *Orientações Curriculares para o Ensino Médio* (OCEM). Segundo as OCEM [OCEM 2006]:

*“[...] há um aspecto para o qual os professores devem se voltar com especial atenção, relacionado com a característica fundamental da ciência: a sua dimensão investigativa, dificilmente trabalhada na escola nem solicitada nas provas vestibulares.”* [p. 45]

As OCEM constituem outro documento oficial, que complementa os PCNEM e os PCN+. Nas OCEM encontramos uma referência ao fato de que a Física, enquanto ciência, apresenta uma *dimensão investigativa* como característica fundamental. O conhecimento físico, portanto, é elaborado ao longo de um processo histórico de forma essencialmente investigativa. Uma vez que a Física é uma ciência experimental, acredita-se que o ensino do conhecimento científico pode ser desenvolvido com o auxílio de *atividades experimentais investigativas*. Nesse sentido, muito do que se pretende atualmente para o ensino de Física em particular, mas também para o ensino

das ciências naturais de uma maneira geral, pode ser resumido da forma apresentada a seguir.

- 1) Os objetivos educacionais têm maior ambição formativa:
  - A) em termos da natureza das informações tratadas, dos procedimentos e das atitudes envolvidas;
  - B) em termos das habilidades, das competências e dos valores desenvolvidos. [PCNEM 2000]
  
- 2) Busca-se um aprendizado útil à vida e ao trabalho, no qual as informações, o conhecimento, as competências, as habilidades e os valores desenvolvidos sejam instrumentos reais de percepção, satisfação, interpretação, julgamento, atuação, desenvolvimento pessoal ou de aprendizado permanente. [PCNEM 2000]
  
- 3) Espera-se que o ensino de Física:
  - A) contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação;
  - B) explicita que o conhecimento físico é resultado de um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas;
  - C) inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos, técnicos ou tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional. [PCNEM 2000]



4) No processo de desenvolvimento das competências em Física, é indispensável que a experimentação esteja sempre presente:

A) privilegiando o fazer, o manusear, o operar e o agir em diferentes formas e níveis;

B) garantindo o desenvolvimento da curiosidade e do hábito de sempre indagar, evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável. [PCN+ 2007]

5) Busca-se retomar o papel da experimentação, atribuindo-lhe uma maior abrangência para além das situações convencionais de experimentação em laboratório. [PCN+ 2007]

6) Espera-se que os professores se voltem com especial atenção a uma característica fundamental da ciência: a sua dimensão investigativa. [OCEM 2006]

## **1.2. Referenciais teóricos para o ensino por investigação**

Uma metodologia de ensino por investigação parte do pressuposto de que o ensino de ciências deve ir além do trabalho exclusivamente teórico com conceitos e ideias científicas. Também seria papel do ensino de ciências proporcionar ao estudante o exercício de uma “prática científica” [Carvalho 2011]. Entretanto, é muito importante destacar que o desenvolvimento de atividades experimentais investigativas não consiste em reproduzir o trabalho dos cientistas, muito menos em “reconstruir” o conhecimento científico, uma vez que a elaboração de experimentos científicos e a produção científica de conceitos, leis e teorias demanda um tempo (meses, anos, e até décadas ou séculos) que é incompatível com o tempo de aprendizagem. Sendo assim, nenhum estudante apresenta condições de “reconstruir” a Ciência anteriormente elaborada no decorrer da História, pois boa parte do atual

conhecimento científico passou por um processo de elaboração que envolveu um tempo maior do que o de uma vida. Além disso, o desenvolvimento do trabalho científico teórico e experimental, que é papel do cientista, ocorre a partir de bases históricas e sociais diferentes das vivenciadas no contexto escolar pelo estudante. É consenso, portanto, que nenhum estudante irá construir o conhecimento científico da forma como o cientista o constrói, seja porque o estudante não possui o mesmo arcabouço conceitual ou teórico que um cientista possui, seja porque o estudante não possui a estrutura cognitiva que lhe permita formular, articular, descartar ou reformular de forma crítica conceitos ou ideias ligadas à Ciência da forma como faz um cientista profissional.

Em contrapartida, nada impede que o estudante exercite uma *postura investigativa* ao aprender conceitos científicos através de um estudo teórico e/ou experimental. Esse é um ponto muito importante no *processo formativo* do jovem, e que também é essencial no processo de construção da Ciência, feito pelo cientista. Nesse sentido, o exercício de uma postura investigativa afasta os preconceitos típicos do senso comum, ajuda a reconhecer a importância da dúvida e do erro para a evolução intelectual do indivíduo e expande as fronteiras do pensamento científico-filosófico. Esses são aspectos importantes para a construção do conhecimento científico, feita pelo cientista. E também são aspectos considerados importantes para a formação do jovem cidadão.

Deve estar claro, entretanto, que por estar inserida no contexto do processo de ensino-aprendizagem, uma atividade experimental investigativa se trata de uma *atividade pedagógica*. “Para evitar que os estudantes adquiram uma concepção errônea do que é feito nos laboratórios, é necessário que o professor distinga claramente as atividades práticas para fins pedagógicos da investigação experimental executada por cientistas” [Borges 2002, p. 311]. Por outro lado, apesar de não ser um trabalho propriamente científico, uma atividade pedagógica experimental permite destacar uma “*característica fundamental da ciência: a sua dimensão investigativa*” [OCCEM 2006, p. 45].

Uma metodologia de ensino por investigação deve buscar exatamente isso: o exercício de uma postura investigativa, que ocorre com a imersão do estudante em um “ambiente teórico-experimental” no qual ele possa formular, articular, descartar ou reformular conceitos ou ideias ligadas à Ciência. Se por

um lado o cientista profissional, com o intuito de desenvolver o conhecimento científico, faz uso de um sofisticado senso crítico baseado em um espírito investigativo, por outro lado o estudante desenvolverá seu senso crítico ao exercitar uma postura investigativa durante a aprendizagem do conhecimento científico construído pela humanidade ao longo da História.

Ao aplicarmos uma metodologia de ensino por investigação não estamos querendo que o estudante se porte precisamente como um cientista, mas que ele se comporte de forma a adquirir, com o tempo, certas competências e habilidades que são típicas do cientista, mas que na verdade são hoje consideradas fundamentais para qualquer cidadão: formular uma hipótese; diferenciar uma hipótese de um argumento; argumentar de forma objetiva; articular coerentemente ideias e conceitos; reconhecer os limites de um conceito (e do próprio pensamento); reconhecer uma contradição e suas consequências; julgar pelo mérito, e não pelo gosto pessoal; etc. É por esta razão que atividades experimentais investigativas apresentam-se como fundamentais para o ensino de Física, cabendo portanto a aplicação de uma metodologia de ensino por investigação.

Um dos referenciais teóricos que poderia dar suporte à metodologia de ensino por investigação é a *epistemologia genética* de Jean Piaget (1896 – 1980). Embora os trabalhos de Piaget na elaboração de uma teoria do desenvolvimento cognitivo tratem de um sujeito epistêmico, não de um estudante, o objetivo da epistemologia genética (compreender como o indivíduo constrói o conhecimento científico) poderia servir de base teórica para o ensino de ciências [Carvalho 2011]. Numa tentativa de contornar o fato de que os trabalhos de Piaget não foram direcionados à escola (ao contrário, buscavam evitar a “contaminação das relações escolares”), poderíamos buscar como referencial teórico complementar elementos das teorias de aprendizagem sócio-interacionistas. A Tabela 1 apresenta alguns elementos <sup>1</sup> dos referenciais teóricos piagetiano e sócio-interacionista que fundamentam uma metodologia de ensino por investigação.

---

<sup>1</sup> Baseados em A. M. P. de Carvalho [Carvalho 2011]. É importante destacar que os elementos apresentados na Tabela 1 não estão dispostos em ordem hierárquica nem representam uma cronologia ou as etapas de um processo.

**TABELA 1 – Referenciais teóricos piagetiano e sócio-interacionista que fundamentam uma metodologia de ensino por investigação**

<i>METODOLOGIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO</i>	
<i>Referencial teórico piagetiano</i>	<i>Referencial teórico sócio-interacionista</i>
<p>P<sub>1</sub> &gt; A construção do conhecimento se inicia com um problema a ser resolvido.</p> <p>P<sub>2</sub> &gt; O indivíduo é construtor de seu próprio conhecimento, e portanto deve ter participação ativa na resolução de um problema.</p> <p>P<sub>3</sub> &gt; A ação manipulativa leva a uma ação intelectual, que por sua vez leva a uma ação manipulativa mais elaborada.</p> <p>P<sub>4</sub> &gt; A tomada de consciência dos atos é fundamental para a construção do conhecimento, mas nem sempre acontece de maneira espontânea.</p>	<p>S<sub>1</sub> &gt; O indivíduo é construtor de seu próprio conhecimento, e portanto deve ter participação ativa na resolução de um problema.</p> <p>S<sub>2</sub> &gt; A construção do conhecimento é fruto da interação entre indivíduos.</p> <p>S<sub>3</sub> &gt; O ensino deve promover a passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica.</p> <p>S<sub>4</sub> &gt; As concepções alternativas que emergem no grupo podem ser tratadas como hipóteses a serem testadas.</p>

Os principais pontos da epistemologia genética de Piaget em que a metodologia de ensino por investigação se fundamenta são expostos a seguir.

**P<sub>1</sub> > A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO SE INICIA COM UM PROBLEMA A SER RESOLVIDO:** A resolução de um *problema* é de fundamental importância para o exercício de uma postura investigativa e para o desenvolvimento do senso crítico. Em contraste com o senso crítico, no senso comum muitas vezes uma situação-problema sequer é vista como um problema a ser resolvido.

**P<sub>2</sub> > O INDIVÍDUO É CONSTRUTOR DE SEU PRÓPRIO CONHECIMENTO, E PORTANTO DEVE TER PARTICIPAÇÃO ATIVA NA RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA:** Por mais que o professor direcione o raciocínio dos estudantes, auxiliando na reflexão e crítica do conhecimento, apenas o próprio estudante será capaz de exercer uma postura investigativa e de manifestar seu senso crítico.

**P<sub>3</sub> > A AÇÃO MANIPULATIVA LEVA A UMA AÇÃO INTELECTUAL, QUE POR SUA VEZ LEVA A UMA AÇÃO MANIPULATIVA MAIS ELABORADA:** O estudante deve interagir de forma mais ativa com o problema-experimento, refletindo sobre ele, e não apenas observá-lo. O desenvolvimento das chamadas “experiências de pensamento” são também importantes para o processo de aprendizagem. Mas se todas as experiências desenvolvidas pelo estudante forem “de pensamento”, não teremos experiência no sentido estrito, da forma como se faz desde a origem da Ciência Moderna até os dias de hoje.

**P<sub>4</sub> > A TOMADA DE CONSCIÊNCIA DOS ATOS É FUNDAMENTAL PARA A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO, MAS NEM SEMPRE ACONTECE DE MANEIRA ESPONTÂNEA:** Na realidade, a tomada de consciência dos atos dificilmente ocorre de maneira espontânea, principalmente com os estudantes mais novos. Esse é um dos pontos em que se destaca a importância da presença do professor, direcionando o raciocínio dos estudantes e auxiliando na reflexão e crítica do conhecimento.

Complementando o referencial teórico que embasa uma metodologia de ensino por investigação, encontramos as teorias sócio-interacionistas da aprendizagem. Existem diversas teorias que poderiam ser intituladas como *teorias de aprendizagem sócio-interacionistas*, a mais famosa tendo sido formulada por Lev Vygotsky (1896 – 1934). Os principais pontos oriundos das diversas teorias de aprendizagem sócio-interacionistas são expostos a seguir.

**S<sub>1</sub> > O INDIVÍDUO É CONSTRUTOR DE SEU PRÓPRIO CONHECIMENTO, E PORTANTO DEVE TER PARTICIPAÇÃO ATIVA NA RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA:** Por ser um ponto em comum com a epistemologia de Piaget, esse é um aspecto das teorias sócio-interacionistas que reforça a importância do exercício de uma postura investigativa por parte de cada indivíduo.

- S<sub>2</sub> > A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO É FRUTO DA INTERAÇÃO ENTRE INDIVÍDUOS:** Apesar do exercício do senso crítico ser algo de natureza individual, ele se dá em um ambiente coletivo, e necessita da interação promovida pela coletividade para se desenvolver. Esse é um aspecto muito interessante destacado pelas teorias de aprendizagem sócio-interacionistas, uma vez que expõe o fato de que as relações interpessoais são capazes de “alimentar” a postura investigativa e a reflexão individual.
- S<sub>3</sub> > O ENSINO DEVE PROMOVER A PASSAGEM DA LINGUAGEM COTIDIANA PARA A LINGUAGEM CIENTÍFICA:** A passagem de uma linguagem cotidiana para uma linguagem científica auxilia não só na melhor compreensão dos conceitos científicos como também na melhor articulação de ideias e conseqüentemente no melhor exercício de uma postura investigativa e na manifestação do senso crítico em vez do senso comum.
- S<sub>4</sub> > AS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS QUE EMERGEM NO GRUPO PODEM SER TRATADAS COMO HIPÓTESES A SEREM TESTADAS:** As concepções alternativas em ciências são outro ponto que as teorias sócio-interacionistas da aprendizagem têm em comum com a epistemologia de Piaget. A importância das concepções alternativas no processo de ensino-aprendizagem em Física será abordada a seguir. Um destaque especial deve ser feito a respeito da importância da ação do professor no processo educativo, direcionando as “descobertas” dos estudantes e auxiliando na sistematização do conhecimento científico.

### **1.3. As concepções alternativas**

O que se pretende com uma metodologia de ensino por investigação é levar o estudante a adquirir, com o tempo, certas competências/habilidades

que são típicas do cientista, através do exercício de uma prática particular. A formulação e resolução de situações-problema ( $P_1$ ) e o envolvimento pessoal do estudante nesse processo ( $P_2$  e  $S_1$ ) são requisitos indispensáveis para o desenvolvimento de uma atividade experimental investigativa. Entretanto, “[...] o professor deve ter em mente que aquilo que qualquer pessoa observa depende fortemente de seu conhecimento prévio e de suas expectativas” [Borges 2002, p. 301]. Portanto, o ensino investigativo também deve tratar das concepções alternativas, dado o peso que estas têm sobre a aprendizagem de conceitos científicos.

A importância que as concepções alternativas têm no processo de ensino-aprendizagem em Física é destacada inclusive nos documentos oficiais. Segundo os PCN+ [PCN+ 2007]:

*“Os alunos chegam à escola já trazendo em sua bagagem cultural vários conhecimentos físicos que construíram fora do espaço escolar e os utilizam na explicação dos fenômenos ou processos que observam em seu dia-a-dia. Muitas vezes, constroem até mesmo modelos explicativos consistentes e diferentes daqueles elaborados pela ciência. [...] a incompreensão do professor sobre certas respostas que os alunos apresentam em sala de aula deve-se a seu desconhecimento sobre esses modelos construídos intuitivamente. Da mesma forma, esses modelos explicam também a dificuldade dos alunos em compreender e assimilar os modelos que lhes são apresentados.” [p. 83]*

O conflito que se manifesta entre as concepções alternativas dos estudantes e os conceitos científicos que são apresentados nas aulas de Física explica, pelo menos em parte, as dificuldades de aprendizagem dos estudantes. Uma vez que o processo de aprendizagem por uma metodologia investigativa não coincide propriamente com o processo de produção do conhecimento científico, embora em ambos haja a manifestação de uma postura investigativa, não se pode esperar, como já foi dito anteriormente, que o estudante se porte como um cientista. Assim, quando o estudante analisa um fenômeno físico ou avalia uma situação-problema envolvendo conceitos físicos,

emergem concepções alternativas, mesmo nos momentos em que o estudante se vale de uma perspectiva de investigação. Nesse ponto, deve-se ressaltar que a forma de atuação do professor no processo de ensino-aprendizagem é fundamental para a superação das concepções alternativas, pois o estudante, mesmo quando imerso em um ambiente teórico-experimental, naturalmente recorre ao senso comum. O professor deve, portanto, *direcionar* o raciocínio dos estudantes, auxiliando na reflexão e crítica do conhecimento expresso pelas concepções alternativas (P<sub>4</sub> e S<sub>4</sub>). A aprendizagem por investigação deve proporcionar ao estudante uma vivência crítica que não seja apenas teórica, mas também experimental, de forma que o jovem possa efetivamente exercitar uma postura investigativa, coerentemente com o que se faz na Ciência atual.

Ainda sobre a importância das concepções alternativas na aprendizagem de ciências, as OCEM destacam que [OCEM 2006]:

*“[...] o conhecimento científico se origina de problemas bem formulados, mas o aluno chega à escola com conhecimentos empíricos, chamados comumente de senso comum e originados da sua interação com o cotidiano e com os outros. Na contextualização dos saberes escolares, busca-se problematizar essa relação entre o que se pretende ensinar e as explicações e concepções que o aluno já tem, pois a natureza faz parte tanto do mundo cotidiano como do mundo científico. Todavia, os conhecimentos do aluno são frequentemente inconsistentes e limitados a situações particulares. Assim, não se pretende com a contextualização partir do que o aluno já sabe e chegar ao conhecimento científico, pois esse não é apenas polimento do senso comum. O que se pretende é partir da reflexão crítica ao senso comum e proporcionar alternativas para que o aluno sinta a necessidade de buscar e compreender esse novo conhecimento.”*

[p. 50-51]

Nesse sentido, cabe salientar que uma metodologia de ensino por investigação busca a aprendizagem de conceitos já consolidados pela Física (ou pelas ciências de uma maneira geral). Não se espera do estudante a



construção de qualquer forma de conhecimento, uma vez que as concepções alternativas, apesar de não terem o *status* de conhecimento científico, configuram-se como um conhecimento integrado ao senso comum. Ao direcionar a aprendizagem investigativa no sentido da aquisição do conhecimento científico por parte dos estudantes, o professor deve, por um lado, estimular a reflexão individual e a interação de cada estudante com o problema-experimento ( $P_3$ ). “*O importante não é a manipulação de objetos e artefatos concretos, e sim o envolvimento comprometido com a busca de respostas/soluções bem articuladas para as questões colocadas [...]*” [Borges 2002, p. 295]. Por outro lado, o professor também deve estar atento ao fato de que a aprendizagem por investigação se manifesta através da reflexão coletiva ( $S_2$ ), em um ambiente de natureza coletiva (a escola), da mesma forma que o conhecimento científico atual é elaborado a partir da investigação exercida coletivamente pelos cientistas através do estabelecimento de uma comunidade científica.

Ainda que a aprendizagem do conhecimento científico, proporcionada por uma metodologia de ensino investigativo, ocorra coletivamente através da investigação de um determinado problema-experimento, “[...] *não se pode tomar como certo que se todos os membros de um grupo veem o mesmo fenômeno, todos o interpretem da mesma forma ou aceitem a validade e legitimidade das observações*” [Borges 2002, p. 301]. O professor deve, portanto, utilizar estratégias didáticas capazes de estimular o estudante a manifestar suas ideias, de forma que as ideias dos alunos possam ser expressas em termos de conceitos científicos ou concepções alternativas. Quando a estrutura de pensamento do estudante apresenta concepções alternativas acerca de um conceito, fenômeno ou situação-problema, a linguagem apresenta indícios dessas concepções, uma vez que o estudante é constantemente pressionado pela linguagem do senso comum. Em contrapartida, aquele que superar as concepções alternativas durante o processo de ensino-aprendizagem, adquirindo um conhecimento científico, expressará essa aquisição através de uma linguagem conciliável com os conceitos científicos, ao invés de fazer uso de uma linguagem baseada no senso comum ( $S_3$ ). Para A. Tarciso Borges [Borges 2002]:

*“Estas considerações sugerem a necessidade de atividades pré e pós-laboratório, para que os estudantes explicitem suas idéias e expectativas, e discutam o significado de suas observações e interpretações. Antes de realizar a atividade prática, deve-se discutir com os estudantes a situação ou fenômeno que será tratado. Pode-se pedir que eles escrevam suas previsões sobre o que deve acontecer e justificá-las. Na fase pós-atividade, faz-se a discussão das observações, resultados e interpretações obtidos, tentando reconciliá-las com as previsões feitas. Aqui é o momento de se discutir as falhas e limitações da atividade prática.” [p. 301]*

Diferentemente das atividades tradicionais de laboratório, a execução de atividades experimentais investigativas permite que o estudante, ao exercitar uma postura investigativa frente a um fenômeno ou a uma situação-problema, transite de um pensamento e de uma linguagem baseados no senso comum para um pensamento científico expresso em uma linguagem científica. As transformações no pensamento dos estudantes podem ser verificadas pelo professor através da comparação entre a linguagem expressa pelo estudante antes e depois da atividade experimental.

#### **1.4. Atividade investigativa × laboratório tradicional**

Os experimentos didáticos tradicionalmente realizados nas aulas de Física ou são demonstrações experimentais executadas pelo professor ou são experimentos conduzidos por roteiros que orientam os procedimentos a serem executados pelos estudantes. Geralmente, as demonstrações e os roteiros de experimentos não estimulam uma postura investigativa, constituindo-se como elementos de um “laboratório tradicional”, onde o estudante não interage profundamente com o experimento. Já uma atividade experimental investigativa mobiliza significativamente o pensamento, pois a dimensão investigativa, quando presente na realização de um experimento didático, torna possível a

crítica ao fenômeno que é observado. A Tabela 2 a seguir <sup>2</sup> compara as características que diferenciam uma atividade experimental investigativa de um experimento didático nos moldes de um laboratório tradicional.

**TABELA 2 – Comparações entre características de um laboratório tradicional e atividades investigativas**

	<i>LABORATÓRIO TRADICIONAL</i>	<i>ATIVIDADE INVESTIGATIVA</i>
<i>Quanto ao grau de abertura</i>	⇒ Restrito grau de abertura (roteiro pré-definido ou demonstração).	⇒ Variado grau de abertura (liberdade no planejamento).
<i>Quanto aos objetivos</i>	⇒ Ilustrar fenômenos. ⇒ Comprovar leis (confirmar ou não previsões teóricas).	⇒ Explorar conceitos, fenômenos ou situações-problema de natureza experimental.
<i>Quanto à atitude do estudante</i>	⇒ Compromisso restrito aos resultados experimentais.	⇒ Responsabilidade na investigação.

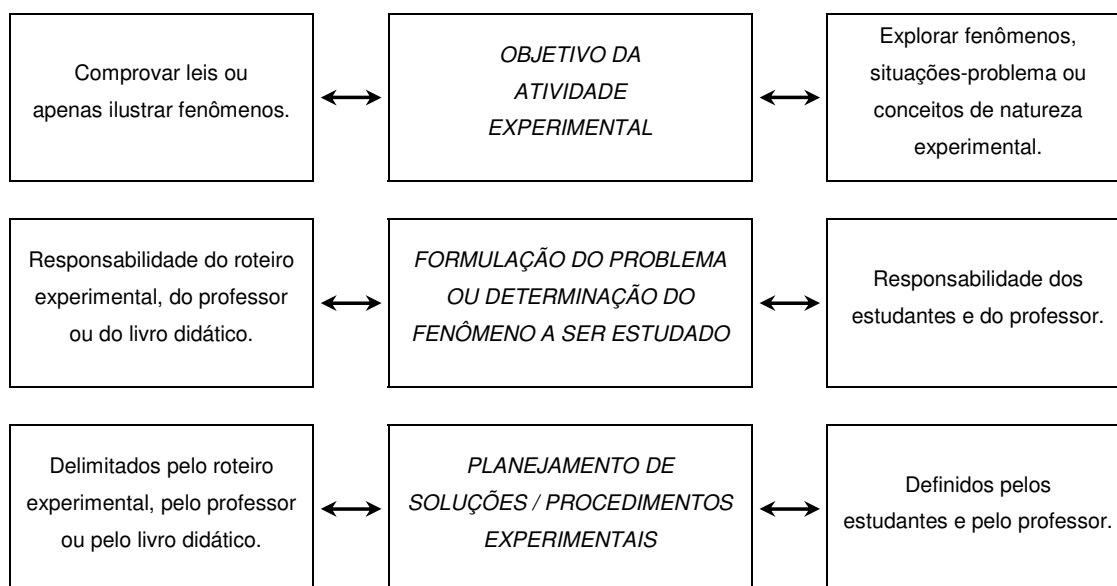
O “grau de abertura” indica o quanto o estudante é responsável por estabelecer o que se pretende com a atividade experimental, quais serão os procedimentos adotados no desenvolvimento do experimento e que atitudes deverão ser tomadas pelos estudantes antes, durante e após a realização do experimento. No laboratório tradicional, o próprio professor ou o roteiro/guia experimental fornecido por ele determina não apenas os objetivos gerais e específicos do experimento, mas também as tarefas ou atividades que deverão ser executadas pelos estudantes na realização de experimentos. Nesse contexto, segundo A. Tarciso Borges [Borges 2002]:

*“[...] quase sempre o manuseio dos objetos e equipamentos e a coleta de dados passam a ser vistos, por professores e alunos, como as atividades mais importantes. Sobra muito pouco tempo e esforço para refletir, discutir e tentar ajudar os alunos a compreender o significado e implicações das observações que fizeram e os resultados que obtiveram.” [p. 310]*

<sup>2</sup> Baseada em A. T. Borges [Borges 2002, p. 304].

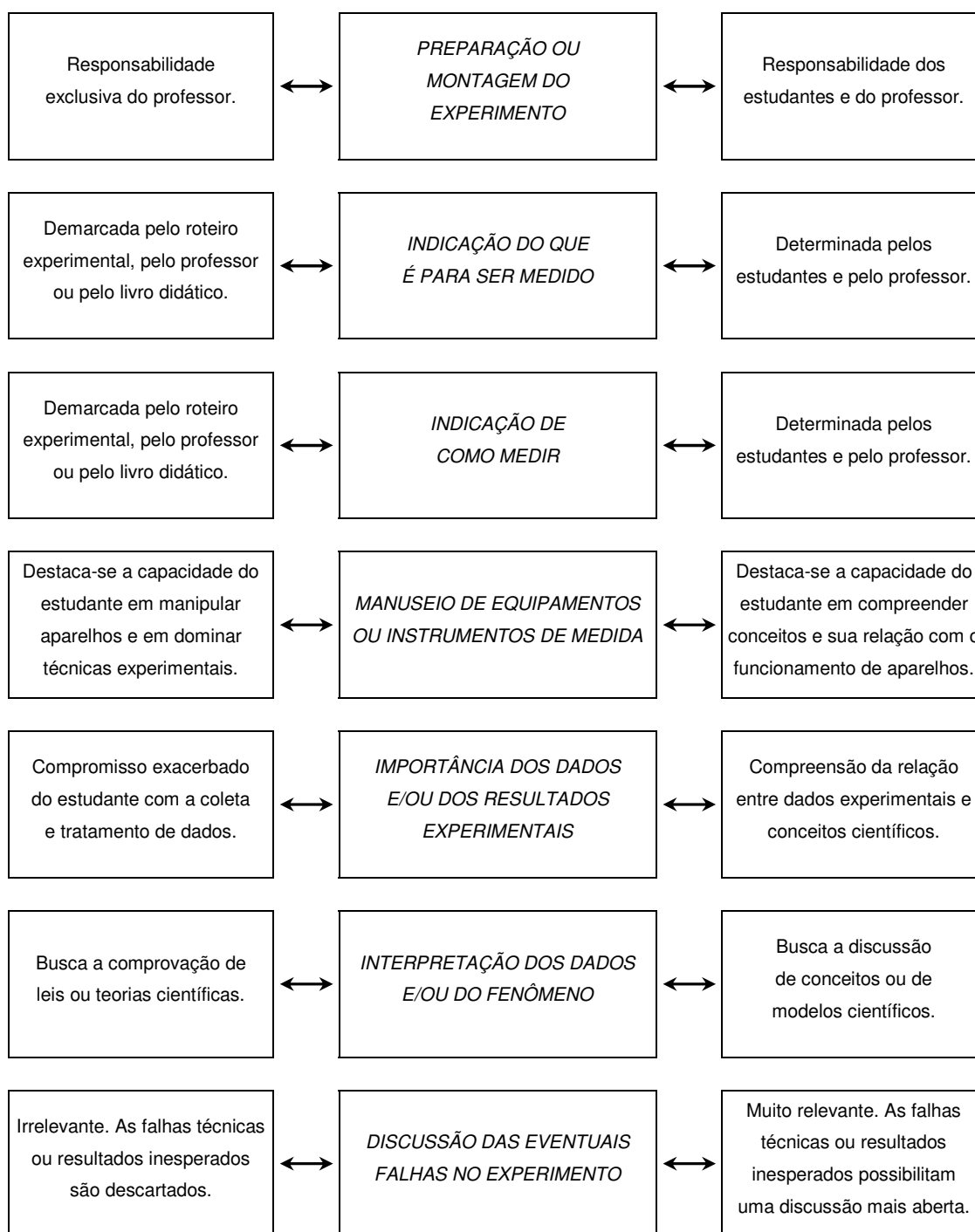
No laboratório tradicional, a situação-problema e os procedimentos experimentais são determinados pelo professor, pelo livro didático ou pelo roteiro/guia experimental, ficando para o estudante a tarefa de manusear equipamentos ou instrumentos para coletar dados e tirar conclusões. Assim, o compromisso exacerbado com os resultados experimentais e a pretensão de que estes constituem “provas” para as leis e teorias científicas não refletem a dimensão investigativa da Ciência, além de contribuírem para uma visão desfigurada da forma como é elaborado o conhecimento científico. Além de não promover a postura investigativa no processo de ensino-aprendizagem, uma abordagem experimental mais tradicional não atenta para as concepções alternativas dos estudantes, o que compromete a compreensão e a aquisição do conhecimento científico por parte do aluno.

É importante salientar que a diferenciação entre laboratório tradicional e atividade investigativa apresentada na Tabela 2 não é dicotômica. Ao contrário, revela a existência de um contínuo entre dois extremos [Borges 2002], balizados pelas características<sup>3</sup> esquematizadas na Figura 1-A e na Figura 1-B a seguir.



**FIGURA 1-A – Características comumente presentes em atividades experimentais no ensino de Física**

<sup>3</sup> Baseadas em A. T. Borges [Borges 2002]. É importante destacar que as características apresentadas na Figura 1-A e na Figura 1-B não estão dispostas em ordem hierárquica nem representam uma cronologia ou as etapas de um processo.



**FIGURA 1-B – Características comumente presentes em atividades experimentais no ensino de Física**

Uma metodologia que preze a aprendizagem por investigação tende para os aspectos apresentados no lado direito da Figura 1-A e da Figura 1-B, enquanto que o laboratório tradicional tende para os aspectos apresentados no lado esquerdo das figuras. Cabe ressaltar novamente que uma atividade

experimental investigativa também pode ser desenvolvida com a utilização de um roteiro de experimento ou a partir de uma demonstração experimental executada pelo professor, desde que o roteiro utilizado ou a demonstração realizada estejam embebidos por uma *proposta investigativa*, mobilizando o pensamento do estudante, dando possibilidade para a expressão da linguagem e, assim, atentando para a aquisição do conhecimento científico e para a superação das concepções alternativas.

### **1.5. A contribuição da História da Ciência**

Os livros didáticos de Física que abordam a História da Ciência o fazem de diferentes maneiras: pela apresentação da biografia de cientistas, pelo relato de descobertas, pela descrição da invenção de novos instrumentos, pela análise das transformações ocorridas em técnicas de medição ou outros procedimentos experimentais, pela discussão da evolução das ideias científicas. Os documentos oficiais reconhecem a importância da História da Ciência para o ensino de Física, em consonância com os atuais objetivos da aprendizagem para o Ensino Médio. Segundo os PCN+ [PCN+ 2007]:

*“[...] a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas sendo impulsionado.” [p. 59]*

O ensino de Física deve, portanto, abrir espaço para a História da Ciência, uma vez que a Física, assim como qualquer outra forma de conhecimento científico, transforma-se ao longo do tempo. Mas como a abordagem histórica do conhecimento físico deve ser feita no Ensino Médio? E por quê?

A abordagem de um tema de Física, como, por exemplo, “medida da pressão atmosférica”, pode ser realizada de diferentes maneiras, dependendo

do público que se volta para o tema, do “veículo” utilizado para expor o tema e dos objetivos relacionados à aquisição do conhecimento físico. No *Dicionário Houaiss de Física* [Roditi 2005] encontramos alguns verbetes que podem ser considerados como relacionados ao tema “medida da pressão atmosférica”.

**“barômetro** FÍS Instrumento que se destina a medir a pressão atmosférica. [...]” [p. 22]

**“pressão atmosférica** FÍS.TERM Pressão exercida pelo peso da camada de ar que se encontra sobre um ponto qualquer da superfície terrestre. No nível do mar, quando a pressão é de 101325 pascals, tb. é chamada de pressão atmosférica normal. [...]” [p. 182]

Já na obra *Cronologia das Ciências e das Descobertas*, de Isaac Asimov, o tema “medida da pressão atmosférica” surge, por exemplo, nos seguintes verbetes [Asimov 1993]:

**“1643 – BARÔMETRO:** Há muito tempo que engenheiros de minas e outras pessoas se viam perturbadas pelo fato de que as bombas não conseguiam elevar a água a mais do que 11 m do nível natural. A bomba comum produzia um vácuo parcial, que a água subia rapidamente para preencher [...].

Ocorreu a Torricelli que a água subia não porque fosse puxada pelo vácuo, mas porque fosse empurrada pela pressão normal do ar. Afinal de contas, o vácuo da bomba produzia uma pressão baixa de ar e o ar normal do lado de fora da bomba empurrava com mais força.

Em 1643, Torricelli usou mercúrio para testar sua teoria. Como a densidade do mercúrio é 13,5 vezes a da água, o ar deveria poder elevar só 1/13,5 vezes a altura da água, ou 0,762 m. Torricelli encheu um tubo de vidro de 1,82 m com mercúrio, fechou a abertura do mesmo, colocou-o sobre uma cuba de

*mercúrio, abriu-o e verificou que o mercúrio saía do tubo, mas não completamente; 0,762 m de mercúrio permaneciam no tubo, como era esperado.*

*Acima do mercúrio no tubo, existia um vácuo (exceto por uma pequena quantidade de vapor de mercúrio). Foi o primeiro a ser criado artificialmente [...].*

*Toricelli verificou que a altura da coluna de mercúrio variava ligeiramente de dia para dia e entendeu, corretamente, que a atmosfera possuía uma pressão ligeiramente variável em diferentes momentos. Tinha inventado o primeiro barômetro.” [p. 268-269]*

**“1648 – PRESSÃO AÉREA E ALTITUDE:** *Se a coluna de mercúrio do barômetro de Torricelli era mantida no alto pela pressão do ar, então, se uma pessoa subisse bem alto, haveria menos ar acima, e a pressão do ar deveria decrescer. Consequentemente, o mesmo aconteceria com a coluna de mercúrio.*

*Pascal, para testar essa experiência, mandou que seu cunhado subisse a uma montanha da vizinhança [...]. Seu cunhado subiu uma milha e verificou que as colunas de mercúrio tinham descido de 76 a 68 cm.*

*Isso demonstrou claramente que a atmosfera poderia ter apenas uma altura finita. [...]” [p. 270]*

Com toda certeza, um livro didático não deve tratar os conteúdos de Física da mesma forma que um dicionário ou uma enciclopédia faz, assim como uma aula não deve abordar os assuntos restringindo-os a definições ou, em termos de História da Ciência, enfatizando apenas aspectos biográficos ou cronológicos. Uma vez que no contexto da aprendizagem o público que se volta para um tema de Física é composto de estudantes, as aulas e os livros didáticos devem promover a aquisição do conhecimento científico e a compreensão de que este faz parte de “*um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade [...]*” [PCN+ 2007, p. 59]. Para tanto, os



“veículos” que tratam do conhecimento científico no contexto escolar devem priorizar a discussão da evolução das ideias científicas e a análise do contexto teórico-experimental nesse processo, evitando, sobretudo, a apresentação da História da Ciência de uma forma meramente alegórica ou, às vezes, até mesmo caricata. Segundo as OCEM [OCEM 2006]:

*“Um tratamento didático apropriado é a utilização da história e da filosofia da ciência para contextualizar o problema, sua origem e as tentativas de solução que levaram à proposição de modelos teóricos, a fim de que o aluno tenha noção de que houve um caminho percorrido para se chegar a esse saber. Há, então, uma contextualização, que é própria do processo do ensino na escola.”*  
[p. 50]

Michael R. Matthews destaca [Matthews 1994; *Id.* 1995] algumas razões acerca da importância da História da Ciência (e também da Filosofia da Ciência) no ensino de Ciências. *“A inclusão da história e da filosofia da ciência certamente não fornece todas as respostas para a atual crise na educação científica [...]. Mas a história e a filosofia da ciência têm uma contribuição a dar para a tarefa global de melhorar o ensino e a aprendizagem de ciências”*<sup>4</sup> [Matthews 1994, p. 7]. Para Matthews, são aspectos da contribuição da História da Ciência para o ensino de Ciências:

- 1) A História da Ciência humaniza a Ciência, despertando o interesse dos estudantes para questões éticas, culturais e políticas que envolvem o conhecimento científico.
- 2) Uma abordagem histórica do conhecimento científico torna o processo de aprendizagem mais desafiador, contribuindo com o desenvolvimento das habilidades de raciocínio e de pensamento crítico.

---

<sup>4</sup> No original: “The inclusion of history and philosophy of science does not, of course, provide all the answers to the present science education crisis [...]. But the history and philosophy of science has a contribution to make to the overall task of improving science teaching and learning.” [Matthews 1994, p. 7]

- 3) A História da Ciência promove uma compreensão mais ampla do conhecimento científico pois discute a origem, o desenvolvimento e o aperfeiçoamento das ideias, dos conceitos, dos instrumentos de medida, das teorias, dos experimentos, dos métodos e das equações.
- 4) A História da Ciência desenvolve uma compreensão mais rica e mais autêntica sobre a natureza do fazer científico e do conhecimento científico.
- 5) A História da Ciência demonstra que o conhecimento científico é mutável e até mesmo instável e que, por isso, o pensamento científico está sujeito a transformações. Dessa forma, a História da Ciência combate a ideologia cientificista <sup>5</sup>, neutralizando o dogmatismo científico.
- 6) Um tratamento histórico do conhecimento científico teórico e experimental auxilia os estudantes na superação de suas concepções alternativas, uma vez que muitos aspectos expressos pelas concepções alternativas também representam algumas das dificuldades históricas enfrentadas no desenvolvimento do conhecimento científico.

Sobre o último aspecto destacado acima, é interessante ressaltar que Piaget, em sua obra *Epistemologia genética*, afirma que “a hipótese

---

<sup>5</sup> Segundo Hilton Japiassú e Danilo Marcondes: “Cientificismo – Ideologia daqueles que, por deterem o monopólio do saber objetivo e racional, julgam-se os detentores do verdadeiro conhecimento da realidade e acreditam na possibilidade de uma racionalização completa do saber. Trata-se sobretudo de uma atitude prática segundo a qual ‘fora da ciência não há salvação’, porque ela teria descoberto a fórmula laplaciana do saber verdadeiro. Essa atitude está fundada em certas normas latentes que se expressam em três ‘artigos de fé’: 1) a ciência é o único saber verdadeiro; logo, o melhor dos saberes; 2) a ciência é capaz de responder a todas as questões teóricas e de resolver todos os problemas práticos, desde que bem formulados, quer dizer, positiva e racionalmente; 3) não somente é legítimo mas sumamente desejável que seja confiado aos cientistas e aos técnicos o cuidado exclusivo de dirigirem todos os negócios humanos e sociais: como somente eles sabem o que é verdadeiro, somente eles podem dizer o que é bom e justo nos planos ético, político, econômico, educacional etc.” [Japiassú & Marcondes 1996, p. 44]

*fundamental da epistemologia genética é de que existe um paralelismo entre o progresso alcançado na organização lógica e racional do conhecimento (história da ciência) e os processos psicológicos formativos correspondentes*” [Piaget 1970, p. 13, *apud* Matthews 1995, p. 178]. Os principais fatores que tornam a História da Ciência extremamente relevante para o ensino de Física é a sua relação com as concepções alternativas e, principalmente, a possibilidade que a História da Ciência oferece em promover a superação das concepções alternativas dos estudantes. Portanto, uma abordagem histórica do conhecimento científico, quando inserida em uma perspectiva de aprendizagem por investigação, potencializa a percepção e a compreensão dos conceitos, dos métodos, dos experimentos e da própria natureza da Ciência.

## **1.6. Uma introdução ao fenômeno das marés atmosféricas**

O fenômeno denominado “marés atmosféricas” está intimamente relacionado com a medida da pressão atmosférica. O tema “medida da pressão atmosférica”, por sua vez, foi anteriormente apresentado como um exemplo de um assunto relevante que deve estar presente nas aulas de Física do Ensino Médio. Outro assunto notoriamente relevante é a Teoria da Gravitação, que possibilita, dentre muitas contribuições, a análise do fenômeno das marés oceânicas. Na tentativa de estabelecer similaridades e de destacar diferenças, o fenômeno das marés atmosféricas será comparado com o fenômeno das marés oceânicas.

A ação da força das marés sobre a massa de água de mares e oceanos produz as marés oceânicas. A força das marés é, na realidade, a força gravitacional associada à interação com a Lua e o Sol. Assim, a combinação da gravidade da Lua com a gravidade do Sol resulta na força das marés, responsável pelo fenômeno das marés oceânicas. Sabe-se que a influência da Lua é muito mais importante do que a do Sol.

O fenômeno das *marés atmosféricas*, também denominadas *marés barométricas*, consiste em um efeito análogo ao das marés oceânicas. Por um lado, as marés oceânicas são perceptíveis pela alteração no nível da água dos

oceanos, que oscila ao longo do tempo. Já as marés atmosféricas são observadas de forma indireta, pois a atmosfera não apresenta um limite superior bem definido. Nesse caso, o efeito é observado como uma leve oscilação diurna da pressão atmosférica, que poderia ser entendida como decorrente de uma espécie de “alteração no nível do ar da atmosfera”. Nessa perspectiva simplista, a força das marés seria responsável não só pelas marés oceânicas mas também pelas marés atmosféricas, pois, da mesma forma que a força das marés faz o nível da água nos oceanos oscilar, sua ação sobre a massa de ar poderia produzir um efeito similar na atmosfera terrestre.

O gráfico <sup>6</sup> da Figura 2 mostra claramente as variações diurnas da pressão atmosférica observadas na Cidade do México entre os dias 18 e 21 de setembro de 2013, com amplitudes que variam aproximadamente entre 1 mb (0,75 mmHg) e 2 mb (1,5 mmHg). No gráfico <sup>7</sup> da Figura 3 podemos observar o mesmo efeito oscilante em um período mais longo.

Estaríamos tentados a identificar o efeito observado nos gráficos com o mesmo fenômeno gravitacional que provoca as marés oceânicas <sup>8</sup>. Mas, como sabemos hoje, tal efeito não pode ser explicado simplesmente em função da ação gravitacional. Ele é na realidade decorrente principalmente da ação da radiação solar sobre a atmosfera terrestre [Lindzen 1980, p. 273; Holton 2003, p. 160]. A ação gravitacional (lunar e solar) está presente, mas é muito menor do que a ação térmica do Sol [Wallace & Hobbs 2006, p. 422].

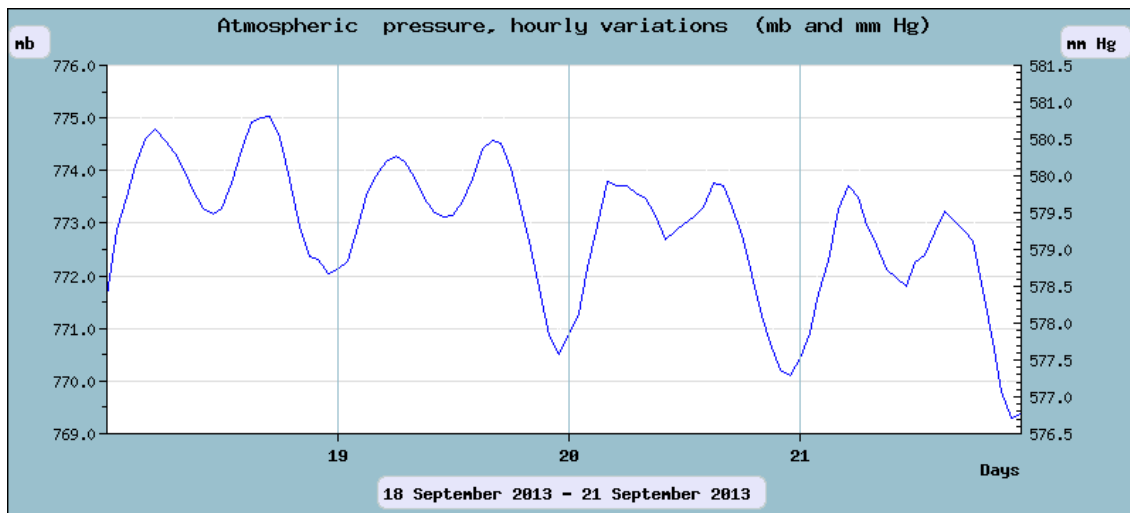
Um estudo acerca do fenômeno das marés atmosféricas, a ser desenvolvido no Ensino Médio, permite a exploração de diversos conteúdos de Física, como, por exemplo, gravitação, pressão atmosférica e oscilações. É possível abordar esses e outros assuntos no contexto do fenômeno das marés atmosféricas, através da aplicação de uma atividade experimental investigativa que destaque um enfoque histórico, visando dar ao estudante uma participação mais ativa no processo ensino-aprendizagem.

---

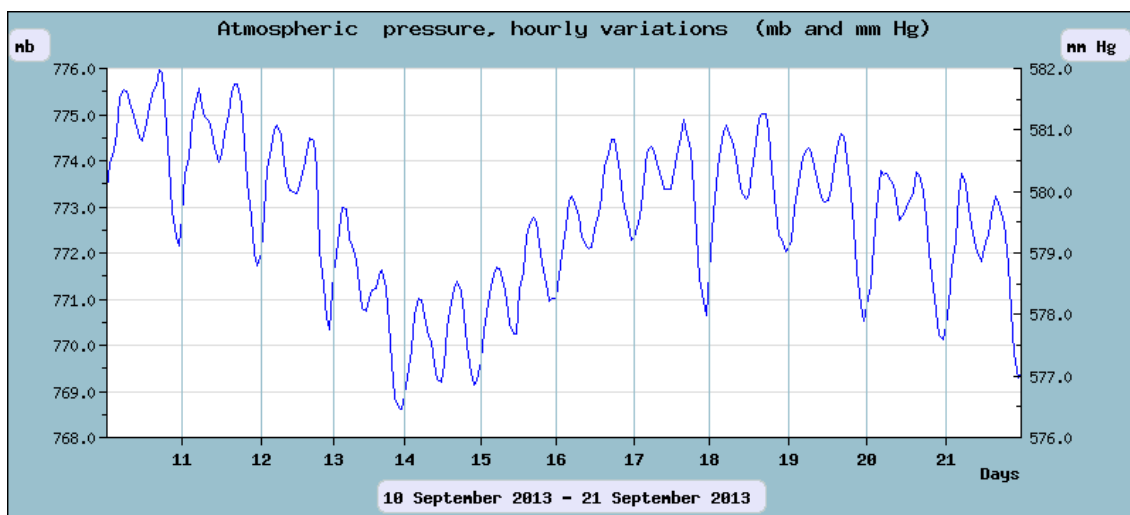
<sup>6</sup> Fonte: *Observatorio de Rayos Cósmicos, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México* [UNAM 2013].

<sup>7</sup> Fonte: *Observatorio de Rayos Cósmicos, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México* [UNAM 2013].

<sup>8</sup> Uma estimativa que compara a ação da força das marés produzida pela Lua sobre a água dos oceanos com a ação da força das marés sobre o ar atmosférico será apresentada no Capítulo 2, Seção 2.4. Na ocasião, será dada especial atenção à ação da força gravitacional exercida pela Lua, uma vez que, embora presente, a ação gravitacional do Sol é menor do que a da Lua.



**FIGURA 2 – Pressão atmosférica: 18 a 21/set/2013,  
Cidade do México / México (Lat. 19° 20' N ; Long. 99° 11' O)**



**FIGURA 3 – Pressão atmosférica: 10 a 21/set/2013,  
Cidade do México / México (Lat. 19° 20' N ; Long. 99° 11' O)**

### 1.7. O que encontramos nos livros didáticos?

O que encontramos sobre o fenômeno das marés atmosféricas nos livros didáticos de Física do Ensino Médio? Para responder a essa pergunta, foram analisados dez livros didáticos de Física voltados para o Ensino Médio. Na análise, também foi feito um levantamento de conteúdos de Física relacionados aos fenômenos das marés atmosféricas e oceânicas, bem como

uma avaliação da profundidade com que esses conteúdos são abordados nos livros, considerando-se, em alguns casos, aspectos da História da Ciência. A Tabela 3 elenca os conteúdos avaliados e os aspectos verificados em cada conteúdo.

**TABELA 3 – Aspectos verificados na análise de conteúdos em livros didáticos de Física**

<i>CONTEÚDO ANALISADO</i>	<i>ASPECTOS VERIFICADOS</i>
<i>Gravitação</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Contexto histórico.</li> <li>⇒ Abordagem qualitativa.</li> <li>⇒ Abordagem quantitativa.</li> <li>⇒ Variações no valor de <math>g</math>.</li> </ul>
<i>Marés oceânicas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Descrição do fenômeno.</li> <li>⇒ Relação do fenômeno com a gravitação.</li> </ul>
<i>Temperatura e pressão de um gás</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Conceito de gás ideal.</li> <li>⇒ Teoria cinética dos gases.</li> <li>⇒ Equação de estado.</li> </ul>
<i>Pressão atmosférica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Conceituação de pressão atmosférica.</li> <li>⇒ Medição da pressão atmosférica.</li> </ul>
<i>Experiência de Torricelli</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Descrição do experimento.</li> <li>⇒ Relevância do experimento na origem do conceito de pressão atmosférica.</li> <li>⇒ Relevância do experimento na discussão sobre a existência do vácuo.</li> </ul>
<i>Atmosfera terrestre</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Apresentação da estrutura da atmosfera terrestre.</li> <li>⇒ Descrição de propriedades físicas e/ou químicas das camadas da atmosfera.</li> </ul>
<i>Oscilações da pressão atmosférica (“marés atmosféricas”)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Descrição do fenômeno.</li> <li>⇒ Relação do fenômeno com a ação térmica do Sol.</li> </ul>

Dada a importância do *Programa Nacional do Livro Didático* (PNLD), gerido pelo *Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação* (FNDE), que atualmente promove a distribuição de livros didáticos de diversas disciplinas para estudantes do Ensino Fundamental e do Ensino Médio, boa parte dos dez livros de Física selecionados e utilizados na análise faz parte dos catálogos elaborados pelo FNDE. Criado através da *Resolução CD/FNDE nº 38* de 15 de outubro de 2003, o *Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio*

(PNLEM) foi implementado em 2004, mas apenas em 2008 ocorreu a primeira inclusão e escolha de livros didáticos de Física, na ocasião do PNLEM/2009 [MEC 2013]. Por estar organizado em ciclos trienais [FNDE 2012a], a execução de uma nova seleção de livros de Física ocorreu na ocasião do PNLD/2012, uma vez que a *Resolução CD/FNDE nº 60* de 20 de novembro de 2009<sup>9</sup> integrou o PNLEM ao PNLD [FNDE 2012b].

A Tabela 4 discrimina os dez livros de Física analisados, indicando se estão estruturados em mais de um volume (ou se compõem um volume único) e ressaltando se estão presentes ou não nos catálogos elaborados pelo FNDE.

**TABELA 4 – Relação dos livros de Física analisados**

<i>AUTOR(ES)</i>	<i>LIVRO DIDÁTICO</i>	<i>ESTRUTURA</i>	<i>EDITORA</i>	<i>ANO DA PUBLICAÇÃO</i>	<i>CATÁLOGOS FNDE *</i>
Alberto Gaspar	<i>Física</i>	volume único	Ática	2005	PNLEM/2009
Antônio Máximo Beatriz Alvarenga	<i>Curso de Física</i>	3 volumes	Scipione	2010	PNLD/2012
Aurelio Gonçalves Filho Carlos Toscano	<i>Física</i>	volume único	Scipione	2005	PNLEM/2009
Blaidi Sant'Anna Gloria Martini Hugo Carneiro Reis Walter Spinelli	<i>Conexões com a Física</i>	3 volumes	Moderna	2010	PNLD/2012
Carlos Magno A. Torres Nicolau Gilberto Ferraro Paulo Antonio de Toledo Soares	<i>Física – Ciência e tecnologia</i>	3 volumes	Moderna	2010	PNLD/2012
Claudio Xavier Benigno Barreto	<i>Física aula por aula</i>	3 volumes	FTD	2010	PNLD/2012
Francisco Ramalho Junior Nicolau Gilberto Ferraro Paulo Antônio de Toledo Soares	<i>Os fundamentos da Física</i>	3 volumes	Moderna	2009	
José Luiz Sampaio Caio Sérgio Calçada	<i>Física</i>	volume único	Atual	2005	PNLEM/2009
Luiz Alberto Guimarães Marcelo Fonte Boa	<i>Física – Ensino Médio</i>	3 volumes	Futura	2004	
Maurício Pietrocola Alexander Pogibin Renata de Andrade Talita Raquel Romero	<i>Física em contextos</i>	3 volumes	FTD	2010	PNLD/2012
* Fontes: <i>Física - Catálogo do PNLEM/2009</i> [FNDE 2008] <i>Guia de Livros Didáticos PNLD 2012 - Física</i> [FNDE 2011]					

<sup>9</sup> A *Resolução CD/FNDE nº 60* de 20 de novembro de 2009 foi alterada pela *Resolução CD/FNDE nº 10* de 10 de março de 2011 e ambas foram posteriormente revogadas com a edição da *Resolução CD/FNDE nº 42* de 28 de agosto de 2012. Esta, por sua vez, encontra-se alterada pela *Resolução CD/FNDE nº 22* de 07 de junho de 2013. Detalhes da legislação que envolve o PNLD são encontrados no *Portal do FNDE* [FNDE 2012c].

A Tabela 5 apresenta os resultados da análise dos dez livros didáticos de Física selecionados, considerando-se os conteúdos indicados anteriormente na Tabela 3.

**TABELA 5 – Resultados da análise dos livros de Física**

AUTOR(ES)	LIVRO DIDÁTICO	GRAVITAÇÃO	MARÉS OCEÂNICAS	TEMPERATURA E PRESSÃO DE UM GÁS	PRESSÃO ATMOSFÉRICA	EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI	ATMOSFERA TERRESTRE	OSCILAÇÕES DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA
Alberto Gaspar	<i>Física</i>							
Antônio Máximo Beatriz Alvarenga	<i>Curso de Física</i>							
Aurelio Gonçalves Filho Carlos Toscano	<i>Física</i>							
Blaidi Sant'Anna Gloria Martini Hugo Carneiro Reis Walter Spinelli	<i>Conexões com a Física</i>							
Carlos Magno A. Torres Nicolau Gilberto Ferraro Paulo Antonio de Toledo Soares	<i>Física – Ciência e tecnologia</i>							
Claudio Xavier Benigno Barreto	<i>Física aula por aula</i>							
Francisco Ramalho Junior Nicolau Gilberto Ferraro Paulo Antônio de Toledo Soares	<i>Os fundamentos da Física</i>							
José Luiz Sampaio Caio Sérgio Calçada	<i>Física</i>							
Luiz Alberto Guimarães Marcelo Fonte Boa	<i>Física – Ensino Médio</i>							
Maurício Pietrocola Alexander Pogibin Renata de Andrade Talita Raquel Romero	<i>Física em contextos</i>							
Legenda:			ABORDAGEM AMPLA		ABORDAGEM RESTRITA		ABORDAGEM AUSENTE	



Na Tabela 5 os conteúdos avaliados foram categorizados em três níveis de abordagem: “ampla”, “restrita” ou “ausente”. O Apêndice A apresenta um detalhamento dos critérios utilizados na avaliação do nível de abordagem dos conteúdos a partir dos aspectos verificados na análise dos livros didáticos de Física.

Um exame da Tabela 5 revela que nenhum dos livros didáticos de Física para o Ensino Médio trata do fenômeno das oscilações da pressão atmosférica (marés atmosféricas), o que é previsível, uma vez que tal fenômeno, além de ser muito específico para merecer abordagem em um livro didático de Física para o Ensino Médio, provavelmente não é familiar para os autores dos livros didáticos. Por outro lado, surpreende o fato de que apenas três dos dez livros analisados abordem o fenômeno das marés oceânicas, que, além de ser um fenômeno relativamente reconhecido por professores e estudantes, é um importante exemplo da ação da força gravitacional entre corpos.

São também poucos os livros de Física que abordam detalhes sobre a estrutura e composição da atmosfera terrestre, embora todos apresentem discussões acerca do conceito de pressão atmosférica e de como medi-la. Quanto à experiência de Torricelli, somente um livro destaca sua importância tanto para a elaboração do conceito de pressão atmosférica quanto para a construção de argumentos a respeito da existência do vácuo. Com exceção de um livro, que não trata do tema, os outros livros didáticos de Física analisados apresentam uma abordagem restrita em relação à experiência de Torricelli. Efetivamente, os livros didáticos de Física para o Ensino Médio em geral não problematizam a experiência de Torricelli, ou porque tratam com naturalidade a existência do vácuo formado sobre a coluna de mercúrio, sem destacar a importância histórica do experimento na discussão sobre a existência do vácuo, ou porque não evidenciam a ideia de Torricelli de que um “oceano de ar” exerce uma pressão, e portanto não discutem as dificuldades históricas concernentes ao desenvolvimento conceitual de uma pressão exercida pela atmosfera terrestre.

## 1.8. Uma proposta para o estudo das marés atmosféricas

O desenvolvimento de um estudo voltado para o Ensino Médio acerca das marés atmosféricas pode revelar-se frutífero quando tratado a partir de uma atividade experimental investigativa. As marés atmosféricas, ou oscilações da pressão atmosférica, e sua comparação com as marés oceânicas podem servir de tema de pesquisa em Física para estudantes de Ensino Médio. Sobre o exercício da postura investigativa no contexto da pesquisa desenvolvida por estudantes, além do que já foi exposto anteriormente, cabe complementar, segundo Maria Otilia Guimarães Ninin, que [Ninin 2008]:

*“Ao entendermos pesquisa como o espaço para a construção do conhecimento novo, pautado no questionamento, que busca o desenvolvimento do sujeito crítico, historicamente situado, o professor não poderá seguir modelos convencionais de trabalho, mas terá de planejar momentos de intervenções precisas e sistematizadas junto aos seus alunos. Isso vai desde a organização dos grupos e orientações sobre como trabalhar coletivamente à condução, passo a passo, do desenvolvimento do trabalho.*

*Planejar intervenções implica preparar questionamentos para fazer aos alunos, dado que estes, ao desenvolverem suas pesquisas, nem sempre são capazes de abstrair, de maneira crítica, os significados implícitos que permeiam seus trabalhos. Para questionar o aluno, no entanto, o professor precisa de elementos teóricos que o auxiliem a elaborar perguntas capazes de trazer à tona os conhecimentos prévios de cada um sobre o tema proposto e aí está o ponto de partida: que perguntas fazer, em classe, para descobrir o que os alunos já conhecem e o que já são capazes de expressar por meio de saber crítico, em relação ao tema pretendido para pesquisa?” [p. 26]*

Sendo um fenômeno físico praticamente desconhecido no contexto do Ensino Médio, as marés atmosféricas requerem um material didático que possibilite a implementação de uma atividade experimental investigativa. Esta dissertação apresenta como produto um roteiro didático intitulado *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino*. Disponível no Anexo I e complementado no Anexo II com orientações para os professores de Física do Ensino Médio, o material instrucional pretende servir de base para o desenvolvimento de uma atividade experimental investigativa sobre as oscilações da pressão atmosférica, baseada nas considerações teórico-pedagógicas apresentadas anteriormente e em consonância com o que propõem os documentos oficiais.

No projeto de instrumentação proposto para o desenvolvimento da atividade experimental investigativa procurou-se demonstrar que o Arduino constitui-se como uma poderosa ferramenta para o ensino experimental. O barateamento de componentes eletrônicos impulsiona a atual tendência crescente de informatização dos experimentos didáticos desenvolvidos nas aulas de Física no Ensino Médio. A informatização dos experimentos traz diversas vantagens, conforme relata A. Tarciso Borges [Borges 2002]:

*“O uso de laboratório baseado em computador permite que o estudante possa deixar de dedicar tanto tempo à coleta e apresentação dos dados; com isso, ele dispõe de mais tempo para o controle de outras partes do processo, como o planejamento da atividade, a seleção do que medir, execução da investigação e interpretação e avaliação dos resultados. Além disso, esses recursos permitem a execução de investigações em tempo real, bem como a pronta alteração do planejamento, caso seja necessário, o que frequentemente é o caso numa investigação. Possibilitam também que situações mais complexas, como por exemplo as que envolvem grande número de variáveis ou as que acontecem muito rapidamente para serem observadas por meios convencionais, possam ser estudadas no laboratório, sob diferentes condições.” [p. 309-310]*

A construção de um barômetro de Torricelli para o desenvolvimento de uma atividade didática experimental requer mercúrio, que, além de não ser barato <sup>10</sup>, deve ser manipulado com muita cautela por ser um material tóxico. Por outro lado, são encontradas na internet e em livros didáticos muitas propostas de atividades para a construção de barômetros com materiais de baixo custo. Entretanto, barômetros “caseiros” tendem a ser muito imprecisos em suas medidas. Além disso, tanto no caso de um barômetro de mercúrio quanto nos casos de barômetros alternativos, o número de medições que podem ser realizadas é limitado, pois depende da leitura efetuada por um observador.

O problema da imprecisão na medida da pressão atmosférica e a limitação no número de medidas podem ser solucionados com a utilização de um sensor de pressão barométrica acoplado ao Arduino. Além de ser um componente relativamente barato, um sensor de pressão barométrica <sup>11</sup> fornece um grande número de medidas. Podem ser realizadas medidas em intervalos, por exemplo, de um minuto. Coletando dados durante, digamos, uma semana, um sensor automatizado disponibiliza para o professor e para os estudantes cerca de 10.000 medidas. A automação do experimento “*permite que o estudante possa deixar de dedicar tanto tempo à coleta e apresentação dos dados*” [Borges 2002]. Eliminando o compromisso exacerbado do estudante com a obtenção de dados experimentais (que é uma característica do laboratório tradicional), a automação faz com que o estudante desfrute de um tempo maior para refletir sobre o significado das medidas e sobre os conceitos físicos relacionados ao fenômeno em estudo, o que é essencial no desenvolvimento de uma atividade experimental investigativa.

Nos próximos capítulos serão feitas considerações sobre os fenômenos das marés (oceânicas e atmosféricas), que servirão como tema para uma proposta de implementação de uma atividade experimental investigativa baseada no uso do Arduino.

---

<sup>10</sup> Um exemplo do elevado custo do mercúrio: Em 22/09/2013, a *Construvolts Materiais para Construção Ltda* ofertava 1 kg de mercúrio (aproximadamente 74 ml) por R\$ 1.749,90, conforme anúncio no *site* do *MercadoLivre* [MercadoLivre 2013].

<sup>11</sup> Em 14/08/2013, o sensor de pressão barométrica BMP085, fabricado pela *Bosch*, custava R\$ 61,20 no *site* do revendedor *Loja Laboratório de Garagem* [LabDeGaragem 2012]. O sensor BMP085 foi utilizado na atividade experimental investigativa que serviu de modelo para a elaboração do material instrucional desta dissertação.

## Capítulo 2

### As marés

#### 2.1. Introdução: as marés oceânicas

A maré oceânica é um fenômeno que consiste na alteração no nível do mar ao longo do dia. Segundo Richard Lindzen [Lindzen 1969], os registros mais antigos sobre as marés oceânicas remontam ao navegador e explorador grego Píteas (séc. IV a.C.), natural da Massalia (atual Marselha, na França). Os registros de Píteas não foram preservados, e suas descobertas são conhecidas (e algumas delas criticadas) através de comentários de autores posteriores [Wiki 2013a]. Píteas teria saído da Massalia e inicialmente navegado pelo Mar Mediterrâneo em direção ao Oceano Atlântico. Rumando posteriormente para o Norte, ele visitou as minas de estanho de Cornwall (localizadas no sudoeste da Inglaterra) e circumnavegou a Bretanha [Lindzen 1969]. Durante suas viagens, Píteas teve a oportunidade de observar marés de amplitudes e alcances consideráveis nas costas por onde passou, conforme relatam seus comentaristas.

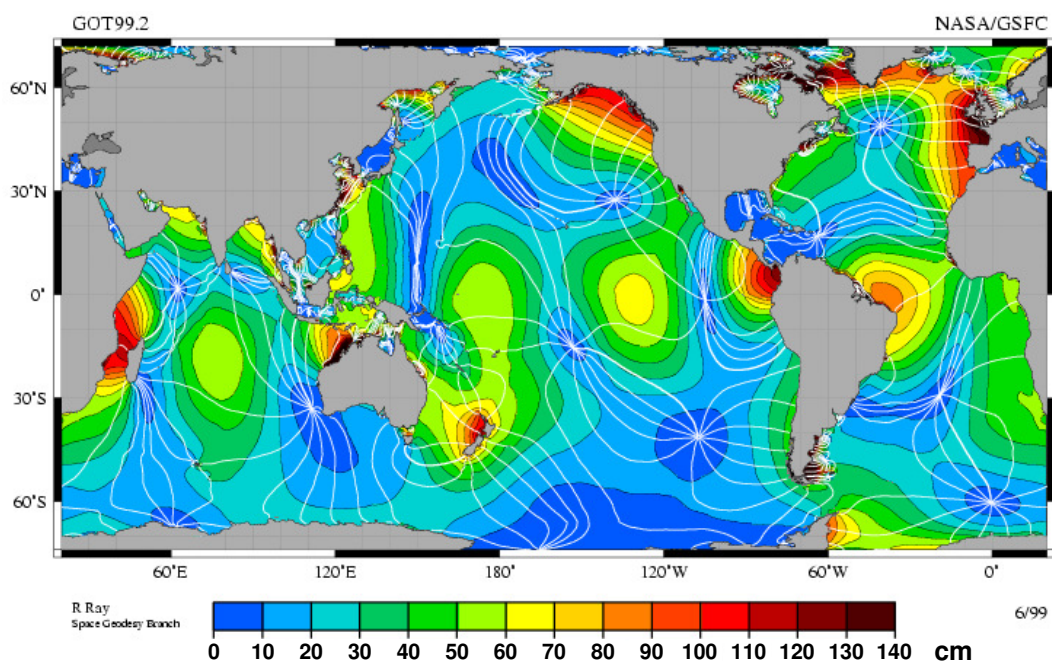
A amplitude da maré oceânica, representada na Figura 4 abaixo, consiste na diferença entre os níveis máximo e mínimo da água.



**FIGURA 4 – Amplitude da maré oceânica**<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Fonte: Adaptado de [http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal\\_range](http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal_range) [Jared 2006].

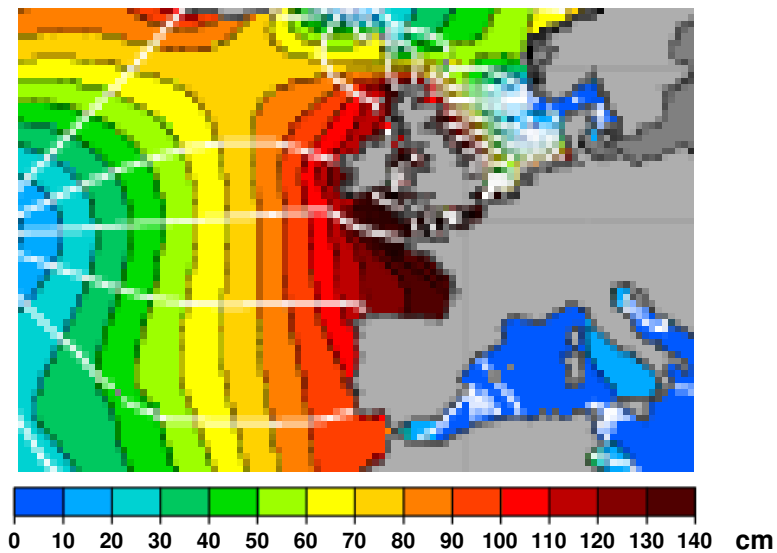
As marés oceânicas podem apresentar diversos valores de amplitude, que podem variar desde poucos centímetros até uma ordem de grandeza de 10 metros de altura. As amplitudes registradas variam de acordo com a localidade em função de diversos fatores, tais como a latitude, a profundidade e a geografia da costa [Wiki 2013b]. Um mapa de padrões de amplitudes das marés oceânicas é apresentado, de forma esquemática, na Figura 5 abaixo, onde diferentes faixas de amplitudes estão codificadas por cores.



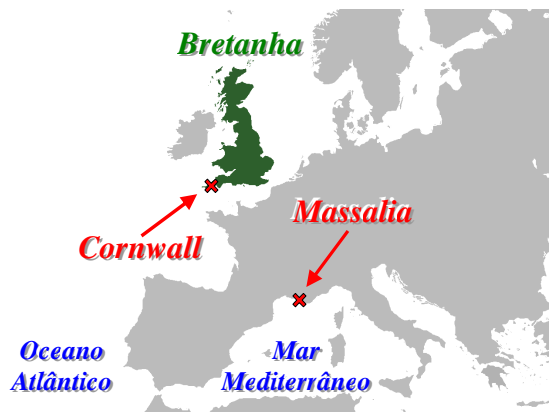
**FIGURA 5 – Padrões de amplitudes das marés oceânicas**<sup>13</sup>

Os povos das regiões situadas no Mar Mediterrâneo conheciam muito pouco (ou praticamente nada) sobre o fenômeno das marés, pois no Mar Mediterrâneo a amplitude das marés é muito pequena (entre 0 e 10 cm de altura), quase insignificante, como mostra a ampliação do mapa esquematizado na Figura 6 a seguir. Por esta razão, os relatos trazidos por Píteas tornaram-se conhecidos no Mediterrâneo. Nas regiões costeiras fora do Mar Mediterrâneo, por onde o navegador grego passou, as amplitudes das marés variam entre 90 cm e 140 cm em média. A Figura 7 a seguir apresenta os locais de destaque que constam nos relatos de Píteas.

<sup>13</sup> Fonte: NASA Goddard Space Flight Center - Scientific Visualization Studio [NASA 2006].



**FIGURA 6 – Amplitudes das marés oceânicas em torno da Europa** <sup>14</sup>



**FIGURA 7 – Regiões navegadas por Piteas** <sup>15</sup>

Localizada entre as províncias de New Brunswick e Nova Scotia, no Canadá, a Baía de Fundy (destacada no mapa da Figura 8-A a seguir) é famosa por apresentar marés com alcances e amplitudes notáveis [Fundy 2013]. As amplitudes das marés na Baía de Fundy estão entre as maiores do mundo, atingindo uma média de 38,4 pés (aproximadamente 11,7 metros de altura) em Burntcoat Head, Nova Scotia [NOAA 2013]. A Figura 8-B a seguir apresenta uma fotografia da maré alta registrada em Alma, New Brunswick, enquanto que a Figura 8-C apresenta uma fotografia da maré baixa no mesmo local.

<sup>14</sup> Fonte: Adaptado de *NASA Goddard Space Flight Center - Scientific Visualization Studio* [NASA 2006].

<sup>15</sup> Fonte: Adaptado de [http://en.wikipedia.org/wiki/Great\\_Britain](http://en.wikipedia.org/wiki/Great_Britain) [Gav235 2009].



(A) <sup>16</sup>



(B) <sup>17</sup>



(C) <sup>18</sup>

**FIGURA 8 – Localização da Baía de Fundy no Canadá (A);  
maré alta (B) e maré baixa (C) registradas em Alma - New Brunswick**

## 2.2. A causa das marés oceânicas

No século I d.C., Caius Plinius Secundus (também conhecido como Plínio, o Velho) já afirmava que “*a causa [das marés oceânicas] está no Sol e na Lua*” [Plínio 1847, p. 132]. Ao longo dos séculos, diversos pensadores tentaram explicar o fenômeno das marés através de diferentes modelos. Entretanto, segundo Richard Lindzen [Lindzen 1969]:

*“A ocorrência, em muitos lugares, de maré alta na ocasião em que a Lua passa através do meridiano rapidamente estimulou a ideia de que a Lua exerce uma atração sobre a água. Mas a ocorrência de uma segunda maré alta quando a Lua está sobre (ou próxima) do meridiano oposto foi um grande quebra-cabeça para os poucos filósofos que pensaram sobre isso.”* <sup>19</sup> [p. 6]

<sup>16</sup> Fonte: *Official site of the Bay of Fundy* [Fundy 2013].

<sup>17</sup> Fonte: Fotografia de Samuel Wantman (Alma - New Brunswick / Canadá, 1972) [Wiki 2013b].

<sup>18</sup> Fonte: Fotografia de Samuel Wantman (Alma - New Brunswick / Canadá, 1972) [Wiki 2013b].

<sup>19</sup> No original: “The occurrence, at many places, of high tide at about the time of the moon’s passage across the meridian early prompted the idea that the moon exerts an *attraction* on the water. But the occurrence of a second high tide when the moon is on or near the opposite meridian was a great puzzle to the few philosophers who thought about it.” [Lindzen 1969, p. 6]



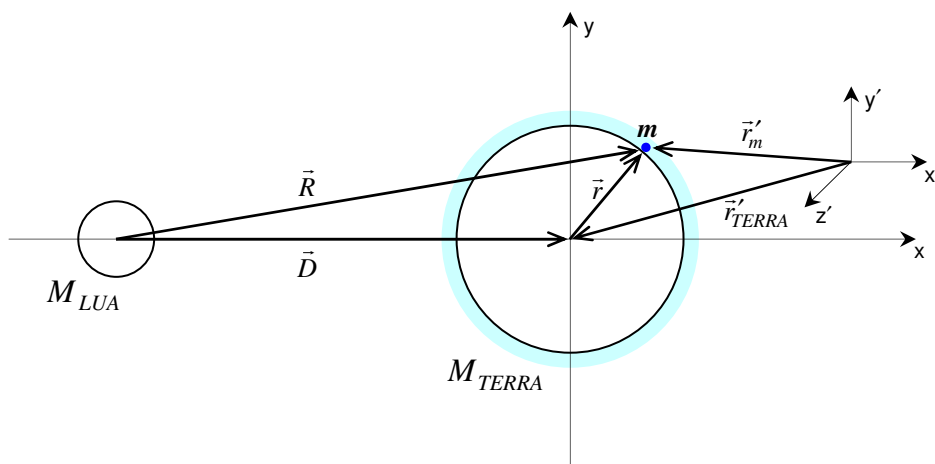
O filósofo e frade franciscano Roger Bacon (c. 1214 – 1294) propôs uma explicação para as marés baseada no modelo ptolomaico. Nesse modelo, as estrelas fixas estariam incrustadas na superfície interna de uma esfera de cristal concêntrica à Terra, denominada *Primum Mobile*. A Lua e os demais astros também estariam fixados em outras esferas cristalinas concêntricas, sendo a *Primum Mobile* a esfera mais exterior. Para Bacon, a Lua emitiria “raios de atração” [Lindzen 1969] que, ao atingirem a Terra, atrairiam a água para cima, criando a maré alta no hemisfério voltado para a Lua (“maré sublunar”). Entretanto, os raios de atração que não atingissem a Terra poderiam se propagar até a *Primum Mobile*, sofrendo reflexão e atingindo o hemisfério terrestre oposto à Lua, o que criaria uma segunda maré alta (“maré antipodal”).

Em sua obra, Galileo Galilei (1564 – 1642) também tentou explicar o fenômeno das marés, primeiramente em um escrito de 1616 (conhecido como *Discurso sobre as marés* ou *Discurso sobre o fluxo e refluxo do mar*) [Gigli 1995] e posteriormente em 1632 no *Diálogo sobre os dois principais sistemas do mundo*. A proposta de Galileo diferia significativamente da maioria das teorias acerca do fenômeno das marés, que relacionavam as marés altas ao movimento da Lua ao redor da Terra. Rejeitando uma explicação de que a Lua estaria relacionada com o fenômeno das marés, Galileo tentou explicar o fenômeno a partir dos movimentos de rotação da Terra e de translação da Terra ao redor do Sol, utilizando as marés como mais uma evidência de que a Terra estaria em movimento [Galileo 2013].

Assim como a maioria dos filósofos havia feito, o físico Isaac Newton (1642 – 1727) também propôs que o fenômeno das marés tivesse relação com a Lua (e com o Sol). Entretanto, diferentemente de Bacon, cuja teoria pressupunha “raios de atração” emitidos pela Lua e que eram, em parte, refletidos pela *Primum Mobile* do modelo geocêntrico, “Newton foi o primeiro a explicar a causa das marés como sendo devida à atração gravitacional da Lua e, em menor escala, do Sol sobre os oceanos” [Nussenzveig 2002a, p. 202]. Com sua Lei da Gravitação Universal, Newton conseguiu estabelecer uma teoria que atendia a diversos fenômenos, desde a queda dos corpos até o movimento dos astros no modelo heliocêntrico. Utilizando a Teoria da Gravitação, Newton também foi capaz de explicar as marés.

### 2.3. As marés oceânicas e a Teoria da Gravitação

Uma explicação simplificada sobre o fenômeno das marés oceânicas pode ser obtida considerando-se, primeiramente, somente o efeito gravitacional da Lua (e também o da própria Terra) sobre a água. Para facilitar a compreensão do modelo, pressupõe-se a superfície da Terra completamente coberta de água, como sugere a Figura 9 abaixo (fora de escala).



**FIGURA 9 – Modelo simplificado para explicar as marés oceânicas** <sup>20</sup>

Medida no referencial inercial  $x'y'z'$ , a atração gravitacional da Terra sobre a pequena massa  $m$  de água posicionada na superfície é dada por:

$$\vec{F}_{m, TERRA} = -G \cdot \frac{m \cdot M_{TERRA}}{r^2} \hat{r} \quad (\text{Equação 1})$$

Analogamente, a atração gravitacional da Lua sobre a mesma porção de água de massa  $m$  é dada por:

$$\vec{F}_{m, LUA} = -G \cdot \frac{m \cdot M_{LUA}}{R^2} \hat{R} \quad (\text{Equação 2})$$

<sup>20</sup> Adaptado de Marion & Thornton [Marion 2011, p. 175].

A força resultante, devido às ações gravitacionais da Terra e da Lua sobre a massa  $m$ , medida no referencial inercial  $x'y'z'$ , é obtida pela combinação da Equação 1 com a Equação 2, isto é:

$$\vec{F}_m = \vec{F}_{m,TERRA} + \vec{F}_{m,LUA} = -G \cdot \frac{m \cdot M_{TERRA}}{r^2} \hat{r} - G \cdot \frac{m \cdot M_{LUA}}{R^2} \hat{R}$$

Considerando-se agora a posição  $\vec{r}'_m$  da massa  $m$  de água, medida no referencial inercial  $x'y'z'$ , e aplicando-se a equação da 2ª lei de Newton, obtém-se:

$$\begin{aligned} \vec{F}_m &= -G \cdot \frac{m \cdot M_{TERRA}}{r^2} \hat{r} - G \cdot \frac{m \cdot M_{LUA}}{R^2} \hat{R} \\ \Rightarrow m \cdot \ddot{\vec{r}}'_m &= -G \cdot \frac{m \cdot M_{TERRA}}{r^2} \hat{r} - G \cdot \frac{m \cdot M_{LUA}}{R^2} \hat{R} \\ \Rightarrow \ddot{\vec{r}}'_m &= -G \cdot \frac{M_{TERRA}}{r^2} \hat{r} - G \cdot \frac{M_{LUA}}{R^2} \hat{R} \quad (\text{Equação 3}) \end{aligned}$$

O resultado expresso na Equação 3 fornece a aceleração  $\ddot{\vec{r}}'_m$  da massa  $m$  de água, medida no referencial inercial  $x'y'z'$ .

Por outro lado, a força gravitacional da Lua sobre a Terra é dada por:

$$\begin{aligned} \vec{F}_{TERRA,LUA} &= -G \cdot \frac{M_{TERRA} \cdot M_{LUA}}{D^2} \hat{D} \\ \Rightarrow M_{TERRA} \cdot \ddot{\vec{r}}'_{TERRA} &= -G \cdot \frac{M_{TERRA} \cdot M_{LUA}}{D^2} \hat{D} \\ \Rightarrow \ddot{\vec{r}}'_{TERRA} &= -G \cdot \frac{M_{LUA}}{D^2} \hat{D} \quad (\text{Equação 4}) \end{aligned}$$

O resultado obtido na Equação 4 fornece a aceleração  $\ddot{\vec{r}}'_{TERRA}$  da Terra, medida no referencial inercial  $x'y'z'$ , devido à ação gravitacional da Lua. Combinando-se a Equação 4 com a Equação 3, obtida para a aceleração  $\ddot{\vec{r}}'_m$  da

massa  $m$  de água, é possível descobrir a aceleração  $\ddot{\vec{r}}$  da massa  $m$  de água medida no referencial xyz, posicionado no centro da Terra.<sup>21</sup>

Da Figura 9, temos  $\ddot{\vec{r}}_{TERRA} + \ddot{\vec{r}} = \ddot{\vec{r}}_m$ . Portanto,  $\ddot{\vec{r}}_{TERRA} + \ddot{\vec{r}} = \ddot{\vec{r}}_m$  e, deste modo,  $\ddot{\vec{r}} = \ddot{\vec{r}}_m - \ddot{\vec{r}}_{TERRA}$ . Então, substituindo a Equação 3 e a Equação 4, obtemos para a aceleração  $\ddot{\vec{r}}$  o seguinte resultado:

$$\begin{aligned} \ddot{\vec{r}} &= \ddot{\vec{r}}_m - \ddot{\vec{r}}_{TERRA} \\ \Rightarrow \ddot{\vec{r}} &= -G \cdot \frac{M_{TERRA}}{r^2} \hat{r} - G \cdot \frac{M_{LUA}}{R^2} \hat{R} - \left( -G \cdot \frac{M_{LUA}}{D^2} \hat{D} \right) \\ \Rightarrow \ddot{\vec{r}} &= -G \cdot \frac{M_{TERRA}}{r^2} \hat{r} - G \cdot M_{LUA} \left( \frac{\hat{R}}{R^2} - \frac{\hat{D}}{D^2} \right) \quad (\text{Equação 5}) \end{aligned}$$

Esse último resultado, para a aceleração  $\ddot{\vec{r}}$  da massa  $m$  de água, pode ser interpretado da seguinte forma:

1º) O termo  $-G \cdot \frac{M_{TERRA}}{r^2} \hat{r} = \vec{g}$  representa a aceleração produzida pela ação gravitacional da Terra sobre a massa  $m$  de água (ou sobre qualquer outro corpo localizado próximo à superfície da Terra). A aceleração da gravidade na superfície da Terra tem, em média, módulo  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ .<sup>22</sup>

2º) O termo  $-G \cdot M_{LUA} \left( \frac{\hat{R}}{R^2} - \frac{\hat{D}}{D^2} \right) = \ddot{\vec{r}}_{MARÉS}$  representa a aceleração produzida pela ação gravitacional da Lua sobre a massa  $m$  de água.<sup>23</sup>

Sendo assim, a força das marés (força gravitacional da Lua responsável por produzir as marés oceânicas), medida no referencial não inercial xyz, sobre a massa  $m$  de água é dada por:

<sup>21</sup> O referencial xyz posicionado no centro da Terra é um referencial não inercial, o que é um fator complicador do problema. "O cálculo é dificultado pelo fato de que a superfície da Terra não é um sistema inercial" [Marion 2011, p. 174].

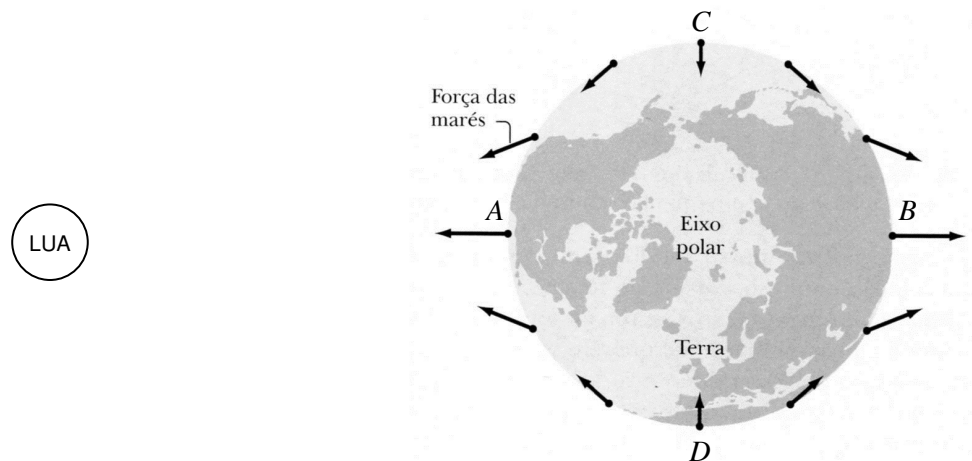
<sup>22</sup> Apesar de  $g$  variar em função do raio  $r$ , o valor considerado padrão para o módulo da aceleração da gravidade na superfície da Terra é  $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ . Fonte: *The NIST Reference on Constants, Units and Uncertainty* [NIST 2012].

<sup>23</sup> O módulo da aceleração  $\ddot{\vec{r}}_{MARÉS}$  varia em função dos diferentes valores para o módulo do vetor posição  $\vec{R}$ , representado na Figura 7, mas os valores assumidos por  $\ddot{\vec{r}}_{MARÉS}$  são da ordem de  $10^{-9} \text{ m/s}^2$ .

$$\vec{F}_{MARÉS} = m \cdot \ddot{\vec{r}}_{MARÉS} = m \cdot \left[ -G \cdot M_{LUA} \left( \frac{\hat{R}}{R^2} - \frac{\hat{D}}{D^2} \right) \right]$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{MARÉS} = -G \cdot m \cdot M_{LUA} \left( \frac{\hat{R}}{R^2} - \frac{\hat{D}}{D^2} \right) \quad (\text{Equação 6})$$

A Figura 10 abaixo (fora de escala) apresenta a força das marés sobre diferentes pontos da superfície da Terra.



**FIGURA 10 – Força das marés**<sup>24</sup>

Para o ponto A da Figura 10, tem-se, da Figura 9:

$$\begin{cases} R = D - r \\ \hat{R} = \hat{D} \end{cases}$$

Logo:

$$\vec{F}_{MARÉS} = -G \cdot m \cdot M_{LUA} \left( \frac{\hat{R}}{R^2} - \frac{\hat{D}}{D^2} \right)$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{MARÉS(A)} = -G \cdot m \cdot M_{LUA} \left( \frac{\hat{D}}{(D-r)^2} - \frac{\hat{D}}{D^2} \right)$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{MARÉS(A)} = -G \cdot m \cdot M_{LUA} \left( \frac{1}{(D-r)^2} - \frac{1}{D^2} \right) \hat{D} \quad (\text{Equação 7})$$

<sup>24</sup> Adaptado de Marion & Thornton [Marion 2011, p. 177].

Como  $D - r < D$ , o termo entre parênteses na Equação 7 é positivo, e portanto a força das marés sobre o ponto  $A$  tem o sentido do vetor  $-\hat{D}$ , ou seja, o sentido contrário à orientação atribuída ao eixo  $x$  na Figura 9. Nesse caso, a força das marés tende a criar a maré alta sublunar.

Por outro lado, para o ponto  $B$  da Figura 10, tem-se, da Figura 9:

$$\begin{cases} R = D + r \\ \hat{R} = \hat{D} \end{cases}$$

Logo:

$$\begin{aligned} \vec{F}_{MARÉS} &= -G \cdot m \cdot M_{LUA} \left( \frac{\hat{R}}{R^2} - \frac{\hat{D}}{D^2} \right) \\ \Rightarrow \vec{F}_{MARÉS(B)} &= -G \cdot m \cdot M_{LUA} \left( \frac{\hat{D}}{(D+r)^2} - \frac{\hat{D}}{D^2} \right) \\ \Rightarrow \vec{F}_{MARÉS(B)} &= -G \cdot m \cdot M_{LUA} \left( \frac{1}{(D+r)^2} - \frac{1}{D^2} \right) \hat{D} \quad (\text{Equação 8}) \end{aligned}$$

Como  $D + r > D$ , o termo entre parênteses na Equação 8 é negativo, e portanto a força das marés sobre o ponto  $B$  tem o sentido do vetor  $\hat{D}$ , ou seja, o mesmo sentido da orientação atribuída ao eixo  $x$  na Figura 9. Nesse caso, a força das marés, medida no referencial não inercial  $xyz$ , tende a criar a maré alta antipodal.

Considerando a diferença entre as expressões da Equação 7 e da Equação 8 ( $D - r$  em  $\vec{F}_{MARÉS(A)}$  e  $D + r$  em  $\vec{F}_{MARÉS(B)}$ ), obtidas para a força das marés nos pontos  $A$  e  $B$  da Figura 10, é possível afirmar que o módulo da força das marés no ponto  $B$  é aproximadamente igual ao módulo da força das marés no ponto  $A$ , uma vez que  $r \ll D$  e conseqüentemente  $\frac{r}{D} \ll 1$ .<sup>25</sup>

<sup>25</sup> A saber:  $r = 6,37 \times 10^3$  km e  $D = 3,86 \times 10^6$  km (dados adaptados de *National Space Science Data Center* [NASA 2013]). Logo,  $r / D \approx 0,017$ .

Finalmente, para o ponto  $C$  da Figura 10, tem-se, da Figura 9:

$$R^2 = D^2 + r^2$$

$$\Rightarrow R^2 \approx D^2 \quad (\text{pois } r \ll D)$$

Logo:

$$\vec{F}_{MARÉS} = -G \cdot m \cdot M_{LUA} \left( \frac{\hat{R}}{R^2} - \frac{\hat{D}}{D^2} \right)$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{MARÉS(C)} = -G \cdot m \cdot M_{LUA} \left( \frac{\hat{R}}{D^2} - \frac{\hat{D}}{D^2} \right)$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{MARÉS(C)} = -G \cdot \frac{m \cdot M_{LUA}}{D^2} (\hat{R} - \hat{D})$$

Entretanto, os módulos das componentes ortogonais do vetor unitário  $\hat{R}$  nas direções  $x$  e  $y$  do referencial não inercial  $xyz$  adotado na Figura 9 são:

$$\left\{ \begin{array}{l} |\hat{R}_x| = \frac{D}{R} |\hat{R}| = \frac{D}{R} \Rightarrow |\hat{R}_x| \approx \frac{D}{D} = 1 = |\hat{D}| \\ |\hat{R}_y| = \frac{r}{R} |\hat{R}| = \frac{r}{R} \Rightarrow |\hat{R}_y| \approx \frac{r}{D} \end{array} \right. \quad (\text{pois } R^2 \approx D^2 \Rightarrow R \approx D)$$

Como  $r \ll D$ , pode ser considerada válida a aproximação  $R \approx D$ , o que levou aos resultados obtidos acima para os módulos das componentes do vetor  $\hat{R}$ . Tais resultados permitem concluir que a força das marés no ponto  $C$  da Figura 10 tem uma componente na direção do eixo  $x$  praticamente nula, restando apenas a componente na direção do eixo  $y$ . Para o caso do ponto  $C$ , a componente  $\hat{R}_y$  tem como versor o vetor  $\hat{j}$  (unitário na direção do eixo  $y$ ). Sendo assim, obtém-se:

$$\vec{F}_{MARÉS(C)} = -G \cdot \frac{m \cdot M_{LUA}}{D^2} (\hat{R} - \hat{D})$$

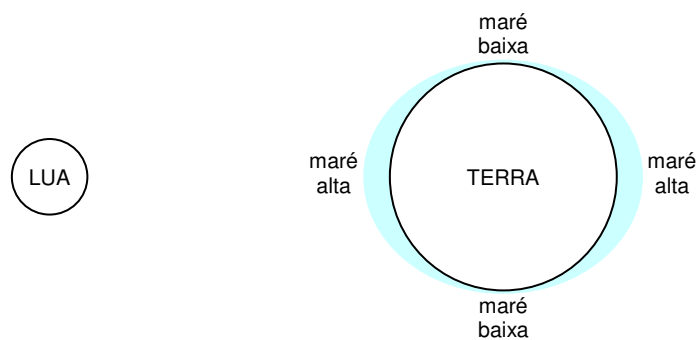
$$\Rightarrow \vec{F}_{MARÉS(C)} = -G \cdot \frac{m \cdot M_{LUA}}{D^2} \left( \frac{r}{D} \hat{j} \right)$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{MARÉS(C)} = -G \cdot \frac{m \cdot M_{LUA} \cdot r}{D^3} \hat{j} \quad (\text{Equação 9})$$

O resultado na Equação 9 mostra que a força das marés no ponto  $C$  tem a direção do eixo  $y$  e sentido  $-\hat{j}$ , ou seja, para o centro da Terra. Um resultado análogo pode ser obtido para a força das marés sobre o ponto  $D$  da Figura 10. Porém, nesse caso a componente  $\hat{R}_y$  terá como versor o vetor  $-\hat{j}$ .

$$\begin{aligned}\vec{F}_{MARÉS(D)} &= -G \cdot \frac{m \cdot M_{LUA}}{D^2} (\hat{R} - \hat{D}) \\ \Rightarrow \vec{F}_{MARÉS(D)} &= -G \cdot \frac{m \cdot M_{LUA}}{D^2} \left( \frac{r}{D} (-\hat{j}) \right) \\ \Rightarrow \vec{F}_{MARÉS(D)} &= G \cdot \frac{m \cdot M_{LUA} \cdot r}{D^3} \hat{j} \quad (\text{Equação 10})\end{aligned}$$

Assim, a força das marés no ponto  $D$  tem a direção do eixo  $y$  e sentido  $\hat{j}$ , ou seja, novamente para o centro da Terra. Os resultados na Equação 9 e na Equação 10, obtidos para a força das marés nos respectivos pontos  $C$  e  $D$  da Figura 10, quando confrontados com os resultados obtidos para os pontos  $A$  e  $B$  (respectivamente, Equação 7 e Equação 8), indicam que o nível da água registrado na direção do eixo  $y$  deve ser mais raso (marés baixas) do que o nível da água registrado na direção do eixo  $x$  (marés altas). A Figura 11 abaixo (fora de escala) apresenta, de forma simplificada e exagerada, o resultado do efeito gravitacional da Lua sobre a massa de água da Terra.

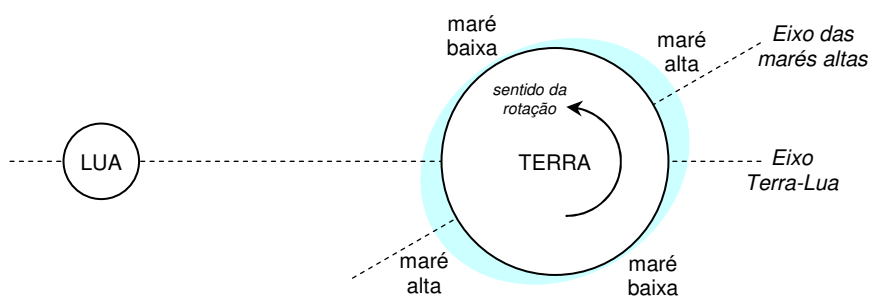


**FIGURA 11 – Representação das marés altas e das marés baixas**



Até aqui, não foram considerados os efeitos produzidos pela gravidade do Sol sobre a Terra. “O resultado é que a força das marés devida ao Sol é 0,46 vezes aquela devida à Lua, um efeito dimensionável” [Marion 2011, p. 177]. Inversamente, a força das marés devida à Lua é aproximadamente igual a 2,2 vezes a força das marés devida ao Sol. “Assim, a Lua rege as marés” [Lindzen 1969, p. 7].

Além disso, fatores geográficos afetam as amplitudes das marés registradas. Um efeito relevante provém do atrito entre a massa de água dos oceanos e a crosta terrestre, que “faz com que as marés altas não estejam bem ao longo do eixo Terra-Lua, mas vários graus separados” [Marion 2011, p. 179], como representado de forma exagerada na Figura 12 abaixo (fora de escala).



**FIGURA 12 – Diferença entre a direção do eixo Terra-Lua e a direção do eixo das marés altas** <sup>26</sup>

## 2.4. As marés atmosféricas e a Teoria da Gravitação

As marés atmosféricas, também conhecidas como marés barométricas, resultariam da ação da força das marés sobre a atmosfera terrestre. Assim, da mesma forma que a gravidade da Lua e a gravidade do Sol produzem as marés oceânicas, a força das marés poderia produzir um efeito similar na atmosfera. De acordo com Richard Lindzen [Lindzen 1969]:

<sup>26</sup> Adaptado de Marion & Thornton [Marion 2011, p. 179].

“Newton percebeu que a força das marés deve afetar a atmosfera bem como os oceanos, mas pensava que as marés atmosféricas seriam muito pequenas para serem detectadas.”<sup>27</sup> [p. 8]

Retornando à Equação 6, que expressa a força das marés causada pela ação gravitacional da Lua sobre uma massa  $m$  de água, pode-se obter uma expressão para  $\vec{F}_{MARÉS}$  em função do volume  $V$  e da densidade  $\rho_{água}$  da água, uma vez que  $\rho = \frac{m}{V}$  e, deste modo,  $m = \rho \cdot V$ .

$$\vec{F}_{MARÉS} = -G \cdot m \cdot M_{LUA} \left( \frac{\hat{R}}{R^2} - \frac{\hat{D}}{D^2} \right)$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{MARÉS} = -G \cdot \rho_{água} \cdot V \cdot M_{LUA} \left( \frac{\hat{R}}{R^2} - \frac{\hat{D}}{D^2} \right) \quad (\text{Equação 11})$$

Um resultado análogo ao da Equação 11 poderia ser obtido para uma massa de ar atmosférico. Nesse caso, a razão entre a força das marés sobre um volume  $V$  de água e a força das marés sobre um mesmo volume  $V$  de ar, ambos localizados em posições próximas na superfície da Terra (isto é,  $\vec{R}_{ÁGUA} \approx \vec{R}_{AR}$ ), será:

$$\frac{\vec{F}_{MARÉS(ÁGUA)}}{\vec{F}_{MARÉS(AR)}} = \frac{-G \cdot \rho_{água} \cdot V \cdot M_{LUA} \left( \frac{\hat{R}}{R^2} - \frac{\hat{D}}{D^2} \right)}{-G \cdot \rho_{ar} \cdot V \cdot M_{LUA} \left( \frac{\hat{R}}{R^2} - \frac{\hat{D}}{D^2} \right)}$$

$$\Rightarrow \frac{\vec{F}_{MARÉS(ÁGUA)}}{\vec{F}_{MARÉS(AR)}} = \frac{\rho_{água}}{\rho_{ar}} \quad (\text{Equação 12})$$

As densidades  $\rho_{água}$  da água e  $\rho_{ar}$  do ar atmosférico dependem de diversos fatores. Em uma primeira aproximação, trata-se o ar atmosférico como

<sup>27</sup> No original: “Newton realized that the tidal forces must affect the atmosphere as well as the oceans, but thought that the atmospheric tides would be too small to be detected.” [Lindzen 1969, p. 8]

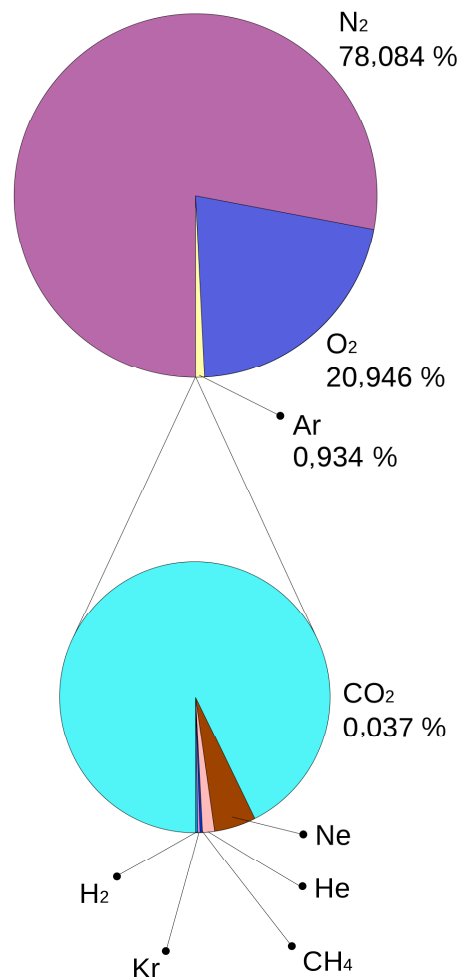
um gás ideal. Assim, sua densidade seria determinada por sua pressão  $p$ , por sua massa molar média  $M$  e pela temperatura absoluta  $T$ .

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$\Rightarrow p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \Rightarrow \frac{p \cdot M}{R \cdot T} = \frac{m}{V}$$

$$\Rightarrow \rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} \quad (\text{Equação 13})$$

A massa molar média do ar atmosférico pode ser estimada a partir dos percentuais de volume dos gases que compõem o ar seco, cuja composição é apresentada no gráfico da Figura 13.



**FIGURA 13 – Composição do ar seco** <sup>28</sup>

<sup>28</sup> Fonte: Adaptado de [http://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere\\_of\\_Earth](http://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Earth) [Raïsänen 2006].

Considerando-se apenas os constituintes mais relevantes e suas respectivas massas molares, a massa molar média do ar seco corresponde à soma das frações da massa molar presentes na Tabela 6 abaixo, cujos valores para cada gás foram obtidos pelo produto do percentual de volume com a massa molar.

**TABELA 6 – Frações da massa molar**

Gás	Percentual de volume no ar seco <sup>29</sup>	Massa molar (g/mol) <sup>30</sup>	Fração da massa molar (g/mol)
nitrogênio (N <sub>2</sub> )	78,084%	28,01	21,87
oxigênio (O <sub>2</sub> )	20,946%	31,99	6,70
argônio (Ar)	0,934%	39,95	0,37
dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	0,037%	44,00	0,02
OUTROS (Ne, He, CH <sub>4</sub> , Kr, H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, Xe, O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> etc)	traços	–	–

Sendo assim, obtém-se:

$$M = 21,87 + 6,70 + 0,37 + 0,02$$

$$\Rightarrow M = 28,96 \text{ g/mol} = 28,96 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

A pressão atmosférica ao nível do mar corresponde aproximadamente a 1 atm (101.325 Pa) <sup>31</sup>. Para uma temperatura de 20 °C (aproximadamente 293 K) e uma pressão de 1 atm, a densidade do ar seco (Equação 13) assume o valor:

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T}$$

$$\Rightarrow \rho_{ar} = \frac{1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 28,96 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 293 \text{ K}}$$

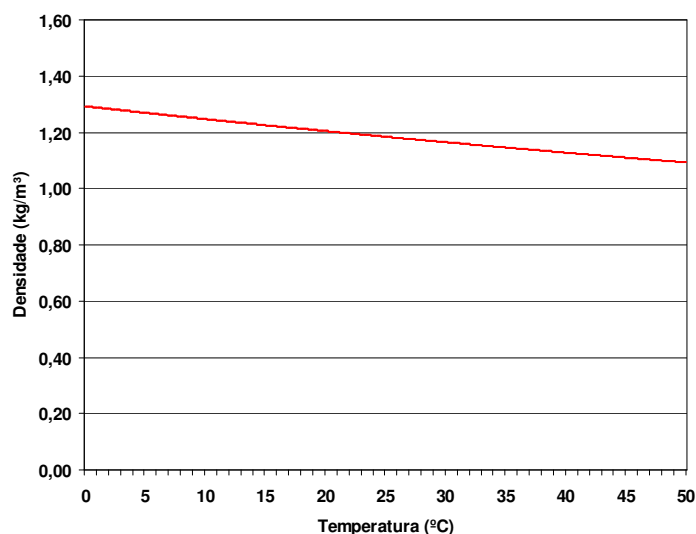
$$\Rightarrow \rho_{ar} \approx 1,2 \text{ kg/m}^3$$

<sup>29</sup> Fonte: *Meteorology: An Educator's Resource for Inquiry-Based Learning for Grades 5-9* [NASA 2008, p. 6].

<sup>30</sup> Dados adaptados de *IUPAC Periodic Table of the Elements* [IUPAC 2013].

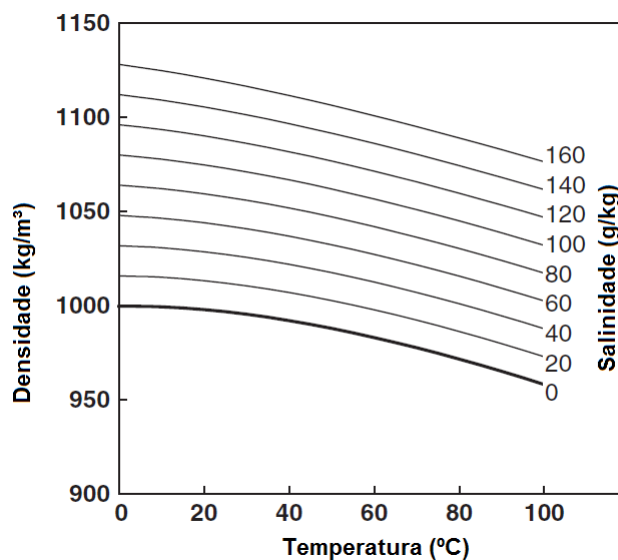
<sup>31</sup> O valor considerado padrão para a unidade de medida *atmosfera* é 1 atm = 101.325 Pa. Fonte: *The NIST Reference on Constants, Units and Uncertainty* [NIST 2012].

Variações na temperatura afetam a densidade do ar seco, conforme apresenta o gráfico da Figura 14.



**FIGURA 14 – Densidade do ar seco em função da temperatura, para uma pressão atmosférica de 1 atm (101.325 Pa)**

Por outro lado, a densidade da água depende não apenas de sua temperatura, mas também de sua salinidade, conforme mostra o gráfico da Figura 15.



**FIGURA 15 – Densidade da água em função da temperatura e da salinidade**<sup>32</sup>

<sup>32</sup> Fonte: Adaptado de *Thermophysical properties of seawater: a review of existing correlations and data* [Sharqawy 2010, p. 359].

Considerando-se  $\rho_{\text{água}} = 1.025 \text{ kg/m}^3$  para a densidade média da água dos oceanos <sup>33</sup> a 20 °C e com salinidade média de 35 g/kg <sup>34</sup>, e  $\rho_{\text{ar}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$  para a densidade média do ar atmosférico seco também a 20 °C, obtém-se:

$$\begin{aligned} \frac{\vec{F}_{\text{MARÉS (ÁGUA)}}}{\vec{F}_{\text{MARÉS (AR)}}} &= \frac{\rho_{\text{água}}}{\rho_{\text{ar}}} \\ \Rightarrow \frac{\vec{F}_{\text{MARÉS (ÁGUA)}}}{\vec{F}_{\text{MARÉS (AR)}}} &= \frac{1025}{1,2} \\ \Rightarrow \frac{\vec{F}_{\text{MARÉS (ÁGUA)}}}{\vec{F}_{\text{MARÉS (AR)}}} &\approx 854,2 \end{aligned}$$

Uma vez que a força das marés sobre um volume  $V$  de água é mais do que 850 vezes maior do que a força das marés sobre um mesmo volume  $V$  de ar, conclui-se que o fenômeno das marés oceânicas é um efeito muito mais notável do que qualquer efeito gravitacional da Lua sobre a atmosfera terrestre. Portanto, uma “maré atmosférica” gravitacionalmente produzida deveria ser tão tênue a ponto de ser praticamente indetectável, como Newton havia previsto.

Entretanto, medições feitas com um barômetro digital revelam que existem oscilações da pressão atmosférica ao longo do dia <sup>35</sup>. Mas se a ação gravitacional da Lua e do Sol sobre a atmosfera é praticamente desprezível, como explicar a existência de oscilações na pressão atmosférica? Que procedimentos deveríamos adotar para detectar as marés barométricas e que teorias ou modelos poderíamos utilizar para explicar a existência desse fenômeno? Esta é uma situação-problema extremamente rica do ponto de vista didático, dadas as considerações pedagógicas feitas anteriormente (Capítulo 1, Seção 1.8), e portanto configura-se como uma oportunidade singular para o desenvolvimento de uma atividade experimental investigativa.

---

<sup>33</sup> Dado adaptado de *Thermophysical properties of seawater: a review of existing correlations and data* [Sharqawy 2010, Anexo, p. 3].

<sup>34</sup> Dado adaptado de *Office of Naval Research* [ONR 2013] e de *National Weather Service Online School for Weather* [JetStream 2013]. Variações na salinidade da água na superfície dos oceanos em função da latitude e da longitude podem ser visualizadas no Apêndice B.1.

<sup>35</sup> Um projeto de instrumentação voltado para a investigação das marés barométricas será apresentado no Capítulo 4.

## Capítulo 3

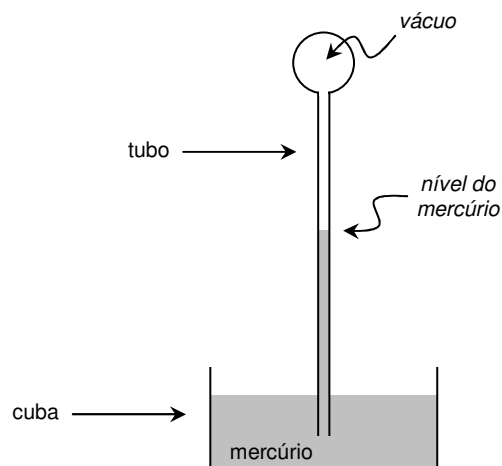
### A pressão atmosférica

#### 3.1. Introdução histórica: o barômetro de mercúrio

No ano de 1643, Vincenzo Viviani (1622 – 1703) e Evangelista Torricelli (1608 – 1647) realizaram um famoso experimento, hoje conhecido como “experiência de Torricelli”, que foi elaborada a partir de considerações feitas acerca da existência e das características da pressão atmosférica. Segundo H. Moysés Nussenzveig [Nussenzveig 2002b]:

*“[...] um tubo de vidro de aproximadamente 1m de comprimento, fechado numa extremidade e cheio de mercúrio, foi invertido numa cuba de mercúrio, tampando antes com o dedo a extremidade aberta.” [p. 9]*

O resultado do experimento constitui-se como a construção de um baroscópio (esquemático na Figura 16), instrumento capaz de detectar variações na pressão atmosférica através da mudança no nível do mercúrio contido no tubo.



**FIGURA 16 – Esquema do baroscópio de Torricelli**

Como a volatilidade do mercúrio é muito pequena, este elemento é um líquido cuja pressão de vapor saturado é muito baixa. Sendo assim, pode-se considerar que o espaço acima da coluna de mercúrio constitui-se praticamente como vácuo. Logo, a posição de equilíbrio no instrumento é estabelecida quando a pressão atmosférica iguala-se à pressão hidrostática da coluna de mercúrio.

$$\begin{cases} P_{hidrostática} + P_{vapor\ saturado} = P_{ATM} \\ P_{vapor\ saturado} \approx 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \rho_{Hg} \cdot h \cdot g = P_{ATM}$$

$$\Rightarrow h = \frac{P_{ATM}}{\rho_{Hg} \cdot g} \quad (\text{Equação 14})$$

Para um aumento no valor da pressão atmosférica  $p_{ATM}$ , o desequilíbrio fará com que o mercúrio seja “empurrado” para dentro do tubo, e assim a altura  $h$  no nível da coluna de mercúrio aumenta até que o equilíbrio hidrostático seja restabelecido. Por outro lado, para uma diminuição no valor da pressão atmosférica, a altura no nível da coluna diminui (uma vez que nesse caso é a própria coluna que “empurra” o mercúrio para fora do tubo) até que o equilíbrio hidrostático seja novamente restabelecido. Assim, variações na pressão atmosférica podem ser detectadas pela mudança no nível da coluna de mercúrio do baroscópio.

Dado que  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  e considerando-se que  $\rho_{Hg} \approx 13,5 \text{ g/cm}^3$  é a densidade média do mercúrio <sup>36</sup>, obtém-se, da Equação 14, o seguinte resultado para uma pressão atmosférica de 1 atm (101.325 Pa):

$$h = \frac{101.325 \text{ Pa}}{13,5 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\Rightarrow h \approx 0,76 \text{ m} = 760 \text{ mm}$$

<sup>36</sup> A densidade do mercúrio é 13,5336 g/cm<sup>3</sup> para a temperatura ambiente (isto é, numa faixa de 20 °C a 25 °C aproximadamente). Fonte: *CRC Handbook of Chemistry and Physics* [CRC 2005, Section 4, p. 4\_69].



Variações na densidade  $\rho_{\text{Hg}}$  do mercúrio, assim como diferentes valores para o campo gravitacional  $g$  local, poderiam afetar a percepção da altura  $h$  observada no baroscópio ou barômetro. Entretanto, a densidade do mercúrio varia muito pouco com a temperatura, visto que a dilatação do mercúrio pode ser considerada desprezível em virtude de seu baixo coeficiente de dilatação. Da mesma forma, variações no campo gravitacional  $g$  também podem ser desprezadas em regiões próximas à superfície da Terra.

Uma das vantagens encontradas na utilização do mercúrio durante a experiência de Torricelli consiste no fato de a densidade deste líquido ser alta em comparação com as densidades de outros líquidos. Esse fato proporciona a utilização de um tubo relativamente curto para a construção de um baroscópio ou de um barômetro. Variações razoáveis na pressão atmosférica são expressas por alterações, na ordem de milímetros ou centímetros, que ocorrem na altura  $h$  do nível da coluna de mercúrio.

Decorre do resultado obtido acima ( $h = 760$  mm para  $p_{\text{ATM}} = 1$  atm) a definição da unidade de pressão denominada *milímetro de mercúrio* (mmHg), onde  $1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$ . Com a utilização de outros líquidos no lugar do mercúrio, a altura  $h$  da coluna que equilibra a pressão atmosférica é inversamente proporcional à densidade do líquido. Por exemplo, como a densidade média da água na temperatura ambiente é de  $1 \text{ g/cm}^3$ , a coluna de água que equilibra a pressão de 1 atm deve ter cerca de 10,3 m de altura, o que impossibilita a construção de um barômetro prático com água. Diferentes unidades de medida de pressão poderiam ser definidas de forma análoga ao milímetro de mercúrio. É o caso, por exemplo, do *metro de água* (mH<sub>2</sub>O), onde  $1 \text{ atm} \approx 10,3 \text{ mH}_2\text{O}$ . O Apêndice B.2 apresenta uma comparação entre colunas de diferentes líquidos que equilibram uma pressão atmosférica de 1 atm.

Na construção dos primeiros barômetros, a utilização do mercúrio, portanto, apresentou vantagens frente a outros líquidos. Entretanto, deve-se destacar que a expressão  $h = \frac{P_{\text{ATM}}}{\rho \cdot g}$ , anteriormente obtida para o mercúrio, é válida apenas se a pressão de vapor puder ser desprezada. O argumento de que o espaço acima da coluna de mercúrio constitui-se praticamente como

vácuo decorre do fato de que a pressão de vapor saturado do mercúrio é muito pequena <sup>37</sup>. Para efeito de comparação com o mercúrio, o Apêndice B.3 apresenta valores de pressão de vapor de outras substâncias. É importante ressaltar que, para alguns líquidos, a pressão de vapor talvez não possa ser desprezada, o que pode afetar a leitura da pressão atmosférica obtida no barômetro, em consequência da existência de uma pressão sobre o líquido contido no tubo.

Além de utilizar barômetros de mercúrio, Blaise Pascal (1623 – 1662) chegou a realizar uma sequência de experimentos utilizando barômetros com tubos da ordem de 15 metros de altura, como ilustrado na Figura 17 abaixo.



**FIGURA 17 – Representação dos experimentos conduzidos por Pascal nas ruas da cidade de Rouen, na França <sup>38</sup>**

---

<sup>37</sup> A 20 °C a pressão de vapor do mercúrio é cerca de 0,17 Pa (aproximadamente  $1,7 \times 10^{-6}$  atm ou  $1,3 \times 10^{-3}$  mmHg). Fonte: Estimativa adaptada de *The Vapor Pressure of Mercury* [Huber 2006, p. 17].

<sup>38</sup> Fonte: *Pascal barométer kisérléte Rouenben* [Tolnai 1908].

Propositalmente utilizando água e vinho, Pascal procurou observar e demonstrar a diferença nas alturas das colunas líquidas. Segundo Daniel Fouke [Fouke 2003]:

*“[...] Pascal conduziu demonstrações públicas com uma série de variações do experimento de Torricelli. Em suas demonstrações Pascal utilizou não só o mercúrio, mas também água e vinho. Esses líquidos, tendo densidades muito menores do que o mercúrio, exigiram a fabricação de tubos muito mais longos.”*<sup>39</sup> [p. 77]

### **3.2. O nascimento do conceito de pressão atmosférica**

O desenvolvimento do barômetro por Torricelli, Viviani e posteriormente por Pascal foi concomitante ao desenvolvimento dos primeiros termômetros. É interessante o fato de que esses instrumentos tenham surgido na mesma época, visto que os conceitos físicos – *pressão* e *temperatura* – envolvidos (e inicialmente desenvolvidos) com o nascimento do barômetro e do termômetro desencadeariam o posterior desenvolvimento da Termodinâmica nos séculos seguintes.

O barômetro de mercúrio de Torricelli assemelha-se ao “termoscópio de Galileo”, instrumento que, segundo Viviani, teria sido inventado por Galileo em 1592 [Medeiros 1999]. Benedetto Castelli (1578 – 1643) descreve a estrutura e o funcionamento do termoscópio de Galileo em uma carta escrita em 1638 para Ferdinando Cesarini (1604 – 1646). De acordo com o relato de Castelli, Galileo chegou a realizar demonstrações do instrumento. A Figura 18 a seguir apresenta uma réplica do termoscópio de Galileo. Construída no século XIX e de autoria desconhecida, a réplica tem 46 cm de altura e faz parte do acervo do

---

<sup>39</sup> No original: “[...] Pascal conducted public demonstrations of a number of variations on Torricelli’s experiment. In his demonstrations Pascal used not only mercury, but water and wine as well. These fluids, having specific gravities much smaller than mercury, required the manufacture of much longer tubes.” [Fouke 2003, p. 77]

*Museo Galileo – Istituto e Museo di Storia della Scienza.* A Figura 19 a seguir apresenta o afresco *Una riunione dell'Accademia del Cimento*, obra de Gaspero Martellini (1785 – 1857) de cerca de 1841. O afresco representa uma demonstração de um termoscópio feita em uma reunião da *Accademia del Cimento* (1657 – 1667).



**FIGURA 18 – Réplica do termoscópio de Galileo,  
Museo Galileo - Florença / Itália <sup>40</sup>**

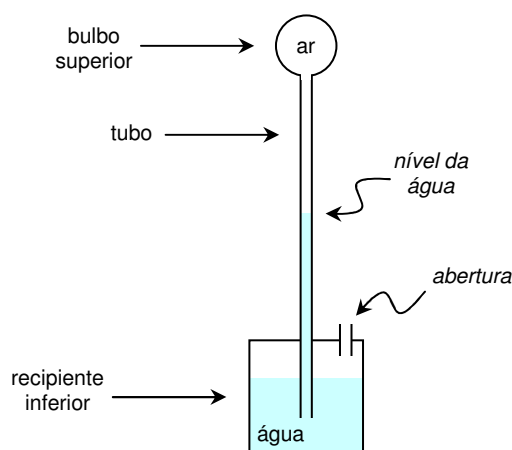


**FIGURA 19 – *Una riunione dell'Accademia del Cimento*,  
afresco de Gaspero Martellini - Florença / Itália <sup>41</sup>**

<sup>40</sup> Fonte: *Museo Galileo – Istituto e Museo di Storia della Scienza* [IMSS 2010].

<sup>41</sup> Fonte: *Istituto Centrale per il Catalogo Unico* [ICCU 2005].

Apesar das semelhanças com o barômetro de mercúrio de Torricelli, o termoscópio de Galileo é na realidade um *termobaroscópio*, no qual a substância termométrica é o ar contido no bulbo superior. Variações de temperatura podem ser detectadas pela mudança no nível do líquido, geralmente água, contido no tubo. Com o aumento da temperatura, o ar contido no bulbo superior dilata-se, fazendo com que o nível da água no tubo desça. Por outro lado, com a diminuição da temperatura, o ar no bulbo contrai-se e a água no tubo sobe. Como o recipiente inferior do termoscópio de Galileo é aberto, o instrumento acaba por se constituir como um termobaroscópio, no qual a posição de equilíbrio é atingida quando a pressão atmosférica iguala-se à soma da pressão do ar contido no bulbo superior com a pressão hidrostática da coluna líquida, conforme esquematizado na Figura 20.



**FIGURA 20 – Esquema do termobaroscópio de Galileo**

Se a pressão atmosférica permanecer constante, o termobaroscópio funciona simplesmente como um termoscópio, pois as variações no nível da água serão decorrentes apenas da dilatação térmica do ar contido no bulbo superior. Entretanto, o nível da água no tubo capilar também é afetado pela pressão atmosférica, mesmo se a temperatura do ar contido no bulbo permanecer constante, em virtude das condições de equilíbrio do instrumento.

As implicações no funcionamento do termoscópio de Galileo produzidas pela influência da pressão atmosférica não foram percebidas na época, pois, como destaca Alexandre Medeiros [Medeiros 1999]:

*“Note-se que a influência da pressão atmosférica nas marcações dos primeiros termoscópios era algo impossível de ser observado no início do século XVII, pois o próprio conceito de pressão atmosférica ainda não existia. A ideia revolucionária de que a atmosfera exerce uma pressão sobre os corpos nela imersos só viria a ser introduzida na física por Evangelista Torricelli em 1643.” [p. 19]*

Em uma carta endereçada a Michelangelo Ricci (1619 – 1682) e escrita em 11 de junho de 1644, Torricelli não só demonstrou contestar a teoria do *horror vacui* (“horror ao vácuo”), desenvolvida na Idade Média a partir da tradição aristotélica [IMSS 1999a], mas também evidenciou o papel fundamental da atmosfera na explicação de diversos fenômenos. Nas palavras de Torricelli [Torricelli 1644, *apud* Magie 1935]:

*“Eu já chamei a atenção para o fato de que estão em andamento determinados experimentos filosóficos [...] a respeito do vácuo, projetados não apenas para se fazer um vácuo, mas para se fazer um instrumento que irá mostrar as mudanças na atmosfera [...]. Muitos têm dito que o vácuo não existe, outros que ele existe apesar da repugnância da natureza, e com dificuldade; [...] não sei de ninguém que tenha dito que ele existe sem dificuldade e sem uma resistência da natureza. [...] fazendo alguns cálculos muito fáceis, eu encontrei que a causa atribuída por mim (isto é, o peso da atmosfera) deve por si só oferecer uma maior resistência [...]. Nós vivemos imersos no fundo de um oceano de ar elementar, que, por experimento, sem dúvida tem peso [...].”<sup>42</sup>*

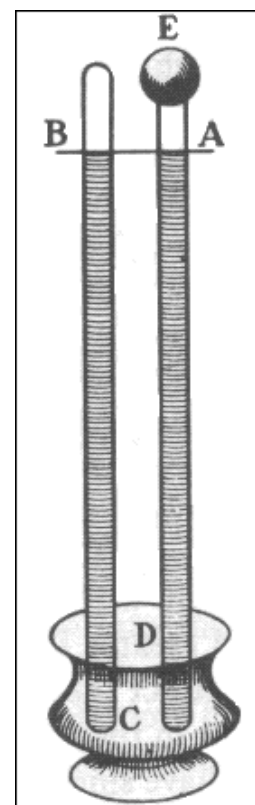
Ainda na carta de 11 de junho de 1644 a Ricci [Torricelli 1644, *apud* Magie 1935], além de discutir a existência do vácuo, Torricelli apresenta argumentos que relacionam a pressão hidrostática da coluna líquida presente

---

<sup>42</sup> Fonte: *A Source Book in Physics* [Magie 1935]. A fonte apresenta uma tradução para o inglês da carta de 11/06/1644 de Torricelli a Ricci, reproduzida integralmente no Apêndice C. O texto original em italiano pode ser encontrado em *Opere dei discepoli di Galileo – Carteggio 1642-1648*, Volume I [Galluzzi & Torrini 1975, p. 122-123].

no barômetro com a pressão externa exercida pela atmosfera, justificando assim o comportamento do barômetro a partir da ação da atmosfera.

*“Nós fizemos muitos recipientes de vidro, como os apresentados em A e B [...]. Estes foram preenchidos com mercúrio, a extremidade aberta foi fechada com o dedo, e eles foram então invertidos em uma vasilha onde havia mercúrio C; em seguida vimos que um espaço vazio se formou e que nada aconteceu no reservatório onde tal espaço se formou [...]. Para mostrar que o reservatório estava completamente vazio nós preenchemos a vasilha com água pura até D, e em seguida, suspendendo o tubo pouco a pouco, vimos que quando a abertura do tubo atingiu a água, o mercúrio caiu para fora do tubo e a água correu com grande violência até a marca E. [...] Como tem sido acreditado até então, a força que impede o mercúrio de cair [...] é interna ao reservatório AE, decorrente ou do vácuo ou de alguma substância extremamente rarefeita; mas eu afirmo que ela é externa e que a força vem de fora. Na superfície do líquido que encontra-se na vasilha repousa o peso de uma altura de 50 milhas de ar; [...] Também a água, em um tubo semelhante, embora muito mais longo, irá subir cerca de 18 cúbitos, isto é, tanto mais que o mercúrio sobe, quanto o mercúrio é mais pesado que a água, de modo a estar em equilíbrio com a mesma causa [...]. Este argumento é reforçado por uma experiência feita ao mesmo tempo com o recipiente A e com o tubo B, no qual o mercúrio sempre encontra-se na mesma linha horizontal AB. Isso torna quase certo que a ação não vem de dentro; porque o reservatório AE [...] deveria ter*



*sofrido uma força maior, atraindo muito mais ativamente devido à maior rarefação [...]. Tenho me empenhado em explicar por esse princípio [a ação da pressão atmosférica] todos os tipos de aversão que são sentidos nos vários efeitos atribuídos ao vácuo, e ainda não encontrei nenhum com o qual eu não consiga lidar com sucesso. [...] Minha principal intenção eu não fui capaz de realizar, isto é, de reconhecer quando a atmosfera é mais bruta e mais pesada e quando ela é mais sutil e mais leve [...].”*

Toricelli conclui que a mesma causa age em todos os experimentos, e por isso o efeito observado é o mesmo. Essa causa é a pressão atmosférica, e a constatação de sua existência e influência sobre todas as coisas é brilhantemente destacada por este cientista ao afirmar que “*nós vivemos imersos no fundo de um oceano de ar elementar, que, por experimento, sem dúvida tem peso*”.

A relevância histórica do experimento de Torricelli decorre não só dos argumentos sobre a pressão atmosférica mas também da discussão acerca da existência do vácuo. Quando Torricelli chama nossa atenção para o interior do barômetro de mercúrio, a discussão é dirigida para o espaço acima da coluna líquida e a interpretação de seu significado, abrindo-se assim a possibilidade de explicar tal espaço como sendo vácuo. Já quando ele chama nossa atenção para o exterior do barômetro, a discussão é voltada para a influência da pressão atmosférica, pois, uma vez admitida a existência do vácuo sobre a coluna líquida, a posição de equilíbrio do instrumento pode ser interpretada como sendo resultante das ações da pressão interna ao instrumento exercida pela coluna de mercúrio e da pressão externa ao instrumento exercida pela atmosfera. Torricelli encontra na pressão atmosférica uma alternativa para a *teoria do horror ao vácuo*, que interpreta a manutenção da altura da coluna de mercúrio pela ação de uma “força que puxa o mercúrio para cima”, resultante de uma tentativa da natureza em eliminar o espaço acima da coluna líquida <sup>43</sup>.

---

<sup>43</sup> É interessante destacar que a interpretação do vácuo ou da rarefação do ar como uma “força que puxa” atualmente constitui-se como uma concepção alternativa (Capítulo 1, Seção 1.3) que se manifesta em diversas situações além da interpretação do experimento de Torricelli, como, por exemplo, na interpretação do porquê de um líquido subir por um canudo quando o ar interno ao canudo é aspirado.



No experimento de Torricelli, a altura atingida pelas colunas de mercúrio dentro de diferentes tubos é a mesma, independentemente não só da forma do tubo mas também da inclinação do mesmo, como representado na Figura 21 abaixo. O argumento de que a mesma causa externa (a pressão atmosférica) age em todos os experimentos é reforçado pelo fato de que o efeito observado é o mesmo em todos os casos.



**FIGURA 21 – Experimento de Torricelli**<sup>44</sup>

A utilização de tubos de diferentes formatos e diferentes inclinações deveria produzir, segundo a *teoria do horror ao vácuo*, a observação de diferentes efeitos, uma vez que a magnitude da “força que puxa o mercúrio para cima” deveria ser diferente em razão dos diferentes volumes e formatos dos espaços formados acima do mercúrio contido dentro de cada tubo. Como diferentes causas internas não explicam o fato observado de que “o mercúrio

<sup>44</sup> Fonte: *Torricelli's barometric experiment* [IMSS 1999b].

*sempre encontra-se na mesma linha horizontal*”, Torricelli argumenta que “*isso torna quase certo que a ação não vem de dentro*”, concluindo que tal ação externa é na realidade a pressão atmosférica. Já que a mesma causa externa age em todos os experimentos, o efeito observado é o mesmo em todos os casos.

O uso de outra substância no lugar do mercúrio faz com que o experimento gere um resultado análogo, com uma variação destacada em um exemplo dado por Torricelli: “*Também a água, em um tubo semelhante, embora muito mais longo, irá subir [...] tanto mais que o mercúrio sobe, quanto o mercúrio é mais pesado que a água, de modo a estar em equilíbrio com a mesma causa*”<sup>45</sup>. Portanto, há uma diferença na altura da coluna líquida experimentada por diferentes líquidos. Entretanto, o nível horizontal do líquido é sempre o mesmo para o mesmo líquido, independentemente dos formatos e das inclinações dos tubos.

Assim, a experiência de Torricelli assume uma dupla importância histórica, pois se por um lado ataca a *teoria do horror ao vácuo*, por outro contribui com a compreensão do conceito de pressão atmosférica. A ideia de que “*nós vivemos imersos no fundo de um oceano de ar*” levou este cientista a imaginar que a pressão atmosférica diminui com a altitude, uma vez que com o aumento da altitude estaríamos nos aproximando cada vez mais da “superfície” desse “oceano de ar”. Entretanto, Torricelli não teve a oportunidade de levar a cabo experimentos que permitissem a verificação de tal fato, afirmando: “*Minha principal intenção eu não fui capaz de realizar, isto é, de reconhecer quando a atmosfera é mais bruta e mais pesada e quando ela é mais sutil e mais leve*”.

### **3.3. A pressão atmosférica e a altitude**

Torricelli imaginou que a pressão atmosférica deveria diminuir com a altitude, uma vez que com o aumento da altitude reduz-se a “profundidade no oceano de ar”. Portanto, a altura da coluna líquida registrada pelo barômetro acompanharia a variação da pressão atmosférica com a altitude. Coube a

---

<sup>45</sup> Vale destacar que os termos utilizados na época para diferentes conceitos se confundem porque ainda não tinham sido plenamente desenvolvidos. É o caso, por exemplo, de “força”, “pressão”, “densidade”, “peso” etc.

Pascal estabelecer, em 1648, as condições para que o experimento originalmente idealizado por Torricelli em 1643/44 pudesse ser realizado.

Seguindo as orientações de Pascal, em 19 de setembro de 1648 Périer realizou um experimento no qual se constatou a previsão de Torricelli sobre a relação entre a altitude e a pressão atmosférica. Nesse experimento, Pascal instruiu Périer a medir, com o auxílio de um barômetro de mercúrio, a pressão atmosférica na cidade de Clermont e no topo do Puy de Dôme, um vulcão extinto localizado próximo à cidade. Em seu relato, Périer diz [Wiki 2013e]:

*“O clima estava incerto no último sábado... [mas] por volta das cinco horas da manhã... o Puy de Dôme estava visível... então eu decidi fazer uma tentativa. Vários personagens importantes da cidade de Clermont haviam me pedido para informá-los quando eu faria a subida... Eu fiquei muito feliz em tê-los comigo nesta grande obra...*

*...às oito horas nós nos encontramos nos jardins dos Padres Mínimos, onde há a menor elevação da cidade... Primeiramente eu despejei 16 libras de mercúrio... em uma vasilha... e em seguida peguei vários tubos de vidro... cada um com quatro pés de comprimento e hermeticamente vedados em uma das extremidades e abertos na outra... e então coloquei-os na vasilha [de mercúrio]... Eu descobri que o mercúrio permaneceu a 26" e 3½ linhas acima do mercúrio na vasilha... Eu repeti o experimento mais duas vezes enquanto estava no mesmo lugar... [e as repetições] produziram sempre o mesmo resultado...*

*Eu fixei um dos tubos a uma vasilha e marquei a altura do mercúrio e... pedi ao Padre Chastin, um dos Irmãos Mínimos... para observar se quaisquer mudanças deveriam ocorrer durante o dia... Levando um outro tubo e uma porção de mercúrio... eu caminhei até o topo do Puy de Dôme, cerca de 500 braças <sup>46</sup> acima do monastério, onde após o experimento... descobri que o mercúrio atingiu uma altura de apenas 23" e 2 linhas... Eu repeti a*

---

<sup>46</sup> Da ordem de  $10^3$  m.

*experiência mais cinco vezes com cuidado... cada vez em diferentes pontos do cume... e descobri a mesma altura de mercúrio... em cada caso...”*<sup>47</sup>

A variação de cerca de 8 cm na altura da coluna de mercúrio pode ser interpretada como uma evidência de que o aumento da altitude e a consequente redução da camada de ar atmosférico produz uma menor pressão atmosférica. A experiência não apenas fortaleceu a compreensão das características da pressão atmosférica como também foi crucial para o combate à *teoria do horror ao vácuo*, que vinha sofrendo depreciação desde a realização do experimento de Torricelli. A *teoria do horror ao vácuo* explica a manutenção da altura da coluna de mercúrio no barômetro através da ideia de que sobre o mercúrio dentro do tubo age uma força interna ao barômetro que puxa a coluna líquida para cima. Mas como explicar as diferentes medidas registradas pelo barômetro em altitudes diferentes? A crescente dificuldade enfrentada na aplicação da *teoria do horror ao vácuo* é sintetizada por Michel Rival [Rival 1997]:

*“Enquanto os partidários do horror vacui tentavam salvar sua tese – evocando, por exemplo, a penetração no tubo de vidro de uma ‘matéria sutil’ presente na atmosfera – Blaise Pascal, que acompanhou com interesse os experimentos do italiano*<sup>48</sup>, a

---

<sup>47</sup> A fonte apresenta uma tradução para o inglês do relato de Périer:

“The weather was chancy last Saturday... [but] around five o'clock that morning... the Puy de Dôme was visible... so I decided to give it a try. Several important people of the city of Clermont had asked me to let them know when I would make the ascent... I was delighted to have them with me in this great work...

... at eight o'clock we met in the gardens of the Minim Fathers, which has the lowest elevation in town... First I poured 16 pounds of quicksilver... into a vessel... then took several glass tubes... each four feet long and hermetically sealed at one end and opened at the other... then placed them in the vessel [of quicksilver]... I found the quicksilver stood at 26" and 3½ lines above the quicksilver in the vessel... I repeated the experiment two more times while standing in the same spot... [they] produced the same result each time...

I attached one of the tubes to the vessel and marked the height of the quicksilver and... asked Father Chastin, one of the Minim Brothers... to watch if any changes should occur through the day... Taking the other tube and a portion of the quicksilver... I walked to the top of Puy de Dôme, about 500 fathoms higher than the monastery, where upon experiment... found that the quicksilver reached a height of only 23" and 2 lines... I repeated the experiment five times with care... each at different points on the summit... found the same height of quicksilver... in each case...” [Wiki 2013e]

<sup>48</sup> Michel Rival refere-se a Torricelli.

*ponto de publicar os seus resultados em 1647, no seu livro *Novas experiências referentes ao vácuo*, decidiu demonstrar a sua exatidão partindo do postulado de que, se a pressão do ar fosse realmente a causa dos fenômenos observados, ela devia, logicamente, diminuir com a altitude. Estabeleceu então a ‘grande experiência do equilíbrio dos líquidos’.*

*Esta foi realizada no Puy de Dôme, a 19 de setembro de 1648 por Périer, cunhado de Pascal (que estava doente), usando dois ‘tubos de Torricelli’, colocados um no cume do Puy, outro mais abaixo, na planície. A diferença do nível de mercúrio entre os dois tubos (mais de 8 cm) estabeleceu de maneira irrefutável que a altura do mercúrio no tubo de Torricelli variava com a altitude, e que a causa da suspensão do mercúrio era realmente o peso e a pressão do ar, e não um qualquer horror ao vácuo [...]” [p. 19]*

A teoria do horror ao vácuo sofreu sua primeira grande contestação em 1643, com o experimento de Torricelli. Entretanto, segundo Rival [1997, p. 20], foi a “*grande experiência do equilíbrio dos líquidos*” que acarretou a derrubada do dogma aristotélico do *horror ao vácuo* quando Pascal, em uma obra de 1648 intitulada *Relato da grande experiência do equilíbrio dos líquidos*, argumenta que a diferença nas leituras do barômetro obtidas no experimento realizado por Périer é decorrente da diferença entre a pressão atmosférica na cidade de Clermont e a pressão atmosférica no cume do Puy de Dôme. Na *Advertência ao leitor* que precede o *Relato da grande experiência do equilíbrio dos líquidos*, Pascal escreveu [Pascal 1648, apud Rival 1997, p. 20]:

*“Caro leitor: O consentimento universal dos povos e a multidão dos filósofos concorrem para o estabelecimento deste princípio, que a natureza toleraria antes a sua própria destruição do que o menor espaço vazio. Alguns espíritos, dos mais elevados, adotaram um princípio mais moderado; pois ainda que acreditassem que a natureza tem horror ao vácuo, julgaram todavia que esse horror tinha limites, e que ele podia ser*

*ultrapassado por alguma violência; mas ainda não se encontrou ninguém para propor o terceiro princípio: que a natureza não tem nenhuma repugnância pelo vácuo, que ela não faz nenhum esforço para evitá-lo e que ela o admite sem dificuldade e sem resistência [...], que todos os efeitos que se atribuíram a esse horror procedem do peso e da pressão do ar, que ela é a sua única e verdadeira causa, e que, por desconhecê-la, inventou-se deliberadamente esse horror imaginário ao vácuo, para explicar o fenômeno.”*

### **3.4. Da pressão atmosférica à maré atmosférica**

Se por um lado cientistas como Torricelli, Pascal e outros investigavam a pressão atmosférica, por outro lado cientistas como Galileo e Newton buscaram explicar o fenômeno das marés oceânicas. Conforme visto anteriormente <sup>49</sup>, Newton previa que a força das marés deveria afetar tanto a massa de água dos oceanos quanto a massa de ar da atmosfera, produzindo, assim, oscilações na pressão atmosférica. A força gravitacional deveria então ser a causa de “marés barométricas”.

Para verificar a hipótese de Newton acerca das marés barométricas, é necessário a realização de medidas da pressão atmosférica ao longo de um intervalo de tempo no qual fosse possível a constatação de que o valor da pressão oscila, e tentando relacionar, de alguma maneira, as variações na pressão atmosférica com efeitos gravitacionais. Entretanto, conforme será visto a seguir, a medida das marés atmosféricas não pode ser feita da mesma maneira com que é feita a medida das marés oceânicas.

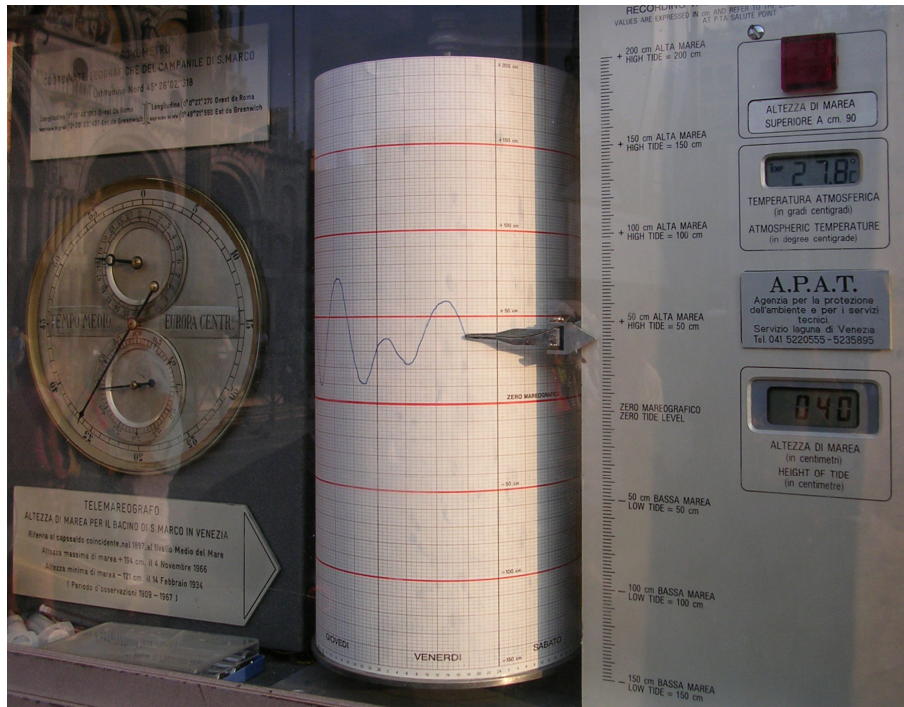
### **3.5. Medidas das marés**

As variações no nível da água produzidas pelas marés oceânicas e observadas nas regiões costeiras podem ser medidas ao longo do tempo com

---

<sup>49</sup> Capítulo 2, Seção 2.4.

o uso de um *marégrafo* <sup>50</sup>. A partir dos dados obtidos, é possível determinar as amplitudes das marés ou os intervalos de tempo entre duas marés altas, por exemplo. A Figura 22 apresenta um exemplo de marégrafo.



**FIGURA 22 – Marégrafo na Praça de San Marco - Veneza / Itália** <sup>51</sup>

Diferentemente das marés oceânicas, que produzem mudanças que podem ser detectadas nos litorais a partir das medidas realizadas no nível da superfície livre da água, as marés atmosféricas não podem ser aferidas por um instrumento análogo ao marégrafo, uma vez que a atmosfera não possui um “litoral” e tampouco uma “superfície” sobre a qual um instrumento possa realizar medidas de forma a detectar “variações de nível”. Sendo assim, de acordo com Richard Lindzen [Lindzen 1969]:

*“A alternativa é a utilização de um medidor de pressão no leito do oceano aéreo, nomeadamente o barômetro (o mesmo princípio é o único possível para as marés no meio do oceano). [...] Por analogia com as marés oceânicas, a maré lunar atmosférica deve*

<sup>50</sup> Esse instrumento também é conhecido como *mareógrafo*, *marêmetro* ou *mareômetro*.

<sup>51</sup> Fonte: Fotografia disponibilizada em <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mareografo.JPG> [Zuffe 2005].

*provocar uma ascensão e queda no barômetro [...].*<sup>52</sup> [p. 9-10]

Pierre-Simon Laplace (1749 – 1827) desenvolveu cálculos teóricos sobre a maré atmosférica produzida pela Lua, bem como procurou determinar experimentalmente a maré lunar semidiurna valendo-se da série de leituras sobre a pressão barométrica obtida entre 1815 e 1823 por Alexis Bouvard (1767 – 1843). Os cálculos desenvolvidos por Laplace mostraram que as variações na pressão atmosférica devido às forças de maré seriam muito pequenas, o que, portanto, constitui um desafio à sua observação experimental.

Bouvard registrou cerca de  $10^4$  leituras da pressão atmosférica, mas Laplace utilizou uma seleção de apenas 4.752 medidas. É importante lembrar que Laplace fez importantes contribuições a assim chamada Teoria dos Erros. A *função de distribuição normal de erros*, também conhecida como *função de distribuição de Gauss*, é muito usada para descrever a dispersão estatística de medidas. Além de Gauss, Laplace estabeleceu em 1812 outra dedução independente para esta função e por isso ela também é conhecida como *função de distribuição de Gauss-Laplace* [Vuolo 2005]. Acerca dos dados experimentais, Laplace estimou que pelo menos 40.000 observações da pressão atmosférica seriam necessárias para uma determinação experimental satisfatória da maré barométrica [Lindzen 1969].

Entretanto, apesar de dispor de um número pequeno de medidas da pressão atmosférica, Laplace foi capaz de constatar que a ação gravitacional não era suficiente para explicar as oscilações da pressão atmosférica. De qualquer forma, Laplace supôs que as oscilações barométricas decorrem sobretudo da ação térmica do Sol sobre a atmosfera terrestre, mas não conseguiu estabelecer um modelo para o fenômeno. Segundo Richard Lindzen [Lindzen 1969], Laplace já havia se dado conta da complexidade do problema:

*“Laplace sabia que existe uma variação barométrica solar diurna, com uma acentuada componente semidiurna, e que esta é muito*

---

<sup>52</sup> No original: “The alternative is to use a pressure gauge on the bed of the aerial ocean, namely the barometer (the same principle is the only practicable one for the sea tides in mid-ocean). [...] By analogy with the sea tides, the lunar atmospheric tide must cause a rise and fall of the barometer [...]” [Lindzen 1969, p. 9-10]



*maior do que sua estimativa para a maré lunar atmosférica semidiurna. Por isso ele supôs que isso se deve principalmente à ação térmica do Sol. Ele parece ter pensado que havia pouca esperança de se construir uma teoria para uma oscilação atmosférica termicamente excitada.”*<sup>53</sup> [p. 9]

Investigações sobre a oscilação da pressão atmosférica requerem um grande número de medidas da pressão atmosférica, tomadas ao longo de um determinado intervalo de tempo. Entretanto, medições com a utilização de um barômetro de Torricelli são especialmente complicadas na realização de uma atividade com estudantes do Ensino Médio, dadas as considerações feitas anteriormente (Capítulo 1, Seção 1.8). Além disso, medições com um barômetro de mercúrio demandam uma dedicação à coleta de dados da qual estudantes e professores do Ensino Médio certamente não dispõem. Bouvard levou cerca de oito anos (de 1815 a 1823) para obter aproximadamente 10.000 leituras da pressão atmosférica. Em contrapartida, esse mesmo número de medidas pode ser obtido em uma semana com a utilização de um sensor de pressão barométrica acoplado ao Arduino, conforme estimado na Seção 1.8 do Capítulo 1. No Capítulo 4 a seguir, serão apresentados aspectos técnicos do projeto de instrumentação desenvolvido e aplicado juntamente com o material instrucional desta dissertação.

---

<sup>53</sup> No original: “Laplace knew that there is a solar daily barometric variation, with a pronounced semidiurnal component, and that this is much larger than his estimate of the lunar semidiurnal air tide. Hence he supposed that it is due mainly to the sun's thermal action. He seems to have thought that there was little hope of constructing a theory of such a thermally excited atmospheric oscillation.” [Lindzen 1969, p. 9]

## Capítulo 4

### Barômetro digital: um projeto de instrumentação

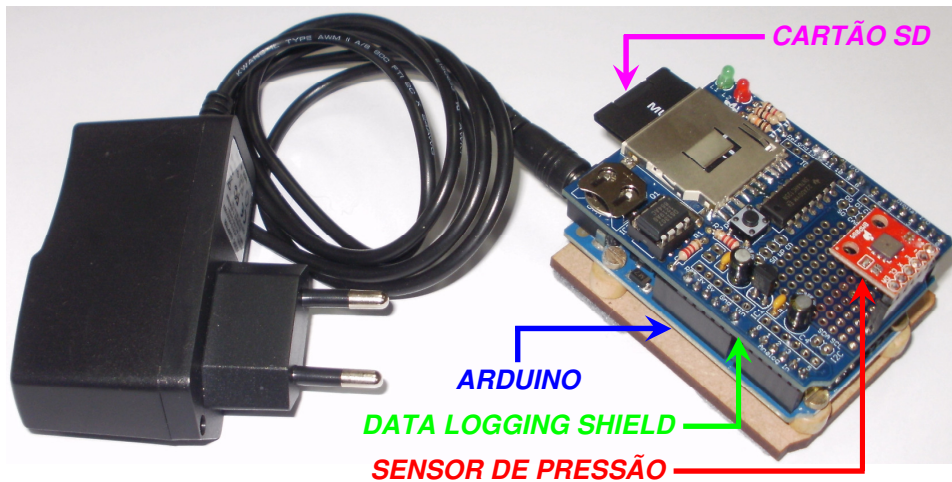
#### 4.1. Automação da medida da pressão atmosférica

As dificuldades encontradas para a construção de um barômetro de mercúrio, bem como para a execução de leituras satisfatoriamente precisas em tal instrumento ou em instrumentos alternativos (barômetros “caseiros”) <sup>54</sup>, sugerem a elaboração de um projeto de instrumentação. As oportunidades que as atuais tecnologias de medição oferecem devem ser usufruídas por estudantes e professores do Ensino Médio, notadamente as tecnologias de automação dos experimentos, que “*permitem a execução de investigações em tempo real*” e possibilitam a investigação de fenômenos “*que envolvem grande número de variáveis*” ou que “*acontecem muito rapidamente para serem observados por meios convencionais*” [Borges 2002].

O projeto de instrumentação aplicado nesta dissertação é baseado na utilização da placa Arduino e envolve algumas de suas funcionalidades. Para a realização das medidas da pressão atmosférica foi montado um conjunto que consiste basicamente de três componentes: um Arduino, um *data logging shield* e um sensor de pressão barométrica. A placa Arduino, através da programação adequada, atua como controlador tanto do sensor de pressão barométrica quanto do *data logger* (“registrador de dados”), que coleta e armazena as medidas efetuadas pelo sensor. Para o pleno funcionamento do sistema, também é necessário um cartão de memória no formato SD (para o armazenamento dos dados) e uma fonte de alimentação externa que se conecta ao Arduino. A Figura 23 a seguir apresenta o conjunto pronto para operar na realização de medidas da pressão atmosférica.

---

<sup>54</sup> Capítulo 1, Seção 1.8.



**FIGURA 23 – Projeto de instrumentação de um barômetro digital** <sup>55</sup>

## 4.2. O Arduino

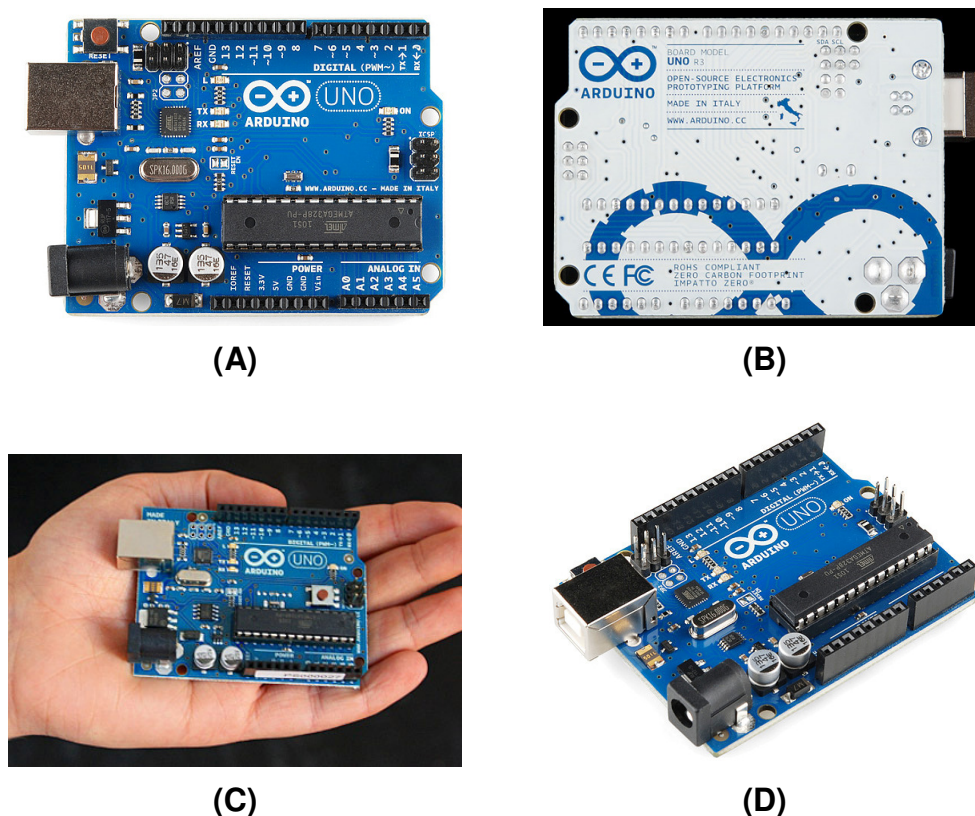
Segundo Michael McRoberts [McRoberts 2011]:

*“Em termos práticos, um Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software.”* [p. 22]

Existem muitas variantes de placas Arduino oficiais, apresentadas no Apêndice D. O modelo de Arduino utilizado na implantação do projeto de instrumentação proposto nesta dissertação foi o Arduino Uno (Revisão 3), apresentado na Figura 24 a seguir.

---

<sup>55</sup> Na foto, a placa Arduino encontra-se encoberta pelo *data logging shield*.



**FIGURA 24 – Arduino Uno R3** <sup>56</sup>

A escolha de uma placa Arduino para o desenvolvimento de um projeto de instrumentação ocorreu com base na grande versatilidade apresentada pelo Arduino <sup>57</sup>. De acordo com Michael McRoberts [McRoberts 2011]:

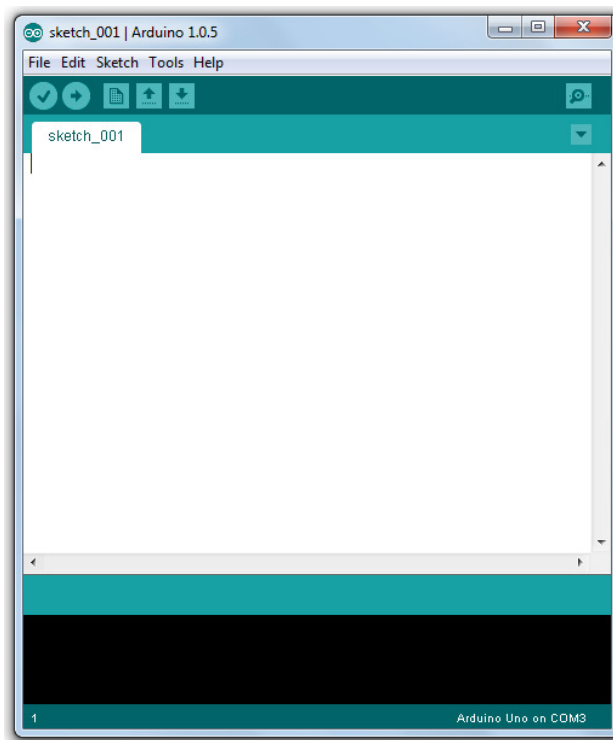
*“A maior vantagem do Arduino sobre outras plataformas de desenvolvimento de microcontroladores é a facilidade de sua utilização; pessoas que não são da área técnica podem, rapidamente, aprender o básico e criar seus próprios projetos em um intervalo de tempo relativamente curto. [...] Há uma grande comunidade de pessoas utilizando Arduinos, compartilhando seus códigos e diagramas de circuito para que outros copiem e*

<sup>56</sup> Fontes: (A), (B), (D) - SparkFun Electronics [SparkFun 2013] ; (C) - *Get Arduino* [King 2010].

<sup>57</sup> Qualquer “placa-clone” (como Boarduino, Freeduino, Seeduino, Sanguino, Roboduino etc.) é 100% compatível com o Arduino e sua programação, uma vez que tanto o *hardware* quanto o *software* do Arduino são de fonte aberta, e portanto os códigos, os esquemas e os projetos dos Arduinos originais “podem ser utilizados livremente por qualquer pessoa e com qualquer propósito” [McRoberts 2011, p. 24].

*modifiquem. A maioria dessa comunidade também está muito disposta a auxiliar outros desenvolvedores.” [p. 20]*

A programação de uma placa Arduino é feita a partir de uma interface denominada IDE <sup>58</sup>, que também recebe o nome Arduino, através da qual são compilados comandos que formam *sketches*. Um *sketch* é um *software* escrito na linguagem que o Arduino compreende, denominada *Processing* (que por sua vez é derivada da linguagem C). O IDE Arduino é um aplicativo em *Java*. Está disponível em várias versões <sup>59</sup> para diferentes sistemas (Windows, Mac OS X, Linux), o que corrobora a versatilidade dessa plataforma. A Figura 25 abaixo apresenta a aparência da versão 1.0.5 do IDE. O *download* de qualquer versão do IDE Arduino para os sistemas operacionais que suportam sua programação pode ser realizado no *website* do Arduino [Arduino 2013].



**FIGURA 25 – IDE Arduino: versão 1.0.5**

Uma vez feita a programação no IDE, o *upload* de um *sketch* pode ser realizado via USB. Após o carregamento de um *sketch* no Arduino, o programa

<sup>58</sup> *Integrated Development Environment*, ou “ambiente de desenvolvimento integrado”.

<sup>59</sup> A mais recente (em setembro de 2013) é a versão 1.0.5.

permanece em sua memória, podendo ser utilizado a qualquer momento. Detalhes sobre a programação no IDE Arduino e sobre o *upload* de *sketches* podem ser encontrados no livro *Arduino Básico*, de Michael McRoberts [McRoberts 2011].

A intenção de realizar medidas da pressão atmosférica pode ser concretizada com a aplicação de uma programação adequada, fazendo com que o Arduino atue como controlador do sensor de pressão barométrica. O *sketch* utilizado, disponível no Apêndice E.1, também prevê a coleta e o armazenamento das medidas efetuadas pelo sensor em um cartão de memória que é introduzido no porta-cartão do *data logging shield*, conforme mostrado na Figura 23.

Com o *sketch* carregado no Arduino e o conjunto <sup>60</sup> pronto para operar, uma fonte de alimentação externa pode promover seu funcionamento. Dessa forma, o funcionamento do conjunto independe da conexão USB entre o Arduino e um computador. Na Figura 23, a fonte de alimentação exibida é própria para o Arduino e opera com uma tensão de saída de 9 V.

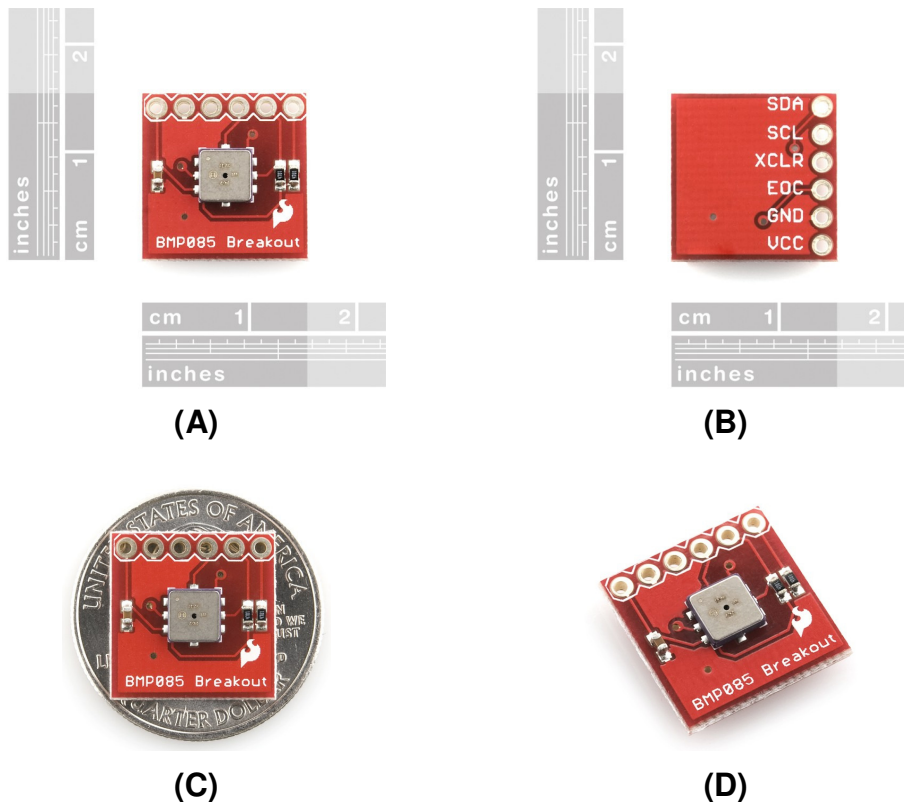
### 4.3. O sensor BMP085 da Bosch

Para a realização de medidas da pressão atmosférica, o Arduino deve ser conectado a um sensor de pressão barométrica. O sensor BMP085, de fabricação da *Bosch*, fornece valores da pressão atmosférica, operando em uma faixa de 300 hPa a 1.100 hPa [Bosch 2009]. Além de ser um sensor de pressão barométrica, o BMP085 também é capaz de efetuar medidas da temperatura ambiente em graus celsius, operando em uma faixa de - 40 °C a 85 °C (mas apresentando maior precisão na faixa de 0 °C a 65 °C). Como a intenção primordial é utilizar o sensor BMP085 para efetuar medições da pressão atmosférica, as medidas de temperatura obtidas são dados complementares.

A Figura 26 apresenta o sensor BMP085 utilizado no projeto de instrumentação implementado.

---

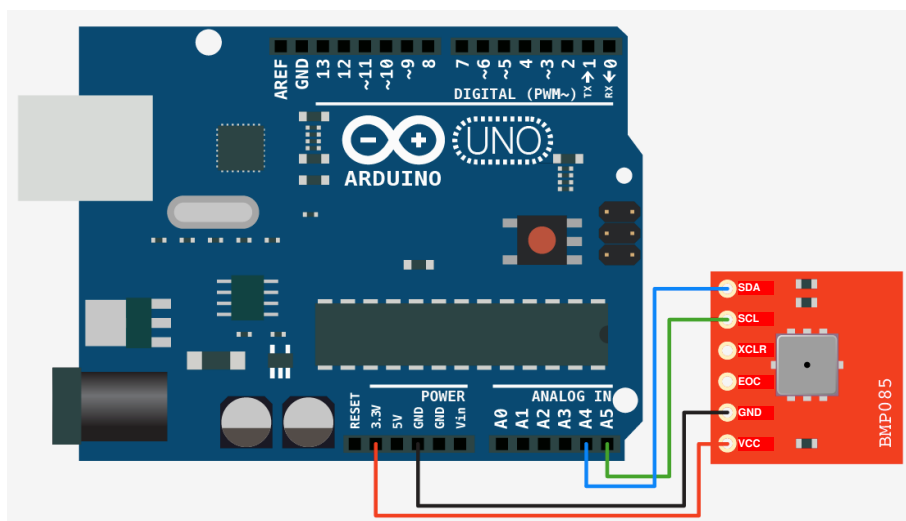
<sup>60</sup> Arduino + *Data logging shield* + Sensor BMP085 + SD card.



**FIGURA 26 – Sensor BMP085**<sup>61</sup>

O sensor propriamente dito é a cápsula de 5 mm x 5 mm que se encontra no centro da placa de circuito impresso. Esse circuito impresso (*breakout board*) é uma criação da empresa SparkFun Electronics [SparkFun 2013] e torna possível a utilização do sensor em projetos práticos. O sensor digital BMP085 é baseado no efeito piezoresistivo, onde a pressão aplicada sobre certos materiais, notavelmente semicondutores, afeta a resistência elétrica. Ele possui uma interface serial I<sup>2</sup>C (*Inter-Integrated Circuit*) que usa duas vias de comunicação: a linha SDA (*serial data*), por onde os dados são enviados, e a linha SCL (*serial clock*), que é o sinal de *clock* usado para controlar a transferência de dados, sinal esse suprido, no nosso caso, pela placa Arduino. A Figura 27 a seguir mostra um exemplo de como o sensor BMP085 pode ser conectado ao Arduino Uno. A linha SDA é ligada ao pino A4 e a linha SCL ao pino A5 do Arduino.

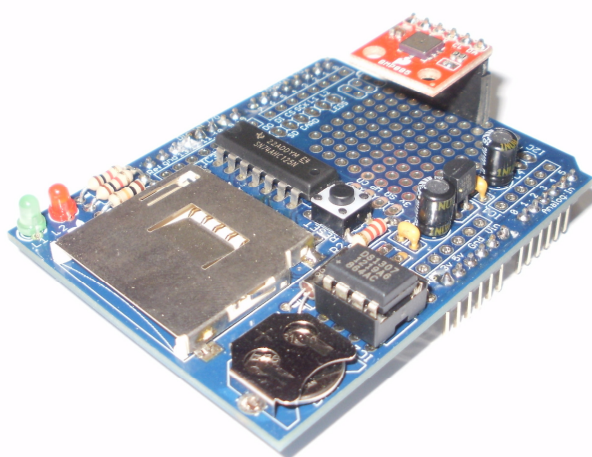
<sup>61</sup> Fonte: Loja Laboratório de Garagem [LabDeGaragem 2012].



**FIGURA 27 – Conexões entre o sensor BMP085 e o Arduino Uno**<sup>62</sup>

É importante ressaltar que o aterramento do sensor BMP085 pode ser realizado em qualquer pino GND (*ground*) do Arduino.

Apesar de existir a possibilidade de conexão direta entre o Arduino Uno e o sensor BMP085, no projeto de instrumentação efetivamente desenvolvido o sensor foi conectado de forma indireta ao Arduino Uno, através do *data logging shield* da Adafruit, como mostra a Figura 28 abaixo.

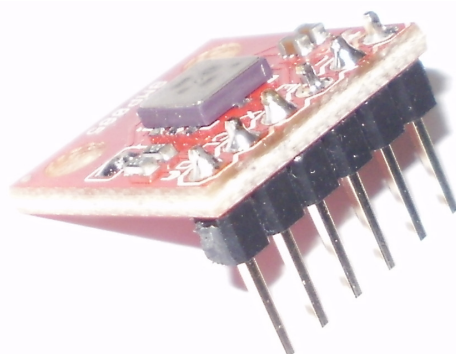


**FIGURA 28 – Sensor BMP085 conectado ao *data logging shield***

<sup>62</sup> Fonte: *bldr.blog* [Bldr 2011]. Na imagem, o sensor BMP085 está representado fora de escala em relação ao Arduino Uno.



Para tornar mais prática a conexão do sensor BMP085 ao *data logging shield*, um *pin header*<sup>63</sup> de 6 x 1 pode ser soldado à *breakout board* do sensor<sup>64</sup>, como mostra a Figura 29.



**FIGURA 29 – Pin header soldado à breakout board do sensor BMP085**

O *pin header* deve apresentar espaçamento de 0,1" (2,54 mm) para ser compatível com a furação da *breakout board* do sensor BMP085. Geralmente são comercializados *pin headers* de grande comprimento, como mostra a Figura 30 abaixo. Para obter um *pin header* de 6 x 1 basta cortar um *pin header* mais longo de modo a ficar com uma barra de apenas seis pinos.



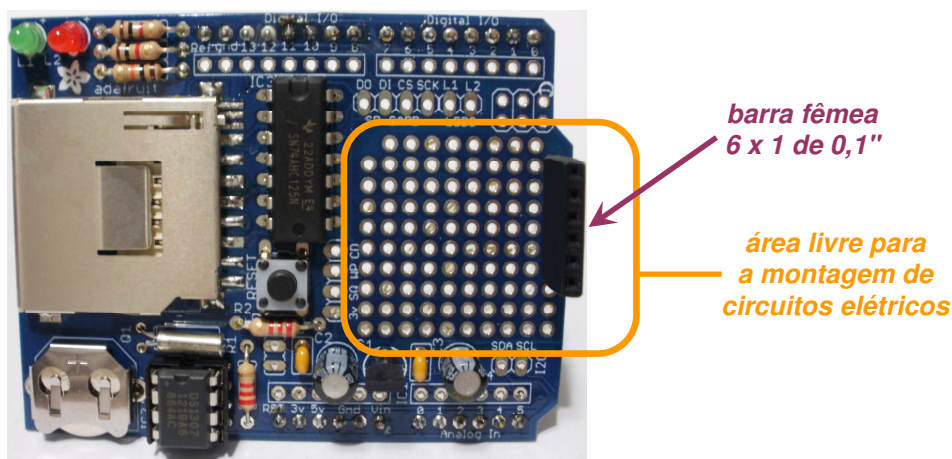
**FIGURA 30 – Pin header de 40 x 1 com espaçamento de 0,1" (2,54 mm)<sup>65</sup>**

<sup>63</sup> Um *pin header* é um conector na forma de uma barra de pinos.

<sup>64</sup> A *breakout board* do sensor BMP085 é uma placa de circuito impresso sobre a qual estão conectados o sensor de pressão barométrica e outros componentes eletrônicos necessários para o seu funcionamento. Detalhes sobre o circuito que compõe a *breakout board* do sensor BMP085 podem ser obtidos em *BMP085 Breakout-v14* [Holmberg & Grusin 2012] e também em *Data Sheet BMP085 Digital Pressure Sensor* [Bosch 2009, p. 10]. É fundamental destacar que a comercialização do sensor de pressão BMP085 é realizada em conjunto com a *breakout board* e os demais componentes do circuito, todos previamente conectados formando uma placa de circuito impresso. Somente o *pin header* não está disponível em conjunto com o sensor e sua *breakout board*, mas sua soldagem é opcional e visa apenas tornar mais prática a conexão do sensor.

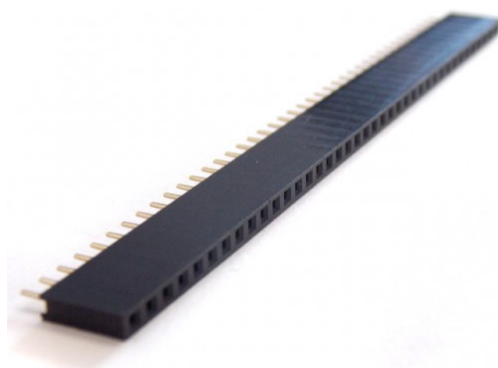
<sup>65</sup> Fonte: *Loja Laboratório de Garagem* [LabDeGaragem 2012].

Uma vez que o *data logging shield* da Adafruit dispõe de uma área livre para a montagem de circuitos elétricos (destacada na Figura 31 abaixo), é possível firmar o *pin header* soldado ao sensor BMP085 sobre uma barra fêmea soldada em qualquer posição na área livre do *data logging shield*.



**FIGURA 31 – Barra fêmea soldada à área livre do *data logging shield* para o encaixe do sensor de pressão barométrica BMP085**

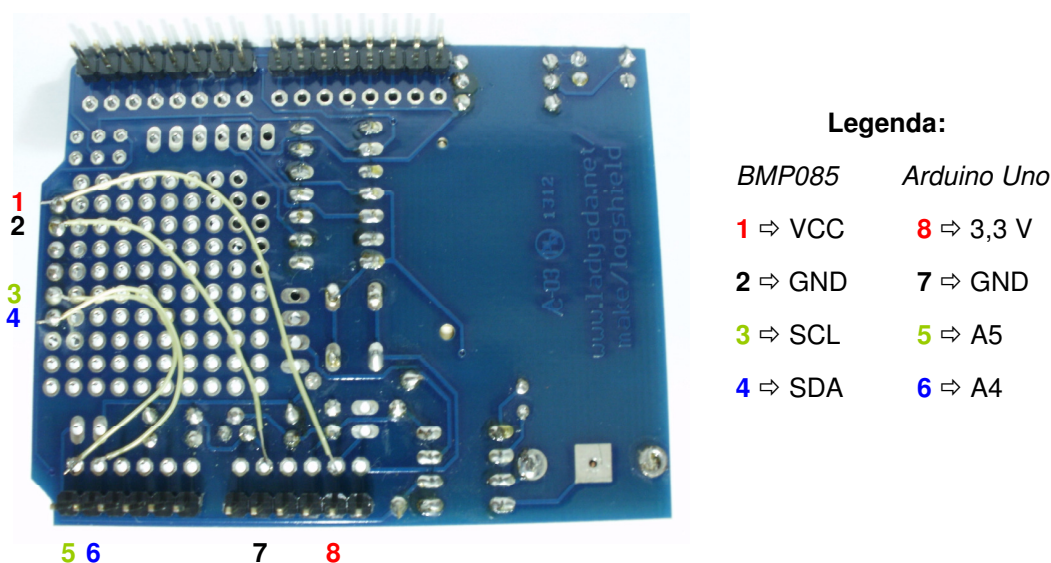
Obviamente, a barra fêmea a ser utilizada deve apresentar uma furação com espaçamento de 0,1" (2,54 mm) para ser compatível com o *pin header* fixado na *breakout board* do sensor BMP085. Assim como ocorre com os *pin headers*, as barras fêmeas comercializadas também costumam apresentar grande comprimento, como mostra a Figura 32 abaixo. Para obter uma barra fêmea de 6 x 1, basta cortar uma barra fêmea mais longa, de modo a ficar com uma barra de apenas seis furos.



**FIGURA 32 – Barra fêmea de 40 x 1 com espaçamento de 0,1" (2,54 mm)**<sup>66</sup>

<sup>66</sup> Fonte: Loja Laboratório de Garagem [LabDeGaragem 2012].

A soldagem da barra fêmea sobre o *data logging shield* deve ser acompanhada de uma correta soldagem entre os pinos que serão ligados ao sensor de pressão e os pinos que serão atribuídos ao Arduino. A Figura 33 abaixo apresenta as ligações feitas no verso do *data logging shield* que são responsáveis pela conexão do sensor BMP085 ao Arduino Uno.



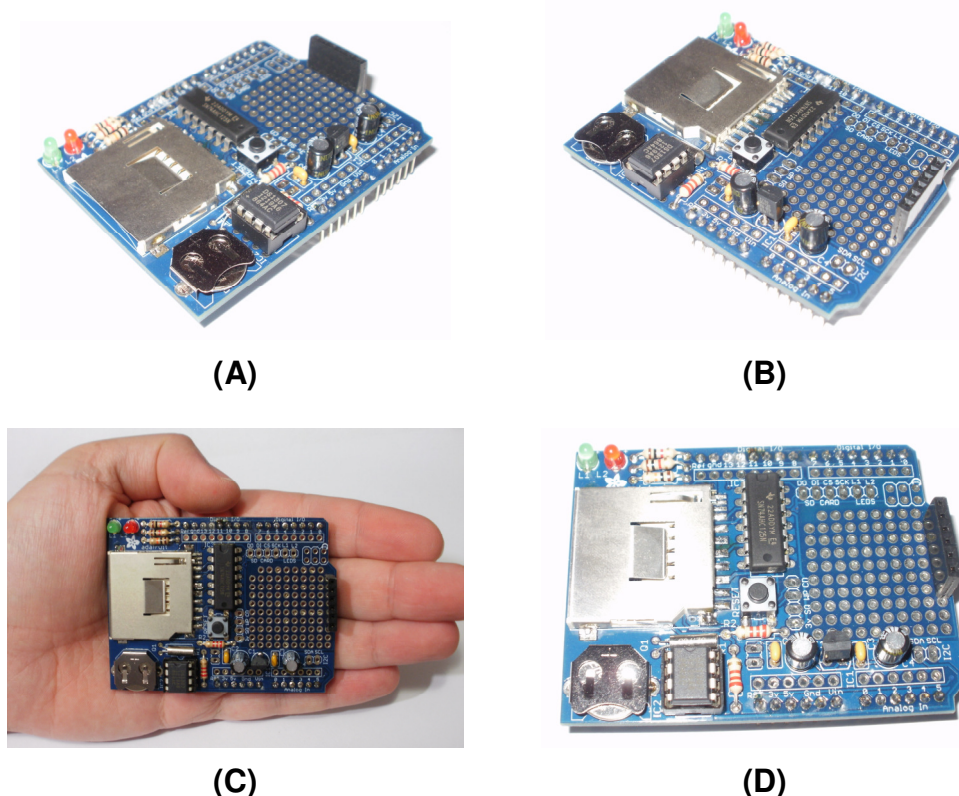
**FIGURA 33 – Ligações feitas no verso do *data logging shield***<sup>67</sup>

É muito importante salientar que o sensor de pressão barométrica BMP085 pode operar, com a programação adequada, diretamente conectado ao Arduino. O uso de um *data logging shield* é essencial apenas para a obtenção de uma sequência longa de medidas sem a necessidade de um computador, que de outro modo seria indispensável para receber os dados medidos, pois a placa Arduino, em si, não é capaz de armazenar os dados.

<sup>67</sup> Na imagem da Figura 33, as ligações feitas seguem as conexões sugeridas na Figura 27, com exceção do aterramento, cujo pino GND utilizado é aquele que encontra-se ao lado do pino GND sugerido. As ligações foram feitas de forma que o sensor de pressão deve ser conectado ao *data logging shield* como foi indicado na Figura 28.

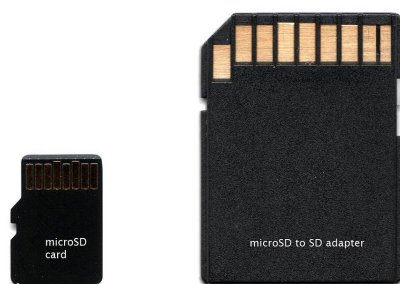
#### 4.4. O *data logging shield* da Adafruit

De uma maneira geral, os escudos (*shields*) são placas que podem ser adaptadas a uma placa controladora (como o Arduino, por exemplo). Basicamente, a aplicação de um *shield* permite a preparação de circuitos ou a conexão de dispositivos que expandem as funcionalidades da placa controladora. A Figura 34 apresenta o *data logging shield* fabricado pela Adafruit Industries.



**FIGURA 34 – *Data logging shield* da Adafruit**

Além de possibilitar a adição de um circuito de fixação para o sensor BMP085, como apresentado anteriormente na Figura 31 e na Figura 33, o *data logging shield* da Adafruit permite que os dados obtidos pelo sensor sejam armazenados em um arquivo gravado em um cartão de memória no formato SD, que se encaixa diretamente no *data logging shield*, como pôde ser observado anteriormente na Figura 23. Uma vez que a comercialização de cartões de memória no formato SD está cada vez mais rara, uma alternativa viável é a utilização de um adaptador, como exemplificado na Figura 35.



**FIGURA 35 – Cartão microSD e adaptador microSD para SD** <sup>68</sup>

O *shield* da Adafruit contém um circuito integrado DS1307 que atua como um relógio (*Real Time Clock*). A gravação dos dados em um cartão de memória é feita então com uma notável funcionalidade: os dados podem ser registrados juntamente com a data e a hora em que as medidas foram realizadas. Ao abrirmos o arquivo de dados, utilizando, por exemplo, o *Microsoft Excel*, visualizamos as medidas efetuadas pelo sensor em conjunto com a respectiva data e hora, como exemplificado na Figura 36 abaixo.

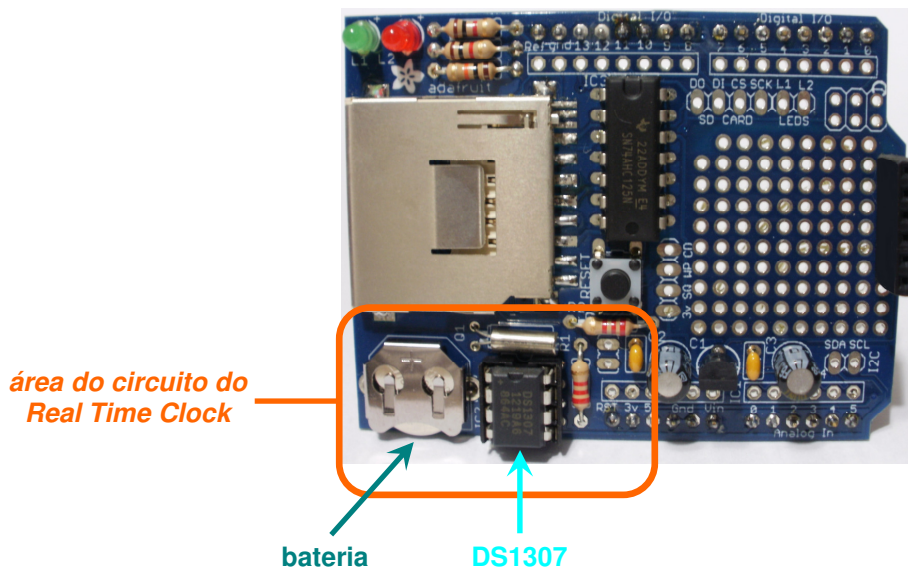
	A	B	C	D	E
1	2013/9/17	22:47:20	26.50	101306	
2	2013/9/17	22:48:20	26.60	101306	
3	2013/9/17	22:49:20	26.60	101304	

**FIGURA 36 – Exemplo de visualização de dados no *Microsoft Excel*** <sup>69</sup>

<sup>68</sup> Fonte: Adaptado de [http://en.wikipedia.org/wiki/Secure\\_Digital#Features](http://en.wikipedia.org/wiki/Secure_Digital#Features) [Bryan 2008].

<sup>69</sup> A imagem apresenta a versão em português do *Microsoft Excel 2003*. Outras versões do *Microsoft Excel* podem apresentar diferenças.

Para manter a contagem do tempo, o DS1307 permanece em funcionamento através do uso de uma bateria, como mostra a Figura 37 abaixo. Assim, mesmo quando o Arduino não estiver sendo alimentado por uma fonte ou quando o *data logging shield* não estiver conectado ao Arduino, o DS1307 continua operando de forma independente, para que não seja perdida a contagem do tempo.

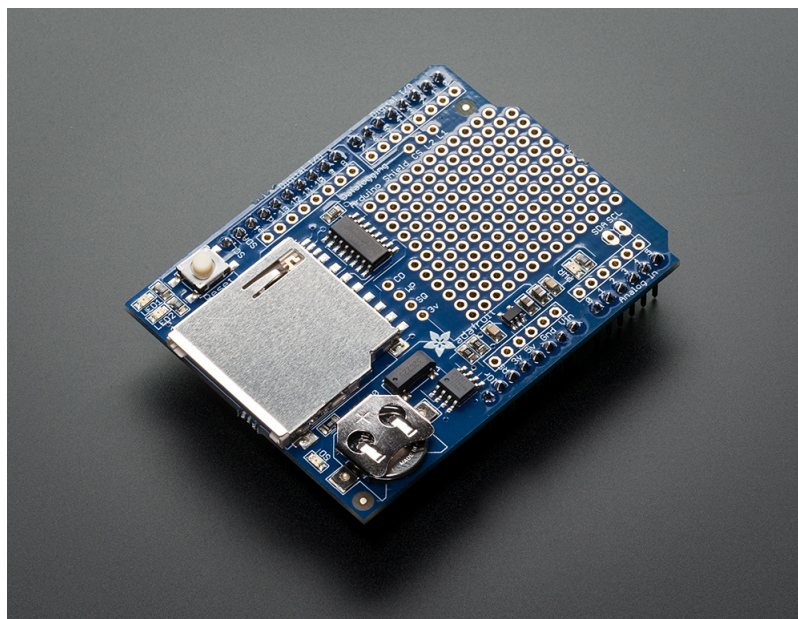


**FIGURA 37 – RTC incluído no *data logging shield***

É muito importante que o RTC esteja corretamente acertado antes que o sensor BMP085 inicie uma sequência de medições. Para acertar o RTC, devemos primeiramente encaixar o *data logging shield* no Arduino sem que o sensor de pressão esteja conectado ao conjunto. Em seguida, carregamos o *sketch* adequado para que o Arduino sincronize o RTC do *data logging shield* com o relógio do computador. O Apêndice E.2 apresenta o *sketch* utilizado na sincronização do RTC do *shield* com o relógio de um computador <sup>70</sup>.

<sup>70</sup> Obviamente, o relógio do computador deve estar previamente acertado. No Windows, isso pode ser feito através da internet, como exemplificado no Apêndice E.3.

O modelo de *data logging shield* utilizado no projeto de instrumentação desta dissertação não está mais sendo comercializado. Segundo a fabricante Adafruit [Adafruit 2013], o *Adafruit data logging shield for Arduino* foi descontinuado, sendo substituído pelo *Adafruit assembled data logging shield for Arduino* (Figura 38).



**FIGURA 38 – Adafruit assembled data logging shield for Arduino**<sup>71</sup>

O *assembled data logging shield*, felizmente, apresenta uma grande vantagem sobre seu antecessor: seus componentes já vêm pré-soldados, e portanto não é necessário montar o *shield*. (A versão anterior deste *shield* era comercializada na forma de um *kit* de componentes eletrônicos. Cabia ao usuário do *shield* montá-lo.)

É fundamental destacar que, qualquer que seja o modelo ou versão utilizado de *shield* e de sensor, devem ser sempre verificadas eventuais alterações feitas na programação do Arduino, para que os componentes utilizados (*data logger* e sensor de pressão) funcionem corretamente. Caso seja necessário, as bibliotecas (conjuntos de *sketches* utilizados) devem ser convenientemente substituídas.

---

<sup>71</sup> Fonte: *Adafruit Website* [Adafruit 2013].

## Capítulo 5

### Investigações sobre as marés

#### 5.1. Dados sobre as marés oceânicas

A obtenção de dados sobre as marés oceânicas pode ser feita através do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) do Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil (CHM)<sup>72</sup>, órgão vinculado à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Além de dados maregráficos, o BNDO disponibiliza diversos dados de natureza oceanográfica e meteorológica que podem ser utilizados na aplicação de atividades investigativas em aulas de Física no Ensino Médio.

A atividade experimental investigativa sobre as marés atmosféricas proposta nesta dissertação prevê a comparação entre o fenômeno das marés atmosféricas com o fenômeno das marés oceânicas. Os dados sobre as marés oceânicas obtidos junto ao BNDO referem-se aos registros realizados na estação maregráfica da Ilha Fiscal, localizada na Baía da Guanabara, Rio de Janeiro/RJ<sup>73</sup>. A coleta das alturas do nível do mar realizada pela estação da Ilha Fiscal é feita em formato digital<sup>74</sup>, através de um equipamento que faz uso de um radar, e os dados obtidos foram fornecidos pelo CHM em um documento no formato TXT. Assim, as medidas de maré podem ser visualizadas e analisadas, por exemplo, a partir do *Microsoft Excel* (ou a partir de outros programas para tratamento de dados e traçado de gráficos)<sup>75</sup>.

---

<sup>72</sup> Segundo o CHM [CHM 2010], as solicitações de dados do BNDO devem ser encaminhadas por e-mail ([bndo@chm.mar.mil.br](mailto:bndo@chm.mar.mil.br)) ou por correspondência postal.

<sup>73</sup> Em <http://www.fundacaofemar.org.br/estacoes-indice.php> [FEMAR 2013] está disponível uma relação das estações maregráficas brasileiras.

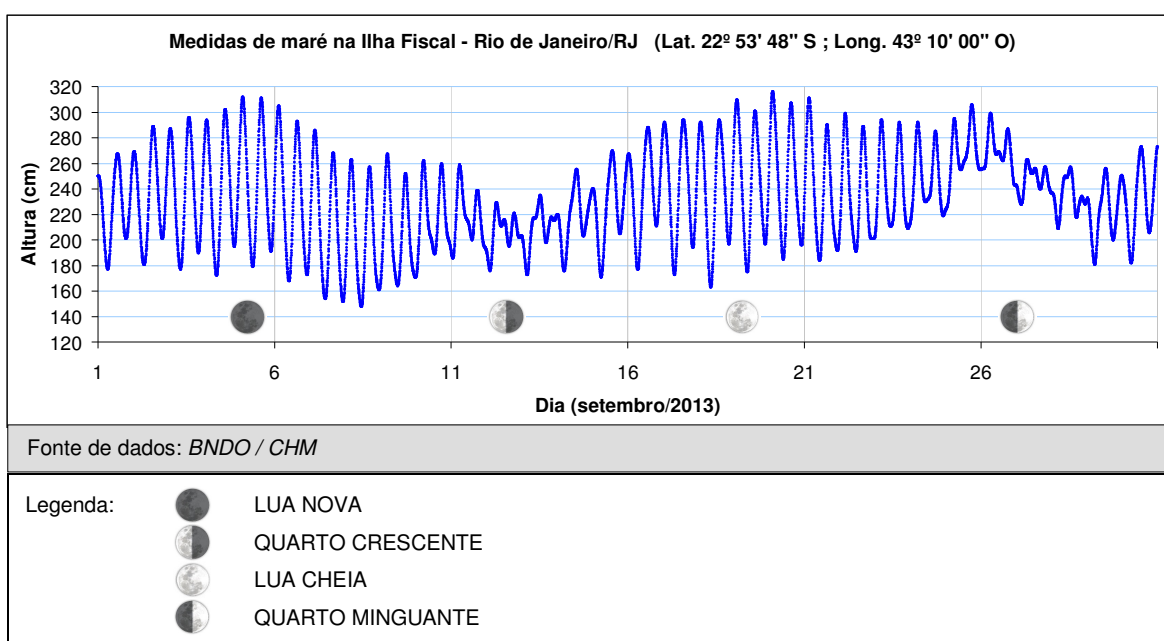
<sup>74</sup> A estação maregráfica da Ilha Fiscal não coleta as alturas em formato analógico, isto é, não realiza o registro de maregrama em papel (como o que foi apresentado no Capítulo 3, Seção 3.5, Figura 22).

<sup>75</sup> Algumas orientações sobre a abertura de arquivos TXT no *Microsoft Excel* são apresentadas no Apêndice E.5.



## 5.2. Análise de dados sobre as marés oceânicas

Com os dados fornecidos pelo BNDO, é possível realizar algumas análises sobre o fenômeno das marés oceânicas. As alturas do nível do mar, expressas em centímetros e tomadas em intervalos de cinco minutos, correspondem a medidas relativas a um plano de referência local denominado Nível de Redução (NR)<sup>76</sup>. O gráfico da Figura 39 apresenta a distribuição das 8.640 medidas realizadas no período de 1º a 30 de setembro de 2013.



**FIGURA 39 – Medidas de maré: 1º a 30/set/2013 - Ilha Fiscal / RJ**

No desenvolvimento de uma atividade experimental investigativa, o professor pode solicitar que os alunos construam e analisem gráficos das marés oceânicas. Com os dados obtidos junto ao BNDO, o professor e os estudantes podem dividir as medidas em diferentes conjuntos, como, por exemplo, em sequências delimitadas por mês, por semana, por dia, ou pelo período de uma determinada fase da Lua. De posse de dados de diferentes estações maregráficas, podem ser feitas comparações entre medidas tomadas

<sup>76</sup> O Nível de Redução é um nível mínimo definido localmente de forma que não haja valores negativos de altura de maré [DHN 2013].

em um mesmo período. Assim, podem ser realizadas diversas investigações resultantes de situações-problema como:

- 1 A ocorrência de duas marés altas e duas marés baixas é observada em um período exato de um dia (isto é, 24 h)? Como poderíamos encontrar o período das oscilações das marés a partir das medidas da altura do nível do mar?
- 2 Uma vez que as marés oceânicas são sobretudo um fruto da ação gravitacional exercida pela Lua sobre a água, vale perguntar: O período das oscilações das marés oceânicas está, de alguma forma, relacionado com alguma característica do movimento lunar?
- 3 Existe com o passar dos dias alguma variação no nível médio da água do mar? Essa variação é aparentemente aleatória ou apresenta alguma regularidade? O que poderia explicar uma oscilação de longa duração no nível médio da água do mar?
- 4 Existe com o passar dos dias alguma variação na amplitude das marés? O que poderíamos afirmar sobre isso quando analisamos as oscilações da água em torno de datas que marcam determinadas fases da Lua?<sup>77</sup>
- 5 Já que as fases apresentadas pela Lua dependem de seu posicionamento em relação à Terra e ao Sol, uma possível conexão entre as fases da Lua e as marés oceânicas seria um indicativo de que a gravidade do Sol também afeta, de alguma forma, as marés?

---

<sup>77</sup> Na internet são encontradas diversas fontes de calendários lunares, como, por exemplo, em <http://www.calendario-365.com.br/lua/fases-da-lua.html> [Calendário-365 2013].

- 6 Como a gravidade do Sol interfere nas marés oceânicas? As oscilações no nível do mar apresentam características que podem ser atribuídas à ação gravitacional do Sol?
  
- 7 É possível destacar alguma diferença significativa entre dados obtidos em diferentes estações maregráficas? A latitude e a longitude poderiam explicar eventuais diferenças nos dados? O que mais poderia servir para explicar essas diferenças?

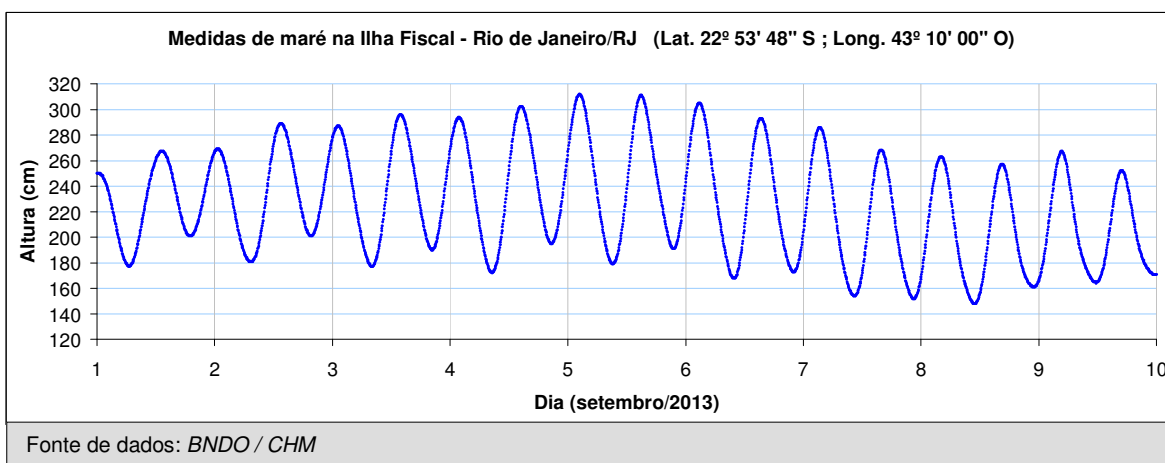
Além desses, outros questionamentos podem ser levantados pelo professor e certamente muitas outras situações-problema serão propostas pelos estudantes no desenvolvimento de uma atividade investigativa. Alguns problemas requerem uma maior variedade de dados. Uma análise da influência da época do ano sobre as marés <sup>78</sup>, por exemplo, requer uma maior quantidade de dados e, portanto, depende da disponibilização desses dados pelo BNDO. Por outro lado, mesmo com uma quantidade relativamente pequena de dados (por exemplo, dados oriundos de uma única estação maregráfica para um período de um mês), já é possível produzir um amplo leque de investigações.

Considerando o período compreendido entre os dias 01/09/2013 e 09/09/2013 (inclusive), observamos 17 máximos e 17 mínimos, como mostra o gráfico da Figura 40 a seguir. Percebe-se no gráfico a ocorrência (aproximada) de duas marés altas e de duas marés baixas por dia <sup>79</sup>. Na realidade, se tal ocorrência efetivamente se manifestar no intervalo de um dia (24 h), deveríamos esperar um período de 12 h para as oscilações no nível da água do mar.

---

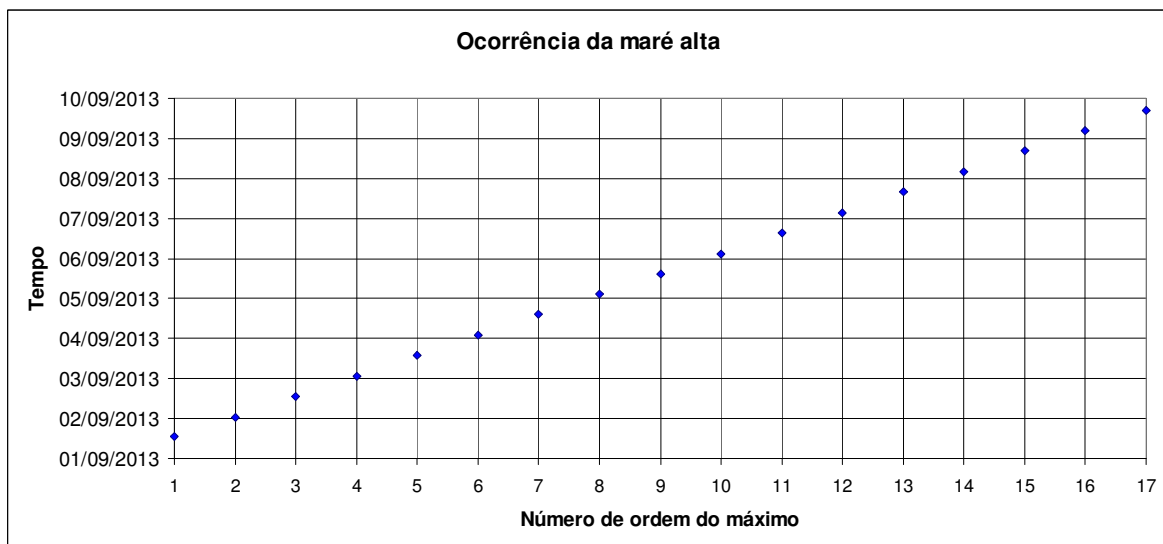
<sup>78</sup> Nesse caso, poderiam ser feitas considerações acerca das marés em diferentes estações do ano.

<sup>79</sup> O modelo que explica a ocorrência das marés altas e baixas foi discutido no Capítulo 2, Seção 2.3. Como a rotação da Terra tem um período de 24 h, conclui-se, a partir da Figura 11 (Capítulo 2, Seção 2.3, página 48), que deveriam ocorrer, em tese, duas marés altas e duas marés baixas por dia.



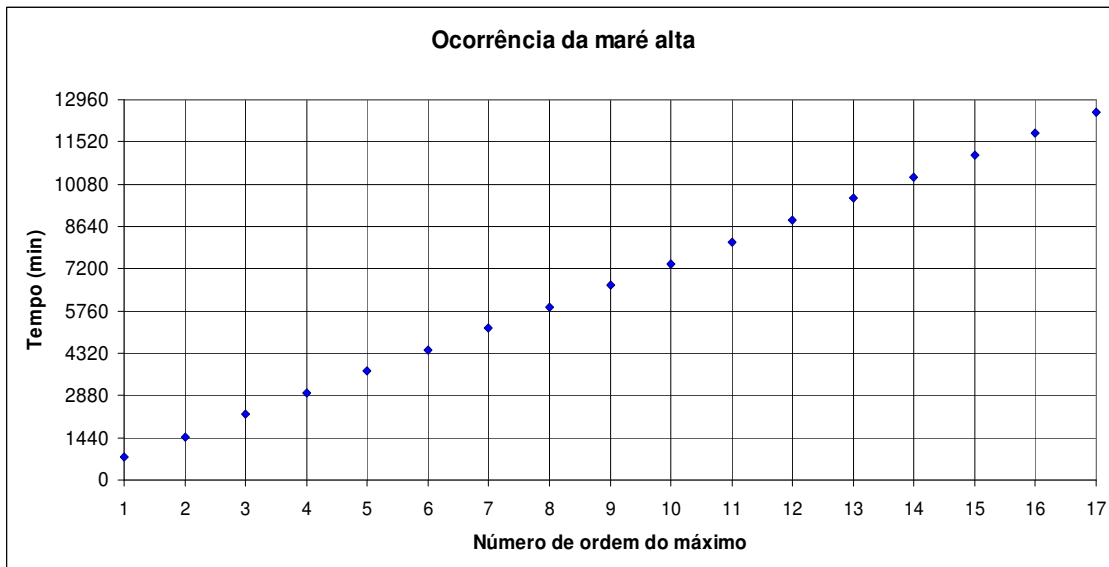
**FIGURA 40 – Medidas de maré: 1º a 09/set/2013 - Ilha Fiscal / RJ**

A partir da determinação dos instantes em que ocorre cada máximo, é possível encontrar o período das oscilações das marés. (O mesmo pode ser feito analisando-se a ocorrência dos mínimos.) O gráfico da Figura 41 abaixo apresenta a ocorrência dos máximos ao longo do tempo.



**FIGURA 41 – Ocorrência da maré alta: 1º a 09/set/2013 - Ilha Fiscal / RJ**

Para facilitar a determinação do período das oscilações das marés, o gráfico da Figura 42 a seguir representa a escala de tempo em minutos, adotando-se a zero hora do dia 01/09/2013 como  $t_0 = 0$ .

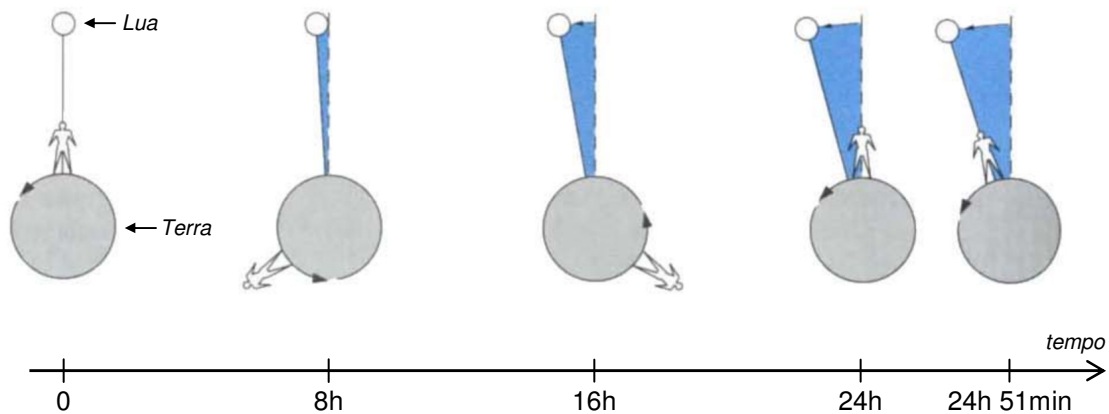


**FIGURA 42 – Maré alta em intervalos de tempo expressos em minutos**

Portanto, a obtenção do período das oscilações do nível da água do mar pode ser feita através do ajuste dos pontos do gráfico acima, que se distribuem linearmente. O resultado obtido via método dos mínimos quadrados é um período de 12 h 23(1) min entre duas marés altas consecutivas. Lembrando que, para duas marés altas consecutivas, uma é sublunar e outra é antipodal<sup>80</sup>, concluímos que o intervalo de tempo entre duas marés altas de mesma natureza corresponde ao dobro do período obtido, isto é, 24 h 47(2) min. Entretanto, o intervalo de tempo de 24 h 47 min não se aproxima do período de um dia solar (24 h). Na realidade, esse intervalo de tempo se aproxima do dia lunar, cuja duração é de aproximadamente 24 h 51 min [Thurman 1997]. O dia lunar corresponde a duas passagens sucessivas da Lua por um meridiano terrestre. A sua duração decorre da combinação entre os movimentos de rotação da Terra (24 h) e de translação da Lua em torno da Terra (27,3217 dias)<sup>81</sup>, como mostra a Figura 43 (fora de escala). O resultado experimental de aproximadamente 24 h 47 min, obtido a partir dos dados de maré fornecidos pelo BNDO, permite concluir que as marés oceânicas são regidas pela Lua.

<sup>80</sup> Capítulo 2, Seção 2.2.

<sup>81</sup> Fonte: *National Space Science Data Center* [NASA 2013].



**FIGURA 43 – Dia lunar**<sup>82</sup>

Certamente, variações nas marés devem ocorrer sobretudo em função da ação gravitacional exercida pelo Sol. Retornando ao gráfico da Figura 39, podemos destacar visualmente que as oscilações de curta duração (aproximadamente 12 h 25,5 min entre duas marés altas ou baixas) encontram-se moduladas por uma oscilação de longo período. Esse resultado provém da ação combinada da gravidade da Lua e do Sol sobre a água.

Utilizando um modelo simplificado descrito por uma função senoidal, podemos primeiramente simular as oscilações de curta duração, como mostra o gráfico da Figura 44-A a seguir. Na simulação das oscilações de curta duração, adotamos um período  $T_{LUNAR} = 12 \text{ h } 25,5 \text{ min}$ , já que o dia lunar corresponde a 24 h 51 min.

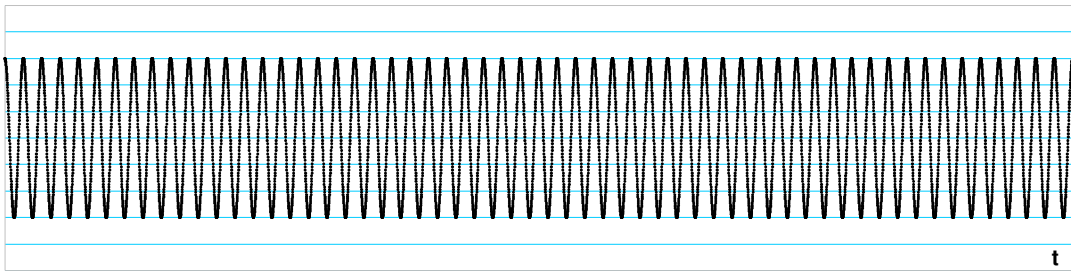
Uma vez que o dia solar corresponde a aproximadamente 24 h, um modelo para descrever as oscilações produzidas pela influência do Sol sobre a água deve adotar um período  $T_{SOLAR} = 12 \text{ h}$ . A ação gravitacional combinada do Sol e da Lua produziria, segundo o modelo idealizado que consideramos, o resultado apresentado no gráfico da Figura 44-B. Este resultado é característico da superposição de oscilações de mesma amplitude  $A$  cujos períodos (ou frequências) são muito próximos. No caso em questão, a diferença entre os períodos é:

$$\Delta T = T_{LUNAR} - T_{SOLAR} = 12 \text{ h } 25,5 \text{ min} - 12 \text{ h} = 25,5 \text{ min}$$

<sup>82</sup> Fonte: Adaptado de *Introductory oceanography* [Thurman 1997, p. 264].

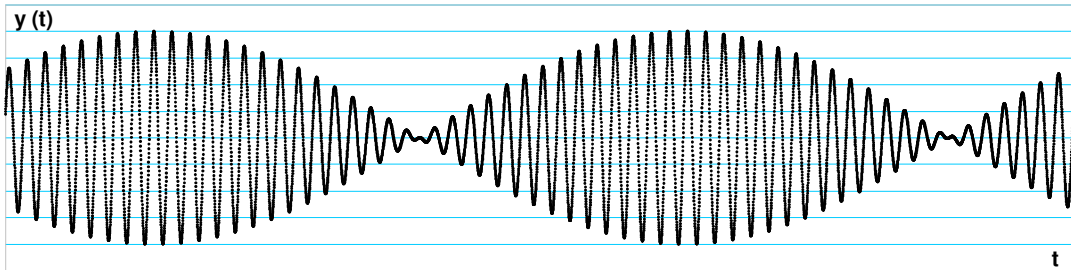
Chamamos esse fenômeno de *batimento*. Os batimentos são muito explorados em acústica e envolvem a superposição de ondas sonoras de frequências muito próximas.

$$y(t) = A \cdot \cos \left[ \frac{2\pi}{12h \ 25,5min} \cdot t \right]$$

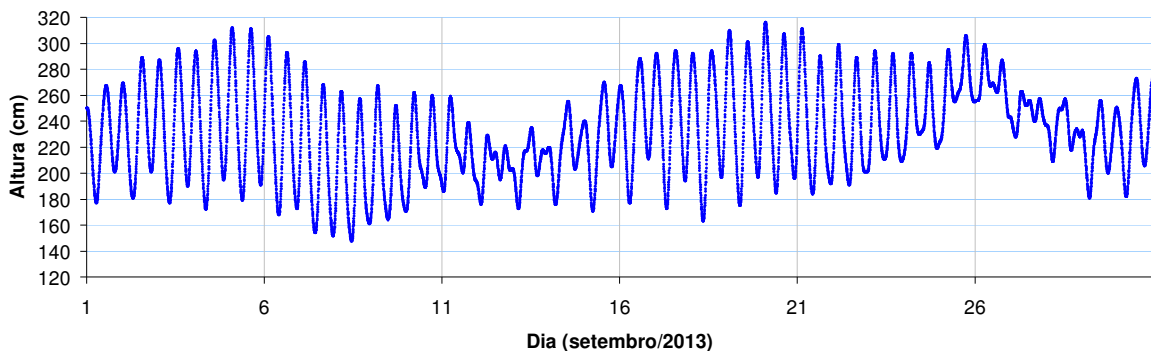


(A)

$$y(t) = A \cdot \left\{ \cos \left[ \frac{2\pi}{12h \ 25,5min} \cdot t \right] + \cos \left[ \frac{2\pi}{12h} \cdot t \right] \right\}$$



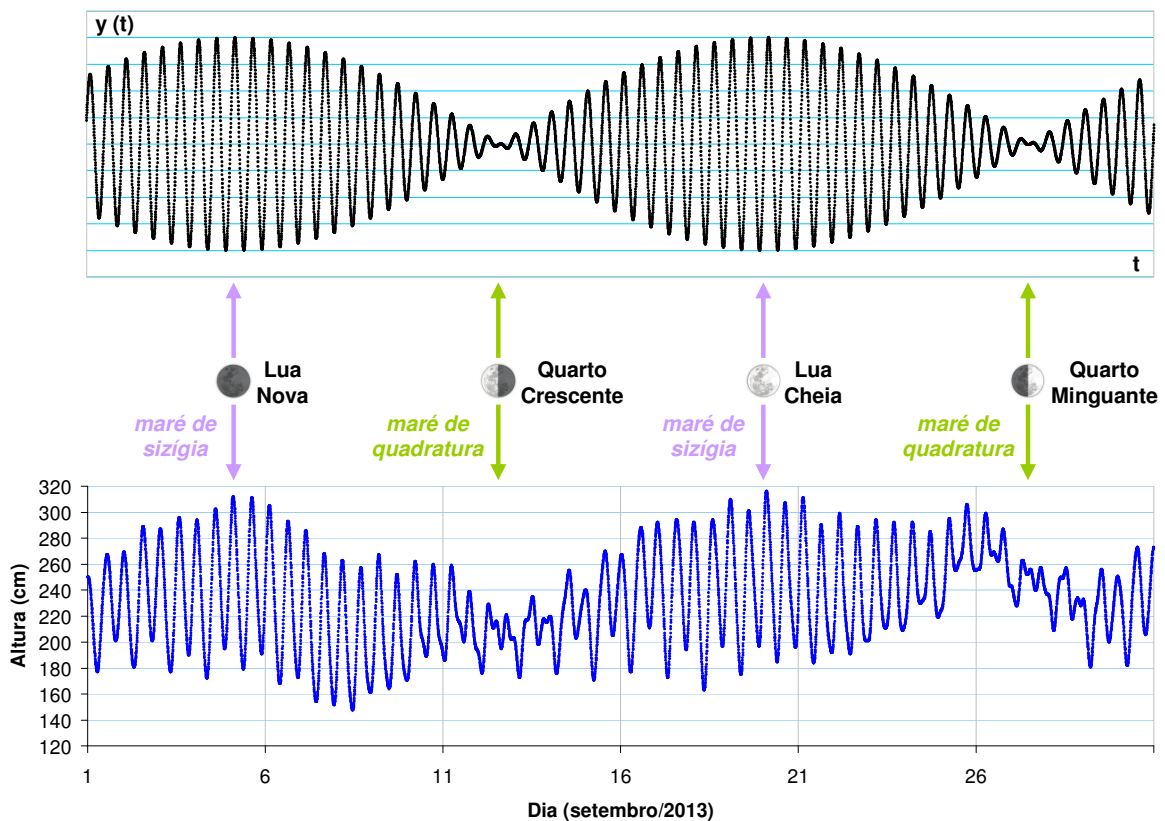
(B)



(C)

**FIGURA 44 – Comparação entre um modelo senoidal simples (A), um modelo de batimentos (B) e os resultados experimentais de maré (C)**

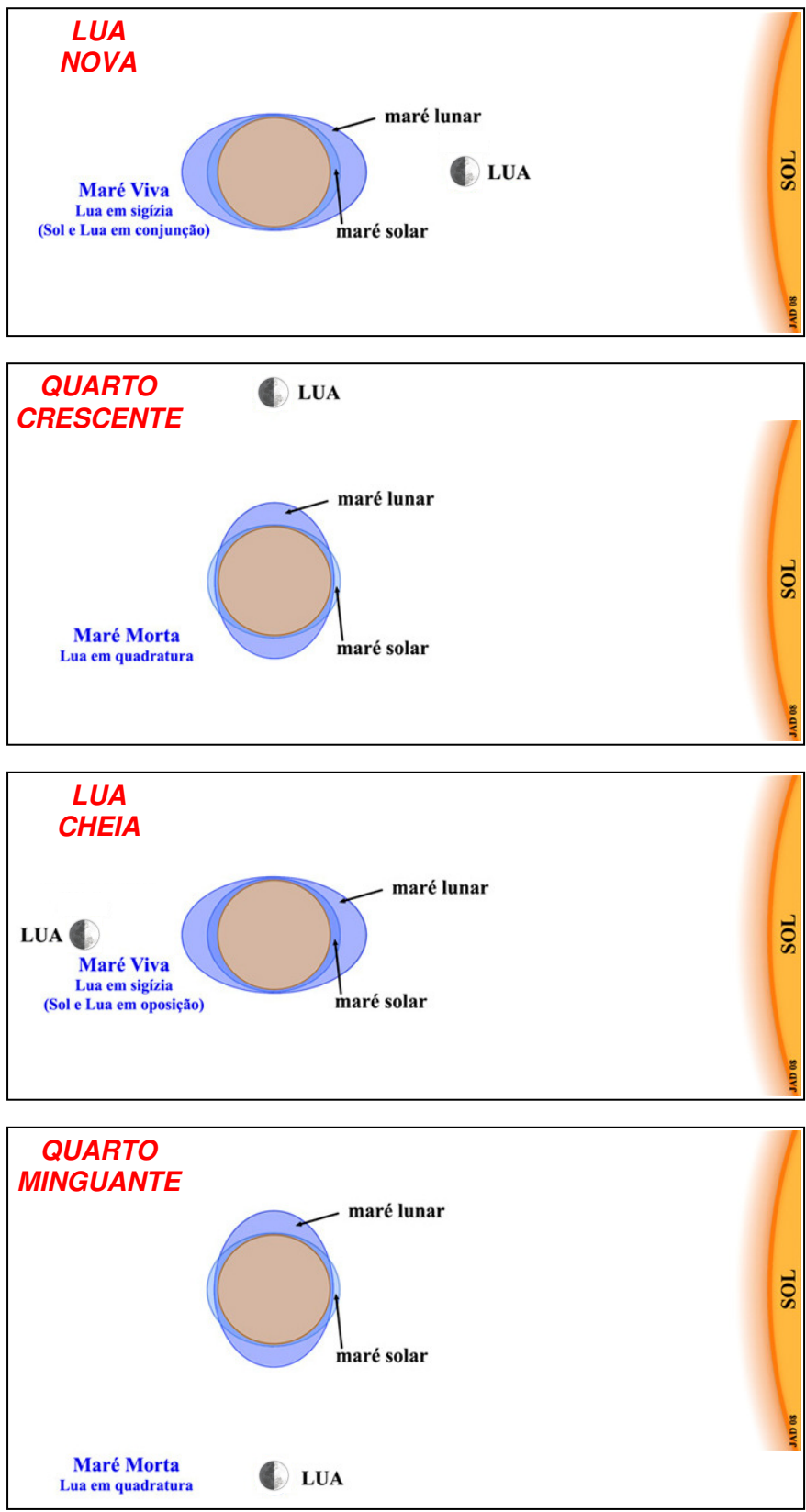
É interessante destacar que a semelhança entre o modelo de batimentos e os dados experimentais de maré, rerepresentados no gráfico da Figura 45 abaixo, têm relação com as fases da Lua. A ocorrência das maiores amplitudes de maré, registradas em torno das fases de Lua Nova e Lua Cheia, são denominadas *marés de sizígia*. Já as menores amplitudes de maré são chamadas de *marés de quadratura*, pois ocorrem em torno das fases de Quarto Crescente e Quarto Minguante.



**FIGURA 45 – Marés de sizígia e marés de quadratura**

Quando Nova ou Cheia, a Lua encontra-se na mesma linha em relação ao Sol e à Terra. Dessa forma, a gravidade do Sol e da Lua produz uma espécie de efeito gravitacional construtivo, o que explica as marés de sizígia. O mesmo não ocorre no Quarto Crescente e no Quarto Minguante, pois nesses casos as direções Terra-Lua e Terra-Sol são perpendiculares. A Figura 46 a seguir (fora de escala) representa, de forma simplificada e exagerada, a ocorrência das marés de sizígia e de quadratura em função das fases da Lua.



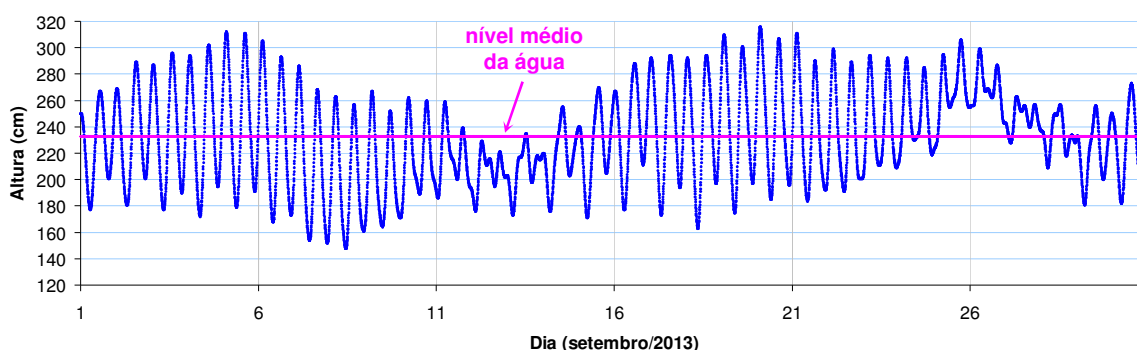


**FIGURA 46 – Fases da Lua nas marés de sizígia e de quadratura** <sup>83</sup>

<sup>83</sup> Fonte: Adaptado de *Glossário das Zonas Costeiras: Maré* [Dias 2008].

Finalmente, sobre as marés oceânicas convém lembrar que, além dos aspectos gravitacionais, outros fatores não gravitacionais, como por exemplo a localização geográfica (latitude e longitude), o perfil da costa litorânea, a profundidade e as irregularidades do piso oceânico e a ação dos ventos, produzem diversos padrões de oscilações secundárias que se superpõem aos padrões anteriormente apresentados, gerando um complexo resultado final.

Além de possibilitarem todas as reflexões feitas até aqui acerca do comportamento das marés oceânicas, os dados de maré ainda permitem muitas outras investigações que podem ser realizadas pelo professor de Física e pelos estudantes de Ensino Médio. Como último exemplo, destacamos que o nível médio da água do mar também varia com o passar dos dias, como podemos perceber no gráfico da Figura 47 abaixo, aparentemente em função de uma oscilação de longa duração. Seria interessante que o professor de Física e seus alunos buscassem explicar esse efeito.



**FIGURA 47 – Nível médio da água: 1º a 30/set/2013 - Ilha Fiscal / RJ**

### **5.3. Algumas considerações pedagógicas importantes**

Ao buscar um ensino que apresente um caráter investigativo, o professor deve estar atento a alguns aspectos importantes que se referem ao desenvolvimento de uma atividade experimental investigativa. Em primeiro lugar, é fundamental que as aulas não se limitem à mera apresentação de resultados experimentais, seja ela feita pelo professor ou pelos estudantes. A manipulação e apresentação de dados experimentais é fundamental no

desenvolvimento de uma atividade experimental investigativa, mas sua verdadeira essência está na discussão dos resultados experimentais. A formulação de hipóteses, a construção de modelos e a elaboração de argumentos físicos que expliquem os resultados experimentais devem ser o cerne das discussões desenvolvidas nas aulas de Física durante a aplicação de uma atividade experimental investigativa.

Em segundo lugar, o professor deve estar atento às explicações dos estudantes, buscando orientar o rumo das mesmas. Esse é um aspecto pedagógico muito importante, que não se resume simplesmente à otimização do tempo de aula. O direcionamento das discussões e as orientações do professor quanto às ideias e explicações dos estudantes estão relacionados com o fato anteriormente discutido <sup>84</sup> de que não se espera do aluno uma aprendizagem de qualquer forma de conhecimento, mas de um conhecimento científico. O que se pretende, portanto, é ensinar e aprender Física (conceitos, modelos etc.) a partir de uma perspectiva que ressalte tanto a dimensão investigativa da ciência quanto o seu caráter temporal transitório, visto que a ciência é fruto de um processo histórico.

Um outro aspecto importante, que costuma ser deixado de lado em atividades experimentais mais tradicionais, é a importância das inconsistências observadas no experimento. Não estamos nos referindo ao simples tratamento dos erros experimentais ou ao uso apropriado de algarismos significativos em uma medida. Estamos falando da percepção acerca da validade e da adequação dos dados experimentais frente a um determinado modelo ou teoria científica e vice-versa. Nesse sentido, destaca-se a importância de construir modelos preliminares ou de aprimorar modelos preexistentes, como foi o caso, por exemplo, da abordagem sobre as marés oceânicas. O professor deve enfatizar nas aulas uma discussão sobre a consistência tanto dos dados experimentais quanto dos modelos ou teorias científicas. Até que ponto os dados devem ser considerados válidos? E as teorias, modelos e conceitos físicos são sempre válidos? Se os resultados experimentais não estiverem de acordo com um modelo, devemos descartá-los e preservar a teoria? Ou devemos reformular ou substituir o modelo teórico de modo a preservar os

---

<sup>84</sup> Capítulo 1, Seção 1.3.

resultados empíricos? Quando um modelo ou teoria falha na tentativa de explicar um fenômeno, ou quando concluímos que os dados experimentais obtidos em um experimento não têm validade, isso sempre significa que perdemos tempo e trabalhamos para nada? Essas e outras questões de caráter epistemológico devem permear as aulas de Física no Ensino Médio.

#### 5.4. Dados sobre a pressão e a temperatura

No capítulo anterior foram apresentados os detalhes do projeto de instrumentação para a construção de um barômetro digital baseado no funcionamento do Arduino Uno. O projeto prevê a inserção de um *data logger*, para que as medições da pressão atmosférica (e da temperatura ambiente) possam ser digitalmente armazenadas em sequência e posteriormente tratadas e analisadas. No período de desenvolvimento desta dissertação, foram realizadas as sequências de medidas da pressão atmosférica e da temperatura ambiente discriminadas na Tabela 7.

**TABELA 7 – Sequências de medidas da pressão atmosférica e da temperatura ambiente**

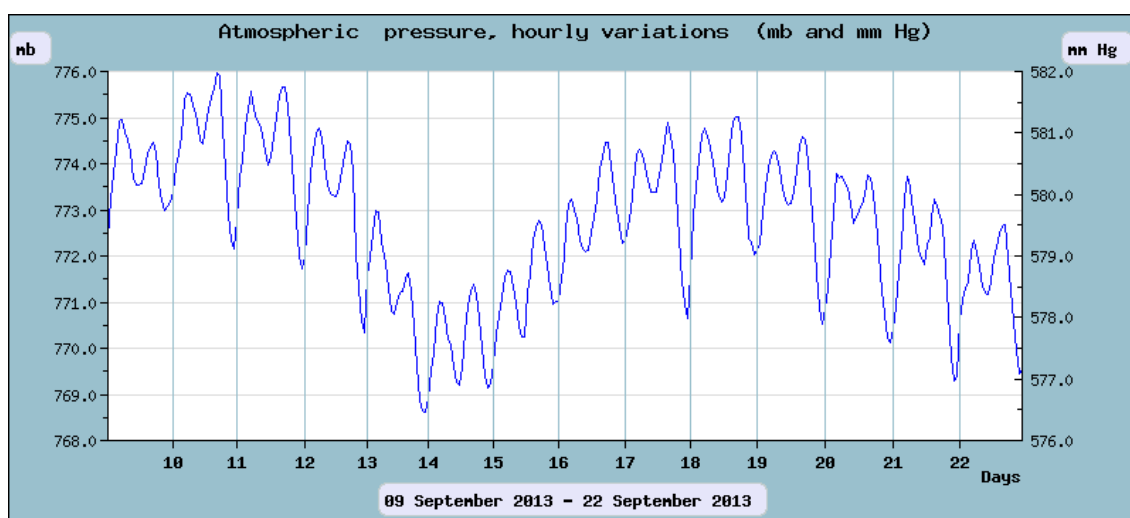
SEQUÊNCIA	GRANDEZAS FÍSICAS	Nº DE MEDIÇÕES	DATA E HORA		LOCAL DA MEDIÇÃO
			da primeira medição	da última medição	
1	PRESSÃO e TEMPERATURA	11.462	13/ago/2013 12h01min	21/ago/2013 11h03min	Teresópolis/RJ
2	PRESSÃO e TEMPERATURA	5.825	25/ago/2013 20h09min	29/ago/2013 21h13min	Teresópolis/RJ
3	PRESSÃO e TEMPERATURA	18.990	09/set/2013 18h03min	22/set/2013 23h01min	Niterói/RJ
4	PRESSÃO e TEMPERATURA	7.216	10/set/2013 18h41min	15/set/2013 18h57min	Teresópolis/RJ
5	PRESSÃO <sup>85</sup>	3.352	18/set/2013 21h45min	21/set/2013 5h36min	Goiânia/GO

As medições indicadas na Tabela 7 foram realizadas pelo sensor BMP085 em intervalos de tempo de um minuto, conforme previsto na

<sup>85</sup> As medidas de temperatura realizadas na ocasião foram posteriormente descartadas por serem consideradas inconsistentes com a temperatura ambiente.

programação utilizada no Arduino. Assim como foi sugerido no caso dos dados de maré, as medidas de pressão e temperatura, armazenadas no cartão SD em um arquivo no formato CSV (*Comma-Separated Values*), também podem ser visualizadas e analisadas em um programa adequado para tratamento de dados e traçado de gráficos, como, por exemplo, o *Microsoft Excel*<sup>86</sup>. No Apêndice F.1 está disponível um conjunto de gráficos que apresenta o comportamento da pressão atmosférica e da temperatura ambiente nos locais onde foram realizadas as medições. Nos gráficos de pressão é possível perceber claramente as oscilações que caracterizam o fenômeno das marés barométricas.

Além dos dados obtidos a partir do experimento com a placa Arduino, o professor e os estudantes também podem obter através da internet outras sequências de medidas da pressão atmosférica em diferentes localidades. Existem fontes que disponibilizam gratuitamente um vasto conjunto detalhado de dados barométricos confiáveis obtidos por institutos de pesquisa, como, por exemplo, o *Observatório de Raios Cósmicos da Cidade do México*<sup>87</sup>, vinculado à *Universidade Nacional Autônoma do México*. O gráfico da Figura 48 apresenta o comportamento da pressão atmosférica na Cidade do México no período de 9 a 22 de setembro de 2013.



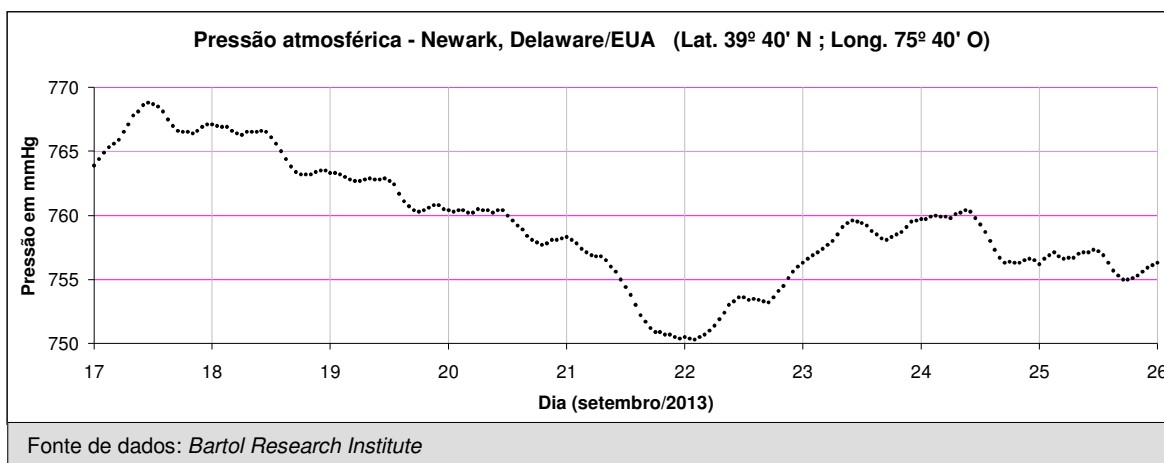
**FIGURA 48 – Pressão atmosférica na Cidade do México**<sup>88</sup>

<sup>86</sup> Orientações sobre a abertura de arquivos CSV no *Excel* encontram-se no Apêndice E.4.

<sup>87</sup> <http://www.cosmicrays.unam.mx>

<sup>88</sup> Fonte: *Observatorio de Rayos Cósmicos, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México* [UNAM 2013].

Outro exemplo interessante de fonte de dados é o *Instituto Bartol de Pesquisa*<sup>89</sup>, ligado ao Departamento de Física e Astronomia da *Universidade de Delaware*. O gráfico da Figura 49 abaixo mostra as variações na pressão atmosférica no período de 17 a 25 de setembro de 2013 registradas em uma estação que opera no estudo de raios cósmicos<sup>90</sup>, situada em Newark (Delaware/EUA).



**FIGURA 49 – Pressão atmosférica: 8 a 25/set/2013, Newark - Delaware / EUA (Lat. 39° 40' N ; Long. 75° 40' O)**

## 5.5. Análise de dados sobre a pressão e a temperatura

Com os dados obtidos, uma extensa variedade de linhas investigativas pode ser aberta pelo professor e pelos estudantes a partir da análise dos resultados experimentais. A seguir, sugerimos algumas situações-problema que podem ser exploradas.

- 1 A ocorrência dos mínimos e dos máximos de pressão segue o mesmo padrão temporal (24 h 51 min) observado no caso das marés oceânicas? Como poderíamos

<sup>89</sup> [http://neutronm.bartol.udel.edu/~pyle/bri\\_table.html](http://neutronm.bartol.udel.edu/~pyle/bri_table.html)

<sup>90</sup> Dados sobre a pressão atmosférica são comumente obtidos por institutos e observatórios que realizam pesquisas sobre raios cósmicos em razão das correções realizadas nas medidas de intensidade dessas partículas.

encontrar o período das oscilações de pressão a partir das medições realizadas pelo sensor barométrico?

- 2 Existe com o passar dos dias alguma alteração significativa na pressão atmosférica média? Essa alteração é aleatória ou apresenta alguma regularidade aparente? O que poderia justificar uma alteração na pressão atmosférica média?
- 3 Como devemos explicar a existência das oscilações barométricas experimentalmente detectadas? As marés atmosféricas podem ser explicadas como consequências de uma ação gravitacional? Que papel a temperatura ambiente exerce na evolução desse fenômeno?

Caso a atividade experimental investigativa seja desenvolvida por um conjunto de escolas situadas em diferentes localidades, as possibilidades de investigação serão consideravelmente expandidas com a troca de informações entre participantes de diferentes cidades, uma vez que também poderão ser explorados fatores geográficos (latitude, longitude, altitude) que afetam tanto a pressão média quanto as oscilações da pressão atmosférica.

Das sequências de medidas anteriormente apresentadas na Tabela 7, conclui-se que, em um dado intervalo de tempo (ou de medidas), a pressão atmosférica média depende da localidade, como mostra a Tabela 8.

**TABELA 8 – Pressão média em Teresópolis, Niterói e Goiânia**

SEQUÊNCIA	Nº DE MEDIÇÕES	LOCAL DA MEDIÇÃO	PRESSÃO MÉDIA		
			Pa	atm	mmHg
1 e 2	17.287	Teresópolis/RJ	91.958 Pa	0,908 atm	689,7 mmHg
3	18.990	Niterói/RJ	101.538 Pa	≈ 1 atm	761,6 mmHg
4	7.216	Teresópolis/RJ	91.834 Pa	0,906 atm	688,8 mmHg
5	3.352	Goiânia/GO	92.802 Pa	0,916 atm	696,1 mmHg

Já era esperado que Niterói apresentasse uma pressão atmosférica média de aproximadamente 1 atm, uma vez que esta cidade localiza-se ao nível do mar. Em contrapartida, Teresópolis e Goiânia apresentam pressões médias menores do que 1 atm por estarem localizadas acima do nível do mar. A Tabela 9 apresenta a altitude (elevação) dos locais onde foram realizadas as medições da pressão atmosférica.

**TABELA 9 – Altitude de localidades em Teresópolis, Niterói e Goiânia**

<i>CIDADE</i>	<i>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</i>	<i>ALTITUDE</i> <sup>91</sup>
Teresópolis/RJ	Lat. 22° 26' 09" S ; Long. 42° 58' 37" O	895 m
Niterói/RJ	Lat. 22° 56' 11" S ; Long. 43° 04' 42" O	≈ nível do mar
Goiânia/GO	Lat. 16° 40' 32" S ; Long. 49° 15' 24" O	760 m

Com a utilização de um barômetro digital, é possível “reproduzir” o experimento de Péricier, corroborando as ideias de Pascal e Torricelli acerca da variação da pressão atmosférica com a altitude (Capítulo 3, Seção 3.3). Adotando, como uma primeira aproximação, um modelo simplificado de uma atmosfera isotérmica, é possível demonstrar que a pressão  $p$  decresce exponencialmente com a altitude  $z$  segundo a Equação 15 abaixo.

$$p = p_0 \cdot \exp \left[ -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \cdot z \right] \quad (\text{Equação 15})$$

Esse modelo simples, que descreve a pressão atmosférica apenas em função da altitude, pode ser considerado, em algumas situações, como uma boa aproximação para o valor médio da pressão local em um determinado intervalo de tempo. A Tabela 10 a seguir compara as pressões previstas pelo modelo matemático e as pressões atmosféricas médias aferidas nos experimentos considerando o intervalo de 11 a 14 de setembro de 2013, para o qual estão disponíveis dados de Niterói e Teresópolis.

<sup>91</sup> Fonte: *Google Maps Find Altitude* [Daft Logic 2013a].



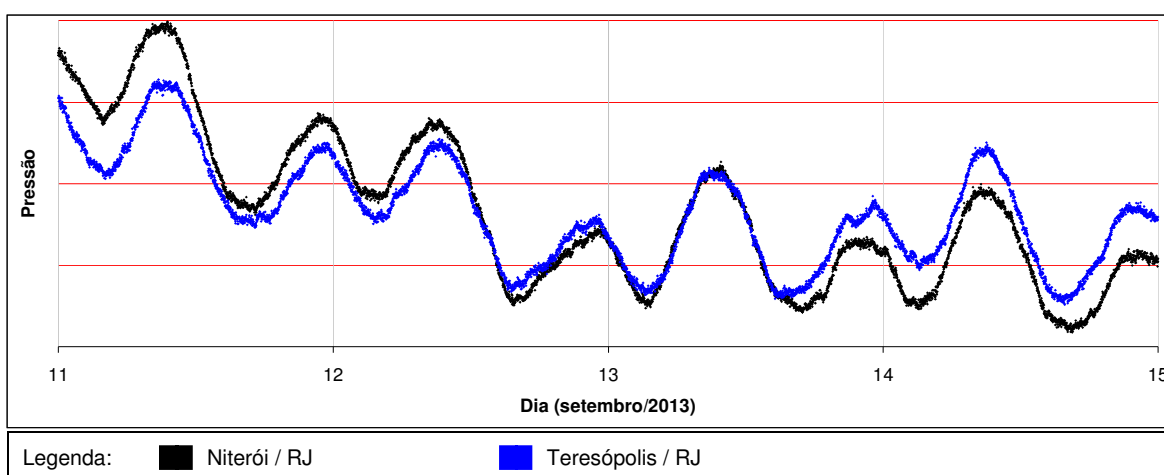
**TABELA 10 – Comparação entre as pressões previstas pelo modelo e as pressões médias aferidas nos experimentos**

LOCAL DA MEDIÇÃO	ALTITUDE	PRESSÃO PREVISTA	PRESSÃO MÉDIA AFERIDA	DIFERENÇA
Niterói/RJ	≈ 0	101.325 Pa	101.732 Pa	0,40 %
Teresópolis/RJ	895 m	91.328 Pa	91.850 Pa	0,57 %

*Observação: Valores médios da pressão tomados no intervalo de 11 a 14/09/2013.*

O modelo mais simples que descreve a pressão atmosférica em função da altitude local prevê apenas o valor médio da pressão registrada, não sendo capaz de fornecer informações acerca das variações diurnas que ocorrem nesta grandeza física.

Ainda considerando o período compreendido entre os dias 11/09/2013 e 14/09/2013 (inclusive), observamos 8 máximos e 8 mínimos na pressão atmosférica, tanto em Niterói como em Teresópolis, como mostra o gráfico da Figura 50.

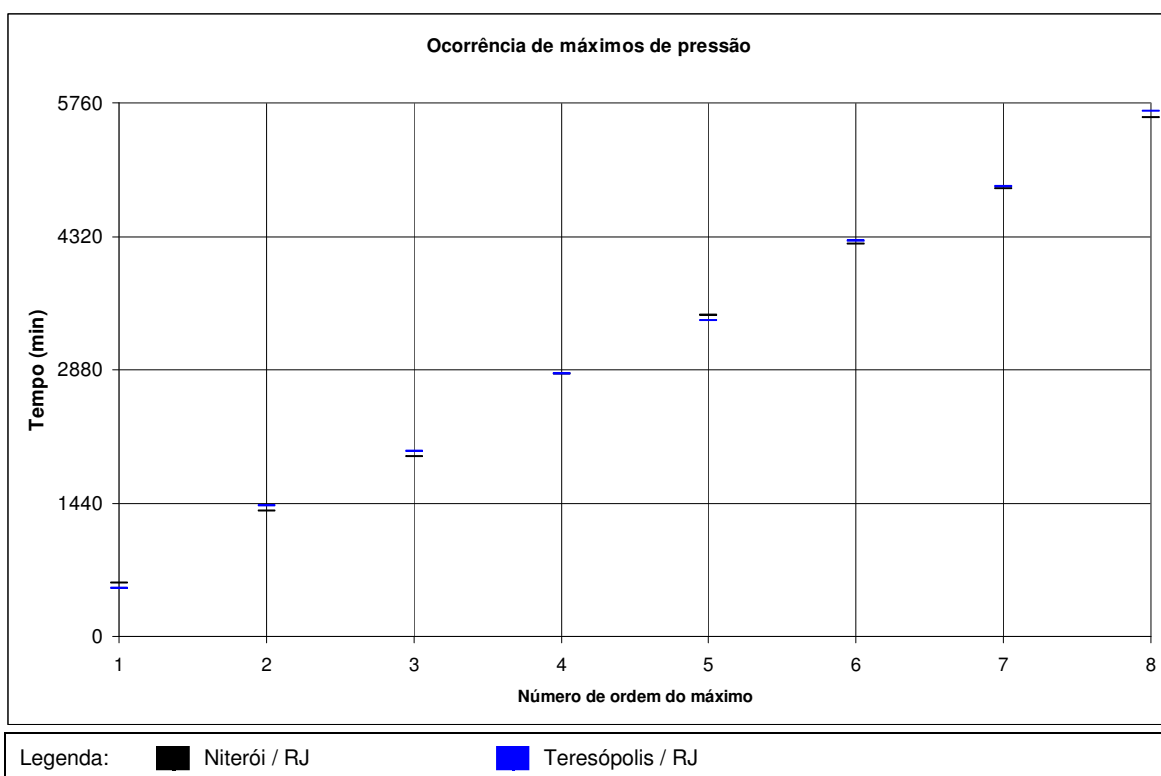


**FIGURA 50 – Oscilações na pressão atmosférica: Niterói e Teresópolis**

Para facilitar a comparação entre as oscilações, as curvas de pressão foram superpostas, e para tanto a escala de pressão do eixo das ordenadas foi

suprimida no gráfico da Figura 50. O mais notável é que observamos uma sincronia nas variações diurnas da pressão atmosférica, apesar do valor absoluto da pressão ser diferente nas duas localidades (como mostram os gráficos da Figura 96 e da Figura 98 no Apêndice F.1). Isso mostra que as variações diurnas na pressão atmosférica parecem não depender da altitude <sup>92</sup>.

A determinação do período das oscilações barométricas pode ser feita a partir da ocorrência dos máximos (ou dos mínimos) de pressão registrados. O gráfico da Figura 51 abaixo expõe a ocorrência das 8 “marés barométricas altas” (picos de pressão) nas cidades de Niterói e de Teresópolis ao longo do período compreendido entre 11/09/2013 e 14/09/2013, adotando-se a zero hora do dia 11/09/2013 como  $t_0 = 0$ .



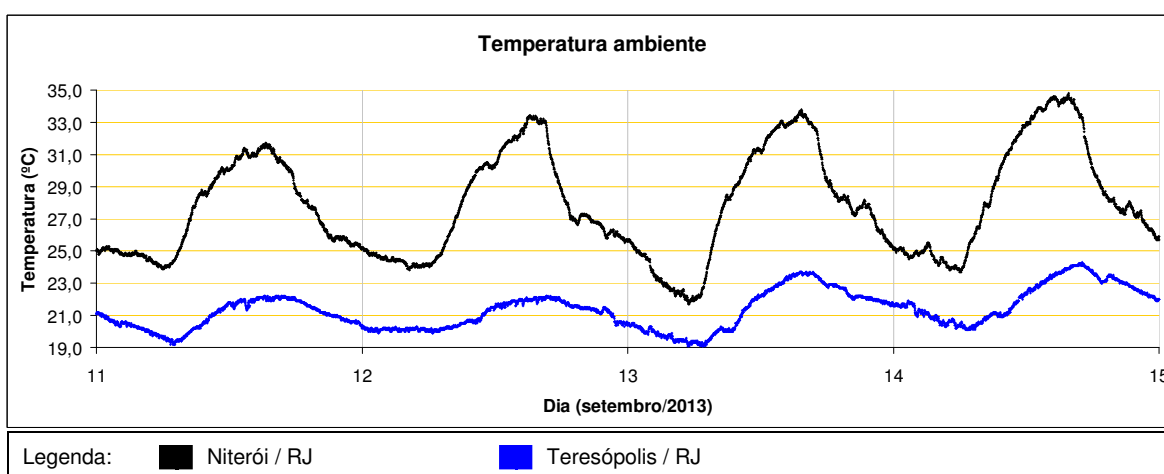
**FIGURA 51 – Ocorrência da maré barométrica alta em Niterói e Teresópolis (11 a 14/set/2013)**

<sup>92</sup> Na realidade, devemos lembrar que a atmosfera terrestre não é homogênea, e portanto devem ocorrer variações em função da composição do ar em diferentes estratos. A análise apresentada nesta dissertação trata apenas das variações diurnas na pressão atmosférica nas regiões menos elevadas da troposfera.

Os pontos do gráfico se distribuem linearmente e o ajuste, tomando por base os dados de Teresópolis, fornece um período de 11 h 55(4) min entre dois picos de pressão consecutivos. Por analogia com a análise feita sobre as marés oceânicas, o resultado obtido sugere um padrão de 23 h 50(8) min para as marés atmosféricas em Teresópolis. Esse padrão não coincide com o dia lunar, que é de aproximadamente 24 h 51 min. Na realidade, parecem coincidir com o dia solar, isto é, 24 h. Portanto, a partir dos dados de pressão registrados, concluímos que as marés atmosféricas não são regidas pela Lua, mas parecem ter relação com o Sol.

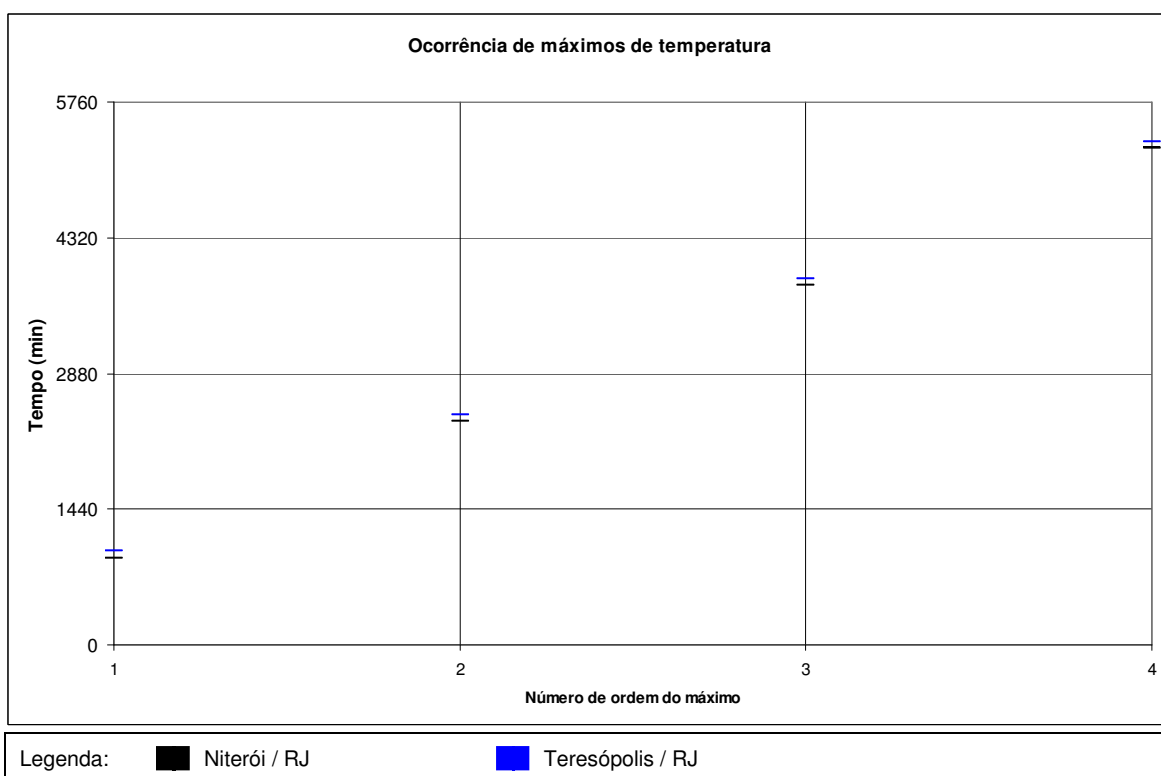
As marés oceânicas são fruto da ação gravitacional da Lua e do Sol. Já sabemos que a ação da gravidade lunar sobre a oscilação das águas é mais marcante do que a ação solar, apesar da influência do Sol ser evidente, por exemplo, nas marés de sizígia e quadratura como um efeito de batimentos. Por outro lado, se as marés atmosféricas parecem ter maior relação com uma ação solar do que lunar, conclui-se que as variações diurnas na pressão atmosférica não são resultantes de um efeito gravitacional [Lindzen 1980, p. 273; Holton 2003, p. 160], como Newton havia suposto [Lindzen 1969, p. 8].

Retornando aos dados experimentais no período de 11 a 14/09/2013, a evolução temporal da temperatura em Niterói e em Teresópolis é apresentada no gráfico da Figura 52, no qual também percebemos para as temperaturas um comportamento oscilante.



**FIGURA 52 – Oscilações na temperatura ambiente: Niterói e Teresópolis**

Podemos destacar diferenças e semelhanças entre as oscilações na temperatura ambiente das duas cidades. Apesar da temperatura média e da amplitude térmica serem evidentemente distintas <sup>93</sup>, os máximos e mínimos de temperatura registrados parecem ocorrer em instantes similares. O gráfico da Figura 53 apresenta a ocorrência dos máximos de temperatura registrados nas duas localidades.



**FIGURA 53 – Ocorrência da temperatura máxima em Niterói e Teresópolis (11 a 14/set/2013)**

Assim como a pressão máxima, a temperatura máxima também se distribui linearmente ao longo do tempo e o ajuste das retas proporciona um período de 24,2(4) h entre máximos consecutivos da temperatura em Niterói e

<sup>93</sup> No período representado no Gráfico 17 (11/09/2013 a 14/09/2013), a temperatura média em Niterói corresponde a 27,8 °C, enquanto que a média em Teresópolis é de apenas 21,3 °C. Nos quatro dias considerados, a amplitude térmica média registrada em Niterói foi de 10,2 °C e em Teresópolis foi de 3,5 °C.

de 23,4(4) h em Teresópolis. Esses intervalos de tempo, que de certa forma representam o dia solar (24 h), efetivamente sugerem que o Sol (e não a Lua) rege as variações diurnas na pressão e temperatura atmosféricas, e que estas são decorrentes da ação da radiação térmica solar sobre a atmosfera terrestre.

Na realidade, a ação gravitacional do Sol e da Lua exercida sobre a atmosfera da Terra também está presente nas marés atmosféricas, mas é muito menor do que a ação térmica do Sol [Wallace & Hobbs 2006, p. 422]. Sendo assim, a gravidade não chega a se constituir como uma causa para as marés atmosféricas da forma como esse fenômeno é observado.

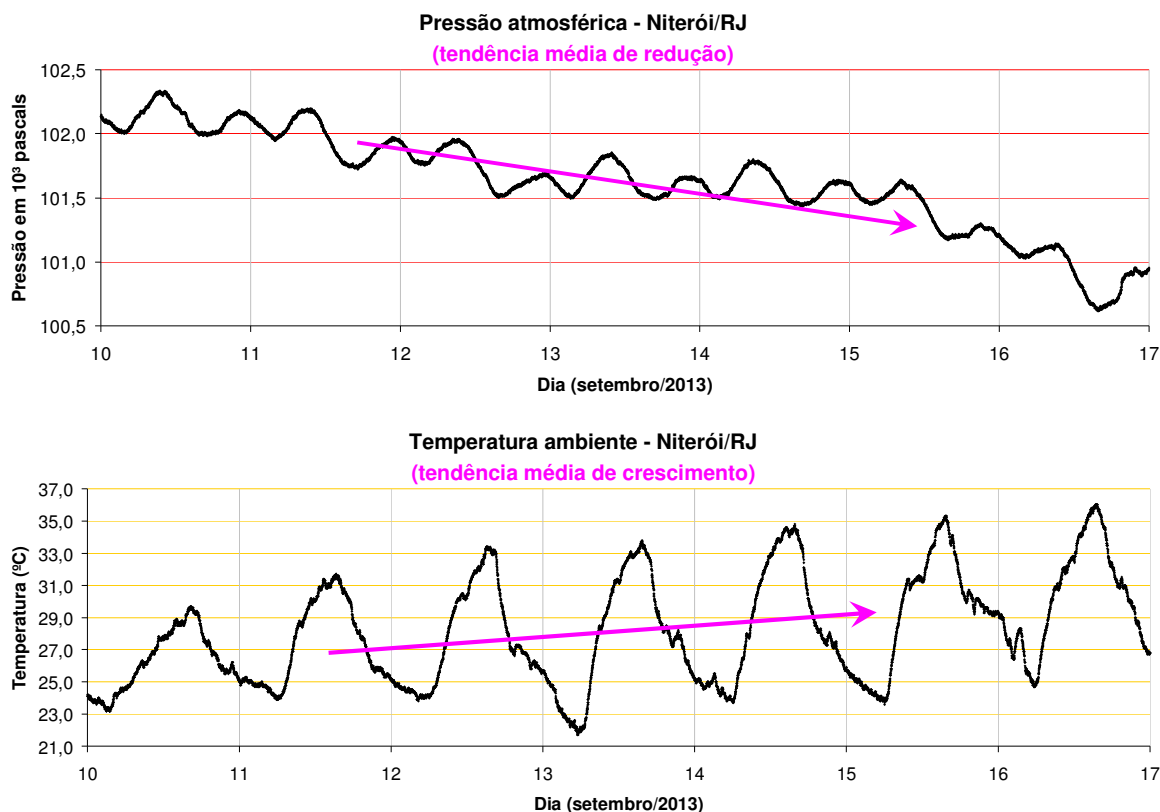
Portanto, concluímos que as oscilações barométricas diurnas ocorrem em função das oscilações na temperatura da atmosfera terrestre (que por sua vez são produzidas pela ação térmica do Sol). Diversas investigações complementares podem ser desenvolvidas no sentido de explorar outros aspectos relacionados à pressão e à temperatura, como as apresentadas nas seções seguintes.

## **5.6. Investigações meteorológicas**

Dependendo do contexto das aulas de Física, o professor e seus alunos poderão dar um destaque especial ao estudo de aspectos relacionados ao tempo meteorológico. O gráfico da Figura 54 a seguir apresenta um comportamento de longa duração muito interessante. Observando o gráfico, verificamos que as oscilações barométricas diurnas se superpõem a variações mais intensas de longa duração. A variação de longa duração observada nos dias registrados no gráfico da Figura 54 são aproximadamente lineares. Essa componente aproximadamente linear na variação da pressão parece corresponder a uma variação, também linear, que ocorre na temperatura, mas de forma inversa. Assim, quando observamos uma tendência de crescimento na temperatura, vemos uma tendência de decréscimo na pressão.

Aspectos sobre o comportamento de longa duração da temperatura e da pressão proporcionam investigações interessantes sobre a relação entre essas duas grandezas físicas e o tempo local observado no período. O professor de

Física poderá, por exemplo, propor aos estudantes que tentem desenvolver um modelo simplificado que descreva a tendência inversa de longa duração observada para a temperatura e a pressão nesses dias.



**FIGURA 54 – Tendências inversas de longa duração: temperatura e pressão em Niterói observadas no período de 10 a 16/set/2013**

Além de uma análise dos dados obtidos com o sensor BMP085, os estudantes também podem, por exemplo, tentar relacionar os resultados experimentais com notícias veiculadas pela mídia que abordem informações meteorológicas. Seria interessante que o professor de Física estimulasse a atenção de seus alunos para o fato de que os dados obtidos a partir do experimento com a placa Arduino também têm uma íntima relação com as informações meteorológicas, tão importantes no nosso cotidiano. A Figura 55 a seguir apresenta uma notícia veiculada no dia 17 de setembro de 2013, informando a “chegada de uma frente fria”.

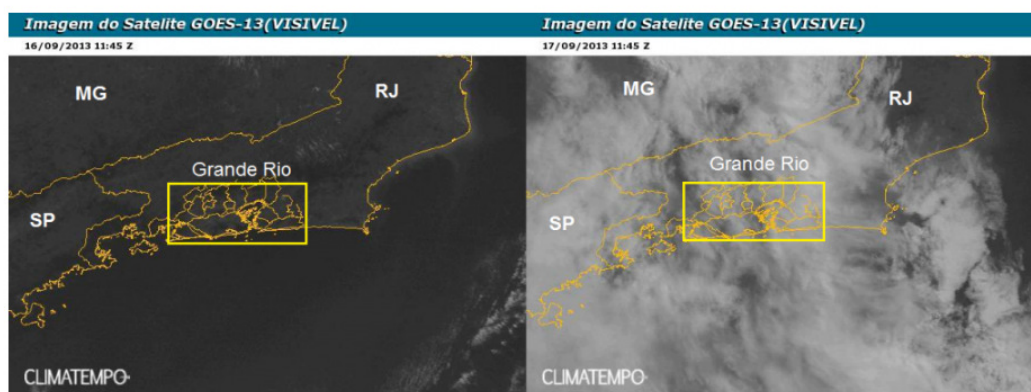
## Frente fria atua no RJ por vários dias

17 de setembro de 2013 às 11:23 por Josélia Pegorim

Uma **frente fria mudou o tempo** no **Rio de Janeiro**, depois de um fim de semana e de uma segunda-feira ensolarados e muito quentes. A **tarde de ontem foi a mais quente** na cidade do Rio desde o dia 13 de março. **(16/set)**

A frente fria que chegou ao **Rio de Janeiro** espalha nuvens carregadas por todo o Estado que provocam chuva no decorrer desta terça-feira. No norte fluminense, as pancadas de chuva são mais prováveis à tarde e à noite. Há risco de chuva forte, raios e fortes rajadas de vento, entre 60km/h e 90 km/h.

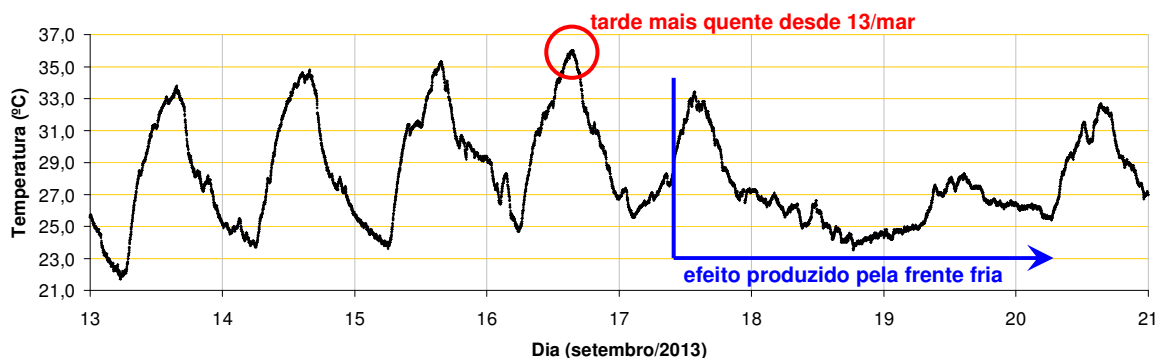
As imagens de satélite, no modo visível, mostram a nebulosidade sobre o Estado do **Rio de Janeiro** às 8h45 do dia 16 de setembro de 2013 (esquerda) e no mesmo horário no dia 17 de setembro de 2013. A cor preta predomina na imagem do dia 16, o que indica pouca ou nenhuma nebulosidade. Na imagem do dia 17, as manchas em tom de branco e cinza representam as nuvens que se espalharam sobre o Estado do Rio devido a chegada da nova frente fria.



Imagens de satélite no modo visível mostram o aumento da nebulosidade sobre o RJ devido a chegada da uma frente fria.

**FIGURA 55 – Notícia sobre a chegada de uma frente fria: 17/set/2013** <sup>94</sup>

Na Figura 55 acima foram destacados dois trechos do texto que podem ser relacionados aos dados de temperatura observados no gráfico da Figura 56 abaixo.



**FIGURA 56 – Temperatura ambiente: 13 a 20/set/2013 - Niterói / RJ**

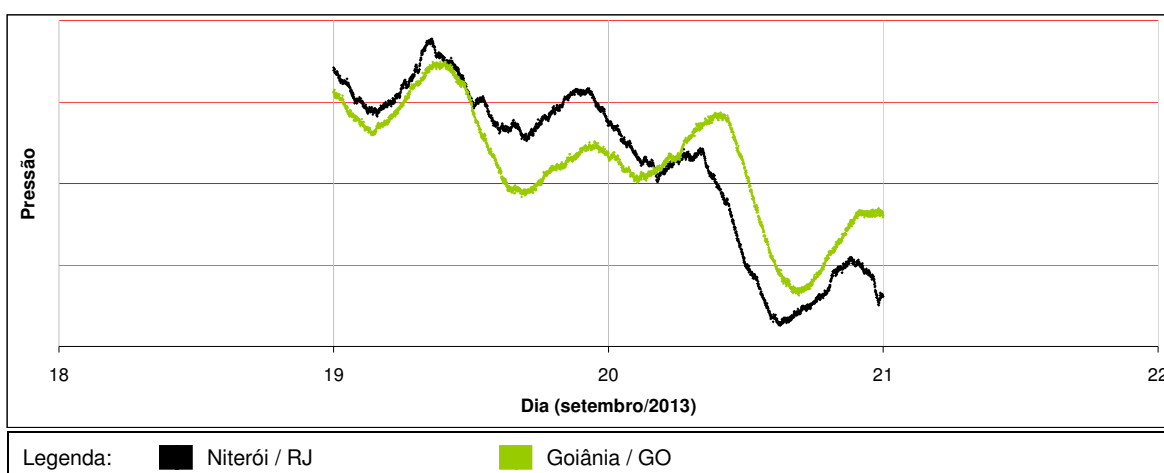
<sup>94</sup> Fonte: Adaptado de [www.climatempo.com.br](http://www.climatempo.com.br) [Pegorim 2013a].

Portanto, um interessante estudo multidisciplinar pode ser desenvolvido em torno da Física e da Meteorologia, envolvendo não só aspectos mais elementares da comunicação cotidiana, mas também a comparação entre dados e informações provenientes de diferentes fontes, como, por exemplo, as imagens de satélite e as medidas de temperatura. Dessa forma, a atividade investigativa traz à tona um relevante aspecto pedagógico: a importância da Física para a compreensão de diversos tipos de informação veiculadas nos meios de comunicação.

## 5.7. Investigações geográficas

As investigações geográficas ressaltam as diferenças no comportamento das marés atmosféricas que se manifestam em localidades cuja latitude e longitude sejam especialmente distintas. As cidades de Niterói e Teresópolis, por exemplo, apresentam coordenadas geográficas muito próximas, e é por esta razão que as oscilações barométricas são tão parecidas (apesar dos valores absolutos de pressão serem diferentes em função da altitude das duas localidades), conforme apresentado anteriormente no gráfico da Figura 50.

Por outro lado, a superposição das curvas de pressão para as cidades de Niterói/RJ e Goiânia/GO, considerando os dias 19 e 20/09/2013, fornece o resultado verificado no gráfico da Figura 57.



**FIGURA 57 – Oscilações na pressão atmosférica: Niterói e Goiânia**



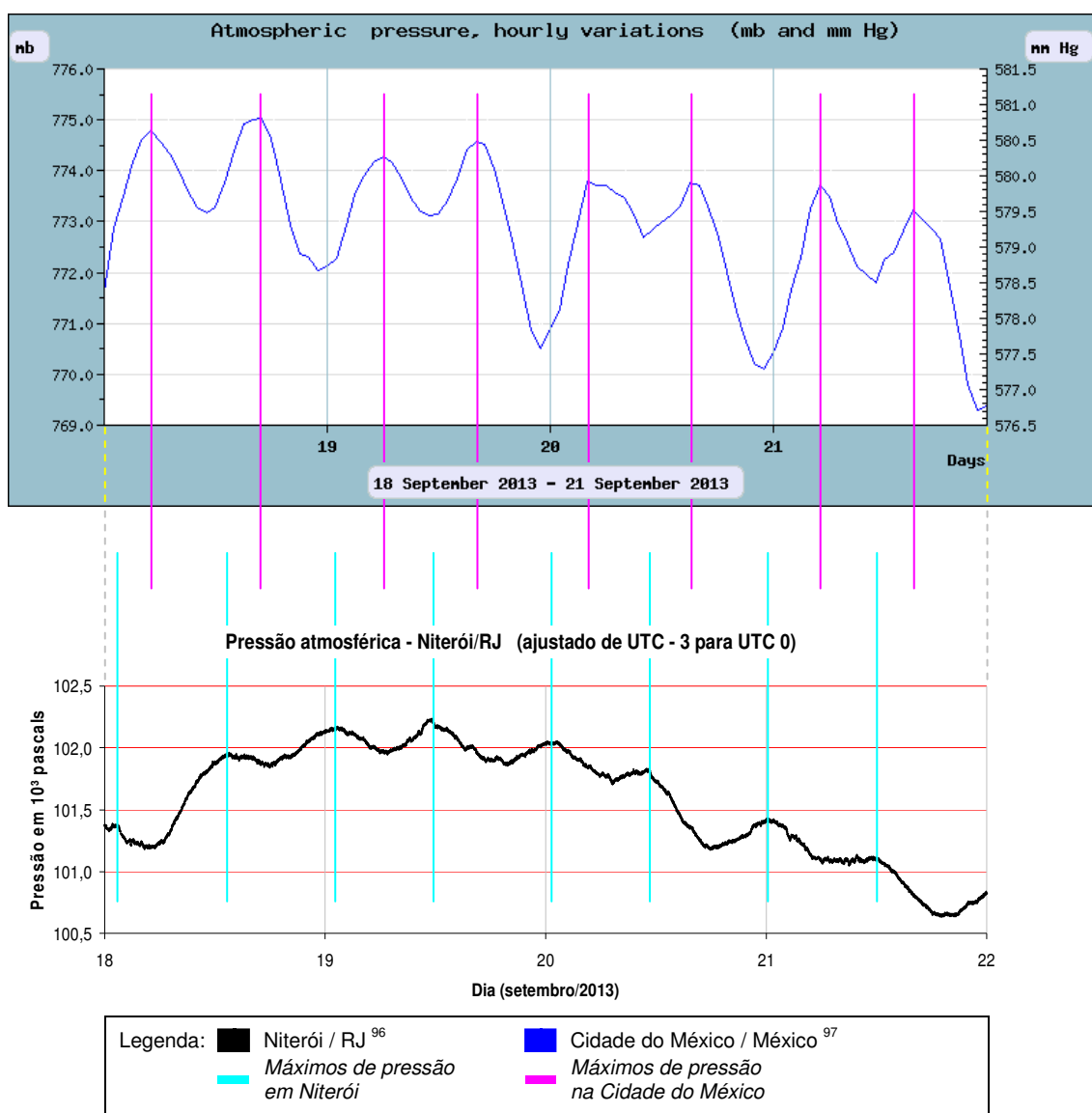
Convém lembrar que os valores absolutos da pressão atmosférica são menores em Goiânia, em virtude de sua altitude, do que em Niterói, como mostram, respectivamente, os gráficos da Figura 100 e da Figura 96 no Apêndice F.1. Entretanto, assim como no caso de Niterói e Teresópolis (Figura 50), observamos na Figura 57 uma certa sincronia nas oscilações de pressão em Niterói e Goiânia. Este resultado é notável, considerando que a distância entre as localidades de Niterói e Goiânia é de aproximadamente 950km<sup>95</sup>. Na realidade, a sincronia observada na comparação entre Niterói e Goiânia é decorrente da atuação, no mesmo período, de sistemas meteorológicos semelhantes presentes nas duas localidades.

Existindo a possibilidade de um trabalho conjunto entre escolas de diferentes localidades, as investigações desenvolvidas pelos estudantes certamente serão extremamente ricas, pois envolverão não apenas a troca de dados, mas sobretudo a troca de ideias entre os alunos. Entretanto, não havendo a possibilidade imediata de um trabalho conjunto, o professor de Física pode recorrer aos dados disponibilizados pelo INMET (*Instituto Nacional de Meteorologia*), pelo CPTEC/INPE (*Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*) ou por outra fonte de pesquisa. Também poderão ser utilizadas as leituras realizadas por instituições estrangeiras, como, por exemplo, o *Observatório de Raios Cósmicos da Universidade Nacional Autônoma do México*, ou o *Instituto Bartol de Pesquisa da Universidade de Delaware*. Assim, os estudantes poderão desenvolver investigações que também contemplem dados de fontes estrangeiras.

Um estudo interessante pode ser realizado pelos estudantes a respeito dos dados de pressão oriundos de diferentes localidades. O professor pode propor aos alunos que tentem determinar, por exemplo, os horários em que ocorrem os máximos e/ou os mínimos de pressão em uma determinada localidade. Além disso, os alunos podem comparar a ocorrência das marés barométricas tomando como parâmetro a hora local ou, caso seja necessário, ajustando as medidas para um referencial temporal único. Os gráficos da Figura 58 a seguir comparam a ocorrência dos máximos de pressão em Niterói e na Cidade do México entre 18 e 21/09/2013.

---

<sup>95</sup> Em contrapartida, a distância entre as localidades de Niterói e Teresópolis é de apenas 57km. Fonte: *Google Maps Distance Calculator* [Daft Logic 2013b].



**FIGURA 58 – Oscilações na pressão atmosférica: Niterói e Cidade do México**

A Tabela 11 a seguir apresenta as diferenças de longitude para algumas localidades. Talvez os estudantes tenham a expectativa de que uma maior diferença de longitude provoque uma defasagem temporal nos máximos e mínimos de pressão. Afinal, a diferença entre os meridianos de Niterói e Goiânia é de pouco mais de  $6^\circ$ , e portanto a defasagem temporal entre as

<sup>96</sup> O ajuste na escala temporal de Niterói pretende apenas estabelecer a simultaneidade das medidas em relação aos dados da Cidade do México a partir de um referencial temporal único.

<sup>97</sup> Fonte: *Observatorio de Rayos Cósicos, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México* [UNAM 2013].

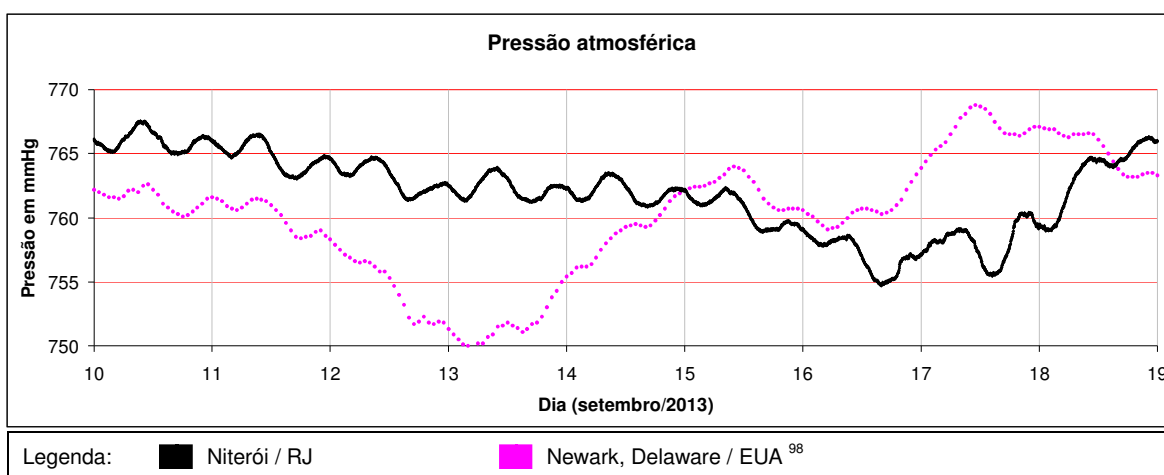
oscilações de pressão deveria mesmo ser muito pequena, como observado na Figura 57. Já no caso de Niterói e Cidade do México, a diferença de aproximadamente 56° entre os meridianos produziria uma defasagem temporal significativa entre as oscilações, como observamos na Figura 58.

Entretanto, é muito importante ressaltar que uma discussão realizada nas aulas de Física que seja baseada em dados coletados em diferentes localidades deve ser necessariamente acompanhada de uma análise a respeito das condições meteorológicas apresentadas em cada uma das localidades estudadas. O professor e seus alunos não devem se contentar com uma perspectiva reducionista, voltada apenas para a questão da longitude. Sendo assim, torna-se essencial uma investigação pormenorizada das condições climáticas que se apresentam em diferentes localidades, em especial a respeito da ocorrência de sistemas transientes que afetam as condições do clima local.

**TABELA 11 – Diferenças de longitude para algumas localidades**

	Niterói / RJ (Long. 43° 04' 42" O)	Teresópolis / RJ (Long. 42° 58' 37" O)	Goiânia / GO (Long. 49° 15' 24" O)	Cidade do México / México (Long. 99° 11' O)	Newark / EUA (Long. 75° 40' O)
Niterói / RJ (Long. 43° 04' 42" O)	/	6' 05"	6° 10' 42"	56° 06' 18"	32° 35' 18"
Teresópolis / RJ (Long. 42° 58' 37" O)	6' 05"	/	6° 16' 47"	56° 12' 23"	32° 41' 23"
Goiânia / GO (Long. 49° 15' 24" O)	6° 10' 42"	6° 16' 47"	/	49° 55' 36"	26° 24' 36"
Cidade do México / México (Long. 99° 11' O)	56° 06' 18"	56° 12' 23"	49° 55' 36"	/	23° 31'
Newark / EUA (Long. 75° 40' O)	32° 35' 18"	32° 41' 23"	26° 24' 36"	23° 31'	/

Além do que foi proposto até aqui, recomenda-se uma investigação acerca da influência da latitude sobre o comportamento das variações diurnas na pressão atmosférica. Dessa forma, as investigações geográficas, aliadas aos estudos iniciais sobre os efeitos da altitude, permitirão que os estudantes analisem de forma mais abrangente o fenômeno das marés atmosféricas. O gráfico da Figura 59 serve como um exemplo para a análise dos efeitos de latitude produzidos sobre as oscilações de pressão.



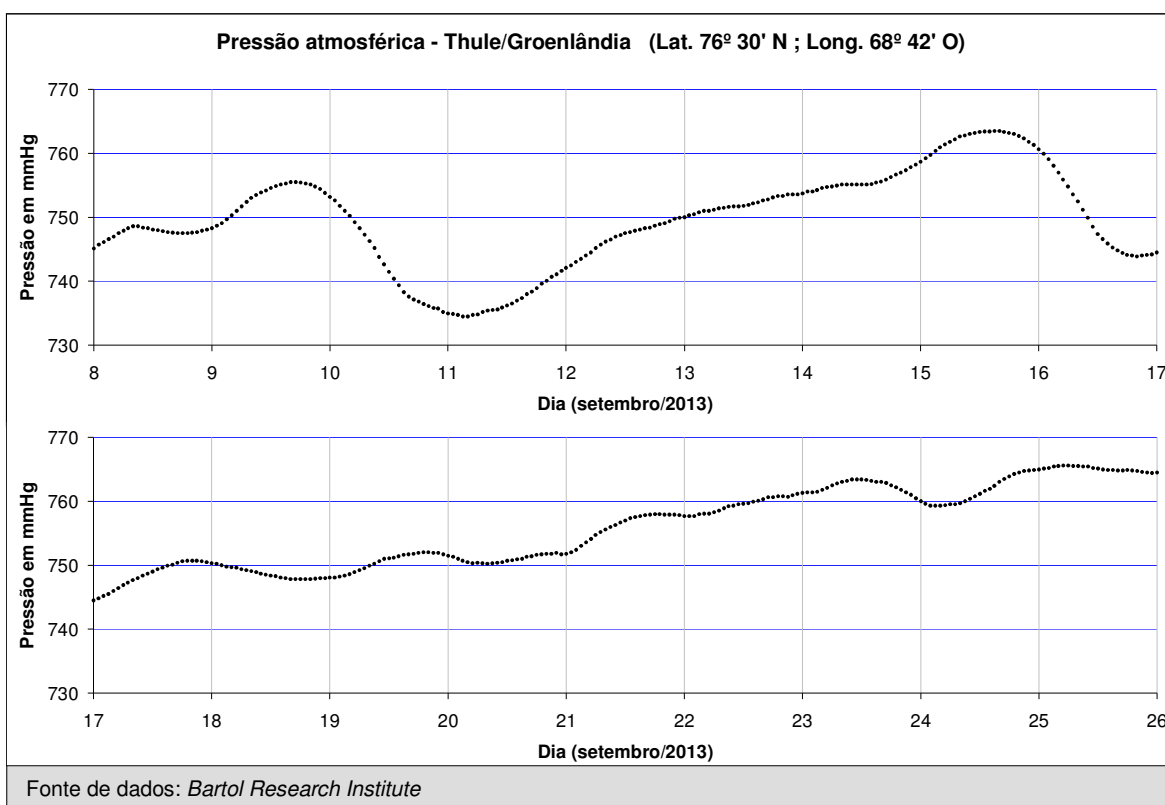
**FIGURA 59 – Oscilações na pressão atmosférica: Niterói e Newark<sup>99</sup>**

O exemplo trazido na Figura 59 ressalta um curioso fato observável: as oscilações diurnas na pressão atmosférica apresentam uma maior amplitude média em Niterói do que em Newark. O efeito observado está relacionado às latitudes das localidades. Enquanto Niterói, Teresópolis, Goiânia e Cidade do México apresentam latitudes relativamente baixas (entre 16° e 23° em relação à linha do equador), Newark localiza-se a quase 40° da linha do equador. Isso faz com que a amplitude média das oscilações barométricas de curta duração seja menor em Newark do que nas outras cidades, pois as variações diurnas na pressão atmosférica tendem a ser mais pronunciadas em regiões tropicais. Já em regiões temperadas, “a *variação diurna* [na pressão atmosférica] *não é evidente, embora presente*” [Lindzen 1969, p. 10].

<sup>98</sup> Fonte de dados: *Bartol Research Institute* [BRI 2013].

<sup>99</sup> Destaca-se que as medições em Niterói foram realizadas com uma taxa de amostragem de uma aferição por minuto, enquanto que as medições em Newark foram tomadas a cada hora.

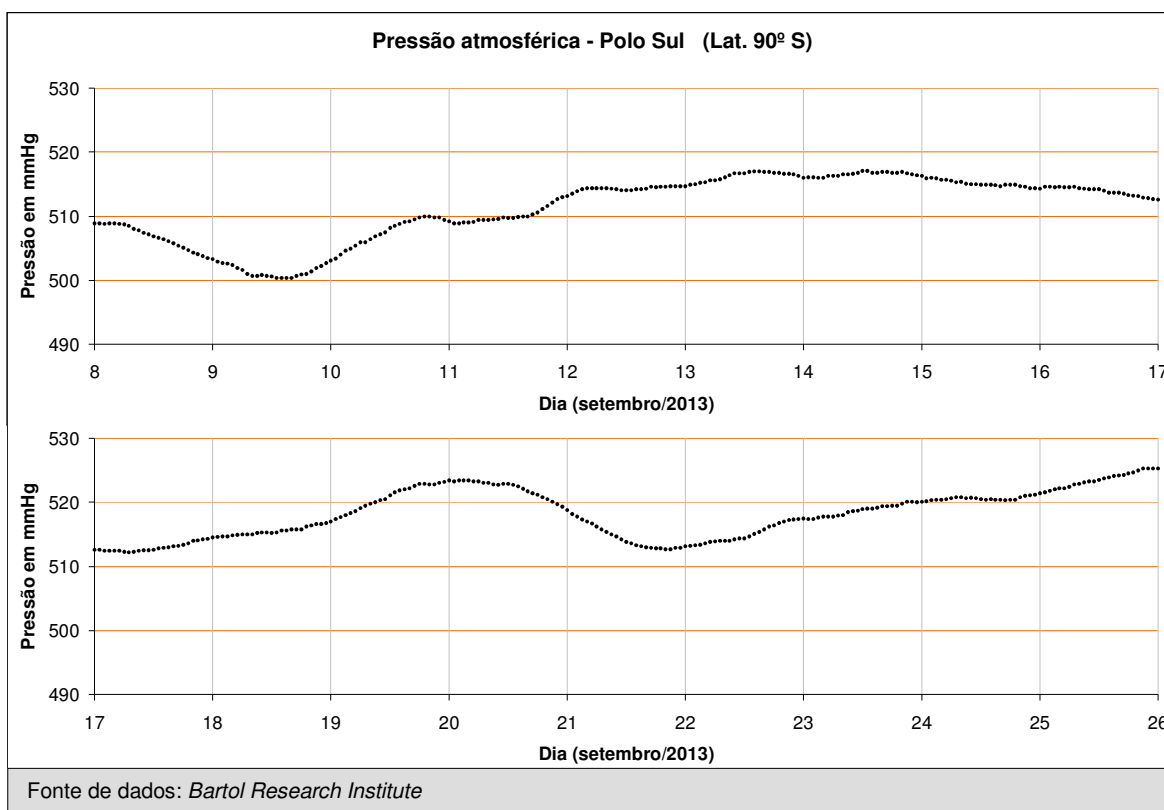
Uma maior amplitude de oscilação na pressão atmosférica ocorre tanto em regiões tropicais do hemisfério sul (caso de Niterói, Teresópolis e Goiânia) quanto em regiões tropicais do hemisfério norte (caso da Cidade do México). Da mesma forma, a atenuação das marés atmosféricas em função de uma maior latitude também independe do hemisfério considerado. Assim como Newark, Thule (localizada na Groenlândia) também encontra-se no hemisfério norte. O gráfico da Figura 60 a seguir apresenta a evolução da pressão atmosférica em Thule no período compreendido entre 08/09/2013 e 25/09/2013. Percebe-se nesta localidade uma evolução muito mais tênue na pressão atmosférica em contraste com o que fora observado no caso de Newark. As oscilações diurnas na pressão são praticamente inexistentes no gráfico da Figura 60, sendo importante ressaltar que Thule é uma localidade situada já dentro da região polar do hemisfério norte.



**FIGURA 60 – Pressão atmosférica: 8 a 25/set/2013, Thule / Groenlândia (Lat. 76° 30' N ; Long. 68° 42' O)**

Radicalizando a reflexão apresentada até o momento sobre a influência da latitude no comportamento das variações diurnas na pressão atmosférica, o gráfico da Figura 61 apresenta os dados coletados em uma estação de raios

cósmicos localizada no Polo Sul, considerando o mesmo período adotado para Thule no gráfico da Figura 60.



**FIGURA 61 – Pressão atmosférica: 8 a 25/set/2013, Polo Sul (Lat. 90° S)**

## 5.8. Considerações finais sobre o trabalho investigativo

A busca de um modelo de explicação para o fenômeno das marés atmosféricas, cujo comportamento não pode ser descrito a partir de um modelo gravitacional, constitui-se como um estímulo para a aprendizagem de conceitos físicos, bem como uma excelente oportunidade para o desenvolvimento de uma postura investigativa tanto por parte do estudante quanto do professor de Física. Com o desenrolar das investigações os alunos acabam por constatar que a maré atmosférica, tal como é observada, não é propriamente um efeito gravitacional, sendo causada pelo aquecimento da atmosfera terrestre produzido pela radiação solar. Entretanto, é extremamente importante destacar que não há como desenvolver uma atividade experimental investigativa apenas para fins de comprovação de uma teoria. Ao contrário, as investigações que levam os estudantes a optarem por explicações independentes para os

fenômenos das marés oceânicas e das marés atmosféricas abrem espaço para diversos questionamentos, que por sua vez acarretam inúmeras oportunidades para a aprendizagem de conceitos físicos e para a superação de concepções alternativas.

O professor de Física e os estudantes de Ensino Médio devem atentar para o fato de que as oscilações que configuram as complexas marés oceânicas são predominantemente formadas por dois harmônicos de natureza gravitacional: um de origem lunar e outro de origem solar. Outros harmônicos são produzidos por efeitos naturais, conforme destacado anteriormente (Seção 5.2). Por sua vez, as alterações observadas na pressão atmosférica – tanto as oscilações diurnas quanto as variações de longa duração – apresentam harmônicos de natureza térmica, produzidos pela ação solar e afetados pela passagem de sistemas meteorológicos (como as frentes frias, por exemplo). Todas essas considerações relativas às oscilações marítimas e barométricas abrem um extenso campo de investigação sobre os harmônicos que estão presentes nessas oscilações e suas respectivas origens (ou naturezas), incluindo uma análise de Fourier para as marés oceânicas e para as marés atmosféricas.

Em nosso entendimento, a viabilidade de uma determinada linha de ação pedagógica depende essencialmente das particularidades apresentadas pelo público-alvo e do tempo de aula disponível para a implementação da atividade experimental investigativa, cabendo ao professor de Física julgar sobre as melhores condições para o desenvolvimento de um trabalho investigativo-experimental. Uma comparação entre as marés oceânicas e as marés atmosféricas, feita a partir de informações experimentais, torna-se didaticamente plausível a partir do momento em que estudantes e professores dispõem dos dados de maré obtidos junto ao BNDO e dos dados de pressão e temperatura coletados diretamente com o sensor barométrico acoplado ao Arduino (e/ou indiretamente obtidos de fontes na internet). Comparações entre diferentes fontes de dados trarão novas questões para a investigação, tornando a atividade mais rica. Havendo oportunidade de troca de informações entre estudantes de escolas de diferentes localidades, professores e alunos poderão criar um banco de dados envolvendo uma rede de escolas, ampliando as oportunidades de investigação.

## Capítulo 6

### Aplicação em aula

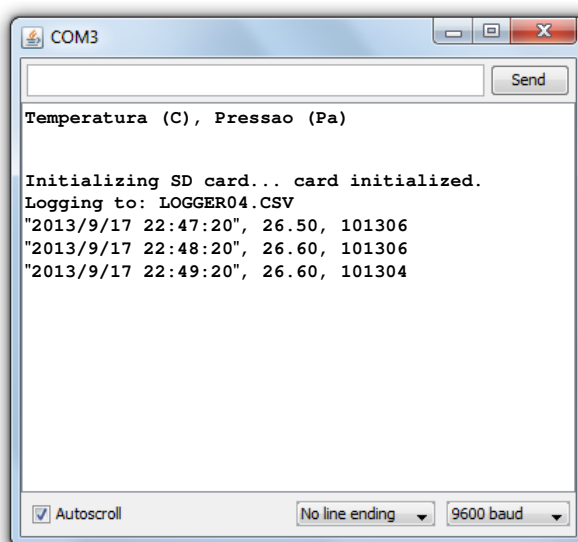
#### 6.1. Algumas propostas para o professor

Para a aplicação em aula da atividade experimental investigativa *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino*, o professor de Física do Ensino Médio deverá reservar um tempo do planejamento de suas aulas para a montagem do projeto de instrumentação apresentado no Capítulo 4. Se o professor achar conveniente, os alunos mais interessados também podem ser envolvidos na montagem do experimento, através de contribuições extraclasse. Realizada a montagem, o aparato experimental poderá ser utilizado com diferentes turmas, permitindo, inclusive, que a atividade seja reaplicada em diferentes anos letivos. Apesar disso, recomenda-se que o professor de Física eventualmente pesquise sobre novas placas Arduino que estejam sendo desenvolvidas ou que já estejam disponíveis no mercado e acompanhe as modificações produzidas nos *sketches*. Da mesma maneira, caberá ao professor avaliar a viabilidade de utilização de outro sensor de pressão barométrica e/ou de outro *data logging shield*, que não aqueles sugeridos no Capítulo 4.

Após a fase de planejamento, recomenda-se que a implantação da atividade experimental investigativa seja precedida de uma apresentação do projeto aos estudantes, na qual o professor de Física deverá expor os objetivos pedagógicos de uma atividade investigativa. Sendo assim, o docente deve tentar deixar claro para os alunos quais são as características de um estudo investigativo e que aspectos didáticos justificam o desenvolvimento de uma atividade experimental investigativa (Capítulo 1), não se limitando a mostrar o aparato experimental aos alunos.



Sobre o uso do aparato experimental para a coleta de medidas de pressão e temperatura, convém salientar que as medidas são automatizadas, o que significa dizer que o conjunto experimental opera de forma independente. Entretanto, sugerimos que o professor de Física mostre aos estudantes o sensor barométrico em funcionamento, antes de realizar as sequências de medidas de pressão e temperatura que serão salvas no cartão de memória para que possam ser posteriormente analisadas. Para mostrar aos alunos o sensor BMP085 coletando as medidas, o professor pode apresentar a visualização dos dados através do *serial monitor*<sup>100</sup> do IDE Arduino (Figura 62).



**FIGURA 62 – Exemplo de visualização no *serial monitor* do IDE Arduino**

Depois que os alunos verificarem que o sensor barométrico efetivamente é capaz de realizar as medidas da pressão atmosférica e da temperatura ambiente, o professor poderá combinar o melhor local<sup>101</sup> para a coleta de uma sequência de dados.

<sup>100</sup> Algumas considerações sobre o uso do *serial monitor* do IDE Arduino encontram-se no Apêndice E.6.

<sup>101</sup> O local deve proteger o conjunto experimental de intempéries e deve dispor de uma tomada para a fonte de alimentação do conjunto.

Uma discussão interessante que também pode estar presente em algum momento da aplicação em aula da atividade experimental investigativa diz respeito ao princípio de funcionamento do sensor BMP085. Este sensor barométrico funciona a partir de um componente piezoresistivo [Bosch 2009], e um estudo de suas características básicas não só proporcionará a aprendizagem de novos conceitos físicos como também permitirá a comparação entre diferentes instrumentos e/ou técnicas de medição, sobretudo se o professor incluir nas discussões uma abordagem histórica que contemple uma análise do barômetro de Torricelli. Nesse sentido, configura-se uma oportunidade para os estudantes aprenderem um pouco sobre a evolução de técnicas experimentais e de instrumentos de medida.

## **6.2. Algumas propostas para os estudantes**

Sob a orientação do professor de Física, os estudantes poderão participar da atividade experimental investigativa procedendo com a análise dos dados de maré obtidos junto ao BNDO e de pressão e temperatura fornecidos pelo sensor BMP085. Seria didaticamente muito interessante se estudantes de diferentes localidades pudessem comparar seus resultados experimentais, pois assim teriam novas linhas de investigação para desenvolver. Não sendo possível a troca de informações entre escolas, recomenda-se que sejam extraídos da internet dados experimentais de outras fontes.

No desenrolar das aulas de Física, podem ser abertas duas frentes complementares de investigações pelos alunos: uma qualitativa e a outra quantitativa. Nas investigações qualitativas, devem ser analisados os conceitos físicos relacionados aos fenômenos estudados. Os estudantes devem ser convidados e estimulados pelo professor de Física a sugerir hipóteses ou modelos físicos que expliquem determinados aspectos dos fenômenos investigados. Certamente surgirão nas aulas algumas discussões envolvendo concepções alternativas, criando novas oportunidades para uma abordagem da História da Ciência.

Já nas investigações quantitativas, os alunos poderão explorar os dados construindo gráficos e analisando o comportamento das medidas, procurando determinar quais as grandezas físicas relevantes para a descrição dos fenômenos observados e tentando estabelecer relações entre elas. Nesse sentido, poderão ser desenvolvidas equações e propostos modelos matemáticos relacionados a hipóteses, modelos físicos, leis e teorias científicas.

Finalmente, é essencial destacar que todos os estudantes devem participar tanto das investigações qualitativas quanto das quantitativas, pois ambas as frentes de investigações são complementares. Além disso, a atividade experimental investigativa deve ser encarada como promotora de uma aprendizagem em Física que contemple diferentes dimensões: conceitual, matemática, histórica, técnica e filosófica.

### **6.3. Oportunidades de aprendizagem**

No desenvolvimento e aplicação da atividade experimental investigativa sobre as marés atmosféricas e as marés oceânicas, o professor tem a oportunidade de trabalhar com os estudantes diversos conceitos físicos. Além de promover condições para a aprendizagem de conteúdos da Física, a atividade experimental investigativa proposta também permite que os estudantes desenvolvam uma postura investigativa frente ao conhecimento e aos fenômenos físicos. Quanto ao trabalho experimental, pode-se afirmar que a experimentação automatizada agiliza e amplia a tomada de dados, liberando o tempo dos estudantes e do professor para a discussão dos resultados, com a formulação de hipóteses ou modelos físicos e matemáticos que expliquem e/ou descrevam os fenômenos estudados. Além disso, quando bem conduzida, uma atividade experimental investigativa apresenta um aspecto motivacional extremamente importante: ao despertar um maior interesse por parte dos alunos, facilita-se o processo de aprendizagem. A Tabela 12 a seguir destaca aspectos relativos a algumas oportunidades de aprendizagem decorrentes da aplicação da atividade experimental investigativa proposta nesta dissertação.

**TABELA 12 – Oportunidades de aprendizagem potencialmente produzidas pela atividade experimental investigativa**

<i>ASPECTOS</i>	<i>OPORTUNIDADES DE APRENDIZAGEM</i>
<i>CONTEÚDOS DE FÍSICA</i>	<p><i>Mecânica:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Força gravitacional e aceleração da gravidade.</li> <li>• Referenciais inerciais e não inerciais.</li> </ul> <p><i>Termodinâmica:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura e termômetros.</li> <li>• Transmissão do calor por irradiação.</li> <li>• Pressão atmosférica e escalas barométricas.</li> <li>• Pressão de vapor.</li> <li>• Gás ideal e Teoria Cinética.</li> <li>• Equação de estado e transformações gasosas.</li> </ul> <p><i>Física ondulatória:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oscilações.</li> <li>• Harmônicos.</li> <li>• Batimentos.</li> <li>• Análise de Fourier.</li> </ul> <p>Outros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marés oceânicas × marés atmosféricas.</li> <li>• Astronomia: características do movimento lunar.</li> <li>• Estrutura e composição da atmosfera terrestre.</li> <li>• Piezoresistividade.</li> </ul>
<i>METODOLOGIA EXPERIMENTAL</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamento e representação de dados/medidas.</li> <li>• Interpretação de resultados experimentais e sua relação com modelos físicos, leis e teorias.</li> </ul>
<i>LINGUAGEM MATEMÁTICA</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construção e análise de gráficos.</li> <li>• Descrição matemática de fenômenos físicos.</li> </ul>
<i>HISTÓRIA DA CIÊNCIA</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Termobaroscópio × barômetro.</li> <li>• Existência do vácuo.</li> <li>• Nascimento do conceito de pressão atmosférica.</li> <li>• Evolução das ideias da Física.</li> </ul>
<i>FILOSOFIA DA CIÊNCIA</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecimento físico: resultado de um processo histórico e social.</li> <li>• Aspectos do conhecimento físico: conceituação (ideias/modelos), matematização, experimentação.</li> </ul>
<i>DIMENSÃO PEDAGÓGICA</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formação de uma cultura científica (visão de mundo, de Ciência e do fazer científico).</li> <li>• Desenvolvimento de uma postura investigativa.</li> <li>• Superação de concepções alternativas.</li> <li>• Passagem de uma linguagem cotidiana para uma linguagem científica.</li> </ul>

## 6.4. Participantes do piloto do projeto

O piloto do projeto *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino* foi aplicado na Escola Técnica Estadual Henrique Lage (ETEHL), situada na cidade de Niterói/RJ. A Tabela 13 apresenta características das turmas participantes do projeto.

**TABELA 13 – Turmas participantes do piloto do projeto da atividade experimental investigativa**

<i>INSTITUIÇÃO</i>	Escola Técnica Estadual Henrique Lage Rua Guimarães Júnior, nº 182, Barreto – Niterói/RJ				
<i>TURMA</i>	1231	1232	2231	2331	2431
<i>NÍVEL DE ENSINO</i>	EM	EM	EM	EM	EM
<i>SÉRIE</i>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
<i>CURSO</i>	Eletrônica	Eletrônica	Eletrônica	Eletrotécnica	Estruturas Navais
<i>Nº DE ALUNOS</i>	30	27	24	26	17

A ETE Henrique Lage oferece ensino profissional técnico de nível médio, onde os estudantes podem cursar o Ensino Médio de formação geral integrado à educação profissionalizante em um dos seguintes cursos: Edificações, Eletrônica, Eletrotécnica, Estruturas Navais ou Máquinas Navais. As turmas que participaram do piloto do projeto são todas da 3<sup>a</sup> série EM, sendo a maior parte do Curso Técnico em Eletrônica. Apesar da atividade experimental investigativa proposta nesta dissertação ter sido primeiramente aplicada a alunos de cursos técnicos, é fundamental destacar que o projeto experimental *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino* não é voltado exclusivamente para estudantes que curse a educação profissionalizante. Sendo assim, os professores de Física podem aplicar em suas aulas a atividade experimental investigativa sobre as marés atmosféricas em escolas de nível médio que sejam voltadas apenas

para a formação geral. Cabe ressaltar ainda que, no caso particular da implantação do projeto experimental investigativo na ETEHL, a atividade foi desenvolvida nas aulas de Física, disciplina que compõe o núcleo da formação geral do Ensino Médio, e não nas aulas de uma das disciplinas que compõem o núcleo da formação técnica.

## 6.5. Relatos dos estudantes

No decorrer da aplicação do piloto do projeto *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino*, foram colhidos relatos dos estudantes da ETEHL que transmitiram suas impressões sobre o roteiro didático e as atividades desenvolvidas nas aulas. Opiniões dos alunos sobre a atividade experimental investigativa, bem como alguns de seus argumentos, ideias e concepções que surgiram no desenvolvimento da atividade, estão expostas a seguir em três blocos.

**A)** O material instrucional (produto da dissertação), o caráter investigativo da atividade experimental e a percepção da aprendizagem em Física:

*“Gostei da linguagem utilizada [no roteiro didático], porque... o autor conversa como se estivesse ao vivo comigo, e dá para entender o que se explica.”*

*Aluna 2431-13, 18 anos*

*“As aulas práticas me mostraram a parte legal de qualquer matéria... e isso me deu uma vontade maior de aprender Física.”*

*Aluno 1232-02, 17 anos*

*“Esse estudo ajudou muito a esclarecer dúvidas sobre o conteúdo... [e] tornou as aulas mais dinâmicas...”*

*Aluno 2331-28, 17 anos*

*“Estou aprendendo com mais facilidade... Com esses experimentos nós nos aproximamos da prática, facilitando o entendimento da teoria. [Na atividade experimental investigativa] ...uma coisa completa a outra. O experimento e os gráficos servem para introduzir o pensamento de que há variação. A leitura e estudo [do roteiro didático] explicam o porquê dessa variação e as discussões concluem o pensamento.”*

*Aluno 2431-19, 17 anos*

*“Estou gostando do projeto porque com a placa Arduino conseguimos medir a temperatura e a pressão de uma forma prática, rápida e precisa. Com esse projeto, as aulas ficam mais dinâmicas também.”*

*Aluno 2331-23, 18 anos*

*“[A atividade experimental investigativa provocou] ...uma maior interação dos alunos nas aulas, tornando a aula mais participativa, e foi um assunto que interessou os alunos, chamando nossa atenção. ... Com certeza estamos aprendendo com mais facilidade...”*

*Aluno 2331-22, 17 anos*

*“[A atividade experimental investigativa] ...nos mostrou de forma prática conceitos físicos que, às vezes, são difíceis de serem entendidos, facilitando assim o aprendizado das equações e dos conceitos físicos.”*

*Aluno 1232-01, 17 anos*

*“O texto [roteiro didático] apresenta muitas perguntas sem respostas imediatas.”*

*Aluno 1232-08, 18 anos*

*“Poderiam aparecer cálculos matemáticos [no roteiro didático] para que pudéssemos ter uma noção do cálculo da pressão atmosférica...”*

*Aluna 2431-12, 17 anos*

Sobre o penúltimo relato (Aluno 1232-08) convém lembrar da dificuldade que muitos alunos podem apresentar com o desenvolvimento de uma atividade experimental investigativa, uma vez que a dimensão investigativa é pouco explorada no processo de ensino-aprendizagem em Física. Sendo assim, alunos que estão habituados com “respostas imediatas” tendem a apresentar certa resistência ao participarem de atividades experimentais investigativas. De forma análoga, o último relato (Aluna 2431-12) expressa certa indisposição no desenvolvimento de modelos matemáticos que expliquem os fenômenos físicos observados ou que se ajustem às grandezas físicas aferidas nos experimentos. Nesse caso, alguns alunos lançam questionamentos do tipo “Afim, qual é a equação?”, que também indicam uma busca por respostas prontas.

Concluindo o primeiro bloco de idéias e opiniões dos estudantes, é interessante destacar a fala da Aluna 1232-13 abaixo, acerca da expansão de atividades experimentais investigativas sobre outros temas da Física.

*“[A partir] ...desse projeto poderíamos construir outros [projetos experimentais investigativos] usando os conceitos de Física.”*

*Aluna 1232-13, 17 anos*

**B)** A elaboração e a análise de gráficos feitas pelos alunos no desenvolvimento da atividade experimental investigativa: <sup>102</sup>

*“[Os gráficos] ...fizeram a diferença, pois ajudaram [o aluno] a compreender mais... os fenômenos estudados.”*

*Aluno 2331-28, 17 anos*

---

<sup>102</sup> Alguns dos gráficos produzidos pelos alunos da ETEHL estão disponíveis no Apêndice F.



*“[Nos gráficos] ...temos dados reais com experimentos feitos com os alunos.”*

*Aluno 1232-08, 18 anos*

*“Os gráficos mostraram as medidas reais... [e] nos deram uma percepção mais realista [dos fenômenos].”*

*Aluna 2431-12, 17 anos*

*“[Os gráficos] ...ajudaram bastante no entendimento das variações, ... principalmente quando a diferença era de dias ou até semanas.”*

*Aluno 1232-01, 17 anos*

*“Os gráficos fizeram uma grande diferença... [pois vimos] oscilações causadas por alguns elementos... que nem sabíamos que... [existiam] na superfície terrestre.”*

*Aluno 2331-22, 17 anos*

*“... consegui compreender o motivo das linhas dos gráficos oscilarem tanto. Sempre tive curiosidade em saber isso. Principalmente das marés oceânicas, que em um dia estão altas e no outro, baixas.”*

*Aluno 2331-23, 18 anos*

*“Os gráficos despertaram a curiosidade sobre o motivo das variações de temperatura, de maré e de pressão. Mas eu fui aprender mesmo nas discussões em aula.”*

*Aluno 2431-19, 17 anos*

Nesta última fala, destaca-se a importância da qualidade do debate em aula que deve ser promovido pelo professor de Física no decorrer da aplicação de uma atividade experimental investigativa. Assim, é fundamental que os alunos sejam estimulados a elaborarem e confrontarem modelos matemáticos e físicos na tentativa de explicarem os resultados experimentais.

**C)** A inserção de assuntos ligados à História da Ciência no desenvolvimento da atividade experimental investigativa:

*“... por uma forma descontraída e com assuntos... que despertam o nosso interesse... [a História da Ciência] ...fez o aluno querer saber o porquê, então aprendemos mais.”*

*Aluno 2331-22, 17 anos*

*“Achei muito interessante a forma com que ele [Torricelli] fez o experimento e descobriu como funciona a pressão atmosférica.”*

*Aluna 2331-02, 17 anos*

*“A experiência de Torricelli [me] ajudou a entender o conceito de pressão atmosférica.”*

*Aluno 1232-01, 17 anos*

*“Muito clara e satisfatória a explicação de Torricelli [sobre a ação da pressão atmosférica no barômetro], pois acaba com a dúvida sobre o ‘vácuo produzir força’... A suposta ‘teoria da força do vácuo’ não tem fundamento pois foi criada pelo senso comum... Deveria ter como calcular a força do vácuo... Como não tem, então não tem como melhorar essa suposta teoria...”*

*Aluno 2331-28, 17 anos*

Estes foram alguns dos relatos colhidos dos estudantes da ETE Henrique Lage que participaram do piloto do projeto *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino*.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma atividade experimental investigativa sobre o fenômeno das marés atmosféricas e sua comparação com as marés oceânicas permitiu que fossem explorados diversos temas considerados relevantes para a aprendizagem em Física no Ensino Médio.

O embasamento teórico contido no capítulo de abertura desta dissertação fez referência aos novos rumos traçados para o Ensino Médio brasileiro, em especial para o ensino de Física, sem deixar de lado duas importantes considerações já consolidadas acerca da aprendizagem desta ciência: a manifestação das concepções alternativas e a contribuição da História da Ciência. Nessa perspectiva, os capítulos seguintes apresentaram aspectos históricos envolvendo as marés oceânicas e a pressão atmosférica, além de exporem também considerações matemáticas e físicas sobre esses assuntos.

Demonstrou-se que a automação da medida da pressão atmosférica através da aplicação de um projeto de instrumentação baseado no uso do Arduino libera os estudantes e o professor para aquilo que é o cerne de uma atividade experimental investigativa: a discussão dos resultados experimentais e o levantamento de modelos físicos e matemáticos que expliquem tais resultados. O objetivo da atividade é claro: possibilitar uma aprendizagem mais ampla e profunda de conceitos e fenômenos físicos, sem deixar de lado tanto aspectos matemáticos quanto experimentais. Afinal, a Física é uma ciência experimental que se fundamenta em uma linguagem matemática.

Todos os resultados obtidos com a atividade experimental investigativa interagem com o roteiro didático *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino* (Anexo I), que constitui o produto educacional desta dissertação. Um ensaio da atividade proposta foi aplicado a alunos de cinco turmas da 3ª série do Ensino Médio da Escola Técnica Estadual Henrique Lage, situada em Niterói/RJ. Os alunos

reagiram de forma participativa e interessada, manifestando um aprendizado efetivo dos conceitos físicos abordados. A atividade, inicialmente planejada para ocupar de 6 a 8 tempos de aula, estendeu-se entre 10 e 12 horas-aula na ETEHL, em virtude do grande interesse demonstrado pelos estudantes, principalmente dos que participam do Curso de Eletrônica. Entretanto, convém lembrar que a atividade não foi planejada para ser aplicada apenas para alunos de cursos técnicos, podendo ser implementada no Ensino Médio de formação geral.

Os passos futuros do projeto de instrumentação *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino* incluem:

- 1) Um levantamento pormenorizado da aprendizagem de conceitos físicos por parte dos estudantes, incluindo uma análise da capacidade de resolução de situações-problema envolvendo aspectos quantitativos (situações com cálculos matemáticos) e qualitativos (situações conceituais).
- 2) A expansão da atividade experimental investigativa para um conjunto de escolas através de uma rede de informações, com a aplicação de recursos que possibilitem um aprimoramento do conjunto experimental utilizado, como, por exemplo, o uso do Arduino Ethernet Shield compatível com o Arduino Uno ou o uso da placa Arduino Ethernet (que dispensa o uso de um *ethernet shield* por apresentar as funcionalidades combinadas do Arduino Uno e do Arduino Ethernet Shield).

## Referências Bibliográficas

### [Adafruit 2013] Adafruit Industries, *Adafruit Website*.

Disponível em:

<http://www.adafruit.com/products/243> (*Adafruit Data logging shield for Arduino*)

<http://www.adafruit.com/products/1141> (*Adafruit Assembled Data logging shield for Arduino*)

Página principal:

<http://www.adafruit.com/>

Acesso em setembro de 2013.

### [Arduino 2013] Arduino, *Arduino Website*.

Disponível em:

<http://arduino.cc/en/Main/Software> (*Arduino IDE atual - Download the Arduino Software*)

<http://arduino.cc/en/Main/OldSoftwareReleases> (*Arduino IDE anteriores - Previous IDE Versions*)

<http://arduino.cc/en/Main/Products> (*Placas, shields e acessórios - Products*)

<http://arduino.cc/en/Products.Compare> (*Características das atuais placas Arduino - Specs Compare*)

<http://arduino.cc/en/Main/Boards> (*Referência de produtos Arduino atuais e antigos - Hardware Index*)

Página principal:

<http://www.arduino.cc/>

Acesso em setembro de 2013.

### [Asimov 1993] Isaac Asimov, *Cronologia das Ciências e das Descobertas*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1993.

### [Bildr 2011] bildr.blog , *Sensing Barometric Pressure: BMP085 + Arduino*.

Disponível em:

<http://bildr.org/blog/wp-content/uploads/2011/06/BMP085-hookup.png>

Página principal:

<http://bildr.org/2011/06/bmp085-arduino/>

Acesso em julho de 2013.

### [Borges 2002] A. Tarciso Borges, *Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências*, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, vol. 19, nº 3, p. 291-313, dez/2002.

Disponível em:

<http://www.fsc.ufsc.br/cbef/port/19-3/artpdf/a1.pdf>

Página principal:

<http://www.fsc.ufsc.br/cbef/port/19-3/>

Acesso em agosto de 2013.

### [Bosch 2009] Bosch Sensortec, *Data Sheet BMP085 Digital Pressure Sensor*, revisão 1.3 de 22/ago/2011.

Disponível em:

<http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Pressure/BST-BMP085-DS000-06.pdf>

Acesso em julho de 2013.

### [BRI 2013] University of Delaware & National Science Foundation, Bartol Research Institute, *Bartol Research Institute Neutron Monitor Data*.

Disponível em:

[http://neutronm.bartol.udel.edu/~pyle/bri\\_table.html](http://neutronm.bartol.udel.edu/~pyle/bri_table.html)

Página principal:

<http://neutronm.bartol.udel.edu/>

Acesso em novembro de 2013.

**[Britannica 2013]** Encyclopædia Britannica, *Troposphere*.

Disponível em:

<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/606688/troposphere>

Página principal:

<http://www.britannica.com/>

Acesso em novembro de 2013.

**[Bryan 2008]** Wikimedia Commons, *File: Sdaptersandcards.jpg*.

Disponível em:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/Sdaptersandcards.jpg>

Página principal:

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sdaptersandcards.jpg?uselang=en>

Acesso em outubro de 2013.

**[Calendário-365 2013]** Calendário-365, *Fases da Lua*.

Disponível em:

<http://www.calendario-365.com.br/lua/fases-da-lua.html>

Acesso em agosto de 2013.

**[Carvalho 2011]** Anna Maria Pessoa de Carvalho, *Ensino e aprendizagem de ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das Sequências de Ensino Investigativas (SEI)*. In: Marcos Daniel Longhini, *O Uno e o Diverso na Educação*, p. 253-266. Uberlândia/MG: EDUFU, 2011.

**[CHM 2010]** CHM (Centro de Hidrografia da Marinha) – DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação), *Banco Nacional de Dados Oceanográficos: Acesso a Dados / Produtos*.

Disponível em:

[http://www.mar.mil.br/dhn/chm/chm\\_new/acesso\\_dados.html](http://www.mar.mil.br/dhn/chm/chm_new/acesso_dados.html)

Página principal:

[http://www.mar.mil.br/dhn/chm/chm\\_new/bndo.htm](http://www.mar.mil.br/dhn/chm/chm_new/bndo.htm)

Acesso em agosto de 2013.

**[CIA 2013]** CIA (Central Intelligence Agency), *The World Factbook: References: Regional and world maps: Standard time zones of the world*.

Disponível em:

[https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/graphics/ref\\_maps/physical/pdf/standard\\_time\\_zones\\_of\\_the\\_world.pdf](https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/graphics/ref_maps/physical/pdf/standard_time_zones_of_the_world.pdf)

Página principal:

<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>

Acesso em novembro de 2013.

**[CRC 2005]** David R. Lide, *CRC Handbook of Chemistry and Physics - Internet Version 2005*, CRC Press, 2005.

Disponível em:

<http://ftl.ru/biblioteka/spravo4niki/handbook-of-Chemistry-and-Physics.pdf>

Acesso em julho de 2013.

**[Daft Logic 2013a]** Daft Logic, *Google Maps Find Altitude*.

Disponível em:

<http://www.daftlogic.com/sandbox-google-maps-find-altitude.htm>

Página principal:

<http://www.daftlogic.com/>

Acesso em novembro de 2013.

**[Daft Logic 2013b]** Daft Logic, *Google Maps Distance Calculator*.

Disponível em:

<http://www.daftlogic.com/projects-google-maps-distance-calculator.htm>

Página principal:

<http://www.daftlogic.com/>

Acesso em novembro de 2013.

**[Dias 2008]** João M. Alveirinho Dias, *Glossário das Zonas Costeiras: Maré*, Revista de Gestão Costeira Integrada, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2008.

Disponível em:

<http://www.aprh.pt/rgci/glossario/mare.html>

Página principal:

<http://www.aprh.pt/rgci/index.html>

Acesso em novembro de 2013.

**[DHN 2013]** DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação), *Tábuas das marés: informações*.

Disponível em:

<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/infotmares2013.htm>

Acesso em agosto de 2013.

**[FEMAR 2013]** FEMAR (Fundação de Estudos do Mar), *Estações Maregráficas*.

Disponível em:

[http://www.fundacaofemar.org.br/\\_estacoes-indice.php](http://www.fundacaofemar.org.br/_estacoes-indice.php)

Página principal:

<http://www.fundacaofemar.org.br/>

Acesso em setembro de 2013.

**[FNDE 2008]** FNDE (Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação), *Física: Catálogo do PNLEM/2009*. Brasília: Ministério da Educação – Secretaria de Educação Básica, 2008.

Disponível em:

<http://www.fnde.gov.br/arquivos/category/125-guias?download=7573:pnlem-2009-fisica>

Página principal:

<http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico/guia-do-livro/item/3812-guia-pnlem-2009>

Acesso em setembro de 2013.

**[FNDE 2011]** FNDE (Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação), *Guia de Livros Didáticos PNLD 2012: Física*. Brasília: Ministério da Educação – Secretaria de Educação Básica, 2011.

Disponível em:

<http://www.fnde.gov.br/arquivos/category/125-guias?download=5507:pnld-2012-fisica>

Página principal:

<http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico/guia-do-livro/item/2988-guia-pnld-2012-ensino-medio>

Acesso em setembro de 2013.

**[FNDE 2012a]** Portal do FNDE (Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação), *Programas / PNLD: Apresentação*.

Disponível em:

<http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico/livro-didatico-apresentacao>

Página principal:

<http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico>

Acesso em setembro de 2013.

**[FNDE 2012b]** Portal do FNDE (Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação), *Programas / PNLD: Histórico*.

Disponível em:

<http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico/livro-didatico-historico>

Página principal:

<http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico>

Acesso em setembro de 2013.

**[FNDE 2012c]** Portal do FNDE (Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação), *Programas / PNLD: Legislação*.

Disponível em:

<http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico/livro-didatico-legislacao>

Página principal:

<http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico>

Acesso em setembro de 2013.

**[Fouke 2003]** Daniel C. Fouke, *Pascal's physics*. In: Nicholas Hammond, *The Cambridge Companion to Pascal*, p. 75-78. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

**[Fundy 2013]** Bay of Fundy Tourism Partnership, *Official site of the Bay of Fundy*.

Disponível em:

<http://www.bayoffundytourism.com/>

Acesso em julho de 2013.

**[Galileo 2013]** Galileo Galilei, *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems – The Fourth Day*.

Disponível em:

<http://law2.umkc.edu/faculty/projects/ftrials/galileo/dialogue4.html>

Página principal:

<http://law2.umkc.edu/faculty/projects/ftrials/galileo/dialogue.html>

Acesso em julho de 2013.

**[Galluzzi & Torrini 1975]** P. Galluzzi & M. Torrini, *Opere dei discepoli di Galileo - Carteggio 1642-1648*, vol. I, p. 122-123. Firenze: Giunti-Barbera, 1975.

Disponível em:

<http://www.imss.fi.it/multi/torricel/le110644.html>

Página principal:

<http://www.imss.fi.it/vuoto/eesper2.html>

Acesso em agosto de 2013.

**[Gav235 2009]** Wikipedia – The Free Encyclopedia, *File:Kingdom of Great Britain.png*.

Disponível em:

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5e/Kingdom\\_of\\_Great\\_Britain.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5e/Kingdom_of_Great_Britain.png)

Página principal:

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Kingdom\\_of\\_Great\\_Britain.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Kingdom_of_Great_Britain.png)

Acesso em novembro de 2013.

**[Gigli 1995]** Rossella Gigli, *Galileo's Theory of the Tides*, The Galileo Project, Rice University, 1995.

Disponível em:

<http://galileo.rice.edu/sci/observations/tides.html>

Acesso em julho de 2013.

**[Holmberg & Grusin 2012]** Timothy Holmberg & Mike Grusin, *BMP085 Breakout-v14*, revisão 1.4 de 14/mai/2012.

Disponível em:

<http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Pressure/BMP085%20Breakout-v14.pdf>

Acesso em julho de 2013.

**[Holton 2003]** M. Hagan, J. Forbes & A. Richmond, *Atmospheric Tides*. In: James R. Holton, Judith A. Curry & John A. Pyle, *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*, p. 159-165. Elsevier, 2003.



**[Huber 2006]** Marcia L. Huber, Arno Laesecke & Daniel G. Friend, *The Vapor Pressure of Mercury*, NIST (National Institute of Standards and Technology) / United States Department of Commerce, 2006.

Disponível em:

<http://www.physics.rutgers.edu/~eandrei/389/NISTIR.6643.pdf>

Acesso em julho de 2013.

**[ICCU 2005]** ICCU (Istituto Centrale per il Catalogo Unico) – Internet Culturale Cataloghi e Collezioni Digitali delle Biblioteche Italiane, *Tribuna di Galileo: Catalogo*.

Disponível em:

<http://www.internetculturale.it/opencms/opencms/upload/exhibits3d/tribuna/Desc/images/006.jpg>

Página principal:

[http://www.internetculturale.it/opencms/opencms/it/pagine/percorsi/pagina\\_839.html](http://www.internetculturale.it/opencms/opencms/it/pagine/percorsi/pagina_839.html)

Acesso em julho de 2013.

**[IMSS 1999a]** IMSS (Istituto e Museo di Storia della Scienza), *Horror vacui?*

Disponível em:

<http://www.imss.fi.it/vuoto/eprese6.html>

Acesso em agosto de 2013.

**[IMSS 1999b]** IMSS (Istituto e Museo di Storia della Scienza), *Torricelli's barometric experiment*.

Disponível em:

[http://www.imss.fi.it/vuoto/2766\\_01.jpg](http://www.imss.fi.it/vuoto/2766_01.jpg)

Página principal:

<http://www.imss.fi.it/vuoto/eesper2.html>

Acesso em agosto de 2013.

**[IMSS 2010]** Museo Galileo – Istituto e Museo di Storia della Scienza, *Virtual Museum: Thermoscope (Inv. 2444)*.

Disponível em:

<http://catalogue.museogalileo.it/gallery/Thermoscope.html>

Página principal:

<http://catalogue.museogalileo.it/object/Thermoscope.html>

Acesso em julho de 2013.

**[IUPAC 2013]** IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), *IUPAC Periodic Table of the Elements*, versão de 01/mai/2013.

Disponível em:

[http://www.iupac.org/fileadmin/user\\_upload/news/IUPAC\\_Periodic\\_Table-1May13.pdf](http://www.iupac.org/fileadmin/user_upload/news/IUPAC_Periodic_Table-1May13.pdf)

Acesso em julho de 2013.

**[Japiassú & Marcondes 1996]** Hilton Japiassú & Danilo Marcondes, *Dicionário Básico de Filosofia*, 3ª edição. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1996.

**[Jared 2006]** Wikimedia Commons, *File: Tidal Range.jpg*.

Disponível em:

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Tidal\\_Range.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Tidal_Range.jpg)

Página principal:

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tidal\\_Range.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tidal_Range.jpg)

Acesso em julho de 2013.

**[JetStream 2013]** JetStream - National Weather Service Online School for Weather – NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) – United States Department of Commerce, *JetStream Topics - The Ocean: SeaWater*.

Disponível em:

<http://www.srh.noaa.gov/jetstream/ocean/seawater.htm>

Página principal:

<http://www.srh.noaa.gov/jetstream/index.htm>

Acesso em julho de 2013.

**[King 2010]** Terry King, *Get Arduino*.

Disponível em:

<http://yourduino.com/get-an-arduino.htm>

Acesso em julho de 2013.

**[LabDeGaragem 2012]** Laboratório de Garagem, *Loja Laboratório de Garagem*.

Disponível em:

<http://www.labdegaragem.org/loja/breakout-de-sensor-de-pess-o-barometrica-bmp085.html> (Sensor BMP085)

<http://www.labdegaragem.org/loja/break-away-headers-reto.html> (Pin header 40x1 de 0,1")

<http://www.labdegaragem.org/loja/barra-femea-40-pinos.html> (Barra fêmea 40x1 de 0,1")

Página principal:

<http://www.labdegaragem.org/loja/>

Acesso em julho de 2013.

**[Lindzen 1969]** Richard S. Lindzen & Sydney Chapman, *Atmospheric Tides*, Space Science Reviews, vol. 10, p. 3-188. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company, 1969.

Disponível em:

[http://www-eaps.mit.edu/faculty/lindzen/29\\_Atmos\\_Tides.pdf](http://www-eaps.mit.edu/faculty/lindzen/29_Atmos_Tides.pdf)

Página principal:

<http://www-eaps.mit.edu/faculty/lindzen/PublicationsRSL.html>

Acesso em julho de 2013.

**[Lindzen 1980]** Richard S. Lindzen, *Theory Of Atmospheric Tides*, Journal Of The Meteorological Society Of Japan, vol. 58, nº 4, p. 273-276, 28/ago/1980.

Disponível em:

<http://eaps.mit.edu/faculty/lindzen/93that~1.pdf>

Página principal:

<http://www-eaps.mit.edu/faculty/lindzen/PublicationsRSL.html>

Acesso em julho de 2013.

**[Magie 1935]** William Francis Magie, Letter to Michelangelo Ricci concerning the Barometer, *A Source Book in Physics*. New York: McGraw-Hill, 1935.

Disponível em:

<http://web.lemoyne.edu/~giunta/torr.html>

Acesso em agosto de 2013.

**[Marion 2011]** Jerry B. Marion & Stephen T. Thornton, *Dinâmica Clássica de Partículas e Sistemas*, 5ª edição, p. 174-179. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

**[Matthews 1994]** Michael R. Matthews, *Science teaching: the role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge, 1994.

**[Matthews 1995]** Michael R. Matthews, *História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação*, Caderno Catarinense de Ensino de Física, vol. 12, nº 3, p. 164-214, dez/1995.

Disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/7084/6555>

Página principal:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/issue/view/388>

Acesso em setembro de 2013.

**[Mbeychok 2007]** Milton Beychok, *File: Vapor Pressure Chart.png*.

Disponível em:

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/archive/9/96/20120306204516%21Vapor\\_Pressure\\_Chart.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/archive/9/96/20120306204516%21Vapor_Pressure_Chart.png)

Página principal:

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Vapor\\_Pressure\\_Chart.png](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Vapor_Pressure_Chart.png)

Acesso em julho de 2013.

**[McRoberts 2011]** Michael McRoberts, *Arduino Básico*. São Paulo: Novatec, 2011.

**[MEC 2013]** Portal do MEC (Ministério da Educação), *Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio - PNLEM*.

Disponível em:

[http://portal.mec.gov.br/index.php?id=13608&option=com\\_content&view=article](http://portal.mec.gov.br/index.php?id=13608&option=com_content&view=article)

Acesso em setembro de 2013.

**[Medeiros 1999]** Alexandre Medeiros, *A Termometria: de Galileu a Fahrenheit*. Recife: Liber, 1999.

**[Menezes 2000]** Luis Carlos de Menezes, *Uma Física para o Novo Ensino Médio*, Física na Escola, vol. 1, nº 1, p. 6-8, out/2000.

Disponível em:

<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol1/Num1/artigo2.pdf>

Página principal:

<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol1/Num1/>

Acesso em agosto de 2013.

**[MercadoLivre 2013]** MercadoLivre, *Mercúrio Líquido Metálico Azougue - Construvolts*.

Disponível em:

<http://lista.mercadolivre.com.br/industria-plastica-quimica/mercurio-metalico-liquido>

Acesso em setembro de 2013.

**[NASA 2006]** NASA – Goddard Space Flight Center, *Scientific Visualization Studio*.

Disponível em:

[http://svs.gsfc.nasa.gov/stories/topex/images/TidalPatterns\\_hires.tif](http://svs.gsfc.nasa.gov/stories/topex/images/TidalPatterns_hires.tif)

Página principal:

<http://svs.gsfc.nasa.gov/stories/topex/tides.html>

Acesso em julho de 2013.

**[NASA 2008]** Joseph D. Exline, Arlene S. Levine & Joel S. Levine, *Meteorology: An Educator's Resource for Inquiry-Based Learning for Grades 5-9*, NASA Langley Research Center, 28/ago/2008.

Disponível em:

[http://www.nasa.gov/centers/langley/pdf/220485main\\_MeteorologyTeacherResource508.r5.pdf](http://www.nasa.gov/centers/langley/pdf/220485main_MeteorologyTeacherResource508.r5.pdf)

Página principal:

<http://www.nasa.gov/centers/langley/science/met-guide.html>

Acesso em julho de 2013.

**[NASA 2013]** NASA – National Space Science Data Center, *Lunar and Planetary Science*.

Disponível em:

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html> (Dados sobre a Terra)

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html> (Dados sobre a Lua)

Página principal:

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/>

Acesso em julho de 2013.

**[Ninin 2008]** Maria Otilia Guimarães Ninin, *Pesquisa na escola: Que espaço é esse? O do conteúdo ou o do pensamento crítico?*, Educação em Revista, nº 48, p. 17-35, dez/2008.

Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/edur/n48/a02n48.pdf>

Acesso em setembro de 2013.

**[NIST 2012]** Physical Measurement Laboratory / NIST (National Institute of Standards and Technology) – United States Department of Commerce, *The NIST Reference on Constants, Units and Uncertainty*.

Disponível em:

[http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?gn|search\\_for=adopted\\_in!](http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?gn|search_for=adopted_in!) (Valor padrão de g)

[http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?stdatm|search\\_for=atm](http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?stdatm|search_for=atm) (Valor padrão de 1atm)

[http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?bg|search\\_for=universal\\_in!](http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?bg|search_for=universal_in!) (Constante gravitacional)

[http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?r|search\\_for=physchem\\_in!](http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?r|search_for=physchem_in!) (Valor de R)

Página principal:

<http://physics.nist.gov/cuu/index.html>

Acesso em julho de 2013.

**[NOAA 2013]** NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) – United States Department of Commerce, *Frequently Asked Questions: Where are the highest tides?*

Disponível em:

<http://www.co-ops.nos.noaa.gov/faq2.html#26>

Acesso em julho de 2013.

**[NODC 2001]** Ocean Climate Laboratory / NODC (National Oceanographic Data Center) – NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) – United States Department of Commerce, *World Ocean Atlas 2001: Annual mean salinity (PSS) at the surface*.

Disponível em:

[http://www.srh.noaa.gov/jetstream/ocean/images/avg\\_salinity.pdf](http://www.srh.noaa.gov/jetstream/ocean/images/avg_salinity.pdf)

Acesso em julho de 2013.

**[Nussenzveig 2002a]** H. Moysés Nussenzveig, *Curso de Física Básica, Volume 1: Mecânica*, 4ª edição. São Paulo: Blucher, 2002.

**[Nussenzveig 2002b]** H. Moysés Nussenzveig, *Curso de Física Básica, Volume 2: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor*, 4ª edição. São Paulo: Blucher, 2002.

**[OCEM 2006]** Brasil – Ministério da Educação, *Orientações curriculares para o Ensino Médio: Volume 2 - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*.

Disponível em:

[http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book\\_volume\\_02\\_internet.pdf](http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf)

Página principal:

[http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=13558:politicad-ensino-medio&catid=195:seb-educacao-basica](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=13558:politicad-ensino-medio&catid=195:seb-educacao-basica)

Acesso em agosto de 2013.

**[ONR 2013]** ONR (Office of Naval Research) – United States Department of Defense, *Science and Technology Focus: Oceanography - Ocean Water: Salinity*.

Disponível em:

<http://www.onr.navy.mil/focus/ocean/water/salinity1.htm>

Página principal:

<http://www.onr.navy.mil/focus/default.htm>

Acesso em julho de 2013.

**[PCN+ 2007]** Brasil – Ministério da Educação, *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*, 2007.

Disponível em:

<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>

Página principal:

[http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12598:publicacoes&catid=195:seb-educacao-basica](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=12598:publicacoes&catid=195:seb-educacao-basica)

Acesso em agosto de 2013.

**[PCNEM 2000]** Brasil – Ministério da Educação, *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio: Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*, 2000.

Disponível em:

<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>

Página principal:

[http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12598:publicacoes&catid=195:seb-educacao-basica](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=12598:publicacoes&catid=195:seb-educacao-basica)

Acesso em agosto de 2013.

**[Pegorim 2013a]** Josélia Pegorim, *Frente fria atua no RJ por vários dias*, 17/set/2013.

Disponível em:

<http://www.climatempo.com.br/noticias/178718/frente-fria-atua-no-rj-por-varios-dias/>

Página principal:

<http://www.climatempo.com.br/>

Acesso em novembro de 2013.

**[Pegorim 2013b]** Josélia Pegorim, *Frente fria provoca ventania e frio no RJ*, 14/ago/2013.

Disponível em:

<http://www.climatempo.com.br/noticias/171994/frente-fria-provoca-ventania-e-frio-no-rj/>

Página principal:

<http://www.climatempo.com.br/>

Acesso em novembro de 2013.

**[Plínio 1847]** Caius Plinius Secundus {Plínio, o Velho}, Chapter 97: What is the Reason of the Ebb and Flow of the Sea - Book II: Discourse of the world, of celestial impressions and meteors, as also of those that appear in the air, and upon earth, *Natural History*, p. 132-135. Londres: George Barclay, 1847.

Disponível em:

<http://archive.org/details/plinysnaturalhis00plinrich>

Acesso em julho de 2013.

**[Raisänen 2006]** Oona Raisänen, *File: Atmosphere gas proportions.svg*.

Disponível em:

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7a/Atmosphere\\_gas\\_proportions.svg/2000px-Atmosphere\\_gas\\_proportions.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7a/Atmosphere_gas_proportions.svg/2000px-Atmosphere_gas_proportions.svg.png)

Página principal:

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Atmosphere\\_gas\\_proportions.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Atmosphere_gas_proportions.svg)

Acesso em julho de 2013.

**[Ray & Ponte 2003]** R. D. Ray & R. M. Ponte, *Barometric Tides From ECMWF Operational Analyses*, *Annales Geophysical*, vol. 21, p. 1897-1910, 2003.

Disponível em:

<http://www.ann-geophys.net/21/1897/2003/angeo-21-1897-2003.pdf>

Acesso em julho de 2013.

**[Rival 1997]** Michel Rival, *Os grandes experimentos científicos*, p.18-20. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1997.

**[Roditi 2005]** Itzhak Roditi, *Dicionário Houaiss de Física*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2005.

**[Rosa 2003]** Cleci Werner da Rosa, *Concepções Teórico-Methodológicas no Laboratório Didático de Física na Universidade de Passo Fundo*, Ensaio, vol. 5, nº 2, p. 13-27, out/2003.

Disponível em:

<http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/viewFile/62/100>

Página principal:

<http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/issue/view/22/showToc>

Acesso em agosto de 2013.

**[Sailko 2009]** Wikimedia Commons, *File: Seduta sperimentale dell'Accademia del Cimento, di Gaspero Martellini.JPG*.

Disponível em:

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5a/Seduta\\_sperimentale\\_dell%27Accademia\\_del\\_Cimento%2C\\_di\\_Gaspero\\_Martellini.JPG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5a/Seduta_sperimentale_dell%27Accademia_del_Cimento%2C_di_Gaspero_Martellini.JPG)

Página principal:

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Seduta\\_sperimentale\\_dell%27Accademia\\_del\\_Cimento,\\_di\\_Gaspero\\_Martellini.JPG?uselang=en](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Seduta_sperimentale_dell%27Accademia_del_Cimento,_di_Gaspero_Martellini.JPG?uselang=en)

Acesso em julho de 2013.

**[Sharqawy 2010]** Mostafa H. Sharqawy, John H. Lienhard & Syed M. Zubair, *Thermophysical properties of seawater: a review of existing correlations and data*, Desalination and Water Treatment, 2010.

Disponível em:

[http://web.mit.edu/lienhard/www/Thermophysical\\_properties\\_of\\_seawater-DWT-16-354-2010.pdf](http://web.mit.edu/lienhard/www/Thermophysical_properties_of_seawater-DWT-16-354-2010.pdf)

[http://web.mit.edu/seawater/Seawater\\_Property\\_Tables.pdf](http://web.mit.edu/seawater/Seawater_Property_Tables.pdf) (Anexo: *Tables of properties*)

Página principal:

<http://www.deswater.com/home.php>

Acesso em julho de 2013.

**[SparkFun 2013]** SparkFun Electronics, *SparkFun Website*.

Disponível em:

<https://www.sparkfun.com/products/11021> (Arduino: Boards: Arduino Uno R3)

<https://www.sparkfun.com/tutorials/253> (BMP085)

Página principal:

<https://www.sparkfun.com/>

Acesso em julho de 2013.

**[Thurman 1997]** Harold V. Thurman, *Introductory oceanography*, 8ª edição, p. 264. Prentice Hall, 1997.

**[Tolnai 1908]** Tolnai Világtörténelem, *Pascal barométer kísérlete Rouenben* (ilustração extraída de livro).

Disponível em:

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/Pascal%C2%B4s\\_experiment-Tolnai.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/Pascal%C2%B4s_experiment-Tolnai.jpg)

Página principal:

[http://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:Pascal%C2%B4s\\_experiment-Tolnai.jpg](http://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:Pascal%C2%B4s_experiment-Tolnai.jpg)

Acesso em julho de 2013.

**[UNAM 2013]** UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México) – Instituto de Geofísica – Observatorio de Rayos Cósmicos, *Real time Cosmic Ray Data, México*.

Disponível em:

<http://www.cosmicrays.unam.mx>

Página principal:

[http://www.geofisica.unam.mx/ciencias\\_espaciales/observatorios/r\\_cosmicos.html](http://www.geofisica.unam.mx/ciencias_espaciales/observatorios/r_cosmicos.html)

Acesso em novembro de 2013.

[Vuolo 1996] José Henrique Vuolo, *Fundamentos da Teoria de Erros*, 2ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

[Wallace & Hobbs 2006] John M. Wallace & Peter V. Hobbs, *Atmospheric Science: an introductory survey*, 2ª edição. Elsevier, 2006.

[Wiki 2013a] Wikipedia – The Free Encyclopedia, *Pytheas*.

Disponível em:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Pytheas>

Acesso em julho de 2013.

[Wiki 2013b] Wikipedia – The Free Encyclopedia, *Tide*.

Disponível em:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Tide>

Acesso em julho de 2013.

[Wiki 2013c] Wikipedia – The Free Encyclopedia, *Vapor pressure: examples*.

Disponível em:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Vapor\\_pressure#Examples](https://en.wikipedia.org/wiki/Vapor_pressure#Examples)

Acesso em julho de 2013.

[Wiki 2013d] Wikipedia – The Free Encyclopedia, *Densidades*.

Disponível em:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Diethyl\\_ether](http://en.wikipedia.org/wiki/Diethyl_ether) (Densidade do éter etílico)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Gasoline#Density> (Densidades da gasolina)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Acetone> (Densidade da acetona)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Ethanol> (Densidade do etanol)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Water\\_\(data\\_page\)#Liquid\\_physical\\_properties](http://en.wikipedia.org/wiki/Water_(data_page)#Liquid_physical_properties) (Densidade da água)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Oleic\\_acid](http://en.wikipedia.org/wiki/Oleic_acid) (Densidade do ácido oleico)

[http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%93leo\\_de\\_soja](http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%93leo_de_soja) (Densidade do óleo de soja)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Glycerin> (Densidade da glicerina)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Mercury\\_\(element\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Mercury_(element)) (Densidade do mercúrio)

Acesso em julho de 2013.

[Wiki 2013e] Wikipedia – The Free Encyclopedia, *Blaise Pascal*.

Disponível em:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Blaise\\_Pascal#Contributions\\_to\\_the\\_physical\\_sciences](http://en.wikipedia.org/wiki/Blaise_Pascal#Contributions_to_the_physical_sciences)

Acesso em setembro de 2013.

[Zuffe 2005] Wikimedia Commons, *File: Mareografo.JPG*.

Disponível em:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e7/Mareografo.JPG>

Página principal:

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mareografo.JPG>

Acesso em julho de 2013.

## Apêndice A

### O que encontramos nos livros didáticos ?

Na Seção 1.7 do Capítulo 1 é apresentada uma relação de conteúdos analisados em alguns livros didáticos de Física. No levantamento feito, procurou-se verificar, a partir da aplicação dos critérios estabelecidos na Tabela 14-A abaixo e na Tabela 14-B a seguir, se os livros didáticos abordam determinados conteúdos de uma forma ampla ou restrita, ou se não abordam certos aspectos de um conteúdo. O “nível de abordagem do conteúdo” foi determinado a partir do número de ocorrências dos aspectos verificados.

**TABELA 14-A – Aspectos verificados na análise de conteúdos em livros didáticos de Física**

<i>CONTEÚDO ANALISADO</i>	<i>ASPECTOS VERIFICADOS</i>	<i>NÍVEL DE ABORDAGEM DO CONTEÚDO</i>
<i>Gravitação</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Contexto histórico.</li> <li>⇒ Abordagem qualitativa.</li> <li>⇒ Abordagem quantitativa.</li> <li>⇒ Variações no valor de <math>g</math>.</li> </ul> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> TOTAL DE ASPECTOS VERIFICADOS = 4	Nº de aspectos presentes: 3 ou 4 ⇒ ABORDAGEM AMPLA 1 ou 2 ⇒ ABORDAGEM RESTRITA 0 ⇒ ABORDAGEM AUSENTE
<i>Marés oceânicas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Descrição do fenômeno.</li> <li>⇒ Relação do fenômeno com a gravitação.</li> </ul> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> TOTAL DE ASPECTOS VERIFICADOS = 2	Nº de aspectos presentes: 2 ⇒ ABORDAGEM AMPLA 1 ⇒ ABORDAGEM RESTRITA 0 ⇒ ABORDAGEM AUSENTE
<i>Temperatura e pressão de um gás</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Conceito de gás ideal.</li> <li>⇒ Teoria cinética dos gases.</li> <li>⇒ Equação de estado.</li> </ul> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> TOTAL DE ASPECTOS VERIFICADOS = 3	Nº de aspectos presentes: 3 ⇒ ABORDAGEM AMPLA 1 ou 2 ⇒ ABORDAGEM RESTRITA 0 ⇒ ABORDAGEM AUSENTE
<i>Pressão atmosférica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Conceituação de pressão atmosférica.</li> <li>⇒ Medição da pressão atmosférica.</li> </ul> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> TOTAL DE ASPECTOS VERIFICADOS = 2	Nº de aspectos presentes: 2 ⇒ ABORDAGEM AMPLA 1 ⇒ ABORDAGEM RESTRITA 0 ⇒ ABORDAGEM AUSENTE
<i>Experiência de Torricelli</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Descrição do experimento.</li> <li>⇒ Relevância do experimento na origem do conceito de pressão atmosférica.</li> <li>⇒ Relevância do experimento na discussão sobre a existência do vácuo.</li> </ul> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> TOTAL DE ASPECTOS VERIFICADOS = 3	Nº de aspectos presentes: 3 ⇒ ABORDAGEM AMPLA 1 ou 2 ⇒ ABORDAGEM RESTRITA 0 ⇒ ABORDAGEM AUSENTE






**TABELA 14-B – Aspectos verificados na análise  
de conteúdos em livros didáticos de Física**

<i>CONTEÚDO ANALISADO</i>	<i>ASPECTOS VERIFICADOS</i>	<i>NÍVEL DE ABORDAGEM DO CONTEÚDO</i>
<i>Atmosfera terrestre</i>	⇒ Apresentação da estrutura da atmosfera terrestre. ⇒ Descrição de propriedades físicas e/ou químicas das camadas da atmosfera. ----- TOTAL DE ASPECTOS VERIFICADOS = 2	Nº de aspectos presentes: 2 ⇒ ABORDAGEM AMPLA 1 ⇒ ABORDAGEM RESTRITA 0 ⇒ ABORDAGEM AUSENTE
<i>Oscilações da pressão atmosférica</i>	⇒ Descrição do fenômeno. ⇒ Relação do fenômeno com a ação térmica do Sol. ----- TOTAL DE ASPECTOS VERIFICADOS = 2	Nº de aspectos presentes: 2 ⇒ ABORDAGEM AMPLA 1 ⇒ ABORDAGEM RESTRITA 0 ⇒ ABORDAGEM AUSENTE








Para facilitar a visualização do nível de abordagem dos conteúdos analisados nos livros didáticos de Física, a Tabela 5 presente na Seção 1.7 do Capítulo 1 utiliza a codificação apresentada na Tabela 15 abaixo.








**TABELA 15 – Codificação utilizada para o nível de  
abordagem dos conteúdos de Física analisados**








<i>NÍVEL DE ABORDAGEM DO CONTEÚDO</i>	<i>CODIFICAÇÃO UTILIZADA (Tabela 5, Seção 1.7, Capítulo 1)</i>
ABORDAGEM AMPLA	
ABORDAGEM RESTRITA	
ABORDAGEM AUSENTE	








Os quadros apresentados a seguir fornecem, para cada um dos conteúdos analisados, detalhes das referências dos livros de Física utilizados na análise, com a indicação do volume (no caso de obras que não sejam de volume único), do capítulo, da seção predominante <sup>103</sup> e das páginas onde são encontrados os conteúdos.








<sup>103</sup> Em alguns livros de Física, o volume, os capítulos e/ou as seções dos capítulos não apresentam uma numeração ou uma indicação alfabética de ordem. Nesses casos, diferentes volumes, capítulos e seções são indicados apenas por seus respectivos títulos.








<p style="text-align: center;"><b>“FÍSICA”</b></p> <p style="text-align: center;">Autor: A. Gaspar</p>	GRAVITAÇÃO	MARÉS OCEÂNICAS	TEMPERATURA E PRESSÃO DE UM GÁS	PRESSÃO ATMOSFÉRICA	EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI	ATMOSFERA TERRESTRE	OSCILAÇÕES DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA
							
	VOLUME ÚNICO		VOLUME ÚNICO	VOLUME ÚNICO			
	CAPÍTULO 19 "Gravitação"		CAPÍTULO 33 "Comportamento térmico dos gases"	CAPÍTULO 20 "Hidrostatica (I)"			
	SEÇÃO 3 "Lei da Gravitação Universal"		[ VÁRIAS SEÇÕES ]	SEÇÃO 4 "Pressão total em um líquido em repouso"			
	páginas 181 e 182		páginas 340 a 351	páginas 193 e 194			








<p style="text-align: center;"><b>“CURSO DE FÍSICA”</b></p> <p style="text-align: center;">Autores: A. Máximo &amp; B. Alvarenga</p>	GRAVITAÇÃO	MARÉS OCEÂNICAS	TEMPERATURA E PRESSÃO DE UM GÁS	PRESSÃO ATMOSFÉRICA	EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI	ATMOSFERA TERRESTRE	OSCILAÇÕES DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA
							
	VOLUME 1	VOLUME 1	VOLUME 2	VOLUME 1	VOLUME 1	VOLUME 1	
	CAPÍTULO 6 "Gravitação universal"	CAPÍTULO 6 "Gravitação universal"	CAPÍTULO 2 "Comportamento dos gases"	CAPÍTULO 7 "Hidrostatica"	CAPÍTULO 7 "Hidrostatica"	CAPÍTULO 7 "Hidrostatica"	
	SEÇÃO 6.3 "Gravitação universal" + SEÇÃO 6.5 "Variações da aceleração da gravidade"	SEÇÃO 6.6 "O triunfo da gravitação universal"	[ VÁRIAS SEÇÕES ]	SEÇÃO 7.2 "Pressão atmosférica"	SEÇÃO 7.2 "Pressão atmosférica"	SEÇÃO 7.2 "Pressão atmosférica"	
	páginas 203 a 208, 214 a 217	páginas 218 a 220	páginas 39 a 69	páginas 238 a 243	página 239	página 238	








<p style="text-align: center;">Autores: A. G. Filho &amp; C. Toscano</p> <p style="text-align: center;"><b>“FÍSICA”</b></p>	GRAVITAÇÃO	MARÉS OCEÂNICAS	TEMPERATURA E PRESSÃO DE UM GÁS	PRESSÃO ATMOSFÉRICA	EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI	ATMOSFERA TERRESTRE	OSCILAÇÕES DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA
							
	VOLUME ÚNICO		VOLUME ÚNICO	VOLUME ÚNICO	VOLUME ÚNICO		
	CAPÍTULO "Gravitação"		<p><b>CAPÍTULO</b> (T) "Uma teoria para a temperatura e o calor" + <b>CAPÍTULO</b> (M) "Máquinas térmicas"</p>	<p><b>CAPÍTULO</b> "Estática dos fluidos"</p>	<p><b>CAPÍTULO</b> "Estática dos fluidos"</p>		
	<p><b>SEÇÃO 2</b> "Lei da gravitação universal" + <b>SEÇÃO 3</b> "Campo gravitacional"</p>		<p><b>SEÇÃO 2 (T)</b> "Conceito físico de temperatura" + <b>SEÇÃO 3 (M)</b> "As transformações gasosas no motor do automóvel"</p>	<p><b>SEÇÃO</b> "A medida da pressão atmosférica"</p>	<p><b>SEÇÃO</b> "A medida da pressão atmosférica"</p>		
	páginas 70 a 74		páginas 137 a 140 (T), 184 a 186 (M)	páginas 96 a 98	páginas 96 e 97		








<p style="text-align: center;">Autores: B. Sant'Anna, G. Martini, H. C. Reis &amp; W. Spinelli</p> <p style="text-align: center;"><b>“CONEXÕES COM A FÍSICA”</b></p>	GRAVITAÇÃO	MARÉS OCEÂNICAS	TEMPERATURA E PRESSÃO DE UM GÁS	PRESSÃO ATMOSFÉRICA	EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI	ATMOSFERA TERRESTRE	OSCILAÇÕES DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA	
								
	VOLUME 1 "Estudo dos movimentos, Leis de Newton, Leis da conservação"		VOLUME 2 "Estudo do calor, Óptica geométrica, Fenômenos ondulatórios"	VOLUME 1 "Estudo dos movimentos, Leis de Newton, Leis da conservação"	VOLUME 1 "Estudo dos movimentos, Leis de Newton, Leis da conservação"	VOLUME 1 "Estudo dos movimentos, Leis de Newton, Leis da conservação"		
	CAPÍTULO 18 "Gravitação Universal"		CAPÍTULO 8 "Estudo dos gases e a equação de um gás ideal"	CAPÍTULO 20 "Hidrostática: pressão em fluidos"	CAPÍTULO 20 "Hidrostática: pressão em fluidos"	CAPÍTULO 20 "Hidrostática: pressão em fluidos"		
	<p><b>SEÇÃO 2</b> "Lei da Gravitação Universal" + <b>SEÇÃO 3</b> "Campo gravitacional"</p>		[ VÁRIAS SEÇÕES ]	<p><b>SEÇÃO 3</b> "Pressão atmosférica e pressão em líquidos"</p>	<p><b>SEÇÃO 3</b> "Pressão atmosférica e pressão em líquidos"</p>	<p><b>SEÇÃO 3</b> "Pressão atmosférica e pressão em líquidos"</p>		
	páginas 265 a 271		páginas 144 a 159	páginas 318 a 324	páginas 318 e 320	página 318		








<p style="text-align: center;">Autores: C. M. A. Torres, N. G. Ferraro &amp; P. A. T. Soares</p> <p style="text-align: center;"><b>“FÍSICA – CIÊNCIA E TECNOLOGIA”</b></p>	GRAVITAÇÃO	MARÉS OCEÂNICAS	TEMPERATURA E PRESSÃO DE UM GÁS	PRESSÃO ATMOSFÉRICA	EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI	ATMOSFERA TERRESTRE	OSCILAÇÕES DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA
							
	VOLUME 1 "Mecânica"		VOLUME 2 "Termologia, Óptica, Ondas"	VOLUME 1 "Mecânica"	VOLUME 1 "Mecânica"		
	CAPÍTULO 7 "Gravitação Universal"		CAPÍTULO 1 "Energia térmica e calor"	CAPÍTULO 4 "Hidrostática"	CAPÍTULO 4 "Hidrostática"		
	SEÇÃO 4 "A lei da Gravitação Universal" + SEÇÃO 7 "A aceleração da gravidade"		SEÇÃO 6 "O comportamento térmico dos gases"	SEÇÃO 8 "A pressão atmosférica"	SEÇÃO 8 "A pressão atmosférica"		
	páginas 258 a 263, 272 a 275		páginas 48 a 56	páginas 153 a 155	página 154		

<p style="text-align: center;">Autores: C. Xavier &amp; B. Barreto</p> <p style="text-align: center;"><b>“FÍSICA AULA POR AULA”</b></p>	GRAVITAÇÃO	MARÉS OCEÂNICAS	TEMPERATURA E PRESSÃO DE UM GÁS	PRESSÃO ATMOSFÉRICA	EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI	ATMOSFERA TERRESTRE	OSCILAÇÕES DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA
							
	VOLUME 1 "Mecânica"	VOLUME 1 "Mecânica"	VOLUME 2 "Mecânica dos fluidos, Termologia, Óptica"	VOLUME 2 "Mecânica dos fluidos, Termologia, Óptica"	VOLUME 2 "Mecânica dos fluidos, Termologia, Óptica"		
	CAPÍTULO 15 "As leis da gravitação" + CAPÍTULO 16 "Campo gravitacional"	CAPÍTULO 16 "Campo gravitacional"	CAPÍTULO 12 "Comportamento térmico dos gases"	CAPÍTULO 1 "Pressão"	CAPÍTULO 1 "Pressão"		
	SEÇÃO 5 (Cap. 15) "Lei da Gravitação Universal" + SEÇÃO 2 (Cap. 16) "Intensidade do campo gravitacional"	APÊNDICE "De volta ao começo"	[ VÁRIAS SEÇÕES ]	SEÇÃO 2 "Conceito de pressão atmosférica"	SEÇÃO 2 "Conceito de pressão atmosférica"		
	páginas 321 a 326	página 332	páginas 165 a 185	páginas 41 a 45	página 41		

<p style="text-align: center;"><b>“OS FUNDAMENTOS DA FÍSICA”</b></p>	<p style="text-align: center;">Autores: Ramalho, Nicolau &amp; Toledo</p>						
	GRAVITAÇÃO	MARÉS OCEÂNICAS	TEMPERATURA E PRESSÃO DE UM GÁS	PRESSÃO ATMOSFÉRICA	EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI	ATMOSFERA TERRESTRE	OSCILAÇÕES DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA
							
	VOLUME 1 "Mecânica"		VOLUME 2 "Termodinâmica, Óptica, Ondas"	VOLUME 1 "Mecânica"	VOLUME 1 "Mecânica"		
	CAPÍTULO 17 "A Gravitação Universal"		CAPÍTULO 8 "Estudo dos gases"	CAPÍTULO 20 "Hidrostática"	CAPÍTULO 20 "Hidrostática"		
	SEÇÃO 17.3 "Lei da Gravitação Universal"		[ VÁRIAS SEÇÕES ]	SEÇÃO 20.3.4 "A pressão atmosférica"	SEÇÃO 20.3.4 "A pressão atmosférica"		
páginas 364 a 371		páginas 148 a 170	páginas 428 a 431	página 428			

<p style="text-align: center;"><b>“FÍSICA”</b></p>	<p style="text-align: center;">Autores: Sampato &amp; Calçada</p>						
	GRAVITAÇÃO	MARÉS OCEÂNICAS	TEMPERATURA E PRESSÃO DE UM GÁS	PRESSÃO ATMOSFÉRICA	EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI	ATMOSFERA TERRESTRE	OSCILAÇÕES DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA
							
	VOLUME ÚNICO		VOLUME ÚNICO	VOLUME ÚNICO	VOLUME ÚNICO		
	CAPÍTULO 27 "Gravitação"		CAPÍTULO 36 "Leis dos gases ideais"	CAPÍTULO 29 "Fluidostática: Lei de Stevin"	CAPÍTULO 29 "Fluidostática: Lei de Stevin"		
	SEÇÃO "Lei da gravitação universal" + SEÇÃO "Aceleração da gravidade"		[ VÁRIAS SEÇÕES ]	SEÇÃO "Pressão atmosférica"	SEÇÃO "Pressão atmosférica"		
páginas 145 e 146		páginas 192 a 196	páginas 157 e 158	página 157			

<p style="text-align: center;"><b>“FÍSICA – ENSINO MÉDIO”</b></p>	<p>Autores: L. A. Guimarães &amp; M. Fonte Boa</p>						
	GRAVITAÇÃO	MARÉS OCEÂNICAS	TEMPERATURA E PRESSÃO DE UM GÁS	PRESSÃO ATMOSFÉRICA	EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI	ATMOSFERA TERRESTRE	OSCILAÇÕES DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA
							
	VOLUME "Mecânica"	/	VOLUME "Termologia e Óptica"	VOLUME "Termologia e Óptica" (T) + VOLUME "Mecânica" (M)	VOLUME "Termologia e Óptica" (T) + VOLUME "Mecânica" (M)	VOLUME "Termologia e Óptica"	/
	CAPÍTULO 14 "A Teoria da Gravitação"	/	CAPÍTULO 6 "Gases"	CAPÍTULO 6 (T) "Gases" + CAPÍTULO 20 (M) "Mecânica dos fluidos"	CAPÍTULO 6 (T) "Gases" + CAPÍTULO 20 (M) "Mecânica dos fluidos"	CAPÍTULO 6 "Gases"	/
	[ VÁRIAS SEÇÕES ]	/	[ VÁRIAS SEÇÕES ]	SEÇÃO VI (T) "A atmosfera terrestre" + SEÇÃO V (M) "A pressão atmosférica"	SEÇÃO VI (T) "A atmosfera terrestre" + SEÇÃO V (M) "A pressão atmosférica"	SEÇÃO VI.1.c "A composição da atmosfera"	/
páginas 240 a 249	/	páginas 105 a 129	páginas 130 a 138 (T), 401 a 405 (M)	páginas 132 e 133 (T), 401 (M)	página 136	/	

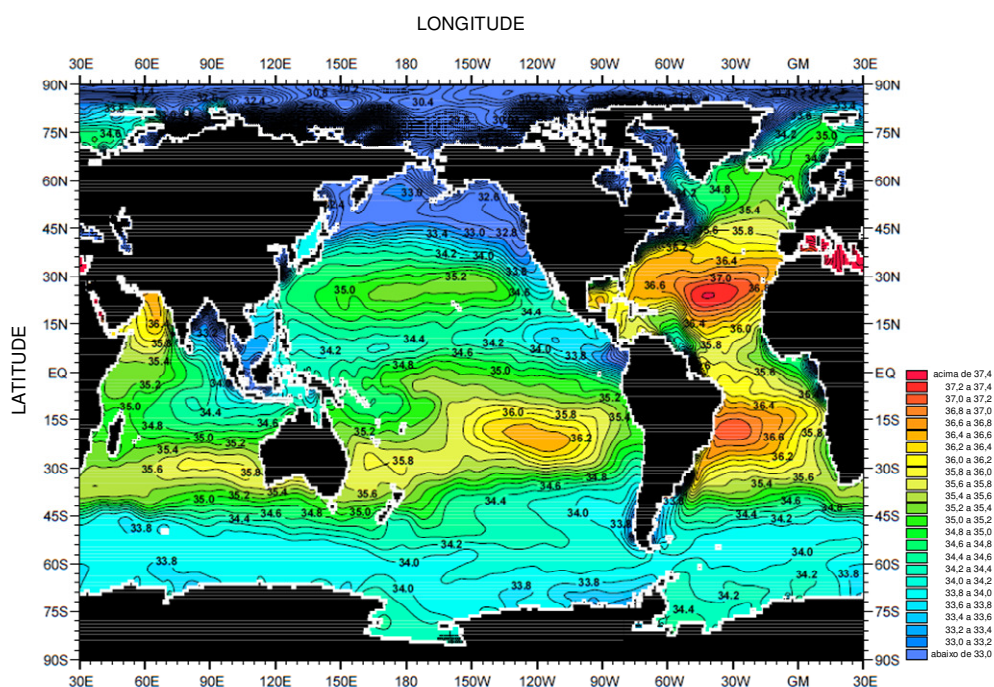
<p style="text-align: center;"><b>“FÍSICA EM CONTEXTOS”</b></p>	<p>Autores: M. Pietrocola, A. Pogibin, R. de Andrade &amp; T. R. Romero</p>						
	GRAVITAÇÃO	MARÉS OCEÂNICAS	TEMPERATURA E PRESSÃO DE UM GÁS	PRESSÃO ATMOSFÉRICA	EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI	ATMOSFERA TERRESTRE	OSCILAÇÕES DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA
							
	VOLUME 1 "Movimento, Força, Astronomia"	VOLUME 1 "Movimento, Força, Astronomia"	VOLUME 2 "Energia, Calor, Imagem e som"	VOLUME 1 "Movimento, Força, Astronomia"	VOLUME 1 "Movimento, Força, Astronomia"	VOLUME 1 "Movimento, Força, Astronomia"	/
	CAPÍTULO 11 "Gravitação universal"	CAPÍTULO 11 "Gravitação universal"	CAPÍTULO 6 "Calor como energia"	CAPÍTULO 8 "Equilíbrio de forças"	CAPÍTULO 8 "Equilíbrio de forças"	CAPÍTULO 8 "Equilíbrio de forças"	/
	SEÇÃO 2 "Newton e a consolidação do sistema heliocêntrico" + SEÇÃO 4 "Campo gravitacional e aceleração da gravidade"	SEÇÃO 2 "Newton e a consolidação do sistema heliocêntrico"	SEÇÃO 2 "Um modelo para calor e matéria" + SEÇÃO 3 "Modelo cinético dos gases"	SEÇÃO "A pressão atmosférica"	SEÇÃO "A pressão atmosférica"	SEÇÃO "A pressão atmosférica"	/
páginas 344 a 350, 355 a 358	páginas 346 e 347	páginas 166 a 190	páginas 246 e 247	página 247	página 247	/	

## Apêndice B

### Dados físicos e informações complementares

#### B.1. Salinidade da água na superfície dos oceanos

A Figura 63 abaixo apresenta um mapa de padrões de salinidade da água na superfície dos oceanos. As medidas apresentadas estão expressas em PSS (*Practical Salinity Scale*) e representam valores médios anuais.



**FIGURA 63 – Média anual da salinidade da água na superfície dos oceanos**<sup>104</sup>

#### B.2. Pressões hidrostáticas correspondentes a 1 atm

Para efeito de comparação com o mercúrio, a Tabela 16 a seguir apresenta valores aproximados das alturas de colunas líquidas cujas pressões

<sup>104</sup> Fonte: Adaptado de *World Ocean Atlas 2001* [NODC 2001].

hidrostáticas correspondem a uma pressão atmosférica de 1 atm (101.325 Pa), considerando-se líquidos com temperaturas entre 20 °C e 25 °C.

**TABELA 16 – Alturas de colunas líquidas capazes de produzir pressões hidrostáticas de 1 atm (101.325 Pa)**

<i>SUBSTÂNCIA LÍQUIDA</i>	<i>DENSIDADE MÉDIA</i> <sup>105</sup>	<i>ALTURA DA COLUNA LÍQUIDA (para uma pressão hidrostática de 1 atm)</i>
éter etílico	0,71 g/mℓ	14,5 m
gasolina	0,71 a 0,77 g/mℓ	14,5 a 13,4 m
acetona	0,79 g/mℓ	13,1 m
etanol	0,79 g/mℓ	13,1 m
ácido oleico	0,90 g/mℓ	11,5 m
óleo de soja	0,93 g/mℓ	11,1 m
água	1,0 g/mℓ	10,3 m
glicerina	1,26 g/mℓ	8,2 m
mercúrio	13,5 g/mℓ	0,76 m

### B.3. Valores de pressão de vapor

Para efeito de comparação com o mercúrio, a Tabela 17 abaixo apresenta, para uma temperatura de 20 °C, valores de pressão de vapor de algumas substâncias.

**TABELA 17 – Exemplos de valores de pressão de vapor (20 °C)**<sup>106</sup>

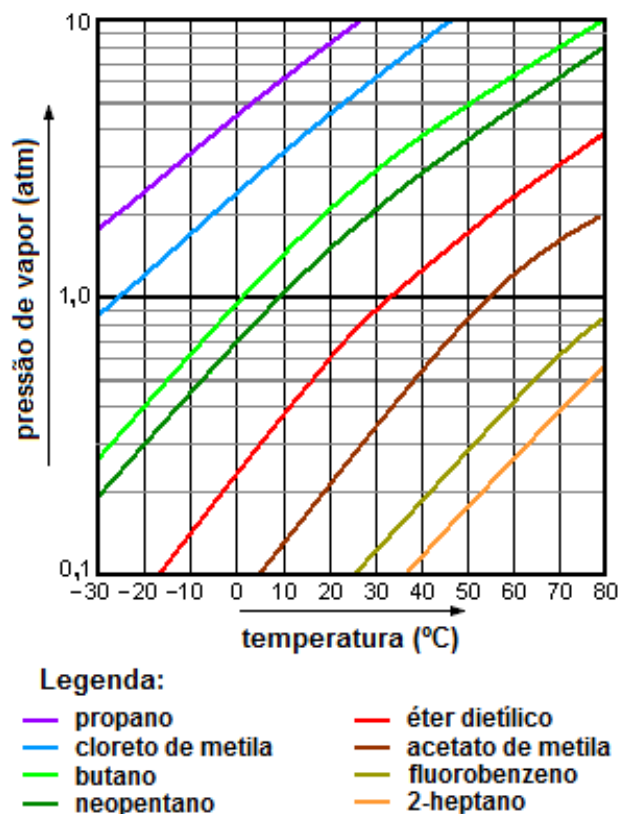
<i>SUBSTÂNCIA</i>	<i>PRESSÃO DE VAPOR</i>			
mercúrio	0,17 Pa	1,7 mbar	$1,7 \times 10^{-6}$ atm	$1,3 \times 10^{-3}$ mmHg
etilenoglicol	0,5 kPa	5 mbar	$4,9 \times 10^{-3}$ atm	3,75 mmHg
água	2,3 kPa	23 mbar	$2,3 \times 10^{-2}$ atm	17,5 mmHg
propanol	2,4 kPa	24 mbar	$2,4 \times 10^{-2}$ atm	18,0 mmHg
etanol	5,83 kPa	58,3 mbar	$5,8 \times 10^{-2}$ atm	43,7 mmHg
freon-113	37,9 kPa	379 mbar	0,37 atm	284 mmHg
acetaldeído	98,7 kPa	987 mbar	0,97 atm	740 mmHg
butano	220 kPa	2,20 bar	2,2 atm	1.650 mmHg
formaldeído	435,7 kPa	4,357 bar	4,3 atm	3.268 mmHg
dióxido de carbono	5,7 MPa	57 bar	56 atm	42.753 mmHg

<sup>105</sup> Fonte: Dados adaptados de *Wikipedia – The Free Encyclopedia* [Wiki 2013d].

<sup>106</sup> Fonte: Dados adaptados de *Vapor pressure: examples* [Wiki 2013c], exceto a pressão de vapor do mercúrio, cujo valor é uma estimativa adaptada de *The Vapor Pressure of Mercury* [Huber 2006, p. 17].



A pressão de vapor de uma substância depende da temperatura do sistema no equilíbrio termodinâmico. O gráfico da Figura 64 apresenta o comportamento da pressão de vapor de algumas substâncias em função da temperatura. É importante ressaltar que no gráfico o eixo das pressões encontra-se em escala logarítmica.



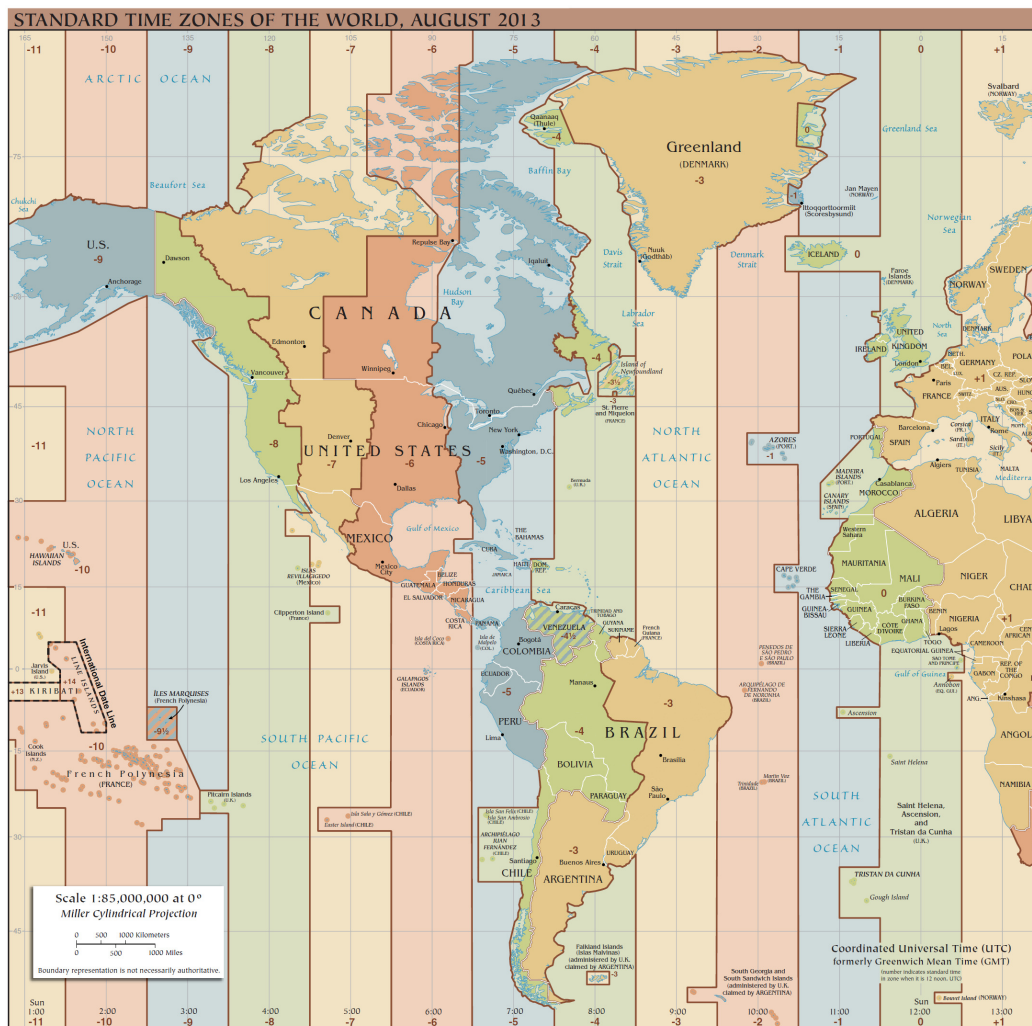
**FIGURA 64 – Pressão de vapor em função da temperatura** <sup>107</sup>

#### B.4. Fusos horários

A Figura 65 a seguir apresenta um mapa com os fusos horários do hemisfério ocidental, baseados no *Universal Time Coordinated*, enquanto que a Figura 66 apresenta os fusos horários do hemisfério oriental. <sup>108</sup>

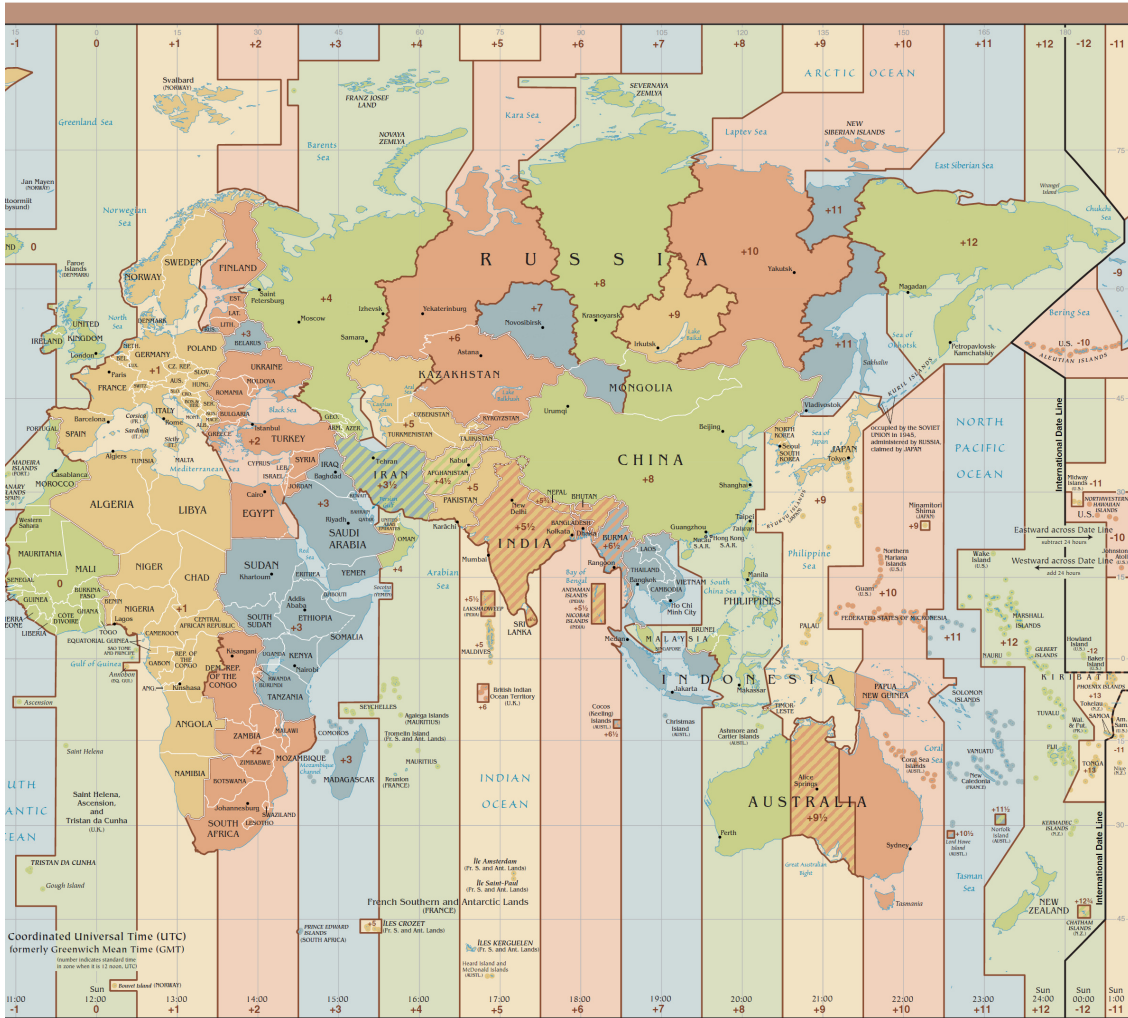
<sup>107</sup> Fonte: Adaptado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Vapor\\_pressure](https://en.wikipedia.org/wiki/Vapor_pressure) [Mbeychok 2007].

<sup>108</sup> Fonte: Adaptado de *The World Factbook: References: Regional and world maps: Standard time zones of the world* [CIA 2013].



**WEST** Add time zone number to local time to obtain UTC. Subtract time zone number from UTC to obtain local time.

**FIGURA 65 – Fusos horários do hemisfério ocidental**



**EAST** Subtract time zone number from local time to obtain UTC. Add time zone number to UTC to obtain local time.

**FIGURA 66 – Fusos horários do hemisfério oriental**

## Apêndice C

### Carta de Evangelista Torricelli para Michelangelo Ricci, 11/06/1644

Tradução para o inglês da carta de Torricelli a Ricci, datada de 11 de junho de 1644. Fonte: *A Source Book in Physics* [Magie 1935].

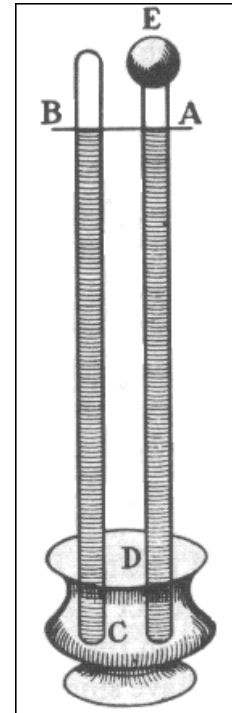
To Michelangelo Ricci in Rome.

Florence, June 11, 1644

Most Illustrious Sir and Most Learned Patron:

Several weeks ago I sent to Sig. Antonio Nardi several of my demonstrations of the areas of cycloids, and asked him that after he had examined them he would send them on at once to yourself or to Sig. Magiotti. I have already called attention to the fact that there are in progress certain philosophical experiments, I do not know just what, relating to vacuum, designed not simply to make a vacuum but to make an instrument which will show the changes in the atmosphere, as it is now heavier and more gross and now lighter and more subtle. Many have said that a vacuum does not exist, others that it does exist in spite of the repugnance of nature and with difficulty; I know of no one who has said that it exists without difficulty and without a resistance from nature. I argued thus: If there can be found a manifest cause from which the resistance can be derived which is felt if we try to make a vacuum, it seems to me foolish to try to attribute to vacuum those operations which follow evidently from some other cause; and so by making some very easy calculations, I found that the cause assigned by me (that is, the weight of the atmosphere) ought by itself alone to offer a greater resistance than it does when we try to produce a vacuum. I say this because a certain philosopher, seeing that he cannot escape the admission that the weight of the atmosphere causes the resistance which is felt in making a vacuum, does not say that he admits the operation of the heavy air, but persists in asserting that nature also concurs in resisting the vacuum. We live immersed at the bottom of a sea of elemental air, which by experiment undoubtedly has weight, and so much weight that the densest air in the neighborhood of the surface of the earth weighs about one four-hundredth part of the weight of water. Certain authors have observed after twilight that the vaporous and visible air rises above us to a height of fifty or fifty-four miles, but I do not think it is so much, because I can show that the vacuum ought to offer a much greater resistance than it does, unless we use the argument that the weight which Galileo assigned applies to the lowest atmosphere, where men and animals live, but that on the peaks of high mountains the air begins to be more pure and to weigh much less than the four-hundredth part of the weight of

water. We have made many vessels of glass like those shown as A and B and with tubes two cubits long. These were filled with quicksilver, the open end was closed with the finger, and they were then inverted in a vessel where there was quicksilver C; then we saw that an empty space was formed and that nothing happened in the vessel where this space was formed; the tube between A and D remained always full to the height of a cubit and a quarter and an inch over. To show that the vessel was entirely empty, we filled the bowl with pure water up to D and then, raising the tube little by little, we saw that, when the opening of the tube reached the water, the quicksilver fell out of the tube and the water rushed with great violence up to the mark E. It is often said in explanation of the fact that the vessel AE stands empty and the quicksilver, although heavy, is sustained in the tube AC, that, as has been believed hitherto, the force which prevents the quicksilver from falling down, as it would naturally do, is internal to the vessel AE, arising either from the vacuum or from some exceedingly rarefied substance; but I assert that it is external and that the force comes from without. On the surface of the liquid which is in the bowl there rests the weight of a height of fifty miles of air; then what wonder is it if into the vessel CE, in which the quicksilver has no inclination and no repugnance, not even the slightest, to being there, it should enter and should rise in a column high enough to make equilibrium with the weight of the external air which forces it up? Water also in a similar tube, though a much longer one, will rise to about 18 cubits, that is, as much more than quicksilver does as quicksilver is heavier than water, so as to be in equilibrium with the same cause which acts on the one and the other. This argument is strengthened by an experiment made at the same time with the vessel A and with the tube B in which the quicksilver always stood at the same horizontal line AB. This makes it almost certain that the action does not come from within; because the vessel AE, where there was more rarefied substance, should have had a greater force, attracting much more actively because of the greater rarefaction than that of the much smaller space B. I have endeavored to explain by this principle all sorts of repugnances which are felt in the various effects attributed to vacuum, and I have not yet found any with which I cannot deal successfully. I know that your highness will perceive many objections, but I hope that if you think them over they will be resolved. My principal intention I was not able to carry out, that is, to recognize when the atmosphere is grosser and heavier and when it is more subtle and lighter, because the level AB in the instrument EC changes for some other reason (which I would not have believed) especially as it is sensible to cold or heat, exactly as if the vessel AE were full of air.



Your devoted and obliged Servant,  
E. Torricelli

## Apêndice D

### Modelos de placas Arduino

A Figura 67 apresenta alguns dos produtos Arduino oficiais disponíveis atualmente <sup>109</sup>.

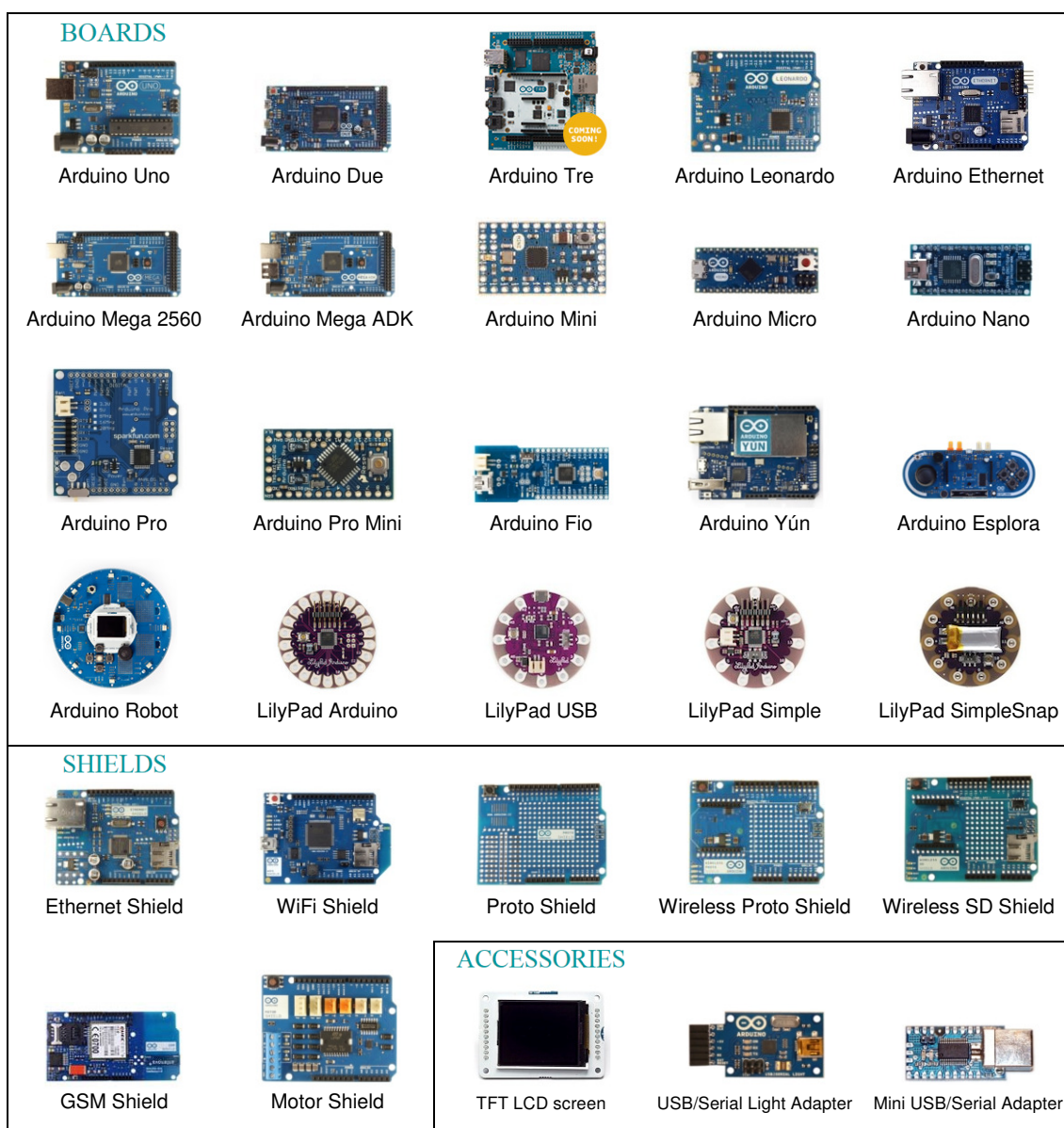


Figura 67 – Produtos Arduino <sup>110</sup>

<sup>109</sup> Em setembro de 2013. (Exceto Arduino Tre, cujo lançamento está previsto para 2014).

<sup>110</sup> As imagens estão fora de escala. Fonte: Adaptado de *Arduino Website* [Arduino 2013].

A Tabela 18 apresenta uma comparação entre algumas das características técnicas de placas Arduino.

**TABELA 18 – Comparação entre características de placas Arduino**

<i>PLACA</i>	<i>Processador</i>	<i>Tensão de entrada (volts)</i>	<i>Tensão de funcionamento (volts)</i>	<i>Velocidade da CPU (MHz)</i>	<i>Pinos analógicos (Entradas/Saídas)</i>	<i>Pinos digitais (IO/PWM)</i>	<i>EEPROM (KB)</i>	<i>SRAM (KB)</i>	<i>Flash (KB)</i>	<i>USB</i>	<i>UART</i>
Uno	ATmega328	7 a 12	5	16	6/0	14/6	1	2	32	regular	1
Due	AT91SAM3X8E	7 a 12	3,3	84	12/2	54/12	-	96	512	micro (2)	4
Leonardo	ATmega32u4	7 a 12	5	16	12/0	20/7	1	2,5	32	micro	1
Mega 2560	ATmega2560	7 a 12	5	16	16/0	54/15	4	8	256	regular	4
Mega ADK	ATmega2560	7 a 12	5	16	16/0	54/15	4	8	256	regular	4
Micro	ATmega32u4	7 a 12	5	16	12/0	20/7	1	2,5	32	micro	1
Mini	ATmega328	7 a 9	5	16	8/0	14/6	1	2	32	-	-
Nano	ATmega168 ATmega328	7 a 9	5	16	8/0	14/6	0,512 ou 1	1 ou 2	16 ou 32	mini-B	1
Ethernet	ATmega328	7 a 12	5	16	6/0	14/4	1	2	32	regular	-
Esplora	ATmega32u4	7 a 12	5	16	-	-	1	2,5	32	micro	-
ArduinoBT	ATmega328	2,5 a 12	5	16	6/0	14/6	1	2	32	-	1
Fio	ATmega328P	3,7 a 7	3,3	8	8/0	14/6	1	2	32	mini	1
Pro (168)	ATmega168	3,35 a 12	3,3	8	6/0	14/6	0,512	1	16	-	1
Pro (328)	ATmega328	5 a 12	5	16	6/0	14/6	1	2	32	-	1
Pro Mini	ATmega168	3,35 a 12 ou 5 a 12	3,3 ou 5	8 ou 16	6/0	14/6	0,512	1	16	-	1
LilyPad	ATmega168V ATmega328V	2,7 a 5,5	2,7 a 5,5	8	6/0	14/6	0,512	1	16	-	-
LilyPad USB	ATmega32u4	3,8 a 5	3,3	8	4/0	9/4	1	2,5	32	micro	-
LilyPad Simple	ATmega328	2,7 a 5,5	2,7 a 5,5	8	4/0	9/4	1	2	32	-	-
LilyPad SimpleSnap	ATmega328	2,7 a 5,5	2,7 a 5,5	8	4/0	9/4	1	2	32	-	-

Fonte: *Arduino Website* [Arduino 2013].

Informações mais detalhadas sobre placas e outros produtos Arduino atuais e antigos podem ser encontradas no *website* do Arduino [Arduino 2013].

## Apêndice E

### **Sketches para Arduino e procedimentos complementares**

O *sketch* preparado para controle do escudo e do sensor é uma adaptação de programas especializados fornecidos pela Adafruit (escudo *data logger*) e pela SparkFun (sensor BMP085). O programa faz uso de uma biblioteca **RTCLib** que pode ser obtidas através do *site* da SparkFun e em seguida instalado no subdiretório **libraries** do diretório do IDE Arduino. Essa biblioteca tem a função de estabelecer o protocolo de comunicação com o circuito integrado DS1307, que faz parte do escudo *data logger*. O DS1307 é basicamente um RTC alimentado com uma pequena pilha de 3 V colocada no próprio escudo (Capítulo 4, Seção 4.4, Figura 37). Junto com o material do escudo *data logger*, o fabricante fornece as instruções para a atualização da hora e data do RTC. Essa operação é necessária apenas uma vez.

Para a comunicação I<sup>2</sup>C do sensor BMP085 através das portas A4 e A5, o programa faz uso da biblioteca **Wire**. Essa biblioteca já esta incorporada no subdiretório **libraries** do IDE Arduino. O sensor é integralmente calibrado na fábrica. A relação entre a pressão e o sinal elétrico gerado pelo sensor, isto é, o sinal de transdução, é uma expressão matemática que envolve um conjunto de coeficientes numéricos. Esses coeficientes estão armazenados numa memória EPROM no mesmo sensor e precisam ser lidas pelo programa.

#### **E.1. Sketch para controle do sensor BMP085 e *data logger***

```
// BAROMARE - versão 1.1.0
// Um data logger para Arduino com o sensor de pressão/temperatura BMP085 da Bosch
// Data logging shield: Adafruit
// BMP085 breakout board: SparkFun

#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include "RTCLib.h"

#define BMP085_ADDRESS 0x77 // endereço I2C do BMP085
const unsigned char OSS = 0; // Oversampling Setting
```



```

// Valores de calibração
int ac1;
int ac2;
int ac3;
unsigned int ac4;
unsigned int ac5;
unsigned int ac6;
int b1;
int b2;
int mb;
int mc;
int md;

/* b5 é calculada na função bmp085GetTemperature
Esta variável também é usada na função bmp085GetPressure.
Assim a função bmp085GetTemperature deve ser chamada antes da bmp085GetPressure */

long b5;

short temperatura;
long pressao;
float temp;

// LOG_INTERVAL - intervalo de tempo (milissegundos) entre leituras
// use 10*LOG_INTERVAL para gravar um dado a cada 10 leituras

#define LOG_INTERVAL 60000 // neste caso estamos usando 60.000 ms = 60 s = 1 min

#define SYNC_INTERVAL 1000 // mills between calls to flush() - to write data to the card
uint32_t syncTime = 0; // time of last sync()

#define ECHO_TO_SERIAL 1 // echo data para a porta serial
#define WAIT_TO_START 0 // espera pela entrada serial em setup()

#define aref_voltage 5.0 // we tie 5.0V to ARef and measure it with a multimeter!

RTC_DS1307 RTC; // define o Real Time Clock object

// no data logging shield, usamos o pino digital 10 para o SD cs line
const int chipSelect = 10;

// the logging file
File logfile;

void error(char *str)
{
  Serial.print("Erro: ");
  Serial.println(str);

  while(1);
}

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  bmp085Calibration();
  Serial.println("Temperatura(C), Pressao(Pa)");

  Serial.println();

#ifdef WAIT_TO_START
  Serial.println("Tecle qualquer caractere para iniciar");
  while (!Serial.available());
#endif // WAIT_TO_START

  // inicia o cartão SD
  Serial.print("Iniciando o cartão SD...");
  // make sure that the default chip select pin is set to
  // output, even if you don't use it:
  pinMode(10, OUTPUT);

  // verifica se o cartão está presente e se pode ser iniciado:
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    error("Falha no cartão ou cartão ausente.");
  }
  Serial.println("cartão iniciado.");

  // cria um novo arquivo
  char filename[] = "baro00.CSV";
  for (uint8_t i = 0; i < 100; i++) {
    filename[6] = i/10 + '0';
    filename[7] = i%10 + '0';
    if (!SD.exists(filename)) {
      // only open a new file if it doesn't exist

```

```

        logfile = SD.open(filename, FILE_WRITE);
        break; // interrompe o loop!
    }
}

if (!logfile) {
    error("Não foi possível criar o arquivo.");
}

Serial.print("Logging to: ");
Serial.println(filename);

// conecta-se ao RTC
Wire.begin();
if (!RTC.begin()) {
    logfile.println("falha no RTC");
}
#if ECHO_TO_SERIAL
    Serial.println("falha no RTC");
#endif //ECHO_TO_SERIAL
}

void loop(void)
{
    DateTime now;

    // Espera pelo tempo estipulado entre duas leituras.
    delay((LOG_INTERVAL -1) - (millis() % LOG_INTERVAL));

    digitalWrite(greenLEDPin, HIGH);

    // log milisegundos desde o início.
    uint32_t m = millis();
    //logfile.print(m); // milisegundos passados desde o início.
    //logfile.print(" ");
}
#if ECHO_TO_SERIAL
    // Serial.print(m); // milisegundos passados desde o início.
    // Serial.print(" ");
#endif

    // fetch the time
    now = RTC.now();
    // log time
    logfile.print("");
    logfile.print(now.year(), DEC);
    logfile.print("/");
    logfile.print(now.month(), DEC);
    logfile.print("/");
    logfile.print(now.day(), DEC);
    logfile.print(" ");
    logfile.print(now.hour(), DEC);
    logfile.print(":");
    logfile.print(now.minute(), DEC);
    logfile.print(":");
    logfile.print(now.second(), DEC);
    logfile.print("");

}
#if ECHO_TO_SERIAL
    Serial.print("");
    Serial.print(now.year(), DEC);
    Serial.print("/");
    Serial.print(now.month(), DEC);
    Serial.print("/");
    Serial.print(now.day(), DEC);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(now.hour(), DEC);
    Serial.print(":");
    Serial.print(now.minute(), DEC);
    Serial.print(":");
    Serial.print(now.second(), DEC);
    Serial.print("");
#endif //ECHO_TO_SERIAL

    temperatura = bmp085GetTemperature(bmp085ReadUT());
    pressao = bmp085GetPressure(bmp085ReadUP());
    temp = float(temperatura)/10.00;

    logfile.print(" ");
    logfile.print(temp, 2);
    logfile.print(" ");
    logfile.println(pressao, DEC);

}
#if ECHO_TO_SERIAL
    Serial.print(" ");
    Serial.print(temp, 2);
}

```

```

Serial.print(", ");
Serial.println(pressao, DEC);

#endif //ECHO_TO_SERIAL

// Now we write data to disk! Don't sync too often - requires 2048 bytes of I/O to SD card
// which uses a bunch of power and takes time
if ((millis() - syncTime) < SYNC_INTERVAL) return;
syncTime = millis();
logfile.flush();

}

// Armazena todos os dados de calibração do BMP085 em variáveis globais.
// Esses valores de calibração são necessários para calcular a temperatura (temp) e a pressão.
// Essa função deve ser chamada no início do programa.

void bmp085Calibration()
{
  ac1 = bmp085ReadInt(0xAA);
  ac2 = bmp085ReadInt(0xAC);
  ac3 = bmp085ReadInt(0xAE);
  ac4 = bmp085ReadInt(0xB0);
  ac5 = bmp085ReadInt(0xB2);
  ac6 = bmp085ReadInt(0xB4);
  b1 = bmp085ReadInt(0xB6);
  b2 = bmp085ReadInt(0xB8);
  mb = bmp085ReadInt(0xBA);
  mc = bmp085ReadInt(0xBC);
  md = bmp085ReadInt(0xBE);
}

// Dado ut, calcula a temperatura.
// O valor retornado está em unidade de 0.1 graus C.

short bmp085GetTemperature(unsigned int ut)
{
  long x1, x2;

  x1 = (((long)ut - (long)ac6)*(long)ac5) >> 15;
  x2 = ((long)mc << 11)/(x1 + md);
  b5 = x1 + x2;

  return ((b5 + 8)>>4);
}

// Dado up, calcula a pressão.
// Valores de calibração devem ser conhecidos.
// b5 também é necessária, de forma que a função
// bmp085GetTemperature(...) deve ser calculada primeiro.
// O valor retornado é a pressão em unidades de Pa.

long bmp085GetPressure(unsigned long up)
{
  long x1, x2, x3, b3, b6, p;
  unsigned long b4, b7;

  b6 = b5 - 4000;

  // Calcula b3
  x1 = (b2 * (b6 * b6)>>12)>>11;
  x2 = (ac2 * b6)>>11;
  x3 = x1 + x2;
  b3 = (((((long)ac1)*4 + x3)<<OSS) + 2)>>2;

  // Calcula b4
  x1 = (ac3 * b6)>>13;
  x2 = (b1 * ((b6 * b6)>>12))>>16;
  x3 = ((x1 + x2) + 2)>>2;
  b4 = (ac4 * (unsigned long)(x3 + 32768))>>15;

  b7 = ((unsigned long)(up - b3) * (50000>>OSS));
  if (b7 < 0x80000000)
    p = (b7<<1)/b4;
  else
    p = (b7/b4)<<1;

  x1 = (p>>8) * (p>>8);
  x1 = (x1 * 3038)>>16;
  x2 = (-7357 * p)>>16;
  p += (x1 + x2 + 3791)>>4;

  return p;
}

// Lê 1 byte do BMP085 em 'address'

char bmp085Read(unsigned char address)

```

```

{
    unsigned char data;

    Wire.beginTransaction(BMP085_ADDRESS);
    Wire.write(address);
    Wire.endTransmission();

    Wire.requestFrom(BMP085_ADDRESS, 1);
    while(!Wire.available());

    return Wire.read();
}

// Lê 2 bytes do BMP085
// First byte will be from 'address'
// Second byte will be from 'address'+1
int bmp085ReadInt(unsigned char address)
{
    unsigned char msb, lsb;

    Wire.beginTransaction(BMP085_ADDRESS);
    Wire.write(address);
    Wire.endTransmission();

    Wire.requestFrom(BMP085_ADDRESS, 2);
    while(Wire.available() < 2);

    msb = Wire.read();
    lsb = Wire.read();

    return (int) msb << 8 | lsb;
}

// Lê o valor da temperatura não compensada.
unsigned int bmp085ReadUT()
{
    unsigned int ut;

    // Escreve 0x2E no Registro 0xF4
    // Solicita uma leitura de temperatura.
    Wire.beginTransaction(BMP085_ADDRESS);
    Wire.write(0xF4);
    Wire.write(0x2E);
    Wire.endTransmission();

    // Espera no mínimo 4.5ms
    delay(5);

    // Lê dois bytes dos registros 0xF6 e 0xF7
    ut = bmp085ReadInt(0xF6);
    return ut;
}

// Lê o valor da pressão não compensada.
unsigned long bmp085ReadUP()
{
    unsigned char msb, lsb, xlsb;
    unsigned long up = 0;

    // Escreve 0x34+(OSS<<6) no registro 0xF4
    // Solicita uma leitura de pressão com oversampling setting
    Wire.beginTransaction(BMP085_ADDRESS);
    Wire.write(0xF4);
    Wire.write(0x34 + (OSS<<6));
    Wire.endTransmission();

    // Wait for conversion, delay time dependent on OSS
    delay(2 + (3<<OSS));

    // Lê os registros 0xF6 (MSB), 0xF7 (LSB) e 0xF8 (XLSB).
    Wire.beginTransaction(BMP085_ADDRESS);
    Wire.write(0xF6);
    Wire.endTransmission();
    Wire.requestFrom(BMP085_ADDRESS, 3);

    // Espera o dado se tornar disponível.
    while(Wire.available() < 3);
    msb = Wire.read();
    lsb = Wire.read();
    xlsb = Wire.read();

    up = (((unsigned long) msb << 16) | ((unsigned long) lsb << 8) | (unsigned long) xlsb) >> (8-OSS);

    return up;
}

```

## E.2. Sketch para sincronização do RTC

```
// Date and time functions using a DS1307 RTC connected via I2C and Wire lib

#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"

RTC_DS1307 RTC;

void setup () {
  Serial.begin(57600);
  Wire.begin();
  RTC.begin();

  if (! RTC.isrunning()) {
    Serial.println("RTC is NOT running!");
    // following line sets the RTC to the date & time this sketch was compiled
    RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
  }
}

void loop () {
  DateTime now = RTC.now();

  Serial.print(now.year(), DEC);
  Serial.print('/');
  Serial.print(now.month(), DEC);
  Serial.print('/');
  Serial.print(now.day(), DEC);
  Serial.print(' ');
  Serial.print(now.hour(), DEC);
  Serial.print(':');
  Serial.print(now.minute(), DEC);
  Serial.print(':');
  Serial.print(now.second(), DEC);
  Serial.println();

  Serial.print(" since midnight 1/1/1970 = ");
  Serial.print(now.unixtime());
  Serial.print("s = ");
  Serial.print(now.unixtime() / 86400L);
  Serial.println("d");

  // calculate a date which is 7 days and 30 seconds into the future
  DateTime future (now.unixtime() + 7 * 86400L + 30);

  Serial.print(" now + 7d + 30s: ");
  Serial.print(future.year(), DEC);
  Serial.print('/');
  Serial.print(future.month(), DEC);
  Serial.print('/');
  Serial.print(future.day(), DEC);
  Serial.print(' ');
  Serial.print(future.hour(), DEC);
  Serial.print(':');
  Serial.print(future.minute(), DEC);
  Serial.print(':');
  Serial.print(future.second(), DEC);
  Serial.println();

  Serial.println();
  delay(3000);
}
```

## E.3. Sincronização de hora na internet

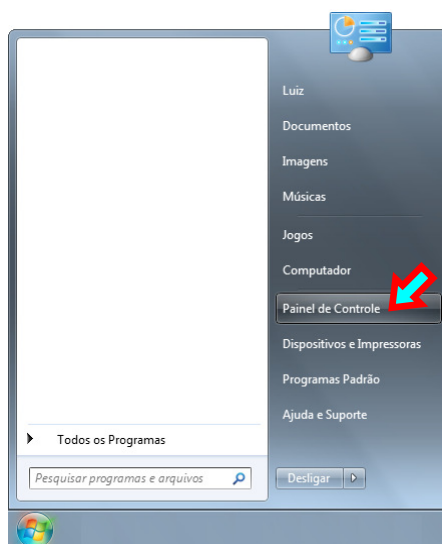
O acerto do relógio do sistema operacional Windows pode ser feito através da internet. Na Tabela 19 a seguir são apresentadas as etapas para a sincronização de hora na internet, tomando como modelo o Windows 7 Home Basic em português <sup>111</sup>.

---

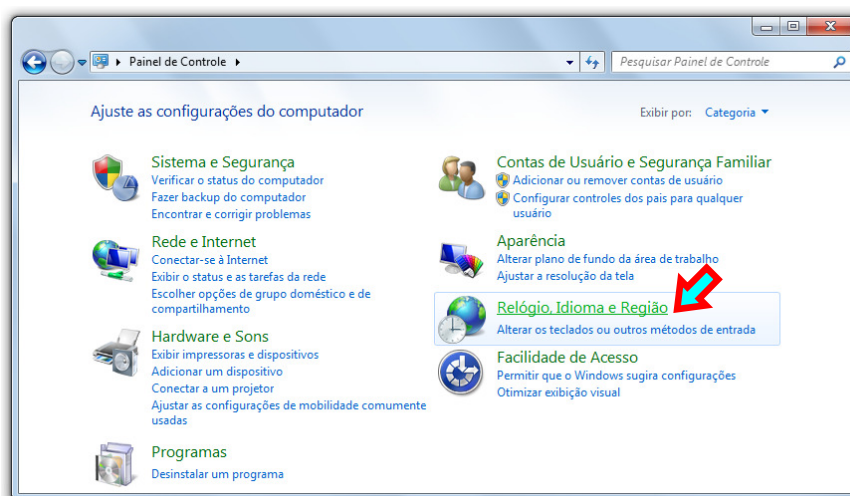
<sup>111</sup> Outras versões do Windows podem apresentar diferenças em uma ou mais etapas.

**TABELA 19 – Etapas para a sincronização de hora na internet**

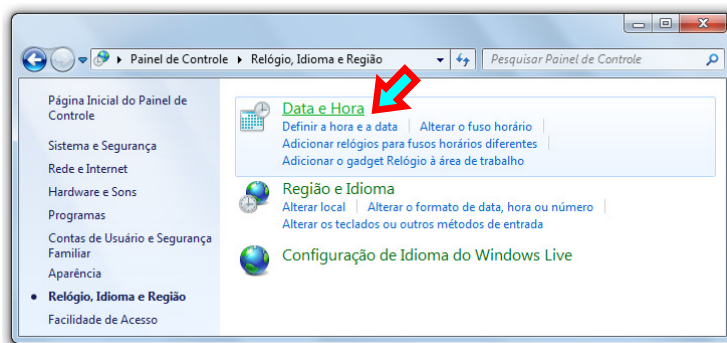
ETAPA	PROCEDIMENTO	REFERÊNCIA
1ª	Abrir o “Painel de Controle”	Figura 68
2ª	Selecionar “Relógio, Idioma e Região”	Figura 69
3ª	Selecionar “Data e Hora”	Figura 70
4ª	Selecionar a guia “Horário na Internet” e clicar no botão “Alterar configurações...”	Figura 71
5ª	Marcar a caixa “Sincronizar com um servidor de horário na Internet”	Figura 72
6ª	Abrir a lista “Servidor” e selecionar um servidor de horário na internet	Figura 73
7ª	Clicar no botão “Atualizar agora”	Figura 74



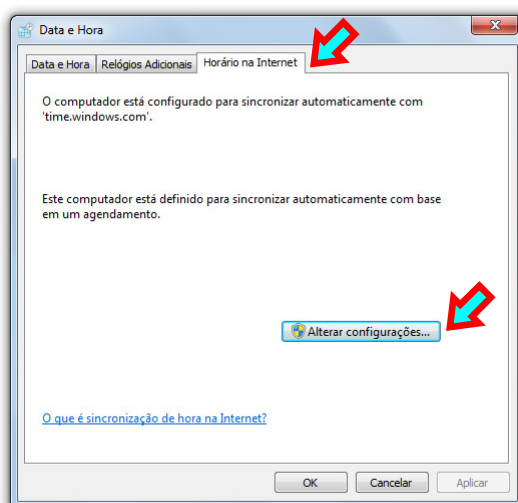
**FIGURA 68 – Abrir o “Painel de Controle”**



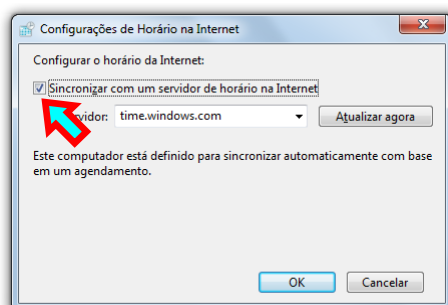
**FIGURA 69 – Selecionar “Relógio, Idioma e Região”**



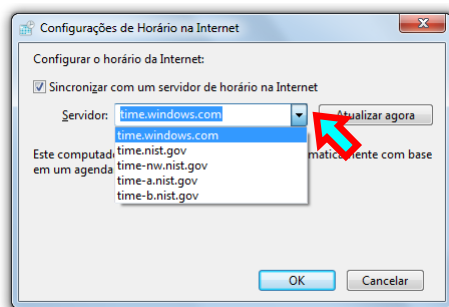
**FIGURA 70 – Selecionar “Data e Hora”**



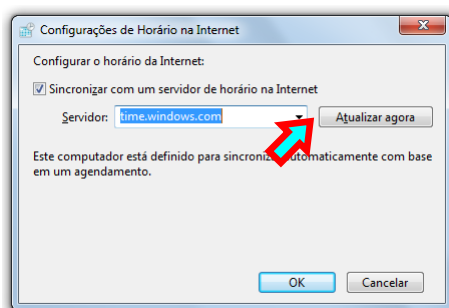
**FIGURA 71 – Selecionar a guia “Horário na Internet” e clicar no botão “Alterar configurações...”**



**FIGURA 72 – Marcar a caixa “Sincronizar com um servidor de horário na Internet”**



**FIGURA 73 – Abrir a lista “Servidor” e seleccionar um servidor de horário na internet <sup>112</sup>**



**FIGURA 74 – Clicar no botão “Atualizar agora”**

#### **E.4. Abertura de arquivos CSV no *Microsoft Excel***

Com o *sketch* aplicado no projeto de instrumentação desenvolvido para a obtenção e registro de medidas da pressão atmosférica, o Arduino é capaz de controlar tanto o sensor de pressão barométrica quanto o *data logger*. As medidas realizadas pelo sensor são armazenadas em um cartão de memória em um arquivo no formato CSV (*Comma-Separated Values*). Com os dados salvos, o arquivo CSV pode ser aberto, por exemplo, no *Microsoft Excel* (ou em outros programas para tratamento de dados e traçado de gráficos). A Figura 75 a seguir apresenta os dados de um arquivo CSV aberto no *Microsoft Excel*.

<sup>112</sup> O servidor de horário selecionado deve fornecer a hora correspondente ao fuso horário desejado.



	A	B	C	D	E	F
1	2013/9/9 18:3:19, 26.50, 101973					
2	2013/9/9 18:4:19, 26.40, 101976					
3	2013/9/9 18:5:19, 26.40, 101973					
4	2013/9/9 18:6:19, 26.40, 101967					
5	2013/9/9 18:7:19, 26.30, 101979					
6	2013/9/9 18:8:19, 26.20, 101975					
7	2013/9/9 18:9:19, 26.30, 101976					
8	2013/9/9 18:10:19, 26.30, 101970					
9	2013/9/9 18:11:19, 26.30, 101976					
10	2013/9/9 18:12:20, 26.40, 101970					
11	2013/9/9 18:13:20, 26.40, 101973					
12	2013/9/9 18:14:20, 26.30, 101985					
13	2013/9/9 18:15:20, 26.30, 101976					
14	2013/9/9 18:16:20, 26.30, 101967					
15	2013/9/9 18:17:20, 26.50, 101970					
16	2013/9/9 18:18:20, 26.40, 101973					
17	2013/9/9 18:19:20, 26.50, 101974					
18	2013/9/9 18:20:20, 26.60, 101989					
19	2013/9/9 18:21:20, 26.60, 101977					
20	2013/9/9 18:22:20, 26.60, 101971					
21	2013/9/9 18:23:20, 26.70, 101983					
22	2013/9/9 18:24:20, 26.80, 101981					
23	2013/9/9 18:25:21, 26.80, 101981					
24	2013/9/9 18:26:21, 26.80, 101981					
25	2013/9/9 18:27:21, 26.70, 101984					
26	2013/9/9 18:28:21, 26.70, 101983					
27	2013/9/9 18:29:21, 26.80, 101993					
28	2013/9/9 18:30:21, 26.70, 101986					
29	2013/9/9 18:31:21, 26.70, 101986					
30	2013/9/9 18:32:21, 26.70, 101995					
31	2013/9/9 18:33:21, 26.70, 101989					
32	2013/9/9 18:34:21, 26.70, 101989					
33	2013/9/9 18:35:21, 26.70, 101989					

**FIGURA 75 – Arquivo CSV aberto no *Microsoft Excel***<sup>113</sup>

As medidas de pressão e temperatura realizadas pelo sensor BMP085 começam a ser armazenadas no cartão SD tão logo o equipamento seja ligado. Os valores são armazenados no diretório raiz do cartão, em arquivos designados como “baro00.CSV”. A parte numérica 00 começa em 00 e vai sendo acrescida automaticamente para cada novo arquivo de dados, como pode ser observado no trecho do *sketch* abaixo.

```

char filename[] = "baro00.CSV";
for (uint8_t i = 0; i < 100; i++) {
  filename[6] = i/10 + '0';
  filename[7] = i%10 + '0';
  if (!SD.exists(filename)) {
    logfile = SD.open(filename, FILE_WRITE);
    break; // interrompe o loop!
  }
}

```

<sup>113</sup> A imagem apresenta a versão em português do *Microsoft Excel 2003*. Outras versões do *Microsoft Excel* podem apresentar diferenças.

O intervalo de tempo entre duas medidas sucessivas é controlado pela variável LOG\_INTERVAL. No *sketch* usamos o valor de 60.000 ms, ou seja, 1 minuto, como mostrado a seguir no trecho da programação. Esse valor pode ser alterado segundo as necessidades, lembrando apenas que a base de tempo do Arduino é o milissegundo.

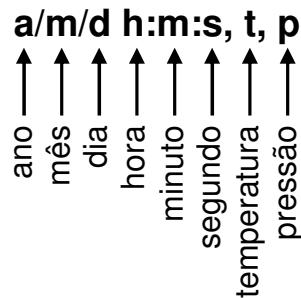
```
#define LOG_INTERVAL 60000
```

Os dados contidos no arquivo CSV gerado pelo *data logger* ficam dispostos nas células do *Excel* a partir de uma ordem cronológica. Em cada célula, as medidas de tempo, temperatura e pressão estão separadas por marcadores, que nesse caso são vírgulas. A maneira e a ordem com que os dados são armazenados no arquivo CSV, assim como a atribuição de marcadores, é feita a partir dos trechos do *sketch* apresentados abaixo.

```
logfile.print("");
logfile.print(now.year(), DEC);
logfile.print("/");
logfile.print(now.month(), DEC);
logfile.print("/");
logfile.print(now.day(), DEC);
logfile.print(" ");
logfile.print(now.hour(), DEC);
logfile.print(":");
logfile.print(now.minute(), DEC);
logfile.print(":");
logfile.print(now.second(), DEC);
logfile.print("");

logfile.print(", ");
logfile.print(temp, 2);
logfile.print(", ");
logfile.println(pressao, DEC);
```

Da maneira como se apresenta, o *sketch* determina que os dados devem ser salvos com a estrutura apresentada na Figura 76.

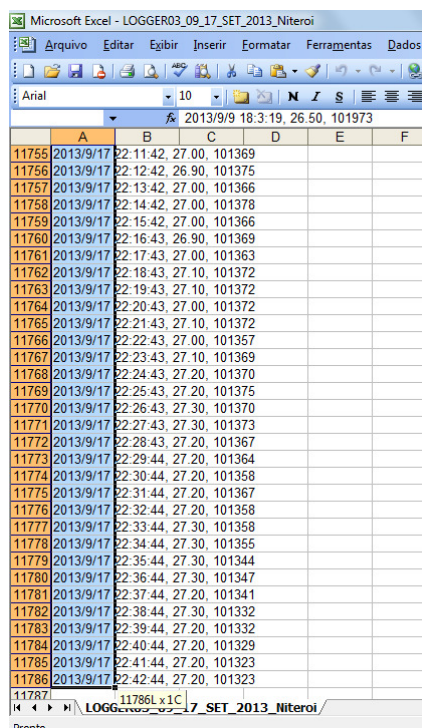


**FIGURA 76 – Estrutura dos dados salvos no arquivo CSV**

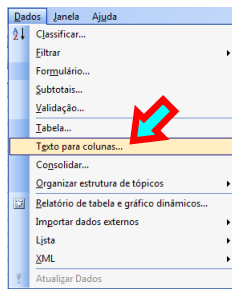
Para proceder com o tratamento dos dados, após a abertura do arquivo CSV no *Excel* deve-se efetuar a separação das informações contidas em cada célula. A Tabela 20 apresenta as etapas para a separação das medidas de tempo, temperatura e pressão.

**TABELA 20 – Etapas para separar as informações de um arquivo CSV no *Microsoft Excel***

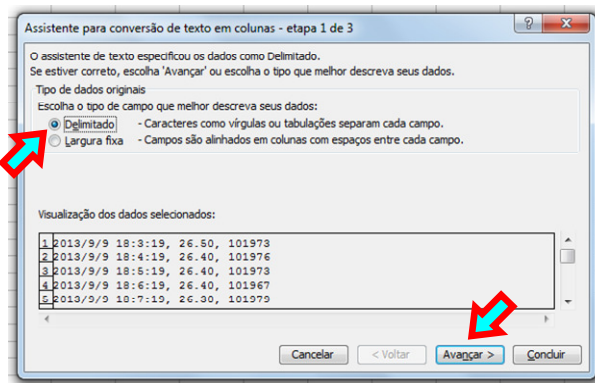
ETAPA	PROCEDIMENTO	REFERÊNCIA
1ª	Selecionar todas as células contendo dados.	Figura 77
2ª	Abrir a guia "Dados" e selecionar o recurso "Texto para colunas..."	Figura 78
3ª	Selecionar a opção "Delimitado" e clicar no botão "Avançar"	Figura 79
4ª	Marcar a caixa "Vírgula" e clicar no botão "Avançar"	Figura 80
5ª	Marcar a 1ª coluna, selecionar a opção "Data", abrir a lista e escolher "AMD" (ano/mês/dia)	Figura 81
6ª	Marcar a 2ª coluna e clicar no botão "Avançado..."	Figura 82
7ª	Escolher "." (ponto) na lista "Separador decimal" e clicar no botão "OK"	Figura 83
8ª	Especificar a célula inicial para abrigar os novos dados e clicar no botão "Concluir"	Figura 84



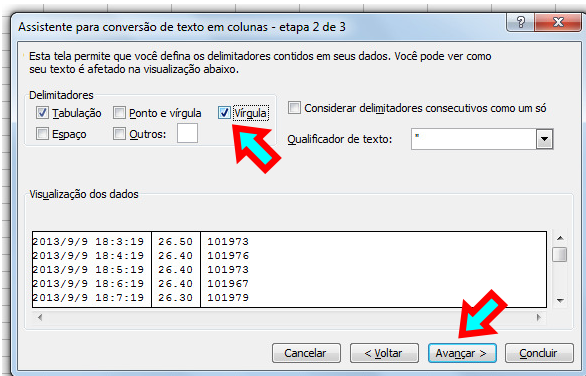
**FIGURA 77 – Selecionar todas as células contendo dados**



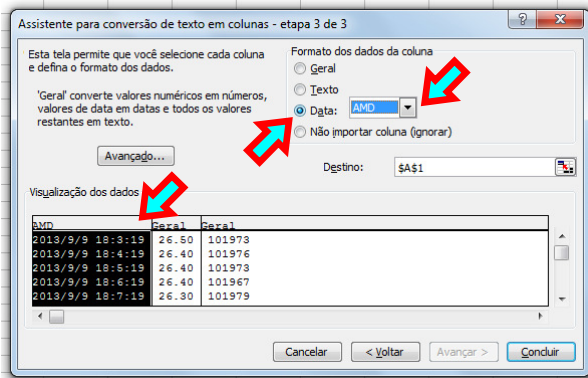
**FIGURA 78 – Abrir a guia “Dados” e selecionar o recurso “Texto para colunas...”**



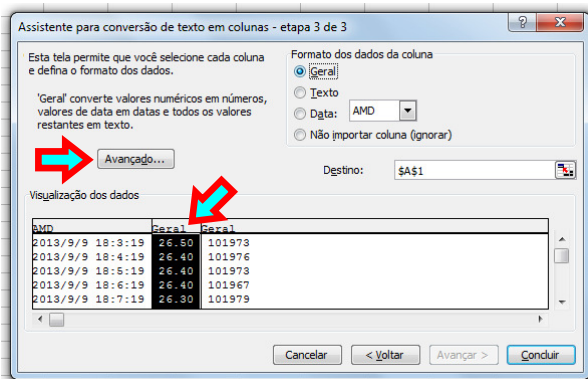
**FIGURA 79 – Selecionar a opção “Delimitado” e clicar no botão “Avançar”**



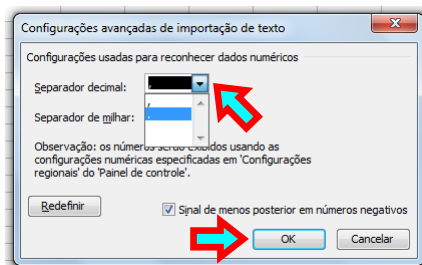
**FIGURA 80 – Marcar a caixa “Vírgula” e clicar no botão “Avançar”**



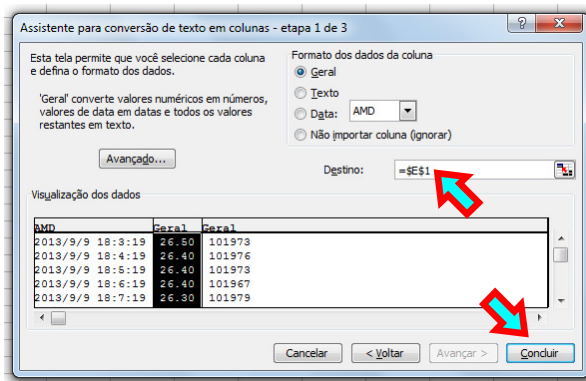
**FIGURA 81 – Marcar a 1ª coluna, selecionar a opção “Data”, abrir a lista e escolher “AMD” (ano/mês/dia)**



**FIGURA 82 – Marcar a 2ª coluna e clicar no botão “Avançado...”**



**FIGURA 83 – Escolher “.” (ponto) na lista “Separador decimal” e clicar no botão “OK”**



**FIGURA 84 – Especificar a célula inicial para abrigar os novos dados e clicar no botão “Concluir”**

Caso a célula inicial especificada para abrigar os novos dados seja a própria célula A1 (isto é, \$A\$1), que contém dados originais, uma nova informação substituirá as informações originalmente armazenadas. Por outro lado, se a célula inicial para os novos dados estiver localizada em outra coluna, como, por exemplo, a célula E1 (isto é, \$E\$1), os novos dados não serão registrados sobre os dados originais, que serão preservados, como mostrado na Figura 85 abaixo. Ao término dos procedimentos para a separação dos dados de tempo, temperatura e pressão, o arquivo resultante poderá ser salvo em um formato próprio para o *Excel*.

Microsoft Excel - LOGGER03\_09\_17\_SET\_2013\_Niteroi

A	B	C	D	E	F	G
1	2013/9/9 18:3:19	26.50	101973	09/09/2013 18:03	26.5	101973
2	2013/9/9 18:4:19	26.40	101976	09/09/2013 18:04	26.4	101976
3	2013/9/9 18:5:19	26.40	101973	09/09/2013 18:05	26.4	101973
4	2013/9/9 18:6:19	26.40	101967	09/09/2013 18:06	26.4	101967
5	2013/9/9 18:7:19	26.30	101979	09/09/2013 18:07	26.3	101979
6	2013/9/9 18:8:19	26.20	101975	09/09/2013 18:08	26.2	101975
7	2013/9/9 18:9:19	26.30	101976	09/09/2013 18:09	26.3	101976
8	2013/9/9 18:10:19	26.30	101970	09/09/2013 18:10	26.3	101970
9	2013/9/9 18:11:19	26.30	101976	09/09/2013 18:11	26.3	101976
10	2013/9/9 18:12:20	26.40	101970	09/09/2013 18:12	26.4	101970
11	2013/9/9 18:13:20	26.40	101973	09/09/2013 18:13	26.4	101973
12	2013/9/9 18:14:20	26.30	101985	09/09/2013 18:14	26.3	101985
13	2013/9/9 18:15:20	26.30	101976	09/09/2013 18:15	26.3	101976
14	2013/9/9 18:16:20	26.30	101967	09/09/2013 18:16	26.3	101967
15	2013/9/9 18:17:20	26.50	101970	09/09/2013 18:17	26.5	101970
16	2013/9/9 18:18:20	26.40	101973	09/09/2013 18:18	26.4	101973
17	2013/9/9 18:19:20	26.50	101974	09/09/2013 18:19	26.5	101974
18	2013/9/9 18:20:20	26.60	101989	09/09/2013 18:20	26.6	101989
19	2013/9/9 18:21:20	26.60	101977	09/09/2013 18:21	26.6	101977
20	2013/9/9 18:22:20	26.60	101971	09/09/2013 18:22	26.6	101971
21	2013/9/9 18:23:20	26.70	101983	09/09/2013 18:23	26.7	101983
22	2013/9/9 18:24:20	26.80	101981	09/09/2013 18:24	26.8	101981
23	2013/9/9 18:25:21	26.80	101981	09/09/2013 18:25	26.8	101981
24	2013/9/9 18:26:21	26.80	101981	09/09/2013 18:26	26.8	101981
25	2013/9/9 18:27:21	26.70	101984	09/09/2013 18:27	26.7	101984
26	2013/9/9 18:28:21	26.70	101983	09/09/2013 18:28	26.7	101983
27	2013/9/9 18:29:21	26.80	101993	09/09/2013 18:29	26.8	101993
28	2013/9/9 18:30:21	26.70	101986	09/09/2013 18:30	26.7	101986
29	2013/9/9 18:31:21	26.70	101986	09/09/2013 18:31	26.7	101986
30	2013/9/9 18:32:21	26.70	101995	09/09/2013 18:32	26.7	101995
31	2013/9/9 18:33:21	26.70	101989	09/09/2013 18:33	26.7	101989
32	2013/9/9 18:34:21	26.70	101989	09/09/2013 18:34	26.7	101989
33	2013/9/9 18:35:21	26.70	101989	09/09/2013 18:35	26.7	101989

Pronto

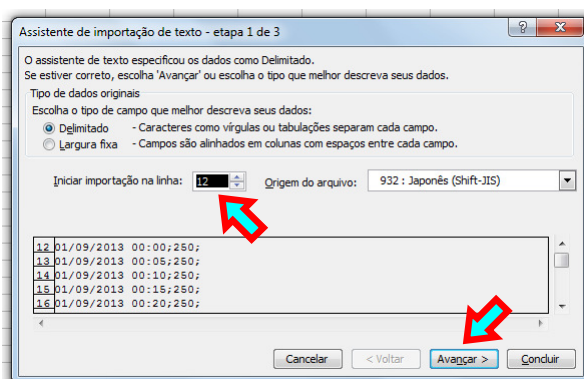
**FIGURA 85 – Dados originais (coluna “A”) e respectivas medidas de tempo (coluna “E”), temperatura (coluna “F”) e pressão (coluna “G”)**

## E.5. Abertura de arquivos TXT no *Microsoft Excel*

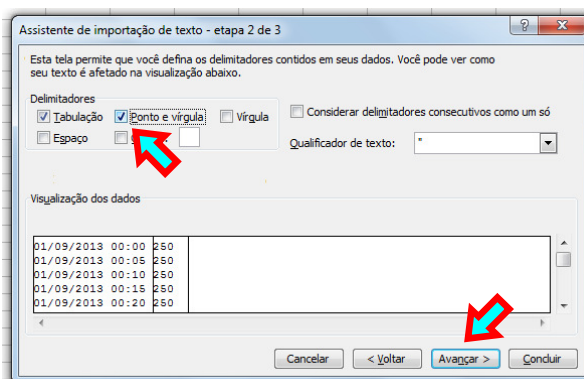
No caso dos dados de maré fornecidos pelo BNDO em arquivos no formato TXT, as informações poderão ser transportadas para o *Microsoft Excel* de uma maneira semelhante à utilizada para arquivos CSV. Ao ser aberto no *Excel*, um arquivo TXT aciona automaticamente o “Assistente de importação de texto”. A Tabela 21 mostra as etapas a serem seguidas.

**TABELA 21 – Etapas para separar as informações de um arquivo TXT no *Microsoft Excel***

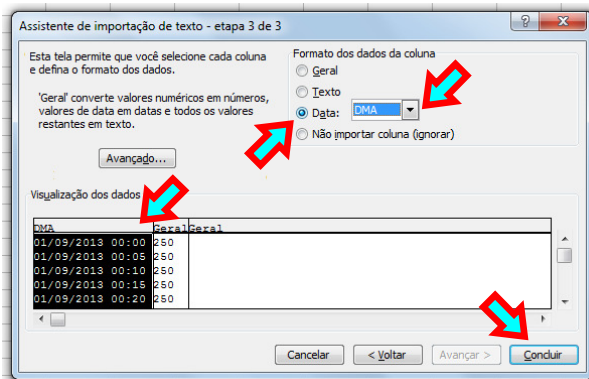
ETAPA	PROCEDIMENTO	REFERÊNCIA
1ª	Informar a linha em que começam os dados no arquivo TXT e clicar no botão “Avançar”	Figura 86
2ª	Marcar a caixa “Ponto e vírgula” e clicar no botão “Avançar”	Figura 87
3ª	Marcar a 1ª coluna, selecionar a opção “Data”, abrir a lista e escolher “DMA” (dia/mês/ano), clicar no botão “Concluir”	Figura 88



**FIGURA 86 – Informar a linha em que começam os dados no arquivo TXT e clicar no botão “Avançar”**

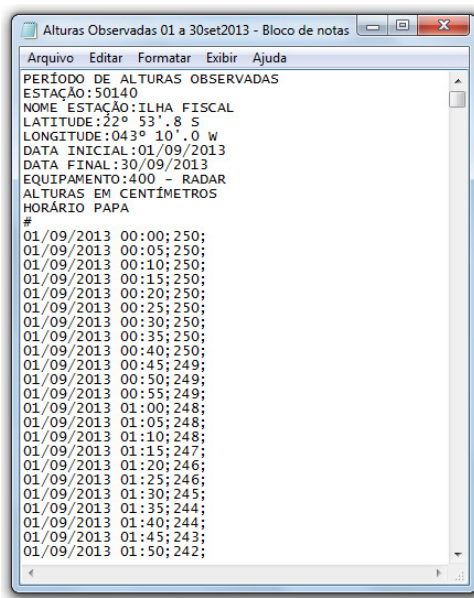


**FIGURA 87 – Marcar a caixa “Ponto e vírgula” e clicar no botão “Avançar”**

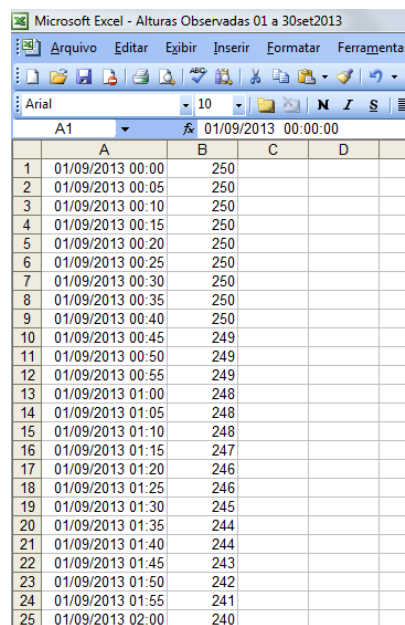


**FIGURA 88 – Marcar a 1ª coluna, selecionar a opção “Data”, abrir a lista e escolher “DMA” (dia/mês/ano), clicar no botão “Concluir”**

Ao término dos procedimentos para a separação das medidas de tempo e do nível da água, o arquivo resultante poderá ser salvo em um formato próprio para o *Excel*. A Figura 89 abaixo compara os dados de maré originalmente apresentados no arquivo TXT com os transportados para o *Excel*.



**(A)**



**(B)**

**FIGURA 89 – Dados de maré apresentados em TXT (A) e transportados para o *Microsoft Excel* (B)**



## E.6. O *serial monitor* do IDE Arduino

A janela do *serial monitor* pode ser aberta através da opção “Serial Monitor” no menu “Tools” do IDE Arduino, como mostra a Figura 90. Na ocasião do uso do *serial monitor* para a visualização das medições efetuadas, é importante selecionar a correta taxa de transmissão (*baud rate*) na qual os dados seriais são enviados, como indica a Figura 91 a seguir. A taxa de transmissão selecionada deve ser de 9600 em virtude da linha de comando `Serial.begin(9600)` presente no *sketch* utilizado. Convém destacar que uma seleção inadequada da taxa de transmissão impossibilita a visualização das informações no *serial monitor*.

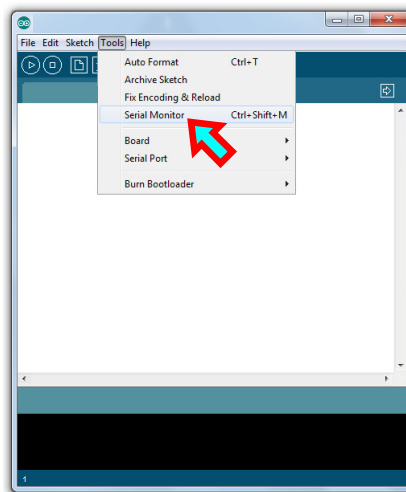


FIGURA 90 – Abertura do *serial monitor* através do menu “Tools”

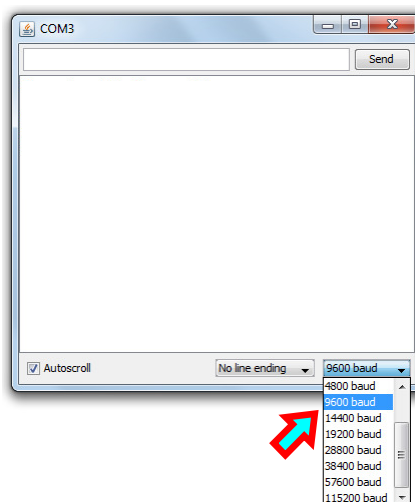


FIGURA 91 – Seleção da taxa de transmissão no *serial monitor*

## Apêndice F

### Gráficos de pressão, temperatura e marés oceânicas

#### F.1. Gráficos da pressão atmosférica e da temperatura ambiente: dados coletados com o sensor BMP085 e o Arduino Uno R3

O conjunto de gráficos a seguir, construídos a partir das sequências de medidas apresentadas na Tabela 7 (Capítulo 5, Seção 5.4), apresenta o comportamento da pressão atmosférica e da temperatura ambiente nos locais onde foram realizadas as medições feitas com o uso de um sensor de pressão barométrica BMP085 e de uma placa Arduino Uno. Os dados, coletados em intervalos de tempo de um minuto, foram armazenados em um cartão de memória através do *data logging shield* da Adafruit. Nos gráficos de pressão é possível perceber claramente as oscilações que caracterizam o fenômeno das marés barométricas.

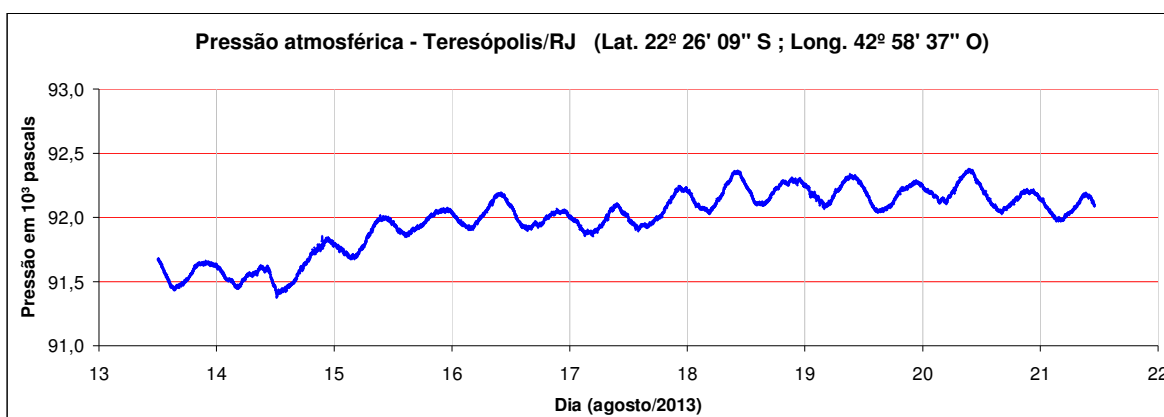
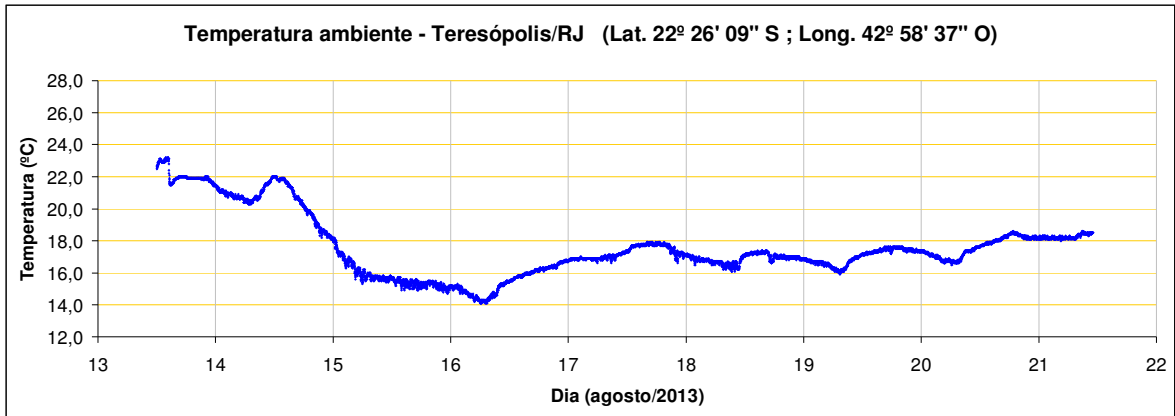
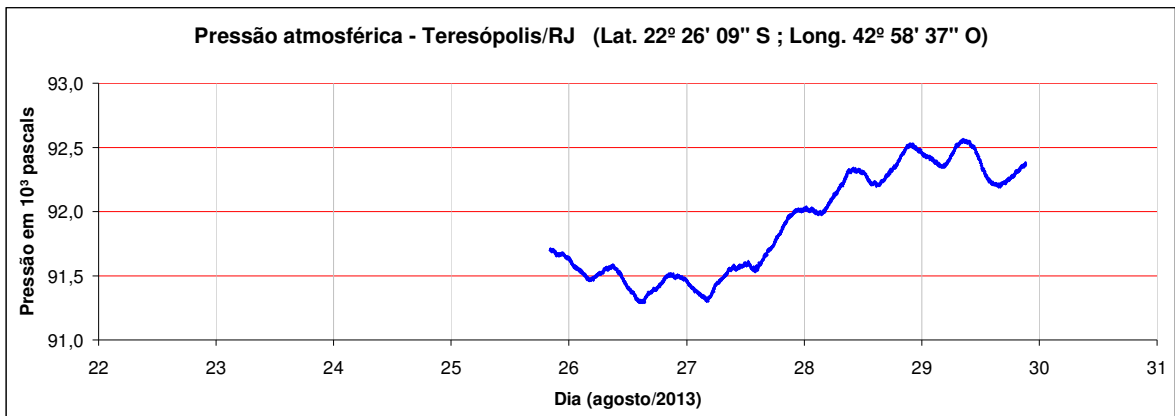


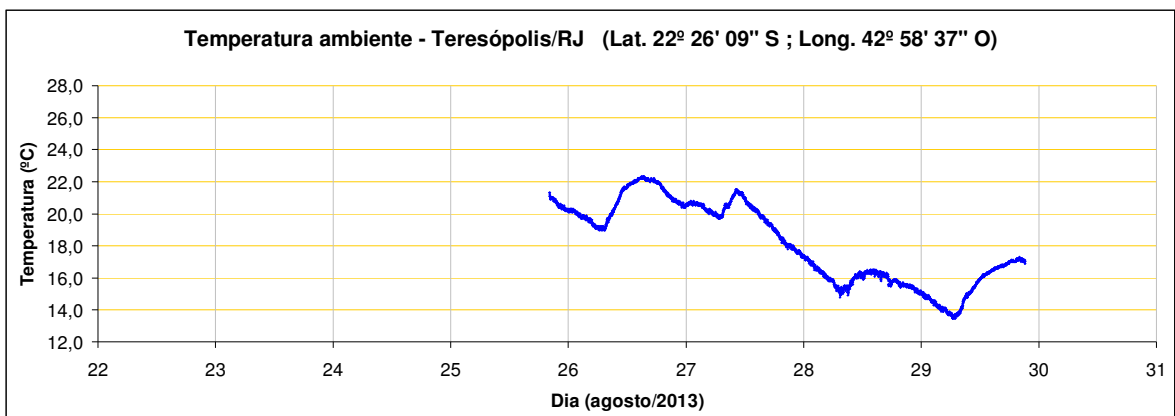
FIGURA 92 – Pressão atmosférica: 13 a 21/ago/2013 - Teresópolis / RJ



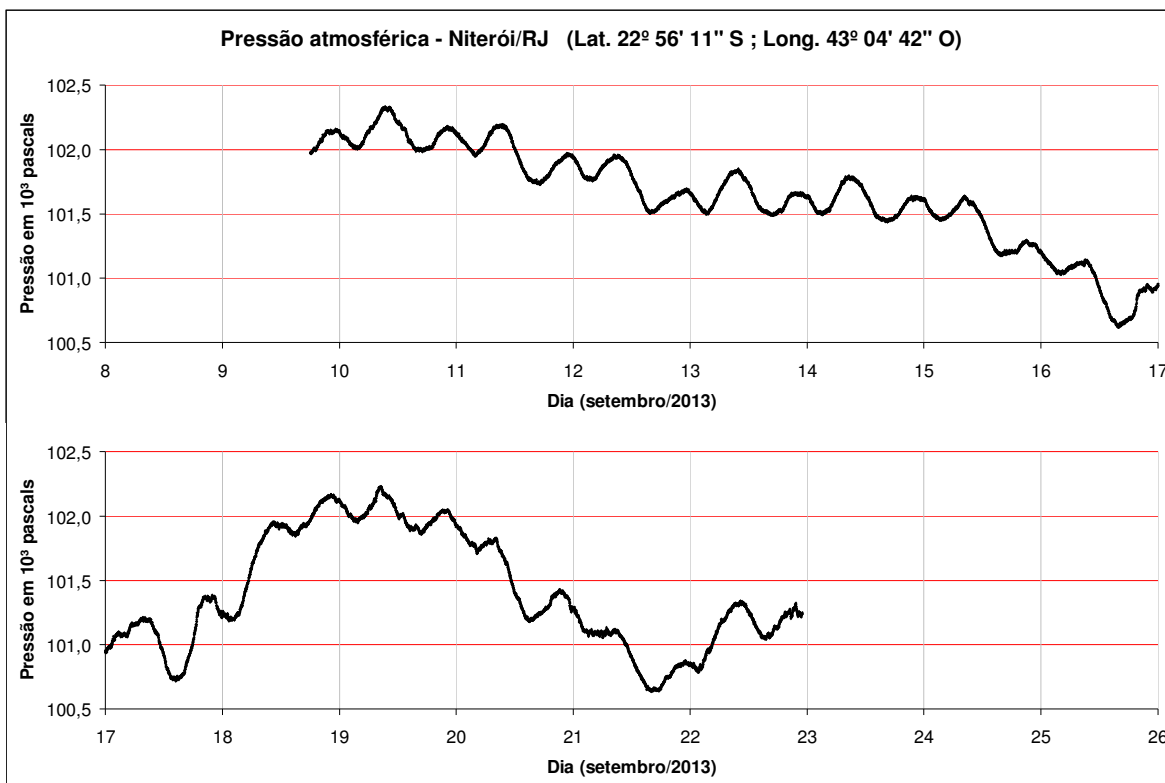
**FIGURA 93 – Temperatura ambiente: 13 a 21/ago/2013 - Teresópolis / RJ**



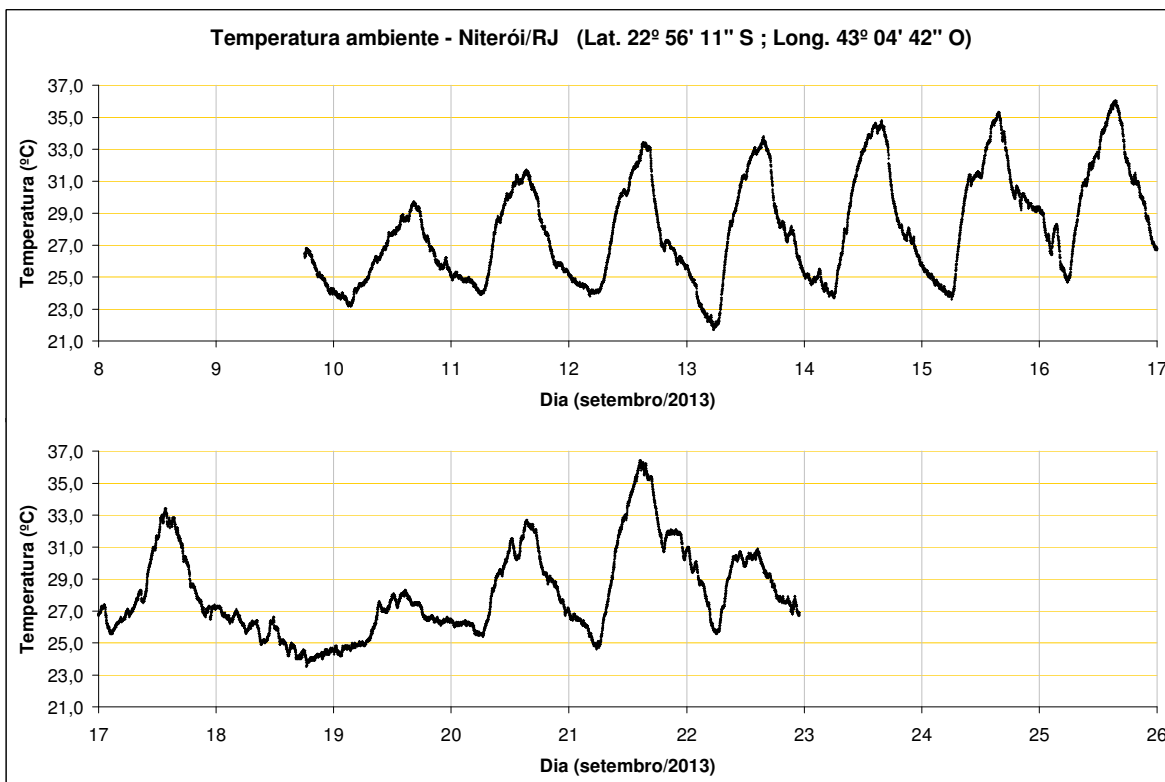
**FIGURA 94 – Pressão atmosférica: 25 a 29/ago/2013 - Teresópolis / RJ**



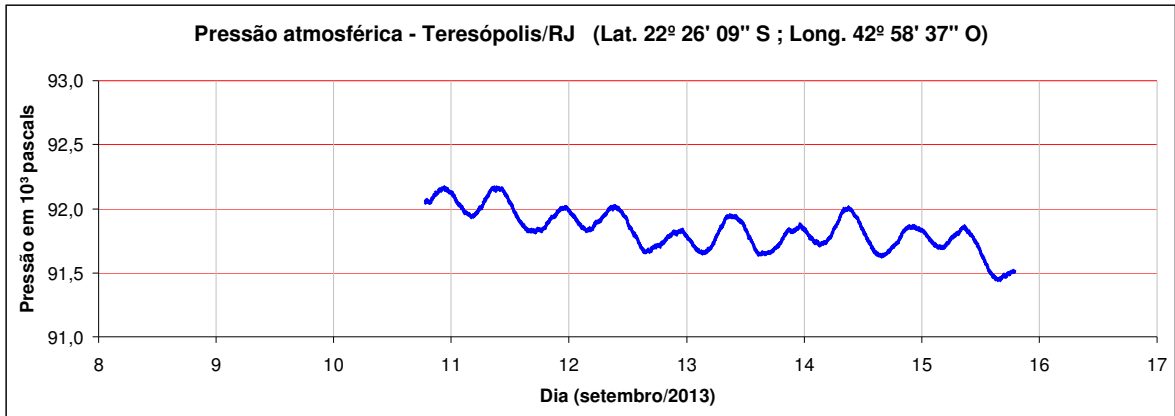
**FIGURA 95 – Temperatura ambiente: 25 a 29/ago/2013 - Teresópolis / RJ**



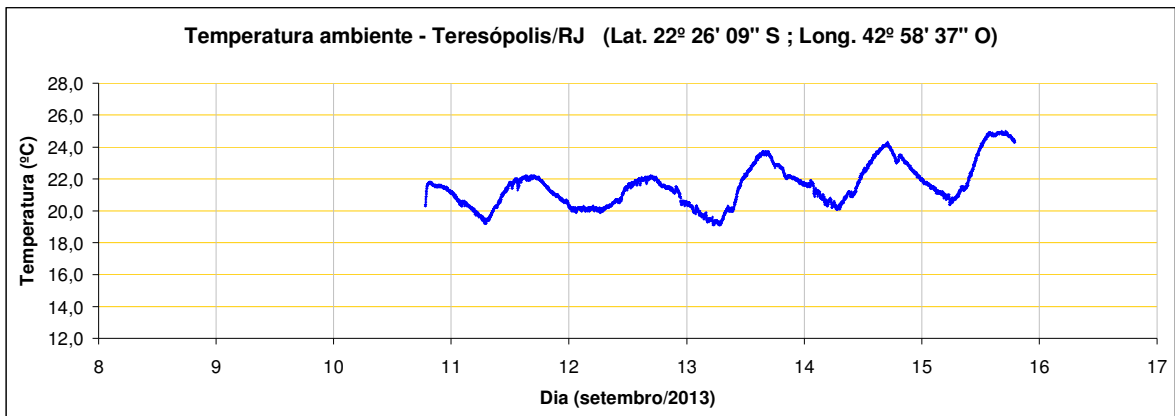
**FIGURA 96 – Pressão atmosférica: 9 a 22/set/2013 - Niterói / RJ**



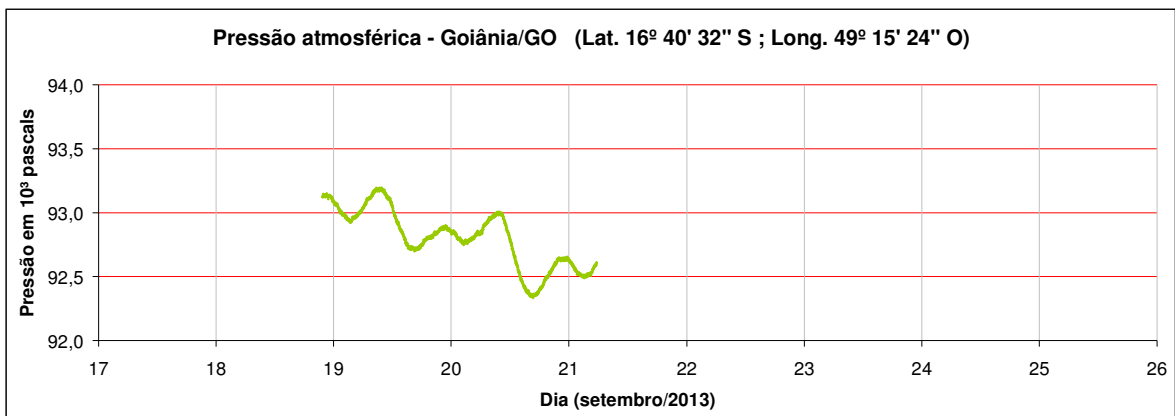
**FIGURA 97 – Temperatura ambiente: 9 a 22/set/2013 - Niterói / RJ**



**FIGURA 98 – Pressão atmosférica: 10 a 15/set/2013 - Teresópolis / RJ**

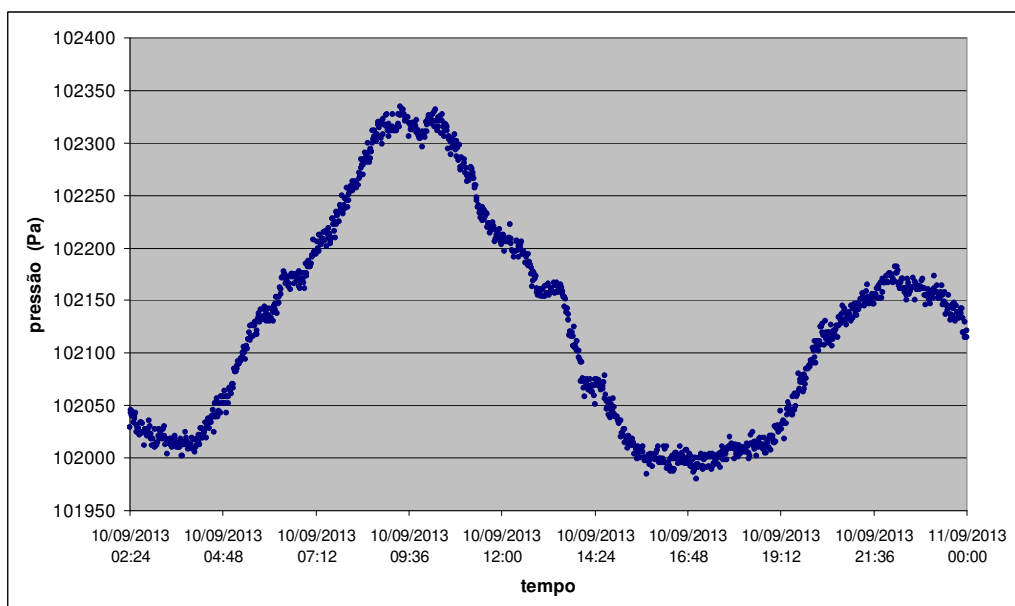


**FIGURA 99 – Temperatura ambiente: 10 a 15/set/2013 - Teresópolis / RJ**

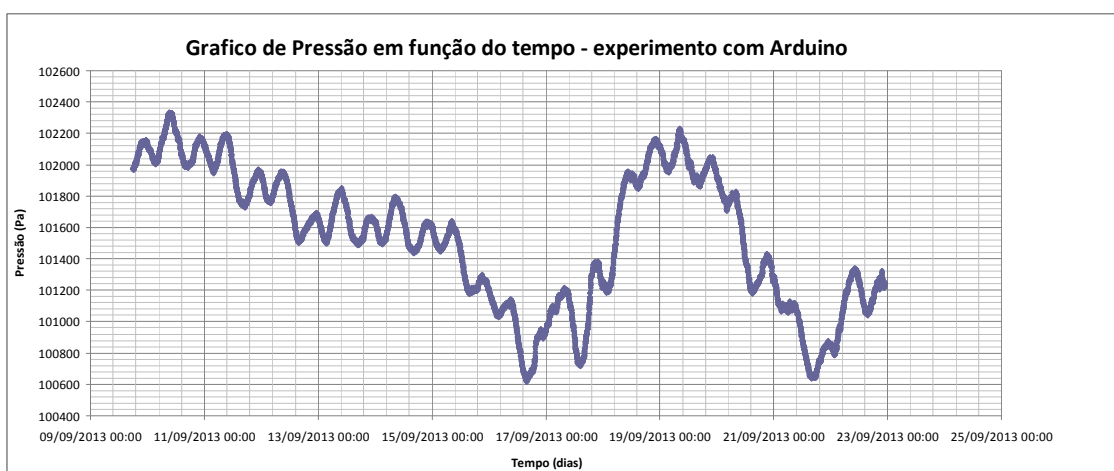


**FIGURA 100 – Pressão atmosférica: 18 a 21/set/2013 - Goiânia / GO**

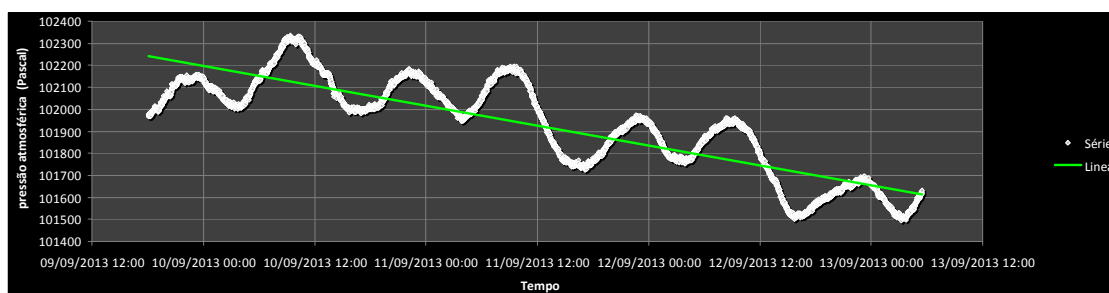
## F.2. Gráficos de pressão produzidos por alunos da ETEHL



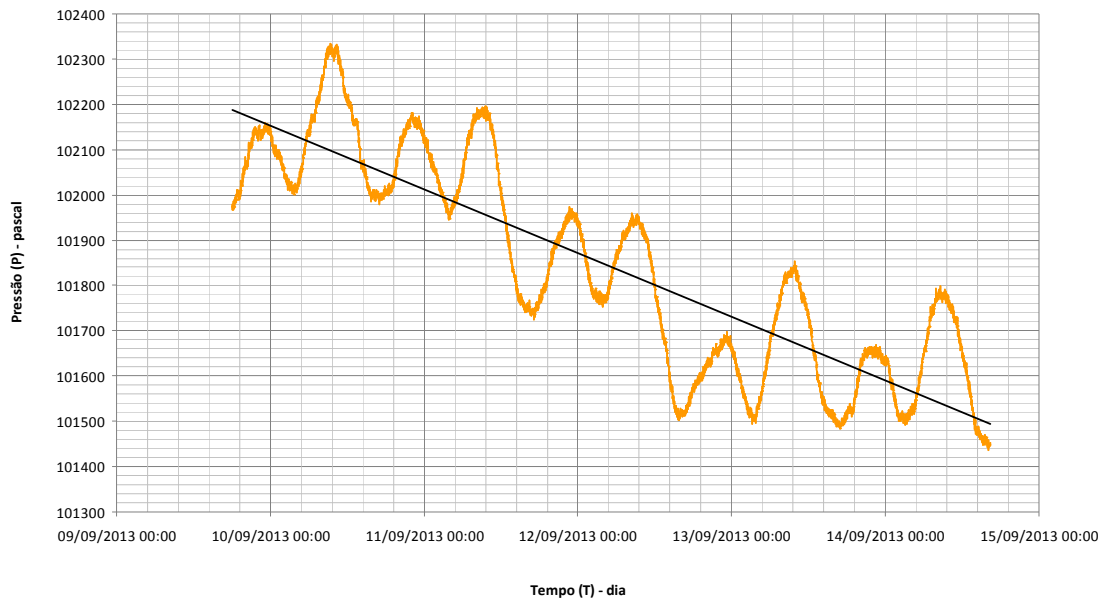
*Aluno 1232-08*



*Aluno 2331-21*

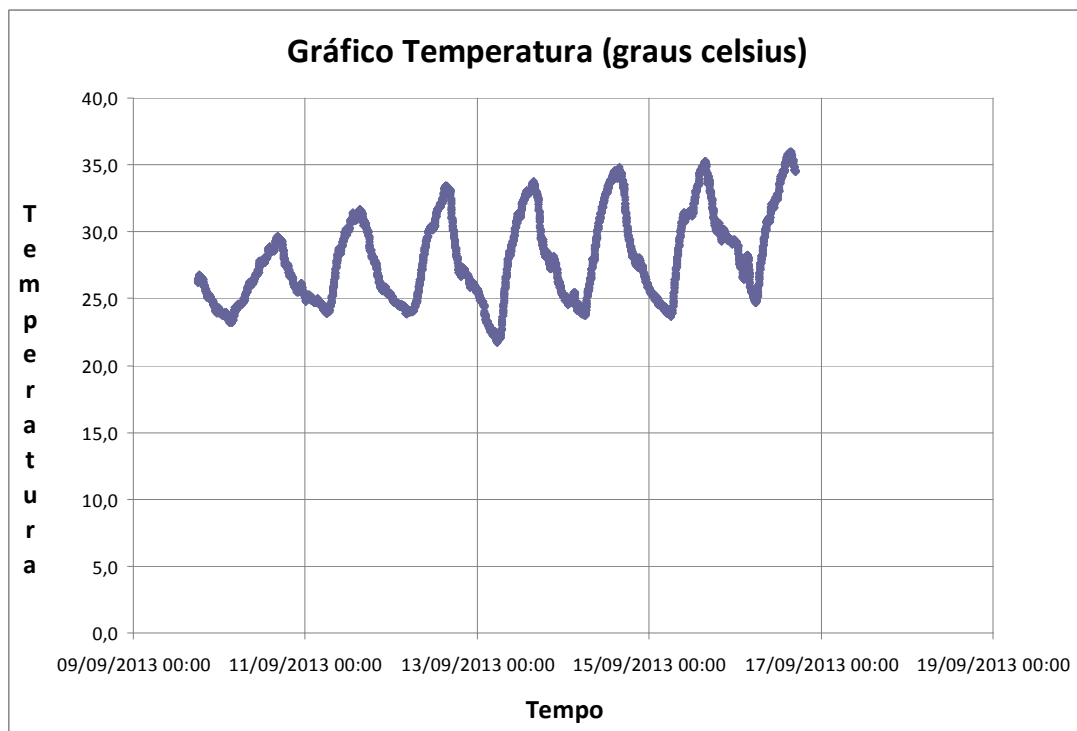


*Aluna 1232-13*

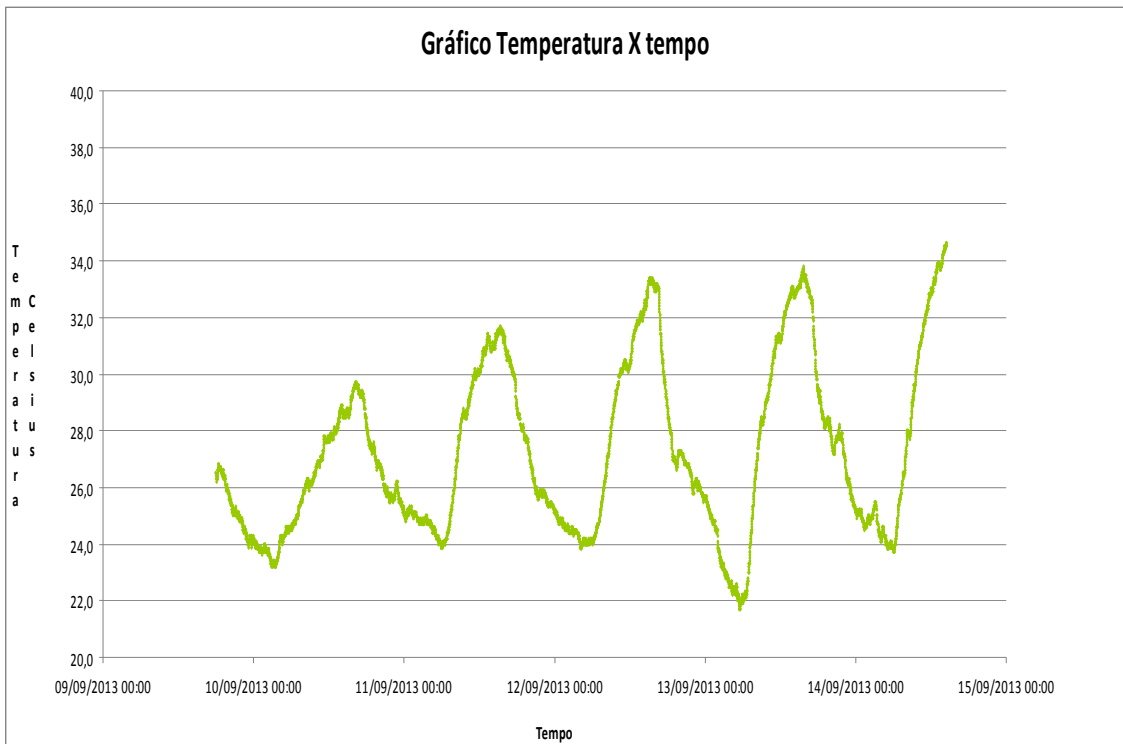


*Aluno 2331-25*

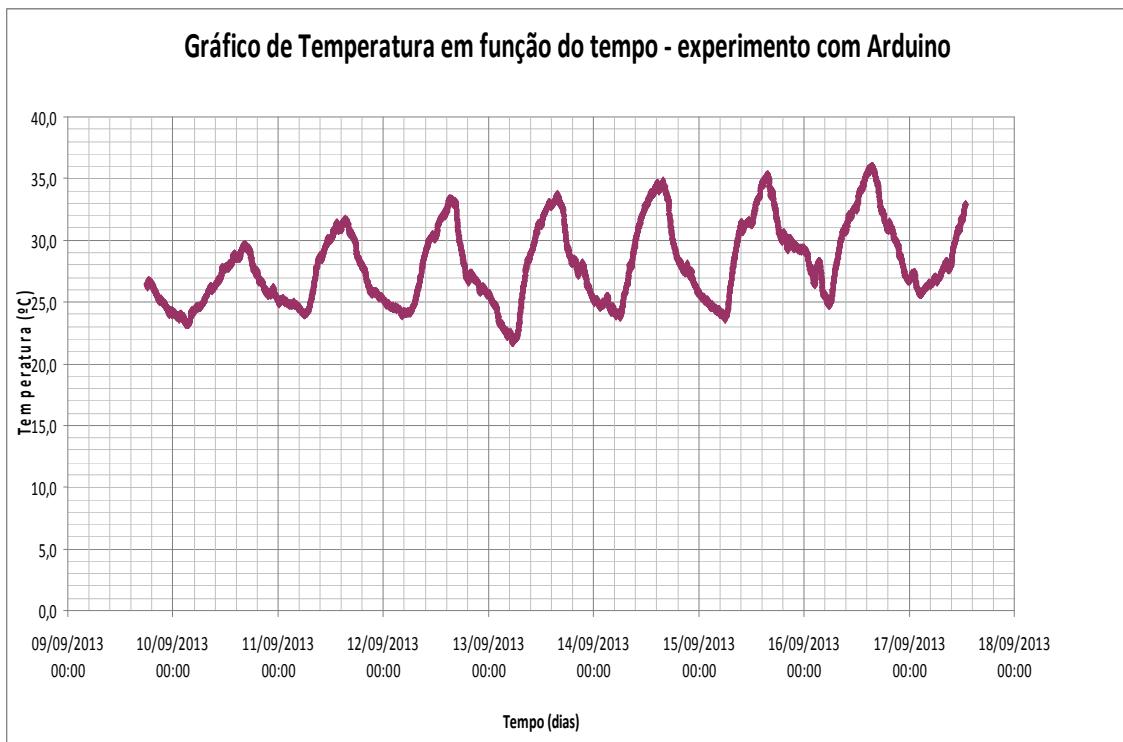
### F.3. Gráficos de temperatura produzidos por alunos da ETEHL



*Aluno 2431-19*



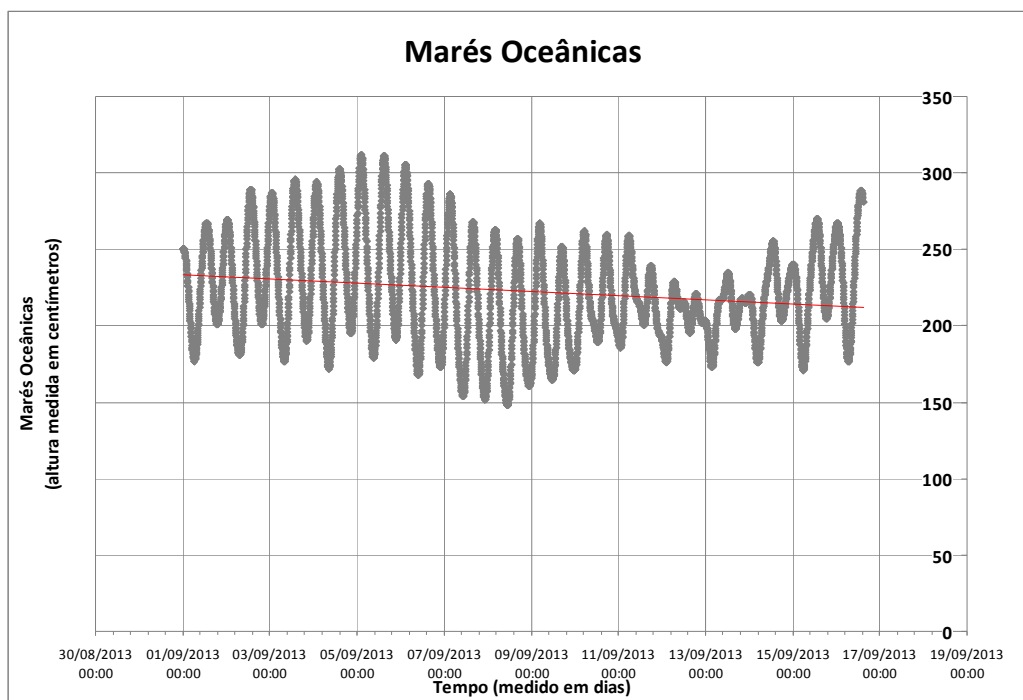
*Aluno 2331-22*



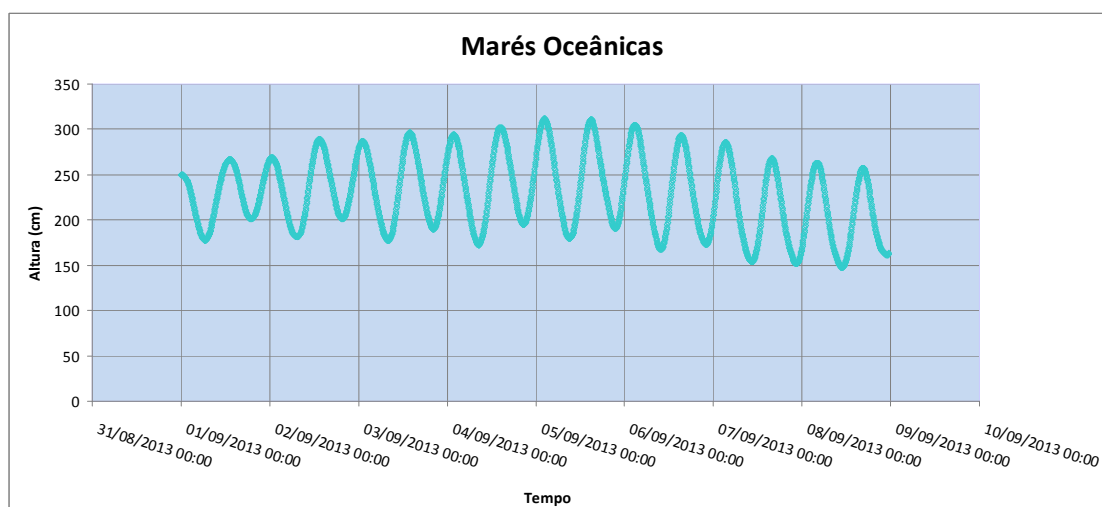
*Aluno 2331-21*



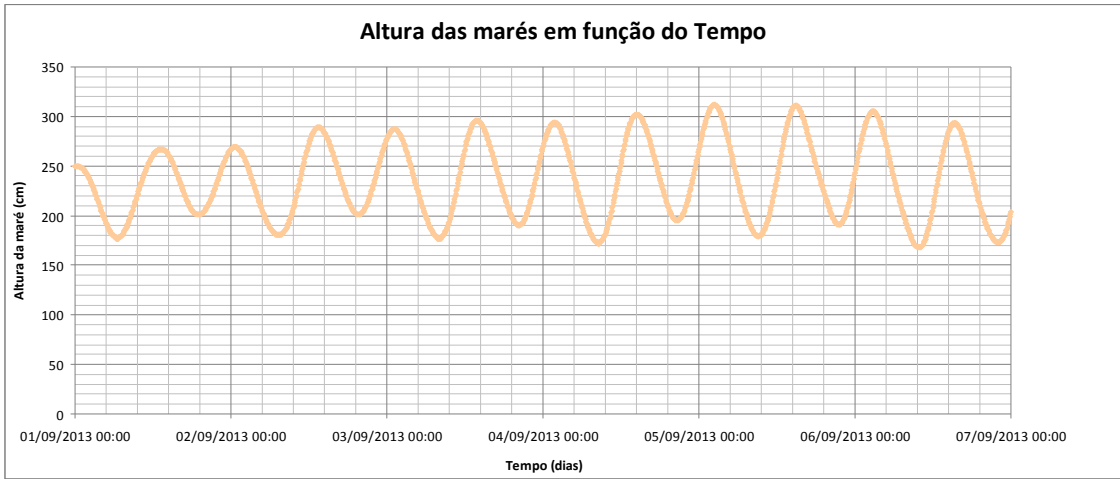
#### F.4. Gráficos de marés oceânicas produzidos por alunos da ETEHL



Aluna 2331-02



Aluna 2331-10



*Aluno 2331-21*



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

Instituto de Física

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

**VARIAÇÕES DIURNAS NA PRESSÃO ATMOSFÉRICA:  
UM ESTUDO INVESTIGATIVO BASEADO  
NA UTILIZAÇÃO DA PLACA ARDUINO**

***ANEXO I – Roteiro didático***

Luiz Raimundo Moreira de Carvalho

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Luiz Raimundo Moreira de Carvalho, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Helio Salim de Amorim

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2014

C331v Carvalho, Luiz Raimundo Moreira de

Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino / Luiz Raimundo Moreira de Carvalho. – Rio de Janeiro: UFRJ / IF, 2014.

xxiii, 234 f. : il. ; 30cm

Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Orientador: Dr. Helio Salim de Amorim

Referências Bibliográficas: f. 133-143.

1. Física - ensino e aprendizagem. 2. Pressão atmosférica. 3. Atividade experimental investigativa. I. Amorim, Helio Salim de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino.

CDD 530.07

A dissertação de mestrado *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino* e seus materiais instrucionais, assim como os *sketches* para Arduino, podem ser obtidos em:

[http://www.if.ufrj.br/~pef/producao\\_academica/dissertacoes.html](http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes.html)

# VARIAÇÕES DIURNAS NA PRESSÃO ATMOSFÉRICA:

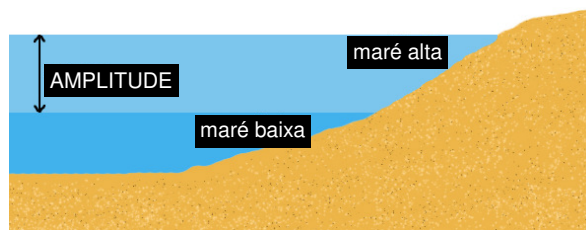
## UM ESTUDO INVESTIGATIVO BASEADO NA UTILIZAÇÃO DA PLACA ARDUINO

Luiz Raimundo M. de Carvalho – PEF-IF / UFRJ ; ETEHL / FAETEC [ [luiz.fisica.prof@gmail.com](mailto:luiz.fisica.prof@gmail.com) ]

Helio Salim de Amorim – IF / UFRJ [ [hsalim@if.ufrj.br](mailto:hsalim@if.ufrj.br) ]

### 1 – As marés oceânicas

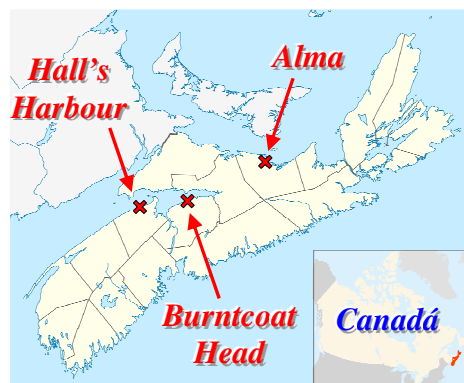
Você conhece as marés oceânicas? As marés oceânicas são fenômenos que consistem em alterações no nível da água do mar ao longo do dia. A diferença entre o nível máximo atingido pela água (maré alta) e o nível mínimo (maré baixa) costuma ser chamado de *amplitude*.



As amplitudes das marés na Baía de Fundy, localizada entre as províncias de New Brunswick e Nova Scotia, no Canadá, estão entre as maiores do mundo. Para você ter uma ideia, na localidade de Burntcoat Head, em Nova Scotia, as amplitudes das marés chegam a aproximadamente 11,7 m de altura!



Baía de Fundy / Canadá



Localidades na província de Nova Scotia / Canadá

Veja nas fotografias abaixo a impressionante diferença entre a maré alta e a maré baixa em Alma, localizada ao norte de Nova Scotia. As fotografias foram tiradas no mesmo dia, com apenas algumas horas de diferença.



*Maré alta em Alma  
(Nova Scotia / Canadá)*



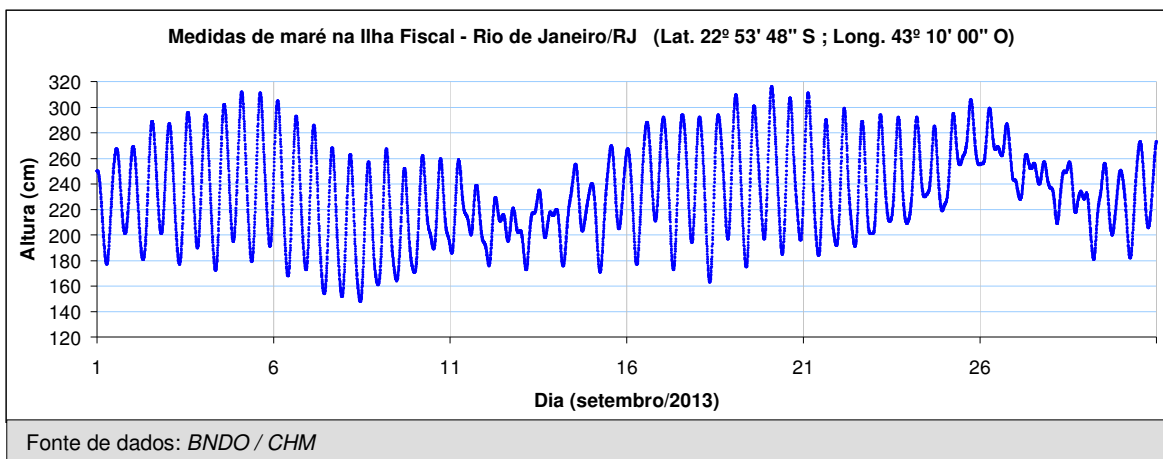
*Maré baixa em Alma  
(Nova Scotia / Canadá)*

Confira pelo link do vídeo abaixo as marés em Hall's Harbour, uma comunidade pesqueira localizada na Baía de Fundy.

<http://www.youtube.com/watch?v=hbzwzrZXUKA>

Se você mora em uma cidade litorânea, talvez já tenha observado o fenômeno das marés. Entretanto, existem muitos lugares em que a amplitude das marés atinge apenas poucos centímetros, o que torna mais difícil perceber com clareza as variações no nível da água do mar.

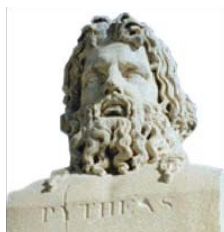
As marés na Baía da Guanabara, no Rio de Janeiro, não têm amplitudes tão grandes como as marés na Baía de Fundy. O gráfico a seguir mostra as oscilações no nível da água registradas na estação maregráfica da Ilha Fiscal, localizada na Baía da Guanabara. Veja no gráfico que, em setembro de 2013, o nível da água oscilou, no máximo, algo em torno de 1,4 m.



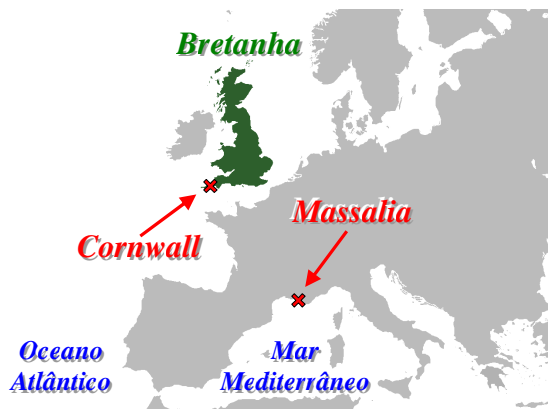
As amplitudes das marés oceânicas variam de acordo com a localidade em função de diversos fatores, tais como a localização geográfica (latitude e longitude), o perfil da costa litorânea, a profundidade e as irregularidades do piso oceânico e a ação dos ventos. Esses e outros fatores importantes afetam as medidas de maré registradas em diferentes localidades.

## **2 – Breve histórico das marés oceânicas**

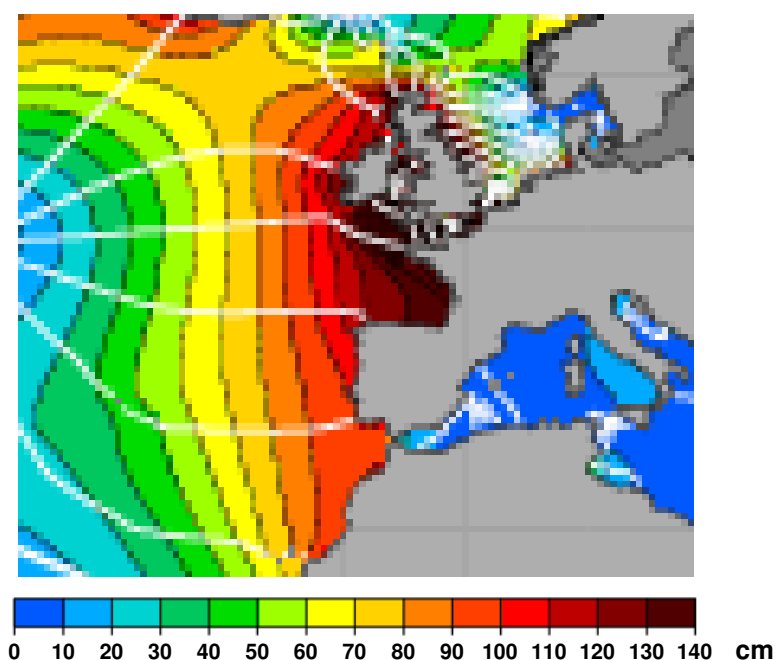
A maré oceânica é um fenômeno conhecido desde a Antiguidade. O explorador grego Píteas (séc. IV a.C.), partindo de Massalia (atual Marselha, na França), navegou pelo Mar Mediterrâneo em direção ao Oceano Atlântico e posteriormente rumou para o Norte. Segundo os relatos históricos, Píteas teria circumnavegado a Bretanha. Na ocasião, ele visitou as minas de estanho de Cornwall, onde observou marés de amplitudes consideráveis.



*Busto que representa Píteas*



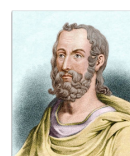
Os povos das regiões situadas no Mar Mediterrâneo conheciam muito pouco ou praticamente nada sobre o fenômeno da maré oceânica. Isso porque no Mar Mediterrâneo a amplitude das marés é muito pequena (entre 0 e 10 cm de altura), quase insignificante, como mostra o mapa esquematizado na figura abaixo. Píteas pôde observar marés de maior amplitude e alcance, ao navegar por parte da costa atlântica da Europa. Você pode ver pelo mapa que nessas regiões costeiras fora do Mediterrâneo, por onde o navegador grego passou, as amplitudes das marés variam entre 90 cm e 140 cm.



### **3 – Uma causa para as marés oceânicas**

O que explica o fenômeno das marés? No século I d.C., Caius Plinius Secundus (também conhecido como Plínio, o Velho) já afirmava:

A causa das marés  
está no Sol e na Lua.



*Plínio, o Velho*  
(23 – 79 d.C.)



Ao longo dos séculos, diversos pensadores tentaram, de diferentes maneiras, explicar o fenômeno das marés. Vejamos algumas propostas:

A Lua emite raios de atração que atingem a água dos oceanos e criam as marés altas.



*Roger Bacon*  
(c. 1214 – 1294)

As marés são produzidas pelo movimento combinado de rotação e de translação da Terra. Portanto, as marés são mais uma prova de que a Terra está em movimento.



*Galileo Galilei*  
(1564 – 1642)

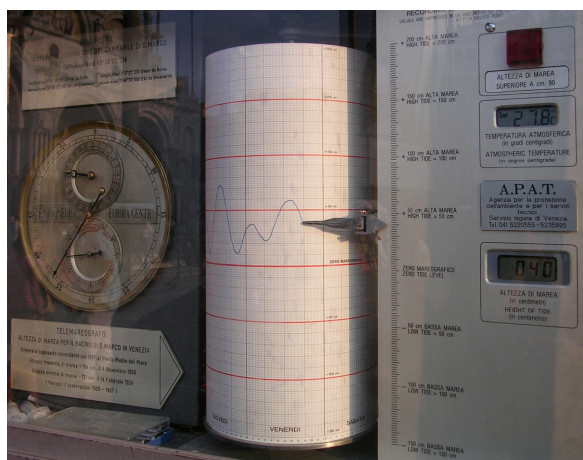
A força de atração gravitacional sobre a água dos oceanos produz as marés oceânicas. Nesse caso, essa força da gravidade é exercida pela Lua e, em parte, também pelo Sol.



*Isaac Newton*  
(1642 – 1727)

#### **4 – Investigações sobre as marés oceânicas**

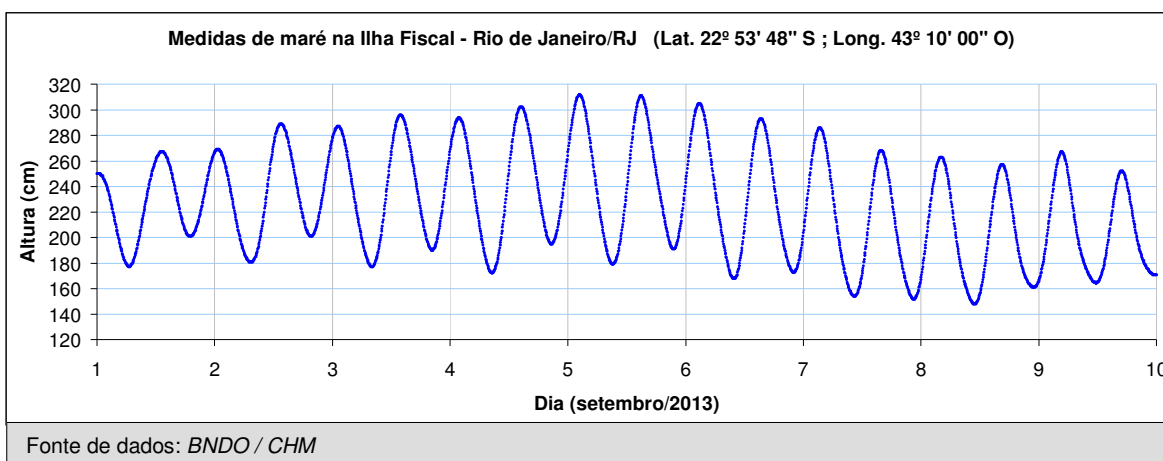
A medida da variação no nível da água com o passar do tempo pode ser feita por um instrumento chamado *marégrafo* (que também é conhecido como *mareógrafo*, *marêmetro* ou *mareômetro*). Veja um exemplo de um marégrafo na fotografia abaixo.



*Marégrafo na Praça de San Marco - Veneza / Itália*

Através do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) do Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil (CHM), você pode obter dados sobre as marés de diferentes estações maregráficas brasileiras (confira uma lista das estações em <http://www.fundacaofemar.org.br/estacoes-indice.php>). Os dados coletados podem ser analisados e ajudam na compreensão do comportamento das marés. Para obter dados do BNDO, você e seu professor de Física podem escrever um *e-mail* para [bndo@chm.mar.mil.br](mailto:bndo@chm.mar.mil.br), seguindo as orientações do CHM em [http://www.mar.mil.br/dhn/chm/chm\\_new/aceso\\_dados.html](http://www.mar.mil.br/dhn/chm/chm_new/aceso_dados.html).

Dependendo da estação maregráfica que realiza as medidas da altura do nível da água do mar, as informações podem ser registradas em um gráfico chamado *maregrama* (é o caso da fotografia do marégrafo de San Marco). Mas em outros casos os dados são armazenados em formato digital (é o caso da estação maregráfica da Ilha Fiscal, no Rio de Janeiro, que utiliza um radar para medir o nível da água do mar na Baía de Guanabara). Nesses casos, você mesmo pode construir seu “maregrama digital”, utilizando um programa para tratamento de dados e traçado de gráficos. Veja um exemplo abaixo, feito com o *Microsoft Excel 2003*.



Repare no gráfico acima que aparentemente temos duas marés altas e duas marés baixas por dia. Esse fato sempre intrigou muito todos aqueles que tentaram explicar o fenômeno das marés. Você seria capaz de explicá-lo? Que teoria deve ser a mais adequada para explicar esse fato?

Talvez você já tenha ouvido falar que as marés são mesmo produzidas pela força da gravidade da Lua e do Sol, como Newton havia proposto. Mas será que podemos estabelecer alguma relação entre os dados de maré e esses dois astros? A partir do momento que você tiver seus dados de maré, muitas investigações poderão ser feitas.

*Algumas propostas de investigação:*

1 Como você deve proceder para encontrar o período das oscilações das marés a partir das medidas da altura do nível do mar?

2 O período das oscilações das marés oceânicas está, de certa forma, relacionado com alguma característica do movimento lunar (ou do movimento solar)?

3 Você conhece as características do movimento lunar? Sabe quais são os períodos do “dia lunar”, do “mês lunar” e do “mês anomalístico”? Sabe como explicar esses períodos?

4 Você já viu um calendário lunar? Sabe para que ele serve? Sabe como usá-lo?

5 Existe com o passar dos dias alguma variação na amplitude das marés? O que você pode afirmar sobre isso quando analisa as oscilações no nível da água em torno de datas que marcam determinadas fases da Lua?

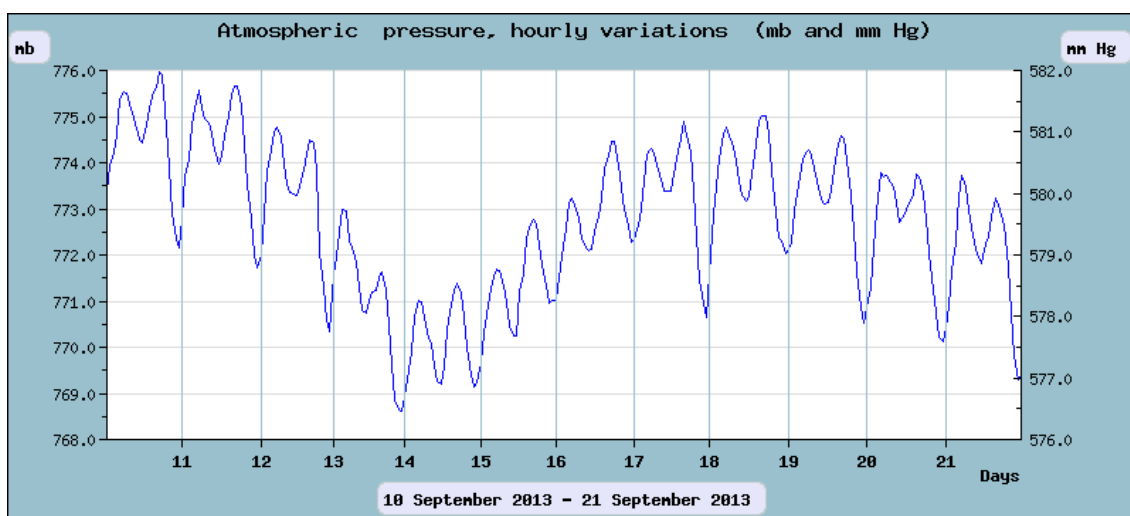
6 Como a gravidade do Sol interfere nas marés oceânicas? As oscilações no nível do mar apresentam características que podem ser atribuídas à ação gravitacional do Sol?

7 Você sabe o que é uma “maré de sizígia”? E uma “maré de quadratura”? Sabe explicar a diferença entre elas ou explicar por que elas existem?

Certamente você pode pensar em outras propostas de investigação, além das que foram apresentadas, incluindo o desenvolvimento de modelos matemáticos que expliquem as características do fenômeno observado. Seu professor de Física também pode sugerir outras linhas de investigação.

### 5 – As marés atmosféricas

Observe o gráfico abaixo. Ele apresenta o comportamento da pressão atmosférica na Cidade do México, entre 10 e 21 de setembro de 2013.



Reparou como nesse gráfico a pressão atmosférica parece se comportar de forma parecida como se comporta a altura do nível da água em um maregrama? Por analogia com as marés oceânicas, esse fenômeno de oscilação na pressão atmosférica é conhecido como **marés atmosféricas** (ou **marés barométricas**). Observe no gráfico que, aparentemente, temos duas “marés barométricas altas” e duas “marés barométricas baixas” por dia. Mas como podemos explicar esse fenômeno?

Já que o comportamento oscilante da pressão atmosférica é tão parecido com o da água do mar, será que as marés atmosféricas também podem ser explicadas pela ação gravitacional da Lua e do Sol? Nesse caso, a força da gravidade seria capaz de produzir tanto as marés oceânicas quanto as marés atmosféricas? Que tal realizar um estudo comparativo entre esses dois fenômenos?

A força gravitacional resultante da combinação da gravidade da Lua com a gravidade do Sol é chamada de “força das marés”. Essa força afeta a Terra de diversas maneiras. Newton previu que a força das marés deveria afetar tanto a massa de água dos oceanos quanto a massa de ar da atmosfera, produzindo, assim, marés barométricas.

A força das marés deve causar marés atmosféricas, da mesma forma que causa as marés oceânicas. Sendo assim, devemos observar oscilações na pressão atmosférica.



*Isaac Newton*  
(1642 – 1727)

Mas por que as marés atmosféricas se manifestam através de oscilações na pressão atmosférica? Para entender esse fato, você deve primeiro conhecer algumas coisas sobre a pressão atmosférica.

## **6 – A pressão atmosférica**

Em 1643, Vincenzo Viviani e Evangelista Torricelli realizaram um famoso experimento, hoje conhecido como “experiência de Torricelli”.



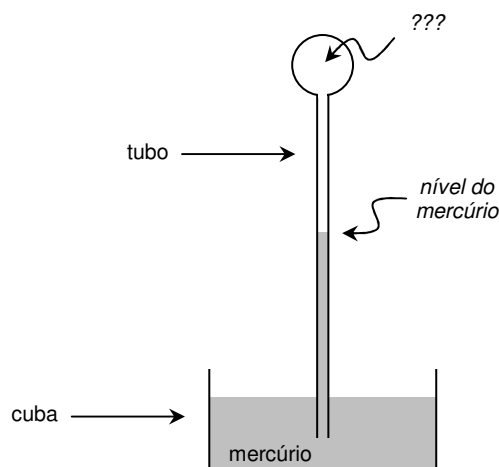
*Evangelista Torricelli*  
(1608 – 1647)



*Vincenzo Viviani*  
(1622 – 1703)

Eles utilizaram um tubo de vidro com um comprimento da ordem de um metro, fechado em uma extremidade e aberto na outra. O tubo foi preenchido com mercúrio e emborcado em uma cuba, que também armazenava mercúrio.

Veja o resultado:

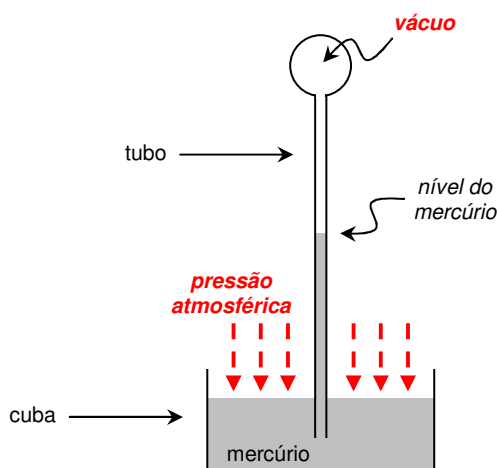


O mercúrio dentro do tubo desceu, mas não totalmente. Uma “coluna de mercúrio” permaneceu estacionada, e agora é preciso explicar o que há no espaço sobre essa coluna dentro do tubo. O que você acha que existe ali?

Além disso, é preciso explicar por que o mercúrio dentro do tubo não desce totalmente. Algumas pessoas podem afirmar que a coluna de mercúrio não desce porque no espaço sobre ela existe um vácuo dentro do tubo, que puxa o mercúrio para cima. A interpretação do vácuo (ou da rarefação do ar) como uma “força que puxa” também costuma ser usada para explicar, por exemplo, por que um líquido sobe por um canudo quando o ar interno ao canudo é aspirado. Também é comum ouvir dizer que em uma corrida automobilística os pilotos tentam usar o “vácuo” produzido pelo adversário à sua frente como um auxílio para a ultrapassagem, já que esse vácuo, puxando o carro para frente, faz ele ganhar uma velocidade adicional. Essas explicações parecem fazer sentido para você?



Torricelli concorda que o espaço vazio dentro do tubo é realmente vácuo. Entretanto, ele argumenta que a explicação para a manutenção da coluna líquida está fora do tubo, não dentro dele. Devemos prestar atenção na ação da atmosfera sobre a superfície livre do mercúrio contido na cuba. Veja na figura abaixo um esquema da interpretação de Torricelli.

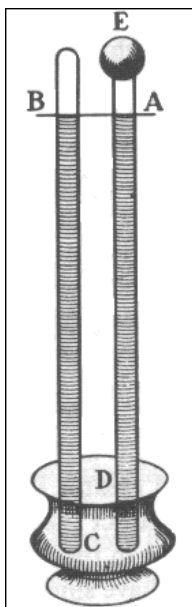


Para esse cientista, a atmosfera “empurra” a superfície do mercúrio na cuba, e é isso que mantém o nível dentro do tubo. O vácuo existe dentro do tubo, mas não está puxando nada. Afinal, o vácuo é um espaço vazio! Sendo assim, a posição de equilíbrio do instrumento pode ser interpretada como sendo resultante de duas ações que se opõem: uma é a pressão interna ao instrumento, que é exercida pelo peso da coluna de mercúrio; a outra é a pressão externa ao instrumento, que é exercida pelo peso do ar atmosférico.

Na época em que Torricelli viveu, muitas pessoas não acreditavam que o vácuo pudesse existir e por isso discordavam radicalmente da interpretação dele sobre o resultado do experimento. Atualmente, o conceito de vácuo é bem difundido, mas muitas pessoas, apesar de acharem a proposta de Torricelli sobre a ação da pressão atmosférica uma boa ideia, discordam desse cientista, pois acham que a melhor explicação para o experimento é a de que o vácuo faz uma força que puxa a coluna de mercúrio para cima dentro do tubo.

E você? O que acha das ideias de Torricelli? Como será que Torricelli explicaria outros acontecimentos, como a situação do uso do canudo ou o caso da ultrapassagem nas corridas? Pense sobre isso.

As ideias de Torricelli talvez possam parecer complicadas ou incomuns, mas ele procurou justificá-las através de alguns argumentos. Em uma carta escrita em 11 de junho de 1644 para seu colega Michelangelo Ricci, Torricelli defende resumidamente suas ideias da seguinte maneira:



Como tem sido acreditado até agora, a força que impede o mercúrio de cair é interna ao tubo e causada pelo vácuo ou por alguma substância extremamente rarefeita. Mas eu afirmo que a causa é externa e que a força vem de fora. Nós fizemos experimentos com tubos diferentes, todos inicialmente cheios de mercúrio. Depois de emborcados, o nível horizontal do mercúrio é o mesmo em todos os tubos. Isso torna quase certo que a ação não vem de dentro, porque como o tamanho dos espaços vazios são diferentes nos tubos, uma força atribuída ao vácuo deveria ser maior onde há mais espaço vazio, e por essa ideia os níveis deveriam ser diferentes, não iguais. Mas como o mercúrio atinge níveis iguais, em todos os tubos o equilíbrio é produzido pela mesma causa. Eu tenho me empenhado em explicar esse e outros resultados pelo mesmo princípio: essa causa comum é a ação da pressão atmosférica.



*Evangelista  
Torricelli  
(1608 – 1647)*

O que você achou dos argumentos apresentados por Torricelli? Eles parecem fazer sentido, não é mesmo? A pressão do ar atmosférico, por ser a mesma causa externa, produz sempre o mesmo efeito observado: a altura que as colunas de mercúrio atingem dentro de diferentes tubos é a mesma. E o mais importante é que o argumento de Torricelli sobre a pressão atmosférica explica por que não importa qual é a forma do tubo ou qual a sua inclinação.





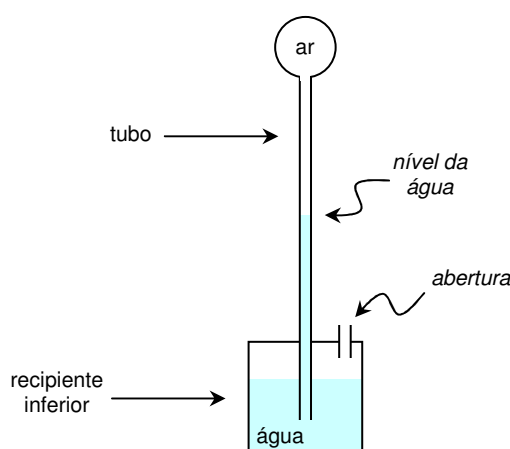
A experiência de Torricelli tem uma grande importância histórica, pois permitiu simultaneamente uma discussão profunda sobre duas coisas: o vácuo e a pressão atmosférica. O resultado do experimento constitui-se como um barômetro, pois o instrumento é capaz de detectar variações na pressão atmosférica através da mudança no nível do mercúrio contido no tubo. Na realidade, podemos dizer que, com sua experiência, Evangelista Torricelli foi o inventor do primeiro barômetro da história, uma vez que também foi o primeiro cientista a interpretar a altura da coluna de mercúrio como uma medida da pressão atmosférica.

Nós vivemos imersos em um oceano de ar, que sem dúvida exerce uma pressão. Essa pressão deve ser maior no “fundo” da atmosfera e menor quanto mais próxima estiver a sua “superfície”.



*Evangelista  
Torricelli*  
(1608 – 1647)

Antes da experiência de Torricelli, existiram outros instrumentos que também eram afetados pela pressão atmosférica. É o caso do termobaroscópio de Galileu, por exemplo (veja a figura abaixo). Entretanto, a medida da pressão atmosférica só foi possível a partir do momento em que surgiu o conceito de pressão atmosférica, e isso só ocorreu com o desenvolvimento das ideias de Torricelli. Além disso, no caso do experimento de Galileu a influência da temperatura é muito evidente, fazendo com que o instrumento seja interpretado como um termoscópio que opera pela dilatação térmica do ar contido no tubo.



## **7 – De volta às marés atmosféricas**

Agora você é capaz de entender melhor a hipótese de Newton para as marés atmosféricas. Segundo ele, a força das marés afeta a água, produzindo as marés oceânicas, mas também deveria afetar o ar atmosférico, causando marés atmosféricas. No caso da maré oceânica, o efeito produzido pela força gravitacional é observado pela alteração no nível da água do mar. Já no caso da maré atmosférica, o efeito deveria ser observado como uma oscilação da pressão, que poderia ser entendida como uma alteração no “nível de ar” da atmosfera.

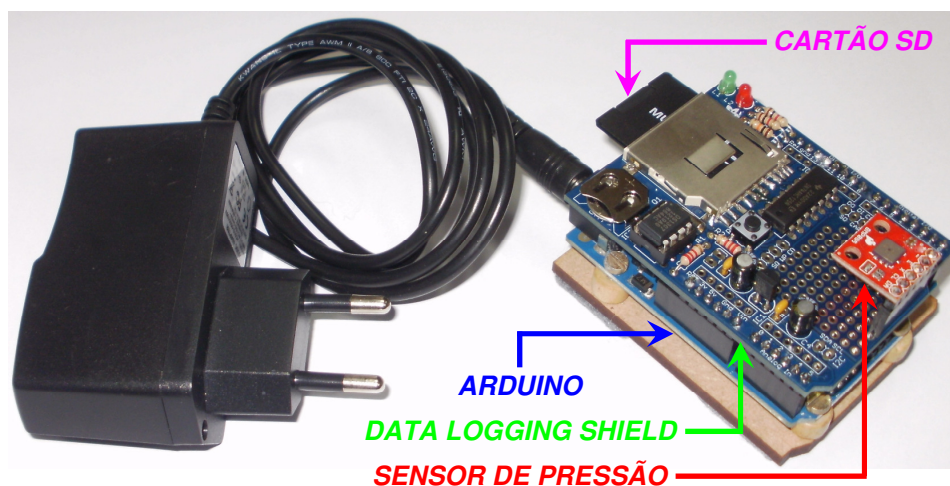
Portanto, no caso das marés oceânicas, o nível da água oscila ao longo do tempo e essas marés podem ser detectadas nos litorais através das variações na altura da água. Já as marés atmosféricas só poderiam ser observadas de forma indireta, pois a atmosfera não possui um “litoral” e tampouco uma “superfície” ou “limite superior” bem definido. Mas como estamos imersos em um “oceano de ar”, podemos medir a pressão exercida pelo ar atmosférico utilizando um barômetro.

## **8 – Projeto de instrumentação de um barômetro digital**

Você viu anteriormente que um gráfico da pressão atmosférica oscilante se parece muito com um maregrama. Newton propôs a hipótese de que a força gravitacional da Lua e do Sol também produziria marés barométricas, além das marés oceânicas. Mas para que você possa investigar as marés atmosféricas, da mesma forma que investigou as marés oceânicas, você deve primeiramente detectá-las através de medições da pressão atmosférica.

Apesar de medir bem a pressão atmosférica, um barômetro de Torricelli (assim como outros tipos de barômetros convencionais) não é adequado para detectar as marés atmosféricas se você quiser fazer um estudo investigativo mais aprofundado sobre esse fenômeno. A proposta é que você, com a ajuda de seu professor de Física, monte um projeto de instrumentação para realizar medidas automatizadas da pressão atmosférica.

A fotografia abaixo mostra uma montagem experimental que utiliza os seguintes componentes: um sensor de pressão (e temperatura), um *shield* que opera como *data logger* e salva as medidas do sensor em um cartão de memória, uma placa controladora Arduino Uno e uma fonte de alimentação de 9 V.

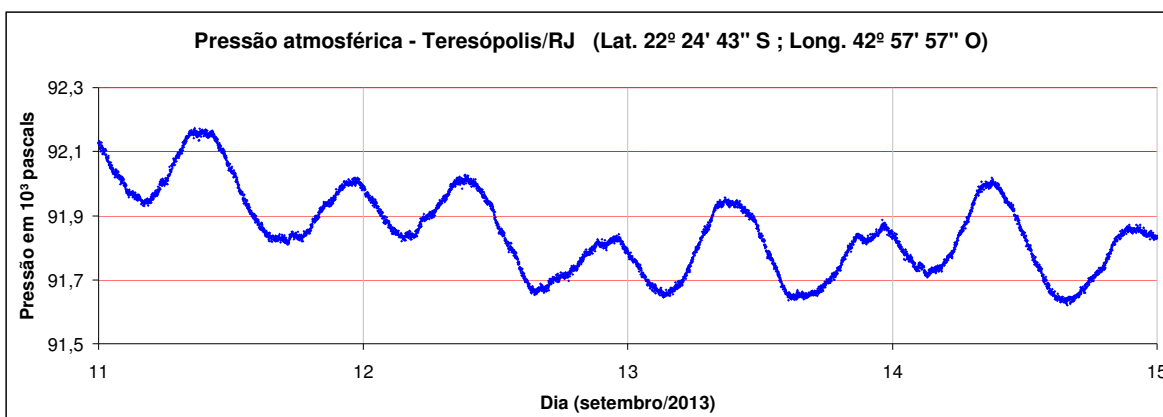
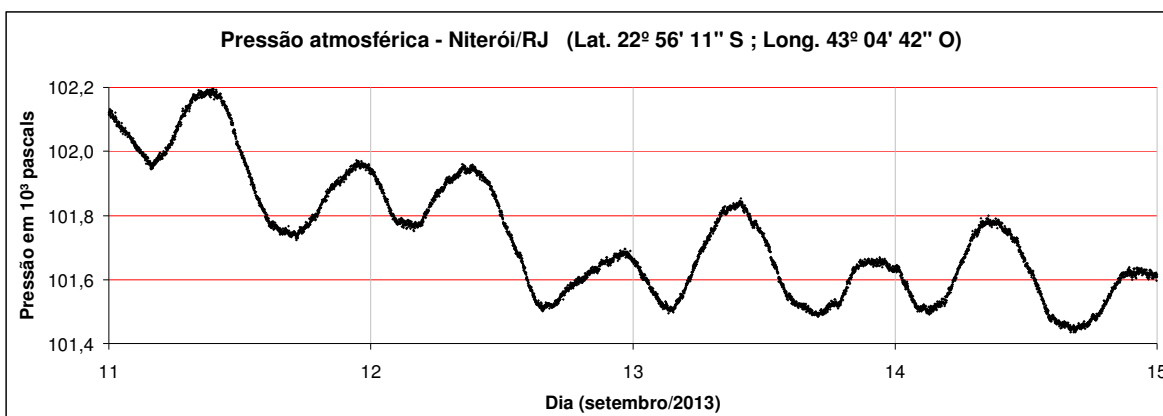


Com uma montagem como essa, você será capaz de aplicar uma atividade experimental investigativa muito interessante sobre o fenômeno das marés atmosféricas. Para investigar esse fenômeno, o primeiro passo é realizar medidas da pressão atmosférica. Que tal montar, com a ajuda do professor de Física, um projeto como esse?

### **9 – Investigações sobre as marés atmosféricas**

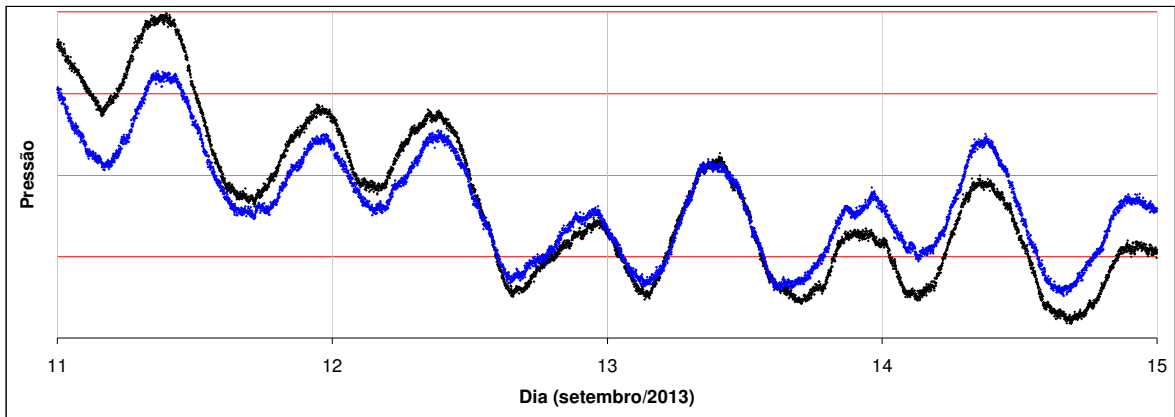
De posse de seus dados sobre a pressão atmosférica, você poderá desenvolver diversas investigações sobre as marés atmosféricas, comparando esse fenômeno com o fenômeno das marés oceânicas. Construa e analise gráficos da pressão em função do tempo. Se você também tiver medidas da temperatura ambiente (e é altamente recomendável que você também tenha medidas da temperatura, além da pressão atmosférica), construa e analise gráficos da temperatura. Proponha hipóteses físicas, avalie conceitos físicos ou aplique modelos matemáticos que expliquem os resultados.

Que tal uma mostra do que se pode tentar fazer em uma atividade experimental investigativa? Observe os gráficos a seguir (eles foram feitos com o *Microsoft Excel 2003*, mas você pode utilizar com seus dados qualquer outro programa adequado para análise de dados e traçado de gráficos). O primeiro mostra a pressão atmosférica na cidade de Niterói (RJ), entre os dias 11 e 14 de setembro de 2013. O segundo mostra a pressão em Teresópolis (RJ), no mesmo período.

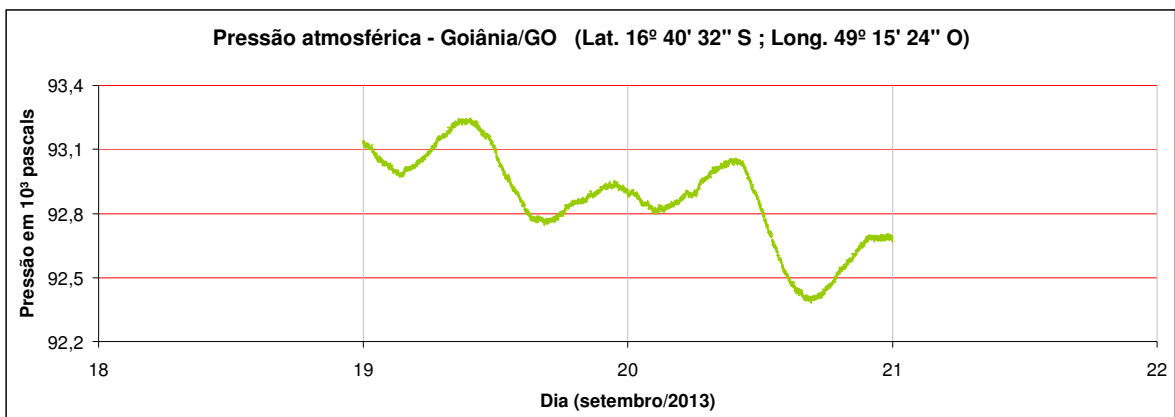
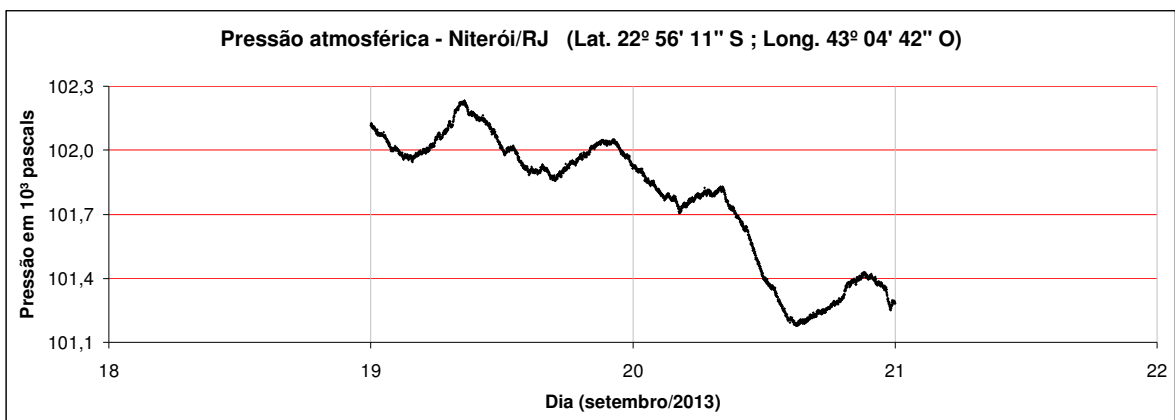


Os gráficos são parecidos, não é mesmo? (Não, eles não são iguais!) Um destaque importante: a pressão média em Niterói, no período considerado, foi de 101.732 Pa ( $\approx 763$  mmHg  $\approx 1$  atm), enquanto que em Teresópolis, foi de 91.850 Pa ( $\approx 689$  mmHg  $\approx 0,9$  atm). Você consegue explicar essa diferença? O que esses valores têm a ver com a interpretação de Torricelli da atmosfera como um “oceano de ar”?

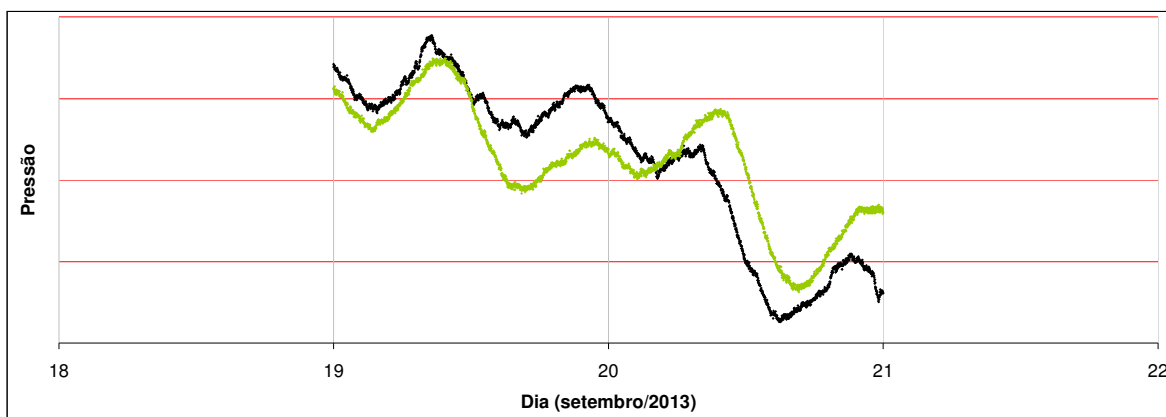
Agora vamos tentar superpor os gráficos. (Mas para isso precisamos apagar as escalas que indicam os valores de pressão. Você saberia explicar por quê?)



Interessante, você concorda? Apesar dos valores absolutos de pressão serem menores em Teresópolis do que em Niterói, as oscilações parecem ser coincidentes. (Será que são mesmo?) Agora veja a comparação entre dados de Niterói (RJ) e Goiânia (GO) nos dias 19 e 20 de setembro de 2013.



Reparou nos valores absolutos da pressão atmosférica nessas duas cidades? Agora veja os gráficos superpostos:



Se você tiver a oportunidade de trocar dados com pessoas de outras localidades e que estejam realizando medidas no mesmo período, diversas investigações interessantes podem ser feitas. (Converse com seu professor de Física sobre essa possibilidade!)

*Algumas propostas de investigação:*

1 Por que a pressão absoluta média é diferente entre algumas localidades? Que fator determina uma maior ou menor pressão absoluta média?

2 Verifique se os máximos e mínimos de pressão em duas localidades ocorrem em instantes próximos. Existe uma explicação para a proximidade desses instantes? (Ou uma explicação do porquê de eles serem diferentes? Nesse caso, que fatores determinam essa diferença?)

3 O comportamento das medidas de temperatura em duas localidades é parecido quando as pressões oscilam de forma similar? Ou a temperatura não tem qualquer relação com as oscilações barométricas?

Mesmo não conseguindo dados de pressão e temperatura de outras localidades, ainda assim você poderá desenvolver uma profunda e extensa investigação sobre as marés atmosféricas utilizando apenas as medições obtidas em seu experimento.

*Algumas propostas de investigação:*

1 Como você deve proceder para encontrar o período das oscilações de pressão?

2 O período das marés atmosféricas coincide com o das marés oceânicas? Que importância isso tem no contexto da hipótese de Newton de que as marés atmosféricas são consequências de uma ação gravitacional?

3 Você sabia que a força das marés que atua sobre um volume  $V$  de água é mais do que 850 vezes maior do que a força sobre um mesmo volume  $V$  de ar? Essa diferença é consistente com os resultados experimentais das marés oceânicas e atmosféricas?

4 As marés atmosféricas, da forma como se apresentam, podem ser explicadas como consequências de uma ação puramente gravitacional? Que papel a temperatura ambiente exerce na evolução desse fenômeno?

5 As oscilações de pressão ocorrem sempre em torno de uma mesma pressão atmosférica média ou existe, com o passar dos dias, alguma alteração no valor da pressão média? Que fator poderia explicar uma continuidade ou uma alteração observada?

6 Existe com o passar dos dias alguma variação na amplitude das marés atmosféricas? Como você poderia justificar o comportamento observado?

7 Você conhece o experimento planejado em 1648 por Blaise Pascal e realizado por seu cunhado, Périer, que mediu, em um mesmo dia, a pressão atmosférica na cidade francesa de Clermont e no topo de um vulcão extinto chamado Puy de Dôme? Você sabe o que Pascal e Périer descobriram? Sabe qual é a importância que esse experimento tem para a História da Ciência?

### **Considerações finais**

Além das propostas de investigação que foram apresentadas até aqui, você e seu professor de Física podem desenvolver muitas outras ideias relacionadas a uma atividade experimental investigativa para o estudo comparativo entre as marés atmosféricas e as marés oceânicas. Esperamos que a proposta deste trabalho não só torne o estudo de Física mais prazeroso, como também que contribua para uma melhor aprendizagem desta ciência.



\* \* \*

***Agradecimento:***

Aos alunos da **Escola Técnica Estadual Henrique Lage** que participaram da implantação do piloto do projeto “*Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino*” em outubro/novembro de 2013.

**TURMA 1231** (Eletrônica);

**TURMA 1232** (Eletrônica), em especial aos alunos

Aeverson Alcântara de Araújo,  
Anderson Guimarães Lopes de Souza,  
Hebert Araujo de Souza &  
Julyana Inácio Silva;

**TURMA 2231** (Eletrônica), em especial aos alunos

Artur Santana Arruda &  
Stephani Marins Rezende

**TURMA 2331** (Eletrotécnica), em especial aos alunos

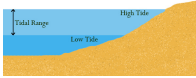
Afonso Lima de Oliveira,  
Alessandra Bento de Souza,  
Aluizio Santos de Andrade Filho,  
Ebert Martins Dutra Amarante,  
Flávia Milone Soares,  
Matheus de Castro Ramos Fialho,  
Matheus Gomes Andrade,  
Murilo Theodoro Araujo,  
Renan Jardim Manarte &  
Vagner Sales Felinto;

**TURMA 2431** (Estruturas Navais), em especial aos alunos

Juliana Freitas Fernandes,  
Nínive dos Santos Moraes de Barros &  
Pablo Salles de Souza Abreu.

\* \* \*

## Fontes das imagens na internet:



[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tidal\\_Range.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tidal_Range.jpg)



<http://www.bayoffundytourism.com/>



[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Canada\\_Nova\\_Scotia\\_location\\_map\\_2.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Canada_Nova_Scotia_location_map_2.svg)



[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Bay\\_of\\_Fundy\\_High\\_Tide.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Bay_of_Fundy_High_Tide.jpg)



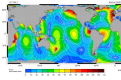
[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Bay\\_of\\_Fundy\\_Low\\_Tide.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Bay_of_Fundy_Low_Tide.jpg)



<http://diatribe-column.blogspot.com.br/2011/02/pytheas-real-odysseus.html>



[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Kingdom\\_of\\_Great\\_Britain.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Kingdom_of_Great_Britain.png)



<http://svs.gsfc.nasa.gov/stories/topex/tides.html>



<http://fineartamerica.com/featured/1-pliny-the-elder-roman-naturalist-sheila-terry.html>



<http://www.memoryprints.com/image/97740/unattributed-roger-bacon-english-philosopher-and-scientist-13th-century>



[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galileo\\_by\\_leoni.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galileo_by_leoni.jpg)



<http://en.wikipedia.org/wiki/File:GodfreyKneller-IsaacNewton-1689.jpg>



<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mareografo.JPG>



<http://www.cosmicrays.unam.mx>



<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Libr0367.jpg>



[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Vincenzo\\_Viviani.jpeg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Vincenzo_Viviani.jpeg)



[http://www.iplay.com.br/Imagens/Divertidas/0iTP/Gato\\_Bebendo\\_Suco\\_Em\\_Um\\_Copo\\_De\\_Canudinho](http://www.iplay.com.br/Imagens/Divertidas/0iTP/Gato_Bebendo_Suco_Em_Um_Copo_De_Canudinho)



<http://fanaticoporvelocidade.blogspot.com.br/2013/02/resumo-do-final-de-semana-da-etapa-de.html>



<http://web.lemoyne.edu/~giunta/torr.html>



<http://www.imss.fi.it/vuoto/eesper2.html>



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

Instituto de Física

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

**VARIAÇÕES DIURNAS NA PRESSÃO ATMOSFÉRICA:  
UM ESTUDO INVESTIGATIVO BASEADO  
NA UTILIZAÇÃO DA PLACA ARDUINO**

***ANEXO II – Orientações para o professor***

Luiz Raimundo Moreira de Carvalho

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Luiz Raimundo Moreira de Carvalho, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Helio Salim de Amorim

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2014

C331v Carvalho, Luiz Raimundo Moreira de

Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino / Luiz Raimundo Moreira de Carvalho. – Rio de Janeiro: UFRJ / IF, 2014.

xxiii, 234 f. : il. ; 30cm

Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Orientador: Dr. Helio Salim de Amorim

Referências Bibliográficas: f. 133-143.

1. Física - ensino e aprendizagem. 2. Pressão atmosférica. 3. Atividade experimental investigativa. I. Amorim, Helio Salim de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino.

CDD 530.07

A dissertação de mestrado *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino* e seus materiais instrucionais, assim como os *sketches* para Arduino, podem ser obtidos em:

[http://www.if.ufrj.br/~pef/producao\\_academica/dissertacoes.html](http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes.html)

# VARIAÇÕES DIURNAS NA PRESSÃO ATMOSFÉRICA: UM ESTUDO INVESTIGATIVO BASEADO NA UTILIZAÇÃO DA PLACA ARDUINO

Luiz Raimundo M. de Carvalho – PEF-IF / UFRJ ; ETEHL / FAETEC [ [luiz.fisica.prof@gmail.com](mailto:luiz.fisica.prof@gmail.com) ]

Helio Salim de Amorim – IF / UFRJ [ [hsalim@if.ufrj.br](mailto:hsalim@if.ufrj.br) ]

## *Orientações para o professor*

Prezado colega professor de Física,

o roteiro didático *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino* constitui-se como produto educacional da dissertação de mestrado que leva o mesmo título, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro em fevereiro de 2014.

Este trabalho foi elaborado segundo uma perspectiva investigativa para o ensino de Física, buscando trazer para suas aulas uma oportunidade de desenvolver com seus alunos a aprendizagem de conceitos físicos a partir do estudo comparativo entre as marés oceânicas (um fenômeno relativamente conhecido, porém pouco aprofundado nos livros didáticos) e as marés atmosféricas (um fenômeno que, apesar de ser muito interessante, é praticamente desconhecido por estudantes e professores do Ensino Médio).

Esperamos que uma atividade experimental investigativa como esta possa proporcionar a você um ensino de Física mais prazeroso e aos seus estudantes uma aprendizagem mais interessada, efetiva e aprofundada desta ciência.

### **Considerações iniciais**

O roteiro didático *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino*, destina-se a estudantes do Ensino Médio e professores de Física. A atividade experimental investigativa poderá ser executada com alunos de qualquer série, mas recomendamos que você avalie a adequação entre os conceitos/conteúdos propostos na atividade e a organização da disciplina Física nas séries de sua escola. Assim, você poderá decidir se é mais conveniente aplicar a atividade com alunos da 1ª, da 2ª ou da 3ª série do Ensino Médio. Se você desejar, também poderá desenvolver um trabalho simultâneo com turmas de diferentes séries ou um trabalho que se estenda com uma turma de uma série para outra.

Antes de iniciar o trabalho experimental-investigativo com seus alunos, consideramos que seria oportuno você proceder da seguinte maneira:

1º) Faça uma leitura do roteiro didático (Anexo I da dissertação). Este é o texto que deverá ser distribuído aos alunos, e portanto você deve se familiarizar com ele. Você irá perceber que o roteiro didático lança muitos questionamentos, pois é a partir dele que os estudantes irão desenvolver o projeto investigativo.

2º) Para que a aplicação da atividade experimental investigativa seja feita de forma adequada, procure fazer uma leitura da dissertação *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino*. Você poderá fazer uma leitura seletiva da dissertação, aproveitando os capítulos ou seções que sejam, no seu entendimento, mais essenciais para o seu trabalho. Na tentativa de auxiliá-lo na sua leitura da dissertação, nestas **Orientações para o professor** trazemos algumas informações complementares e fazemos algumas considerações a respeito de aspectos técnicos e pedagógicos do projeto.

## **1 – Tempo de aplicação e planejamento prévio**

Acreditamos que a atividade poderá ser desenvolvida com a utilização de 6 a 8 tempos de aula. Entretanto, recomendamos que você faça um planejamento prévio que inclua três aspectos que consideramos importantes: **A)** um estudo sobre as características básicas de uma atividade experimental investigativa; **B)** um reconhecimento acerca das marés oceânicas e das marés atmosféricas; **C)** a execução do projeto de instrumentação que permitirá a realização de medidas da pressão atmosférica. A seguir, você encontra um breve comentário sobre cada um desses três aspectos.

### **A) Fundamentação pedagógica**

As considerações pedagógicas que fundamentam a implantação de uma atividade experimental investigativa podem ser encontradas no Capítulo 1 da dissertação *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino*. O Capítulo 1 também traz as características de uma atividade desta natureza, bem como justifica a aplicação da História da Ciência e a análise das concepções alternativas dos estudantes.

### **B) As marés atmosféricas e as marés oceânicas**

O Capítulo 2 apresenta um estudo sobre as marés oceânicas, podendo servir de base para que você se familiarize com este fenômeno e compreenda um pouco da sua relação com a Teoria da Gravitação newtoniana. Com seus alunos, acreditamos que você não precisará tratar das marés oceânicas seguindo um modelo matemático complexo de interações gravitacionais. Basta que sejam destacados aspectos qualitativos, como o caráter atrativo da força gravitacional e o fato de que o sistema Terra-Lua é um referencial não-inercial (pois a Terra e a Lua giram em torno do centro de massa do sistema). A propósito, é a caracterização do sistema Terra-Lua como um sistema de



referência não-inercial que explica a formação da maré alta antipodal, uma vez que nos referenciais girantes ocorre o “surgimento de forças centrífugas”.

No caso das marés atmosféricas, também temos a ocorrência de uma maré alta antipodal. Entretanto, por tratar-se de uma maré barométrica, sua manifestação decorre da migração e da redistribuição da energia radiante pela atmosfera terrestre. Estas, por sua vez, constituem um mecanismo extremamente complexo, sendo objeto de análises e estudos até hoje e que, portanto, não se resolvem no âmbito da pesquisa escolar. Na tentativa de se compreender tais particularidades relacionadas às marés atmosféricas, começamos a conhecer melhor algumas das características da própria atmosfera, em especial no que diz respeito aos seus estratos superiores. Se você deseja saber mais detalhes técnicos sobre as marés atmosféricas, recomendamos a leitura do livro *Atmospheric Tides*, de Richard Lindzen e Sydney Chapman [Lindzen 1969]. (Versões em PDF podem ser obtidas na internet.)

Algumas comparações entre características das marés atmosféricas e das marés oceânicas são encontradas principalmente no Capítulo 5 da dissertação. Queremos destacar que, com os estudantes do Ensino Médio, você deve usar uma análise dos períodos das oscilações para diferenciar efeitos gravitacionais (marés oceânicas) de efeitos não gravitacionais (marés atmosféricas), evitando assim modelos matemáticos que são demasiadamente complexos para serem tratados com os alunos. Portanto, sua preocupação deve ser no sentido de fazer com que os estudantes percebam que as marés oceânicas e as marés atmosféricas são fenômenos que têm origens distintas.

### **C) Montagem de um barômetro automatizado**

Para a montagem do barômetro automatizado, você deverá consultar o Capítulo 4 e o Apêndice E da dissertação. Recomendamos que seja dada uma atenção especial ao tempo de preparação do aparato experimental. Convém lembrar que todo o conjunto experimental, depois de montado, poderá ser utilizado inúmeras vezes, compensando assim o tempo gasto em sua preparação.

Para a montagem completa do experimento, o professor (ou a escola) precisará comprar os itens descritos no Capítulo 4. Você pode tentar adquirir alguns dos materiais em lojas físicas, mas na internet existem diversos fornecedores que enviam os produtos (Arduino, acessórios, sensores etc.) pelos Correios ou por transportadoras. Recomendamos a você uma visita aos seguintes sites:

*Laboratório de Garagem:* <http://www.labdegaragem.org/loja/>

*Farnell:* <http://www.farnell.com.br>

*Multilógica:* <http://multilogica-shop.com>

*Robocore:* <http://www.robocore.net>

*Adafruit:* <http://www.adafruit.com>

*SparkFun:* <https://www.sparkfun.com>

Para proceder com as montagens apresentadas no Capítulo 4, você também vai precisar de um pouco de solda, de um ferro de soldar, de um alicate, de um estilete etc. Se você não tiver prática de soldagem, peça auxílio para um profissional em eletrônica ou para alguém que tenha maior familiaridade com o uso de um ferro de soldar. Não custa lembrar que componentes eletrônicos costumam ser relativamente sensíveis, devendo ser manipulados com cuidado e atenção para evitar danos.

## **2 – Conteúdos de Física para os alunos**

É muito importante que você não encare o estudo investigativo sobre as marés atmosféricas e oceânicas como “mais um conteúdo para sobrecarregar as aulas de Física”. Ao contrário, queremos que a atividade sirva de base para a aprendizagem de diversos conceitos, fenômenos e conteúdos de Física, que podem ser explorados tanto de forma qualitativa quanto de forma quantitativa a partir da atividade experimental investigativa proposta. Algumas possibilidades de aprendizagem são apresentadas no Capítulo 6 (Seção 6.3) da dissertação.

### **3 – A História da Ciência**

Acreditamos que a História da Ciência não só torna o aprendizado mais interessante e completo como também possibilita um trabalho do professor sobre as concepções alternativas. É muito importante que o professor de Física utilize estratégias específicas voltadas para os alunos que se mostram mais resistentes às ideias científicas em virtude de um maior apreço por suas concepções alternativas. Esse embate deve ser levado à sério tanto pelo professor quanto pelos estudantes, e as polêmicas resultantes do conflito de ideias não podem ser suprimidas das aulas de Física. Sendo assim, o roteiro didático *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino* destaca uma abordagem histórica sobre a pressão atmosférica.

Você encontrará um pouco da origem histórica do conceito de pressão atmosférica no Capítulo 3 da dissertação. Neste capítulo, abordamos a história do barômetro de Torricelli, destacando a importância que este instrumento tem para a Física. Comentamos também sobre o termoscópio de Galileo (que é, mais precisamente, um termobaroscópio), um instrumento relativamente fácil de construir e comumente encontrado nas escolas de nível médio. Se você ainda não teve a oportunidade de trabalhar com um termoscópio de Galileo, que tal construir um com seus alunos? Na internet você encontrará uma grande variedade de modelos e sugestões para a construção de um termoscópio.

No Capítulo 3 da dissertação, comentamos que a história do termômetro é paralela à do barômetro. A importância histórica dos primeiros termoscópios é retratada em *Una riunione dell'Accademia del Cimento*, afresco de autoria de Gaspero Martellini (1785 – 1857), localizado na *Tribuna di Galileo* e inaugurado em 1841 no *Museo della Specola*, uma das seções do *Museo di Storia Naturale*, em Florença, Itália. A Figura 101 apresenta uma fotografia de 2009 mostrando uma visão panorâmica do afresco [Sailko 2009], enquanto que a Tabela 22 a seguir apresenta alguns detalhes do afresco.



**FIGURA 101 – Visão panorâmica do afresco  
*Una riunione dell'Accademia del Cimento***

**TABELA 22 – Alguns detalhes do afresco  
*Una riunione dell'Accademia del Cimento***

<b>1</b>	Busto de Galileo Galilei (1564 – 1642).
<b>2</b>	Ferdinando II de Médici (1610 – 1670), Grão-Duque da Toscana.
<b>3</b>	Giovanni Alfonso Borelli (1608 – 1679), discípulo de Benedetto Castelli.
<b>4</b>	Vincenzo Viviani (1622 – 1703), discípulo de Galileo e de Torricelli.
<b>5</b>	Francesco Redi (1626 – 1697).
<b>6</b>	Príncipe Leopoldo de Médici (1617 – 1675), discípulo de Galileo e irmão de Ferdinando II.
<b>7</b>	Lorenzo Magalotti (1637 – 1712), secretário da <i>Accademia del Cimento</i> .



(Adaptado de *Istituto Centrale per il Catalogo Unico* [ICCU 2005].)

#### **4 – Informações complementares para o professor de Física**

A seguir, apresentamos algumas informações que complementam o texto da dissertação *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino* e que podem ser de seu interesse. Para facilitar, distribuímos os assuntos em alguns itens, fazendo referência às respectivas seções dos capítulos.

##### **A) Pressão atmosférica em função da altitude (Capítulo 5, Seção 5.5)**

Na Seção 5.5 do Capítulo 5 da dissertação apresentamos uma expressão matemática (Equação 15, reproduzida abaixo) que fornece a pressão atmosférica  $p$  em função da altitude  $z$  para um modelo simplificado de uma atmosfera isotérmica.

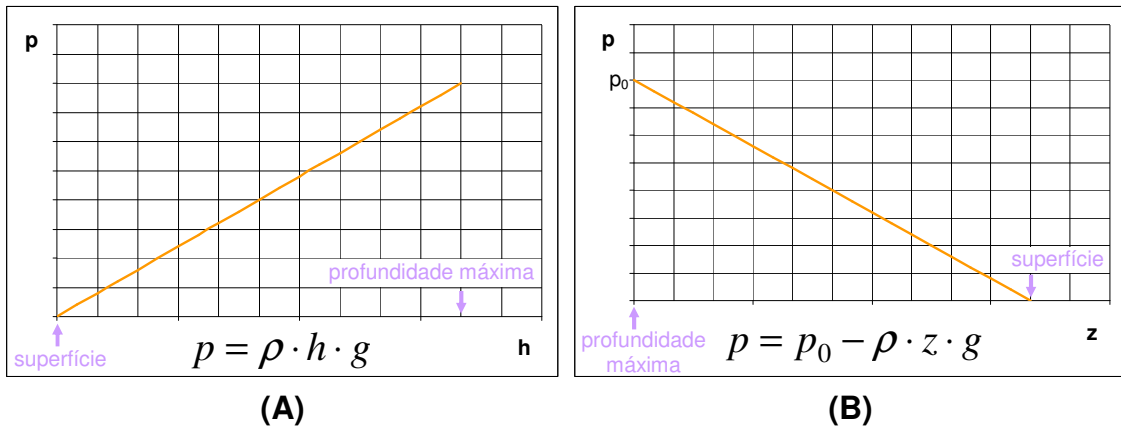
$$p = p_0 \cdot \exp \left[ -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \cdot z \right] \quad (\text{Equação 15})$$

Uma explicação para que a pressão local varie com a altitude deve levar em conta o caráter fluido da atmosfera, que, apesar de apresentar uma composição e uma estrutura extremamente complexas, pode ser tratada de forma idealizada em uma primeira aproximação para um modelo matemático. (O foco da atividade experimental investigativa é o fenômeno das variações diurnas na pressão atmosférica, em especial na camada da atmosfera conhecida como troposfera, situada entre zero e cerca de 10 a 18 km de altitude [Britannica 2013]. Entretanto, você também poderá propor aos estudantes um aprofundamento no estudo da estrutura e composição dos estratos da atmosfera terrestre, uma vez que este assunto é pouco explorado nos livros didáticos de Física do Ensino Médio.)

Para um líquido incompressível em equilíbrio em um campo gravitacional uniforme, temos uma pressão hidrostática dada por:

$$p = \rho \cdot h \cdot g \quad (\text{Equação 16})$$

Segundo a expressão da Equação 16, a pressão hidrostática  $p$  aumenta linearmente com a profundidade  $h$ , medida a partir da superfície do líquido, como mostra o gráfico da Figura 102-A. Adotando um sistema de coordenadas cuja origem coincida com a profundidade máxima, observe que a pressão  $p$  diminui linearmente com a altitude  $z$ , como mostra o gráfico da Figura 102-B.



**FIGURA 102 – Modelo que descreve a pressão em um líquido ideal**

Assim, com a mudança no sistema de coordenadas, a pressão hidrostática  $p$  passa a ser descrita por:

$$p = p_0 - \rho \cdot z \cdot g \quad (\text{Equação 17})$$

(onde  $p_0$  é a pressão na profundidade máxima)

Diferenciando a expressão acima, obtemos:

$$p = p_0 - \rho \cdot z \cdot g \Rightarrow dp = -\rho \cdot g \cdot dz \quad (\text{Equação 18})$$

A integração da diferencial obtida para a pressão  $p$  (Equação 18) retorna à equação  $p = p_0 - \rho \cdot z \cdot g$ , pois consideramos constantes a densidade  $\rho$  e a aceleração da gravidade  $g$ . Entretanto, o modelo aplicado para descrever a pressão de um líquido ideal em um campo gravitacional uniforme não é válido

para um gás ou para uma mistura de gases, uma vez que nesses casos não é possível desprezar a compressibilidade de um fluido no estado gasoso. Portanto, para a atmosfera, é preciso levar em conta que a densidade  $\rho$  varia com a pressão.

Tratando o ar atmosférico seco como um gás ideal, a equação de estado fornece:

$$\begin{aligned}
 p \cdot V &= n \cdot R \cdot T \\
 \Rightarrow p \cdot V &= \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \\
 \Rightarrow p &= \frac{m}{V} \cdot \frac{R}{M} \cdot T \\
 \Rightarrow p &= \rho \cdot \frac{R}{M} \cdot T \\
 \Rightarrow \frac{p}{\rho} &= \frac{R}{M} \cdot T
 \end{aligned}$$

Supondo a atmosfera uma mistura homogênea ( $M$  constante) e isotérmica ( $T$  constante), obtemos a seguinte lei de transformação:

$$\begin{aligned}
 \frac{p}{\rho} &= \frac{R}{M} \cdot T = CTE \\
 \Rightarrow \frac{p}{\rho} &= \frac{p_0}{\rho_0} \quad (\text{Equação 19})
 \end{aligned}$$

A lei de transformação acima pode ser reescrita como:

$$\rho = \frac{\rho_0}{p_0} \cdot p \quad (\text{Equação 20})$$

Substituindo esse último resultado (Equação 20) na expressão da diferencial  $dp$  (Equação 18), obtemos:

$$dp = -\rho \cdot g \cdot dz$$

$$\Rightarrow dp = -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot p \cdot g \cdot dz$$

$$\Rightarrow \frac{dp}{p} = -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \cdot dz$$

Integrando a equação acima:

$$\int_{p_0}^p \frac{dp}{p} = \int_0^z \left( -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \right) dz$$

$$\Rightarrow \int_{p_0}^p \frac{dp}{p} = \left( -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \right) \int_0^z dz$$

$$\Rightarrow \ln p \Big|_{p_0}^p = \left( -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \right) \cdot z \Big|_0^z$$

$$\Rightarrow \ln p - \ln p_0 = \left( -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \right) \cdot (z - 0)$$

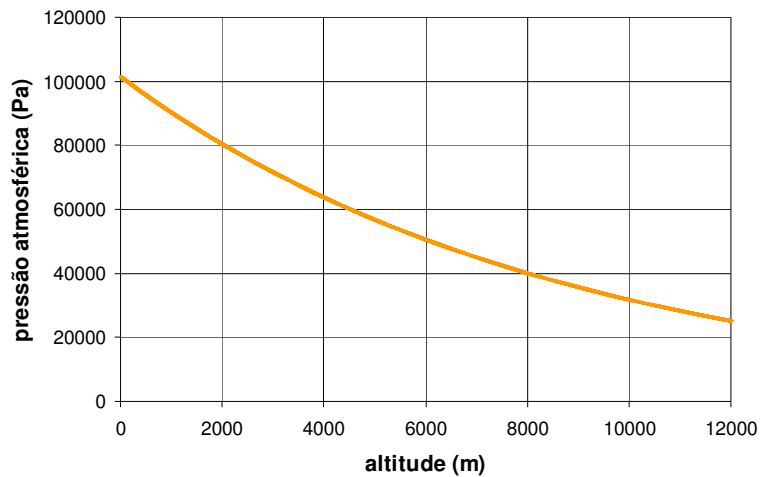
$$\Rightarrow \ln \frac{p}{p_0} = -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \cdot z$$

$$\Rightarrow \frac{p}{p_0} = \exp \left[ -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \cdot z \right]$$

$$\Rightarrow p = p_0 \cdot \exp \left[ -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \cdot z \right] \quad (\text{Equação 21})$$

Portanto, em contraste com o decrescimento linear anteriormente observado no gráfico da Figura 102-B, concluímos que para uma atmosfera isotérmica a pressão  $p$  decresce exponencialmente com a altitude  $z$ , como mostra o gráfico da Figura 103 a seguir.





**FIGURA 103 – Modelo que descreve a pressão em função da altitude em uma atmosfera isotérmica**

Agora, se adotarmos a pressão atmosférica ao nível do mar  $p_0 = 1 \text{ atm}$  (101.325 Pa), a densidade do ar seco a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$   $\rho_0 = 1,2 \text{ kg/m}^3$  (veja uma estimativa apresentada no Capítulo 2, Seção 2.4) e a aceleração da gravidade local  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ , obtemos:

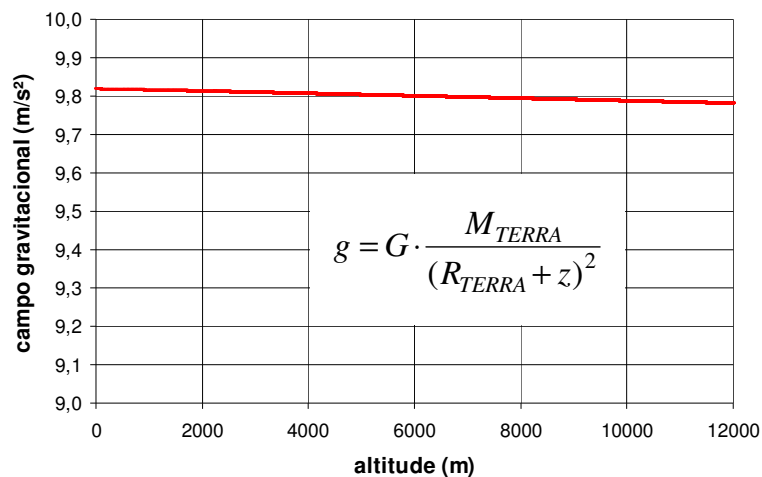
$$p = p_0 \cdot \exp\left[-\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \cdot z\right]$$

$$\Rightarrow p = 101325 \cdot \exp\left[-\frac{1,2}{101325} \cdot 9,8 \cdot z\right]$$

$$\Rightarrow p = 101325 \cdot \exp\left[-\frac{11,76}{101325} \cdot z\right]$$

(em unidades do SI)

Esta é a equação da curva apresentada no gráfico da Figura 103 acima. Sobre essa expressão, devem ser destacadas algumas considerações importantes. Em primeiro lugar, o campo gravitacional  $g$  também varia com a altitude  $z$ , mas nesse caso sua variação na região da troposfera pode ser considerada praticamente desprezível, como mostra o gráfico da Figura 104.



**FIGURA 104 – Campo gravitacional terrestre na região da troposfera**

Em segundo lugar, a atmosfera terrestre não é isotérmica, e portanto um modelo mais elaborado deve levar em consideração variações na temperatura local tanto em função do instante considerado quanto em função da altitude. Caso venha a se interessar por um estudo mais aprofundado acerca da atmosfera, você deverá estar atento ao comportamento da temperatura em diferentes estratos, em especial para a relação entre o comportamento térmico de uma determinada camada e sua composição química.

**B) Notícias sobre o tempo meteorológico (Capítulo 5, Seção 5.6)**

Discussões de notícias sobre o tempo meteorológico são muito interessantes, pois mostram aos alunos que os dados obtidos a partir do projeto de instrumentação aplicado nas aulas de Física podem ser relacionados às informações meteorológicas, tão comuns em nosso cotidiano e veiculadas pela mídia. Seus alunos certamente ficarão muito satisfeitos, e alguns até se surpreenderão, quando perceberem que as investigações feitas nas aulas de Física podem ser relacionadas com as informações meteorológicas. Um exemplo: Na Figura 105 a seguir destacamos dois trechos de uma notícia que podem ser relacionados aos dados observados no gráfico da Figura 106.

## Frente fria provoca ventania e frio no RJ

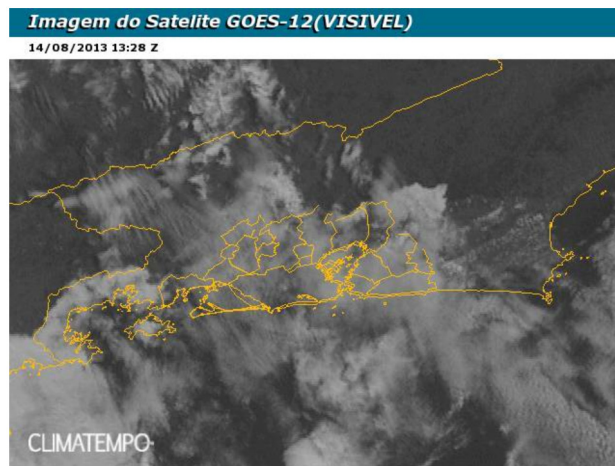
14 de agosto de 2013 às 11:18 por Josélia Pegorim

### Frente fria vira o tempo no Rio de Janeiro

Uma frente fria avança sobre o Estado do **Rio de Janeiro** e já causa mudanças no tempo na cidade do Rio. Muitas nuvens da frente fria deixavam o céu nublado por volta das 10 horas da manhã. Há condições para chuva principalmente à tarde e à noite, mas com fraca a moderada intensidade.

### Ventania e frio

Os principais efeitos desta nova frente fria serão a **acentuada queda da temperatura** e os ventos fortes. A chegada da frente fria trouxe nebulosidade e ventos fortes. O Instituto Nacional de Meteorologia registrou uma rajada de 68 km/h, às 9 horas, no forte Copacabana. As rajadas de vento foram sentidas também em outros pontos do estado. Às 10h, o aeroporto de **Cabo Frio** registrou 55 km/h e o de São Pedro d'Aldeia teve rajada de 57 km/h.



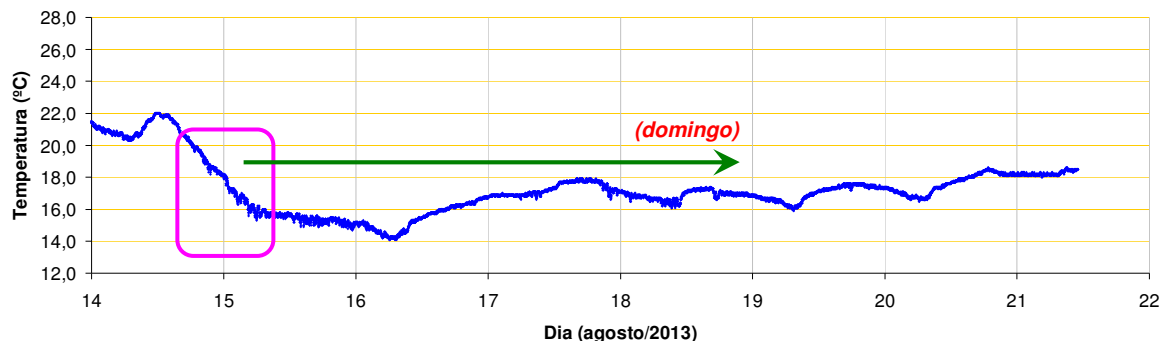
### Temperatura em declínio

(14/ago)

Uma forte massa de ar polar está entrando no **Rio de Janeiro** e a temperatura já está em declínio. A sensação de frio será maior na noite de hoje e a previsão é de muito frio em todo o Estado até a **madrugada do domingo**. Na capital fluminense, a temperatura máxima nos próximos dias não deve passar dos 23°C e os termômetros podem ficar próximos dos 10°C na madrugada, nas áreas mais elevadas da cidade.

## FIGURA 105 – Notícia sobre a chegada de uma frente fria: 14/ago/2013

(Fonte: Adaptado de [www.climatempo.com.br](http://www.climatempo.com.br) [Pegorim 2013b].)



## FIGURA 106 – Temperatura ambiente: 14 a 21/ago/2013 - Teresópolis / RJ

**C) Fusos horários e as investigações geográficas (Capítulo 5, Seção 5.7)**

Sobre a comparação de dados provenientes de fontes geograficamente distintas, é fundamental destacar que deve ser dada especial atenção para a escala de tempo sobre a qual as medições da pressão barométrica foram tomadas. Assim, é essencial que, em uma comparação de dados, as escalas de tempo sejam convenientemente ajustadas com o intuito de se obter uma referência temporal comum para as medidas da pressão atmosférica.

Convém lembrar, por exemplo, que o fuso horário de Brasília corresponde a UTC – 3 (*Universal Time Coordinated* menos três horas). A Tabela 23 apresenta os fusos horários para algumas das localidades citadas no Capítulo 5 da dissertação. (No Apêndice B.4 você encontrará uma apresentação dos fusos horários baseados no UTC.)

**TABELA 23 – Fuso horário de algumas localidades**

<i>LOCAL</i>	<i>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</i>	<i>FUSO HORÁRIO</i>
Teresópolis / RJ Niterói / RJ Goiânia / GO	Lat. 22° 26' 09" S ; Long. 42° 58' 37" O Lat. 22° 56' 11" S ; Long. 43° 04' 42" O Lat. 16° 40' 32" S ; Long. 49° 15' 24" O	UTC – 3
Cidade do México / México	Lat. 19° 20' N ; Long. 99° 11' O	UTC – 6
Newark / EUA	Lat. 39° 40' N ; Long. 75° 40' O	UTC – 5

As medições que fizemos em Teresópolis, Niterói e Goiânia foram registradas no fuso horário UTC – 3 (horário de Brasília). Já as medidas fornecidas pelo *Observatório de Raios Cósmicos da Universidade Nacional Autônoma do México* encontram-se padronizadas para o fuso horário UTC 0. Da mesma maneira, os dados fornecidos pelo *Bartol Research Institute*, apesar

de oriundos de estações de raios cósmicos geograficamente distintas, também são disponibilizados no horário UTC 0.

Para que você perceba a importância do fuso horário no tratamento dos dados, verifique o gráfico da Figura 58 (Capítulo 5, Seção 5.7). Na parte superior do gráfico está registrada a curva de pressão para a Cidade do México e na parte inferior a curva de pressão para Niterói. As medidas da pressão atmosférica em Niterói, originalmente registradas segundo o fuso horário UTC – 3, foram ajustadas para UTC 0, seguindo a escala temporal adotada pelo *Observatório de Raios Cósmicos da Universidade Nacional Autônoma do México*. Após o ajuste, verifica-se que, diferentemente do que foi observado de forma aproximada para Niterói e Teresópolis (Figura 50) ou para Niterói e Goiânia (Figura 57), as marés barométricas para Niterói e Cidade do México evidentemente não coincidem.

#### **D) Piezoresistividade (Capítulo 4, Seção 4.3 / Capítulo 6, Seção 6.1)**

Na seção introdutória do Capítulo 6 e na Seção 4.3 do Capítulo 4 da dissertação nós informamos que o sensor BMP085 funciona a partir de um componente piezoresistivo. A piezoresistividade consiste na variação da resistividade de um material em razão de uma pressão aplicada sobre ele. O sensor BMP085 faz uso desta propriedade. Para utilizar o sensor no projeto investigativo, não existe a necessidade de apresentar esta propriedade para seus alunos, mas sugerimos que você busque algumas informações sobre a piezoresistividade, pois, existindo uma oportunidade, você poderá tratar desse interessante assunto com seus alunos nas aulas de Física. Uma primeira fonte de estudo que sugerimos para você consultar é o artigo *Piezoresistive effect*, na *Wikipedia*: [http://en.wikipedia.org/wiki/Piezoresistive\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Piezoresistive_effect)

#### **E) Modelo de batimentos para as marés oceânicas (Capítulo 5, Seção 5.2)**

Você certamente sabe que a superposição de dois efeitos oscilantes de mesma natureza e com frequências muito próximas produz um fenômeno denominado batimento. Mas você sabia que existem batimentos nas marés?

Na ocasião em que seus alunos estiverem analisando os dados de maré de uma estação maregráfica, você deverá pedir a eles que construam gráficos das marés. Caso os gráficos apresentem um intervalo de tempo da ordem de um mês, você observará os batimentos. Para explicar este efeito para os alunos, sugerimos que você apresente uma análise qualitativa sobre as marés de sizígia e de quadratura, que têm relação com as fases da Lua (veja a Figura 45 e a Figura 46 no Capítulo 5). Mas para que você compreenda melhor o fenômeno de batimento produzido nas marés oceânicas em virtude da ação combinada da gravidade da Lua e do Sol, vamos tecer aqui algumas considerações matemáticas.

Em um modelo de batimentos para as marés oceânicas, temos:

$$y(t) = A \cdot \left\{ \cos \left[ \frac{2\pi}{T_{LUNAR}} \cdot t \right] + \cos \left[ \frac{2\pi}{T_{SOLAR}} \cdot t \right] \right\}$$

Definindo a frequência média  $\bar{f}$  como:

$$\bar{f} = \frac{f_{LUNAR} + f_{SOLAR}}{2} \quad (\text{Equação 22})$$

$$\text{onde } f_{LUNAR} = \frac{1}{T_{LUNAR}} \quad \text{e} \quad f_{SOLAR} = \frac{1}{T_{SOLAR}}$$

$$\Rightarrow 2 \cdot \bar{f} = f_{LUNAR} + f_{SOLAR}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} f_{LUNAR} = 2 \cdot \bar{f} - f_{SOLAR} \\ f_{SOLAR} = 2 \cdot \bar{f} - f_{LUNAR} \end{cases}$$

Por outro lado, a diferença  $\Delta f$  entre as frequências (convenientemente definida para que tenhamos  $\Delta f > 0$ ) é dada por:

$$\Delta f = f_{SOLAR} - f_{LUNAR} \quad (\text{Equação 23})$$

$$\Rightarrow \begin{cases} f_{SOLAR} = f_{LUNAR} + \Delta f \\ f_{LUNAR} = f_{SOLAR} - \Delta f \end{cases}$$

Sendo assim, combinando os resultados extraídos da Equação 22 com os resultados extraídos da Equação 23, temos:

$$\begin{aligned}
 \begin{cases} f_{LUNAR} = 2 \cdot \bar{f} - f_{SOLAR} \\ f_{SOLAR} = 2 \cdot \bar{f} - f_{LUNAR} \end{cases} &\Rightarrow \begin{cases} f_{LUNAR} = 2 \cdot \bar{f} - (f_{LUNAR} + \Delta f) \\ f_{SOLAR} = 2 \cdot \bar{f} - (f_{SOLAR} - \Delta f) \end{cases} \\
 &\Rightarrow \begin{cases} f_{LUNAR} = 2 \cdot \bar{f} - f_{LUNAR} - \Delta f \\ f_{SOLAR} = 2 \cdot \bar{f} - f_{SOLAR} + \Delta f \end{cases} \\
 &\Rightarrow \begin{cases} 2 \cdot f_{LUNAR} = 2 \cdot \bar{f} - \Delta f \\ 2 \cdot f_{SOLAR} = 2 \cdot \bar{f} + \Delta f \end{cases} \\
 &\Rightarrow \begin{cases} f_{LUNAR} = \frac{2 \cdot \bar{f} - \Delta f}{2} \\ f_{SOLAR} = \frac{2 \cdot \bar{f} + \Delta f}{2} \end{cases} \\
 &\Rightarrow \begin{cases} f_{LUNAR} = \bar{f} - \frac{\Delta f}{2} \\ f_{SOLAR} = \bar{f} + \frac{\Delta f}{2} \end{cases} \quad \text{(Equação 24)}
 \end{aligned}$$

Substituindo os resultados da Equação 24 no modelo de batimentos para as marés oceânicas, obtemos:

$$\begin{aligned}
 y(t) &= A \cdot \left\{ \cos \left[ \frac{2\pi}{T_{LUNAR}} \cdot t \right] + \cos \left[ \frac{2\pi}{T_{SOLAR}} \cdot t \right] \right\} \\
 &\Rightarrow y(t) = A \cdot \left\{ \cos [2\pi \cdot f_{LUNAR} \cdot t] + \cos [2\pi \cdot f_{SOLAR} \cdot t] \right\} \\
 &\Rightarrow y(t) = A \cdot \left\{ \cos \left[ 2\pi \cdot \left( \bar{f} - \frac{\Delta f}{2} \right) \cdot t \right] + \cos \left[ 2\pi \cdot \left( \bar{f} + \frac{\Delta f}{2} \right) \cdot t \right] \right\} \\
 &\Rightarrow y(t) = A \cdot \left\{ \cos \left[ 2\pi \cdot \bar{f} \cdot t - 2\pi \cdot \frac{\Delta f}{2} \cdot t \right] + \cos \left[ 2\pi \cdot \bar{f} \cdot t + 2\pi \cdot \frac{\Delta f}{2} \cdot t \right] \right\}
 \end{aligned}$$

Mas:

$$\begin{cases} \cos(a-b) = \cos a \cdot \cos b + \operatorname{sen} a \cdot \operatorname{sen} b \\ \cos(a+b) = \cos a \cdot \cos b - \operatorname{sen} a \cdot \operatorname{sen} b \end{cases}$$

$$\begin{aligned} &\Rightarrow \cos(a-b) + \cos(a+b) = \\ &= \cos a \cdot \cos b + \operatorname{sen} a \cdot \operatorname{sen} b + \cos a \cdot \cos b - \operatorname{sen} a \cdot \operatorname{sen} b \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \cos(a-b) + \cos(a+b) = 2 \cdot \cos a \cdot \cos b$$

Portanto:

$$y(t) = A \cdot \left\{ \cos \left[ 2\pi \cdot \bar{f} \cdot t - 2\pi \cdot \frac{\Delta f}{2} \cdot t \right] + \cos \left[ 2\pi \cdot \bar{f} \cdot t + 2\pi \cdot \frac{\Delta f}{2} \cdot t \right] \right\}$$

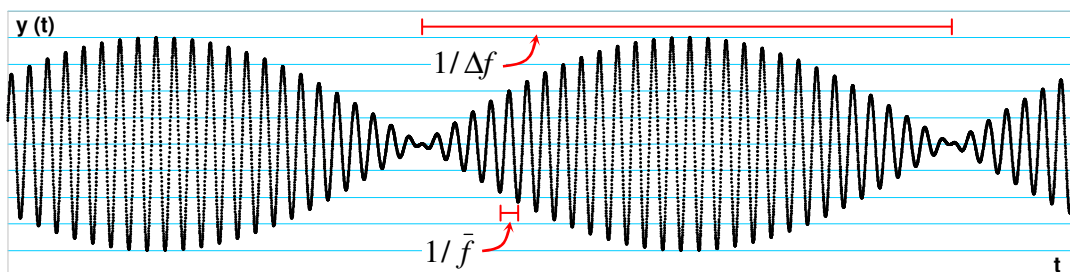
$$\Rightarrow y(t) = 2A \cdot \cos \left[ 2\pi \cdot \bar{f} \cdot t \right] \cdot \cos \left[ 2\pi \cdot \frac{\Delta f}{2} \cdot t \right] \quad (\text{Seja } 2A = B)$$

$$\Rightarrow y(t) = \cos \left[ 2\pi \cdot \bar{f} \cdot t \right] \cdot \left\{ B \cdot \cos \left[ 2\pi \cdot \frac{\Delta f}{2} \cdot t \right] \right\} \quad (\text{Equação 25})$$

$$\text{ou } y(t) = \cos \left[ 2\pi \cdot \bar{f} \cdot t \right] \cdot Y(t) \quad (\text{Equação 26})$$

$$\text{onde } Y(t) = B \cdot \cos \left[ 2\pi \cdot \frac{\Delta f}{2} \cdot t \right] \quad (\text{Equação 27})$$

Nesse modelo, as oscilações de curta duração estão sendo descritas por  $\cos \left[ 2\pi \cdot \bar{f} \cdot t \right]$ , enquanto que a *envoltória* das oscilações rápidas corresponde a  $\pm |Y(t)|$ . O gráfico da Figura 107 destaca o período das oscilações de curta duração e o semi-período da envoltória.



**FIGURA 107 – Período das oscilações rápidas e semi-período da envoltória**



A respeito do período  $\tau$  da envoltória, é interessante destacar que, segundo o modelo dos batimentos para as marés oceânicas, temos:

$$\tau = 2 \cdot \frac{1}{\Delta f} \quad (\text{Equação 28})$$

Substituindo a Equação 23 na Equação 28, obtemos:

$$\begin{aligned} \tau = 2 \cdot \frac{1}{\Delta f} &\Rightarrow \tau = 2 \cdot \frac{1}{f_{SOLAR} - f_{LUNAR}} \\ &\Rightarrow \tau = 2 \cdot \frac{1}{\frac{1}{T_{SOLAR}} - \frac{1}{T_{LUNAR}}} \\ &\Rightarrow \tau = 2 \cdot \frac{1}{\frac{T_{LUNAR}}{T_{LUNAR} \cdot T_{SOLAR}} - \frac{T_{SOLAR}}{T_{LUNAR} \cdot T_{SOLAR}}} \\ &\Rightarrow \tau = 2 \cdot \frac{1}{\frac{T_{LUNAR} - T_{SOLAR}}{T_{LUNAR} \cdot T_{SOLAR}}} \\ &\Rightarrow \tau = 2 \cdot \frac{T_{LUNAR} \cdot T_{SOLAR}}{T_{LUNAR} - T_{SOLAR}} \quad (\text{Equação 29}) \end{aligned}$$

Sendo assim, obtemos:

$$\begin{aligned} \tau &= 2 \cdot \frac{12 \text{ h } 25,5 \text{ min} \cdot 12 \text{ h}}{12 \text{ h } 25,5 \text{ min} - 12 \text{ h}} \\ &\Rightarrow \tau = 701,6 \text{ h} \\ &\Rightarrow \tau = 29,2 \text{ dias} \end{aligned}$$

Essa estimativa corresponde ao período sinódico lunar, que vale, em média, 29,53 dias (Fonte: *National Space Science Data Center* [NASA 2013]). Também conhecido como “mês lunar”, o período sinódico da Lua é o período orbital aparente medido em relação a um meridiano terrestre e serve como referência para a marcação das fases da Lua.

### **Considerações finais**

Esperamos que a proposta deste trabalho não só contribua para uma melhor aprendizagem em Física como também torne mais prazeroso o ensino desta ciência. Acreditamos que uma atividade experimental investigativa desenvolvida de forma adequada proporciona ganhos efetivos para os alunos, para o professor e para a escola.