

Investigação do fenômeno ilha de calor urbana através da utilização da placa Arduino e de um sítio oficial de meteorologia

Investigation into urban heat island effect through Arduino board and an official meteorological site

A. A. M. Santos^{*1}, H. S. Amorim¹, C. P. Dereczynski²

¹Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

²Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Recebido em 30 de Junho, 2016. Revisado em 05 de Agosto, 2016. Aceito em 13 de Setembro, 2016

Estudos de fenômenos relacionados ao clima geralmente são ótimas oportunidades para se contextualizar o ensino de Física, principalmente a Física Térmica. Duas atividades são propostas: i) construção de pequenas estações meteorológicas, baseadas na placa Arduino, produzidas com PVC (policloreto de vinila) e que poderão ser facilmente reproduzidas a um custo baixo e ii) Obtenção de dados meteorológicos através do sítio do Alerta Rio. As atividades propostas têm como objetivo permitir, através de conhecimentos de Física, que os estudantes compreendam o fenômeno ilha de calor urbana e se conscientizem de suas graves implicações para o bem estar das populações urbanas e do meio ambiente.

Palavras-chave: Ilha de calor urbana, ensino por investigação, Arduino, meteorologia

Studies of phenomena related to climate are often great opportunities to contextualize the teaching of physics, especially the Thermal Physics. Two activities are proposed: i) Construction of small weather stations, based on the Arduino board, produced with PVC (polyvinyl chloride), which can be easily reproduced at a low cost and ii) Obtainment of meteorological data via the Alerta Rio website. The activities proposed are designed to enable, through knowledge of physics, that students understand the phenomenon of urban heat island and are aware of its serious implications for the welfare of urban populations and the environment.

Keywords: urban heat island, teaching by research, Arduino, meteorology

1. Introdução

Em 1765 a máquina a vapor, aperfeiçoada pelo engenheiro escocês James Watt, passou a substituir a força animal e humana no funcionamento das máquinas industriais dando início ao período denominado revolução industrial que transformou toda a estrutura social da Europa. O processo de industrialização provocou um maciço deslocamento da população rural para as cidades em busca de trabalho nas fábricas e melhorias salariais, originando o fenômeno da urbanização. A urbanização é conside-

rada um símbolo do progresso e do desenvolvimento, porém, diversos estudos vêm apontando que ela é a principal responsável pela queda da qualidade de vida provocando alterações no meio ambiente.

Ao se comparar valores de temperatura do ar que ocorrem no meio urbano e no meio rural, durante um mesmo período, poderão ser observadas diferenças significativas. Os primeiros registros sobre diferenças de temperatura entre o meio urbano e rural foram feitos por Luke Howard em 1833 que publicou um estudo sobre o clima de Londres e apontou um “excesso de calor artificial” nas cidades, mas

*Endereço de correspondência: alipsonassis@gmail.com.

foi apenas em 1960 que Gordon Manley definiu esse fenômeno como *ilha de calor urbana* [1]. As ilhas de calor urbanas (ICUs) são, hoje, tema de diversas pesquisas no Brasil e no mundo tratando-se, portanto, de um problema atual que tem influenciado cada vez mais a qualidade de vida das pessoas que moram nos centros urbanos.

Entre as causas do fenômeno estão o grande armazenamento de calor durante o dia devido às propriedades térmicas (condutividade térmica e capacidade térmica) dos materiais de construção utilizados nos ambientes urbanos com conseqüente re-emissão para a atmosfera durante a noite e diminuição do fluxo de calor latente devido ao aumento de superfícies impermeáveis [2]. Entre as formas de mitigar o fenômeno ICU pode-se citar a pintura de pavimentos com cores claras (Figura 1) o que aumenta a refletância em 25% ou mais [3]. É também expressiva, e apoiada por uma grande comunidade de estudiosos, iniciativas de organizações não governamentais devotadas a difundir a proposta de se pintar os telhados das casas de branco, como a White Roof Project [4], de forma a diminuir a absorção direta de luz solar nos grandes centros urbanos.

Conhecimentos de Física, assim como de outras áreas como, por exemplo, geografia, meteorologia, biologia e até mesmo história são indispensáveis para a compreensão das causas e efeitos das ICUs. O estudo desse fenômeno é, portanto, pedagogicamente rico e não apenas por ser interdisciplinar, mas por ser contemporâneo e estar presente no cotidiano dos estudantes e, além disso, é uma excelente oportunidade para conscientizá-los sobre as graves questões ambientais que nos afetam diretamente. A própria Constituição Federal Brasileira, em seu artigo 225, dispõe que o meio ambiente é um bem de uso co-

mun do povo e um direito de todos os cidadãos, das gerações presentes e futuras, estando o poder público e a coletividade obrigada a preservá-lo e a defendê-lo. A escola, como principal órgão responsável pela difusão do conhecimento deve elaborar e pôr em prática projetos que conscientizem e estimulem os estudantes a preservar o meio ambiente.

Quanto aos aparatos experimentais propostos, tratam-se de duas miniestações meteorológicas móveis, cujos abrigos são construídos em PVC [5]. As mini-estações têm por finalidade medir e armazenar dados de temperatura e umidade relativa do ar no meio urbano. A vantagem do PVC está em ser um material de baixo custo, de fácil acesso, durável, leve e que oferece boa proteção dos dispositivos eletrônicos localizados em seu interior contra a radiação solar, vento e chuva.

As atividades propostas permitem comprovar a ocorrência de ilha de calor urbana bem como caracterizá-la [6]. Essas atividades estão baseadas na metodologia da investigação [7] onde os estudantes deverão coletar dados, representá-los graficamente, analisá-los e oferecer suas conclusões. A escolha da metodologia está relacionada ao fato de que o ensino de Física pode, e deve contribuir para a formação de cidadãos autônomos, capazes de construir o próprio conhecimento, atuando criticamente na sociedade em que vivem e o ensino por investigação é uma dessas metodologias que pode colaborar nesse sentido.

O professor poderá orientar seus alunos a construir os gráficos no Excel por ser um editor de planilhas bastante conhecido e de fácil acesso. Os componentes eletrônicos utilizados neste trabalho, em especial a placa Arduíno [8], são pouco conhecidos pelos estudantes sendo este, portanto, um dos fatores estimulantes que poderá atrair as atenções, levando ao interesse pelas atividades desenvolvidas.



Figura 1: Fotos de asfalto colorido. (Fonte: <http://www.brasilengenharia.com/porta/construcao/1525-a-craft-engenharia-desenvolve-asfalto-colorido>)

2. Materiais e Métodos

2.1. Aquisição de dados de temperatura e umidade relativa do ar

A unidade de controle e armazenamento de dados para a miniestação meteorológica foi projetada a partir da placa Arduino Uno (REV 3). A placa Arduino é uma plataforma versátil para a prototipagem eletrônica, de *hardware* livre, baseada em um micro-controlador Atmel AVR, com várias portas de entrada e saída de dados, digitais e analógicos. O *software* de programação (IDE) é livre, baseado numa linguagem simples, derivada essencialmente da linguagem C/C++. Uma das grandes vantagens é a disponibilidade de uma grande quantidade de bibliotecas de programas, de acesso livre, que usadas como sub-rotinas facilitam a comunicação com os mais diferentes tipos de sensores. Devido a essa notável versatilidade como plataforma de controle e aquisição de dados, já existe uma extensa relação de trabalhos de aplicação da placa Arduino no ensino de Física e que podem ser encontrados na literatura da área [9,10,11].

Para as aplicações previstas para este trabalho, selecionamos um sensor com dupla função de temperatura e umidade relativa do ar. Usamos um

módulo Grove baseado no sensor DHT11. Trata-se de um sensor digital de 8 bits com padrão de comunicação *one-wire*. Para a função de armazenamento de dados (datalogger) usamos um escudo (shield) para Arduino com cartão de memória tipo SD (SD CardShield). O modelo utilizado foi o V4.0 da Seeed Studio. Esse escudo tem, entre outras facilidades, dois conectores padrão Grove que constituem portas pré-formadas no padrão I2C e UART [11] e que facilita enormemente a conexão da placa Arduino com o sensor DHT 11. A conexão é feita assim por um cabo de quatro vias com terminais padrão Grove. Na Figura 2 mostramos o esquema de ligação. Como a miniestação foi projetada para a coleta contínua de dados no espaço urbano, por períodos de até 24 h, o sistema de alimentação é baseado em bateria selada de 12 VDC e 2,3 Ah. Para outras aplicações, é muito fácil introduzir um número maior de sensores de indicadores ambientais, já adaptados para a plataforma Arduino, tais como analisadores da qualidade do ar e sensores óticos para medir níveis de ultravioleta solar.

Segundo notas do fabricante, o sensor DHT11 usa como transdutores uma resistência elétrica sensível à umidade e um resistor semiconductor tipo NTC (Negative Temperature Coefficient) para a tempera-

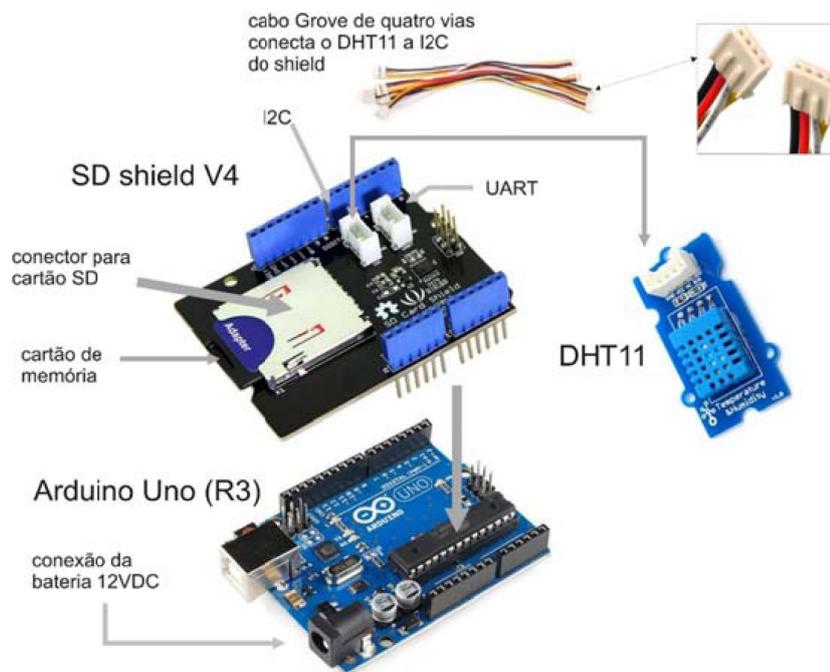


Figura 2: Representação esquemática da unidade de medida e armazenamento de dados da miniestação meteorológica. O SD *shield* é acoplado diretamente sobre a placa Arduino. O sensor DHT11 numa placa Grove é conectado na porta I2C via cabo de quatro vias padrão Grove.

tura. Esses sensores são fornecidos com calibração de fábrica, mas ao se construir mais de uma estação é interessante verificar se as leituras se correspondem quando colocadas simultaneamente num mesmo ambiente. Para o que se segue, a umidade relativa do ar (UR) é dada pela relação,

$$UR(\%) = (p_v/p_{vs}).100$$

onde p_v é a pressão de vapor e p_{vs} a pressão de vapor saturado na temperatura considerada. Como vemos, não se trata de uma medida da concentração absoluta de água no ar, mas a comparação entre a quantidade atual e a quantidade máxima que o ar poderia conter na temperatura em que se encontra.

O programa utilizado para a leitura dos sensores e armazenamento dos dados encontra-se no Anexo. Cópias eletrônicas do programa bem como maiores informações sobre a montagem do sistema de medida e armazenamento de dados, podem ser obtidas diretamente no sítio do MPEF (Mestrado Profissional em Ensino de Física, Instituto de Física, UFRJ) [12]. A frequência de amostragem de dados pode ser alterada facilmente e, assim, adaptada a cada caso.

2.2. Construção da miniestação meteorológica

A miniestação meteorológica foi projetada para ser de fácil transporte, permitindo a instalação em diferentes pontos da cidade. O projeto é baseado em tubos e conexões de PVC. Trata-se de um material fácil de ser encontrado no comércio local, fácil de ser trabalhado, leve e resistente. O projeto engloba um abrigo para a Arduino e sensores, e um pedestal para suportar o abrigo a uma certa distância do chão (cerca de 1,5 m). Na Figura 3 mostramos fotos detalhando a miniestação meteorológica pronta para uso. Um pequeno texto foi preparado, com a relação de todo o material utilizado, com os detalhes de montagem e pode ser obtido diretamente no sítio do MPEF [12].

Na Figura 3 vemos a miniestação: é formada por uma peça de tubo de PVC (linha branca usada para redes de esgoto) com 140 mm de comprimento e 100 mm de diâmetro externo (Ia). Na cobertura usamos um terminal de ventilação (Ib) próprio para tubos de 100 mm. Com este terminal facilitamos a circulação de ar e evitamos a incidência direta de luz solar e entrada de chuva. No topo do terminal de ventilação colocamos um parafuso de latão de 3/8

in (Ic) e porca borboleta para a fixação de um prato descartável de plástico (Id) com a função de guarda sol. No interior, fixamos diretamente na parede do tubo a placa Arduino e o SD *shield* (Ie) através de três parafusos (latão, 1/8 in), aproveitando o esquema de furos da placa Arduino. O sensor DHT 11 (If) é fixado no interior de uma segunda peça de tubo de PVC branco de 60 mm de comprimento e 40 mm de diâmetro externo (Ig). Esse tubo serve como uma segunda linha de proteção do sensor contra a incidência de luz direta e radiação infravermelha. O tubo é recoberto com papel de alumínio para aumentar a refletividade da superfície. Esse conjunto menor é fixado na parede interna do abrigo com auxílio de uma cantoneira (Ih) de metal e parafusos.

O pedestal é composto de duas partes de tubo de PVC branco de 40 mm, que se conectam através de uma união roscável de 32 mm em PVC marrom. Essa articulação foi pensada para favorecer o transporte da miniestação para os locais de estudo (Ii). Pelo mesmo motivo, a base do pedestal também é independente e se conecta com o pedestal através de uma união roscável de 32 mm. A base é construída de tubos e conexões de PVC branco de 40 mm. Essa facilidade também permite que a base possa ser preenchida com água (Ij), ou areia lavada, concorrendo para a maior estabilidade mecânica do sistema. A extremidade do pedestal finalizada com uma tampa própria para tubos 100 mm. O abrigo é encaixado nessa tampa aplicando-se uma leve pressão.

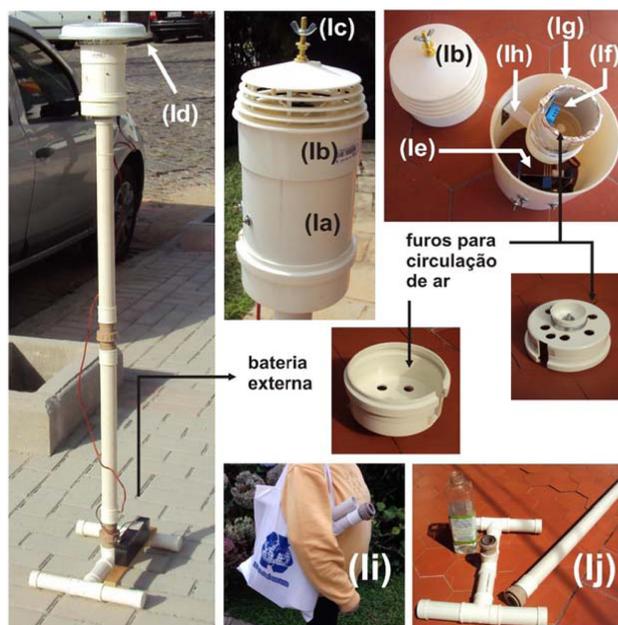


Figura 3: Miniestação meteorológica montada e detalhes da construção do abrigo. Os índices estão descritos no texto.

No planejamento da miniestação procuramos seguir as recomendações da norma ISO 7726 (1998) na parte que versa sobre a construção de abrigos meteorológicos para uso em áreas urbanas [13], mas não houve uma preocupação de adequação absoluta às normas uma vez que os dados a serem medidos não se destinam às aplicações comerciais e sim às análises comparativas. Todos os testes informais realizados indicam que as medidas de temperatura do ar feitas na miniestação são representativas da camada de ar na faixa em que se encontra o sensor DHT11 ($\sim 1,5$ m).

3. Orientações para a Aplicação da Metodologia

Antes da coleta de dados os estudantes, em grupo, respondem a um questionário com 5 perguntas básicas relacionadas ao tema.

1. As temperaturas que ocorrem, geralmente, nos centros urbanos e nas áreas rurais, durante um mesmo período, são iguais? Justifique.
2. O que são ilhas de calor urbanas?
3. Quais conhecimentos de física são necessários para a compreensão do fenômeno?
4. Como poderíamos investigar as ilhas de calor urbanas e quais dados seriam importantes coletar?
5. Suponha que você fosse convidado a elaborar o plano diretor (instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana) de um município. Quais providências você tomaria, no sentido de amenizar o problema das ilhas de calor urbanas?

O objetivo do questionário é obter informações sobre alguns conhecimentos prévios a respeito do tema e também despertar a curiosidade. Após analisar as respostas com a própria turma o professor pode dar uma breve explicação sobre o fenômeno e orientá-los a fazerem uma pesquisa em artigos, dissertações de mestrado e teses de doutorado disponíveis na internet, por exemplo. O questionário não precisa ser exatamente este, aliás, o professor poderá criar outros métodos para buscar incentivar e despertar nos estudantes o espírito investigativo. Nesta mesma aula o professor pode apresentar as miniestações aos seus alunos explicando como montá-las e também sobre o processo de funcionamento dos dispositivos eletrônicos. Antes do início das atividades de coleta

de dados é muito importante também mostrar aos estudantes que há uma questão-problema a ser investigada. Se o comportamento da temperatura e da umidade relativa do ar em duas áreas com características distintas são iguais ou diferentes e que fatores poderiam influenciar esta diferença.

Os alunos podem participar da escolha dos locais que serão investigados, no entanto, é preciso orientá-los a respeito dessa escolha. De preferência os locais para a instalação das miniestações devem estar aproximadamente à mesma altitude e sobre um mesmo tipo de superfície para que os efeitos da ilha de calor sejam mais precisos. Caso este cuidado não seja tomado deve-se então levar em conta a influência desses fatores (altitude e tipo de superfície) na análise dos resultados.

Importante que o professor estimule seus alunos a formularem hipóteses para que estas possam ser confrontadas com os resultados experimentais. Esta ação levará a uma discussão enriquecedora, promovendo assim a autonomia dos estudantes.

Nas duas atividades que serão propostas aconselhamos que cada aluno construa todos os gráficos. Após a construção dos gráficos os grupos então se reúnem e analisam os resultados. Os gráficos de um único integrante é então eleito para representar o trabalho do grupo na apresentação final para a turma.

A contextualização poderá ocorrer em diversos momentos ao se relacionar conhecimentos de física às causas e aos efeitos do fenômeno. Por exemplo nas áreas urbanas há a impermeabilização da superfície com concreto e asfalto, materiais esses que possuem, relativamente, baixo calor específico podendo sofrer rápidas variações de temperatura, porém, devido ao grande acúmulo de massa desses materiais nas áreas urbanas eles acabam possuindo alta capacidade térmica o que os permite absorver e reter uma grande quantidade da radiação de onda curta que é posteriormente liberada na forma de calor (radiação de onda longa), principalmente a noite, mantendo as temperaturas da superfície e do ar na atmosfera da área urbana superiores às das áreas rurais. Devido à impermeabilização do solo com os materiais citados há um aumento do fluxo de calor sensível (calor que provoca variação de temperatura) nas áreas urbanas pois impedem a penetração de água no solo evitando que ela seja posteriormente evaporada. Já nas áreas rurais, onde não há impermeabilização do solo, a água penetra e é posteriormente evaporada havendo

um aumento do fluxo de calor latente (calor que provoca as mudanças de fase da água) aumentando a umidade e amenizando o aquecimento. Como se sabe os conceitos de calor específico, capacidade térmica, calor sensível e latente e radiações de onda curta e de onda longa são conhecimentos relacionados à física e ensinados em sala de aula e que estão sendo utilizados na compreensão da ilha de calor urbana, fenômeno que será investigado pelos estudantes.

Nas duas atividades cada aluno constrói todos os gráficos. Os grupos se reúnem e analisam os resultados, os gráficos de um único integrante do grupo é eleito por eles para representar o trabalho do grupo na apresentação final para a turma.

4. Atividades didáticas

4.1. Primeira Atividade Investigativa: Avaliando a formação de ilhas de calor urbana com o auxílio das miniestações meteorológicas

Sob a supervisão do professor, os estudantes puderam participar da instalação dos equipamentos que, afinal, é bastante simples. O processo de funcionamento das miniestações também é muito simples. Ao conectar o Arduino à bateria dá-se início ao processo de coleta de dados pois o programa já foi previamente instalado na memória da placa.

Uma aplicação das miniestações meteorológicas foi feita no dia 11/12/2015 no período de 17:10:00 às 18:15:20 no bairro de Campo Grande na cidade

do Rio de Janeiro (Figura 4). A turma foi dividida em 5 grupos com 4 alunos. Um integrante de cada grupo participou da montagem e da coleta de dados com as miniestações. As miniestações registraram dados de temperatura e umidade relativa do ar, a cada 20 segundos, em áreas distintas do bairro: Rio da Prata, uma área com grande presença de vegetação e solo descoberto e Arnaldo Eugênio uma área urbana com pouca vegetação, solo coberto por asfalto e com razoável movimentação de automóveis. A distância entre os pontos de coleta dos dados foi de aproximadamente 5 quilômetros. A diferença de altitude entre os pontos de coleta de dados foi de aproximadamente 50 metros, sendo mais elevada em Rio da Prata. No dia da coleta o céu estava nublado e o vento soprava do quadrante sul com intensidade fraca. De posse dos dados cada grupo então tratou de construir, analisar e fazer suas conclusões.

Alguns conceitos pouco explorados nos cursos de Termodinâmica para o Ensino Médio podem ser estudados nesta atividade tais como a umidade relativa do ar e o sentido físico das diferentes definições práticas do que venha a ser *sensação térmica* ou *temperatura aparente do ar*. A maneira como percebemos a temperatura do ar não depende apenas da medida objetiva da temperatura feita com o termômetro, mas de outros fatores meteorológicos como, por exemplo, a concentração de vapor de água no ar (umidade) e a velocidade do vento. Nos últimos anos, devido aos extremos de temperatura que temos observado em nossas cidades, tem sido frequente a



Figura 4: Fotografia aérea da área investigada em Campo Grande onde foram feitas as medições, com a localização de Arnaldo Eugênio e Rio da Prata. Fonte: Google Maps

divulgação da temperatura e da temperatura aparente do ar, ou simplesmente sensação térmica, pelos noticiários. A diferença entre as duas tem se tornado cada vez mais familiar ao grande público, mas nem sempre acompanhada de considerações técnicas que esclareçam a diferença objetiva entre as duas. Há uma percepção geral, muito comum entre as pessoas, de que nos dias muito úmidos a sensação tanto de frio quanto de calor aumenta significativamente.

Existem vários critérios para se definir a temperatura aparente do ar. Esses critérios envolvem vários aspectos que não caberiam ser discutidos aqui, mas um bom resumo sobre os vários problemas relacionados à questão da sensação térmica é encontrado em Lima (2012) em sua tese de mestrado apresentada ao MPEF [14]. Como apresentado por Lima, uma forma simples e significativa, e que pode ser aplicada nesta atividade, é o índice bioclimático (IDT) proposto por Thom [15] comumente usado em estudos sobre o clima urbano. Esse índice oferece uma medida razoável do grau de desconforto para várias combinações de temperatura e umidade relativa do ar. Na estimativa do *índice de desconforto de Thom* (IDT), em graus Celsius, a seguinte equação é aplicada:

$$\text{IDT } (^{\circ}\text{C}) = T - (0,55 - 0,0055 \cdot \text{UR}) \cdot (T - 14,5), \quad (1)$$

onde T é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e UR é a umidade relativa do ar (%). Na caracterização do nível de desconforto térmico pode ser utilizada a classificação proposta por Giles [16] e apresentada na Tabela 1. Essa classificação foi criada para países no hemisfério norte, em zonas temperadas, e precisaria de uma adaptação para a região tropical, mas pode ser aplicada como uma primeira aproximação.

4.1.1. Resultados Experimentais da Primeira Atividade

Na Figura 5 apresentamos o gráfico comparativo de temperatura do ar versus tempo para as localida-

des de Rio da Prata e Arnaldo Eugênio, incluindo as diferenças de temperatura entre elas. Usando o critério adotado por Gómez et al. [6] (ver Tabela 2), é possível classificar a intensidade da ilha de calor urbana. O gráfico mostra temperaturas mais altas na área urbana quando comparada com a zona de mata em todo o período observado. Além disso, observa-se uma queda gradativa na temperatura do ar em Rio da Prata à medida em que a noite se aproxima, o que não ocorre em Arnaldo Eugênio, acentuando assim a diferença de temperatura entre as duas localidades. Um dos fatores que influenciam nesse comportamento são os grandes estoques de calor armazenados no meio urbano nas vias e nas edificações quando comparados com as zonas com grande cobertura vegetal. Dessa forma, a ilha de calor urbana que, no início da medição, estava fraca (diferença de temperatura entre 0 e 2 $^{\circ}\text{C}$) torna-se forte (entre 4 e 6 $^{\circ}\text{C}$) apenas uma hora mais tarde (18 h). Tais questões são facilmente observadas com auxílio das miniestações e oferecem boas oportunidades de discussão com os alunos.

Tabela 2: Classes de intensidade da ilha de calor urbana de acordo com diferenças de temperatura do ar entre duas localidades.

Classe de intensidade da ilha de calor urbana	Diferença de Temperatura do Ar ($^{\circ}\text{C}$) entre as duas localidades
Fraca	0 - 2
Moderada	2 - 4
Forte	4 - 6
Muito Forte	>6

Na Figura 6 (a) mostramos o comportamento da umidade relativa do ar (UR) no mesmo período (11/11/2015 – entre 17:10 e 18:16 h). Vemos a persistência do índice UR na localidade em Arnaldo Eugênio e um aumento gradativo na localidade de Rio da Prata. Esse comportamento é consistente com o gráfico das temperaturas mostrado na Figura 5. Como sabemos, a umidade relativa do ar sofre influência da própria temperatura do ar. Se considerarmos a situação observada em Arnaldo Eugênio,

Tabela 1: Classes do Desconforto Térmico

Faixas	IDT	Nível de desconforto térmico
1	IDT < 21,0	Sem desconforto
2	21,0 ≤ IDT < 24,0	Menos de 50% da população sente desconforto
3	24,0 ≤ IDT < 27,0	Mais de 50% da população sente desconforto
4	27,0 ≤ IDT < 29,0	A maioria da população sente desconforto
5	29,0 ≤ IDT < 32,0	O desconforto é muito forte
6	IDT ≥ 32,0	Estado de emergência médica

Fonte: Giles [16]

vemos que a temperatura no período quase não variou e a UR, conseqüentemente, se manteve estável. Isso é esperado na medida em que não foram observadas mudanças na situação meteorológica sobre a cidade, tais como passagens de sistemas frontais por exemplo. Dessa forma a concentração de vapor de água (p.ex. gramas de água por metro cúbico de ar) se manteve estável. Se estendermos essa conclusão para a área de Rio da Prata concluímos que a tendência da UR é aumentar nesta localidade uma vez que ar mais frio tem menos capacidade de conter água sob a forma de vapor. Mantendo a concentração de vapor de água numa amostra de ar e abaixando a temperatura tendemos a um estado saturado (UR = 100%). Essa propriedade, relacionada ao tópico de Termodinâmica das mudanças de estado da matéria, é muito interessante de ser explorada com os alunos. Vemos agora uma condição atmosférica interessante que nos leva a especular sobre o comportamento do IDT: como esse índice leva em conta a UR qual seria a relação entre as duas localidades se consideramos o fator humano. Na Figura 6 (b) mostramos o IDT calculado (relação 1) e também as faixas de IDT para as duas localidades a partir dos dados de temperatura e UR. Podemos observar que ao longo do período analisado o IDT em Arnaldo Eugênio se mantém elevado (em torno de 22,8°C), enquanto em Rio da Prata ocorre um declínio, principalmente a partir de 16:28 h, quando o IDT cai de 23,3 °C para 21,5°C, o que sugere uma situação de menor desconforto nessa última localidade. Com relação as faixas de IDT nota-se que no início do período analisado predominam valores maiores em Arnaldo Eugênio (faixa 3 – mais de 50% da população sente desconforto) do que em Rio da Prata (faixa 2 – menos de 50% da população sente desconforto). A seguir, até o final do experimento as duas localidades situam-se na mesma faixa de IDT (faixa 2).

Antes da coleta de dados os estudantes haviam elaborado a hipótese de que na área com vegetação, ao anoitecer, a temperatura do ar sofreria rápidas reduções e na área urbana, durante o mesmo período, as temperaturas do ar sofreriam grandes aumentos, o que intensificaria a ilha de calor urbana. Ao analisar os gráficos eles perceberam que, ao anoitecer, houve uma tendência a manutenção das temperaturas do ar na área urbana, ou seja, elas permaneceram constantes por um período maior. Eles mostraram-se um pouco surpresos pois a hipótese inicial formulada

era de que na área urbana as temperaturas do ar aumentariam.

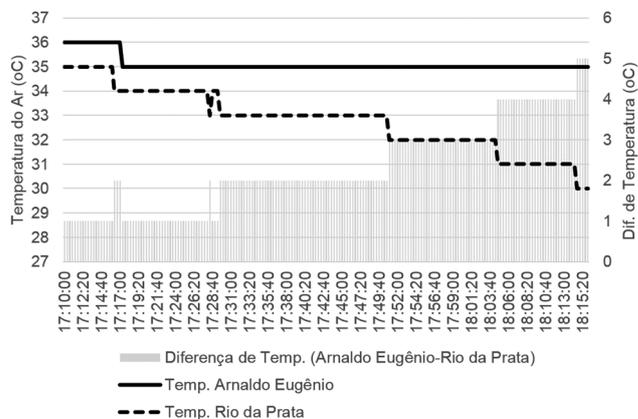
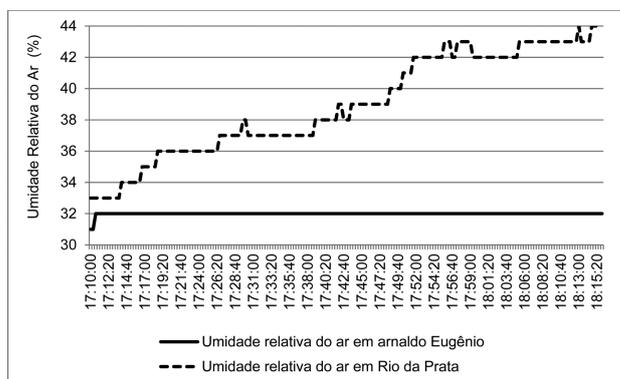
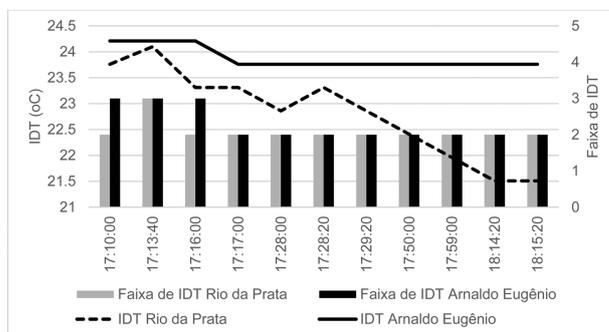


Figura 5: Temperaturas do ar (°C) em Arnaldo Eugênio e Rio da Prata e a diferença de temperatura (°C) entre Arnaldo Eugênio e Rio da Prata, no dia 11/12/2015 no período de 17 horas e 10 minutos às 18 horas 15 minutos e 20 segundos.



(a)



(b)

Figura 6: (a) Gráfico da umidade relativa do ar em Rio da Prata e Arnaldo Eugênio em 11/12/15 das 17 horas e 10 minutos às 18 horas 15 minutos e 20 segundos; (b) Gráfico comparativo do índice IDT respectivo

4.2. Segunda Atividade Investigativa: Avaliando a formação de ilhas de calor urbana com o auxílio da base de dados do Sistema Alerta Rio

Na realização da segunda atividade os mesmos grupos de estudantes que realizaram a primeira atividade são orientados a escolher dois bairros e um único mês do ano de 2015 para serem analisados. Eles então fazem o *download* dos dados de temperatura e umidade relativa do ar relativo aos bairros e ao mês do ano que escolheram. Esses dados estão disponíveis gratuitamente no sítio eletrônico do Alerta Rio. Toda a atividade nº 2 (coleta, análise e conclusão) pode ser realizada pelos estudantes em suas próprias casas.

O Sistema Alerta Rio (SAR) da prefeitura da cidade do Rio de Janeiro foi criado para monitorar eventos de chuvas intensas sobre a cidade com potencial de produzir desastres graves como inundações e deslizamentos de encostas. No sítio do SAR [17] são disponibilizados totais pluviométricos acumulados a cada 15 minutos em 33 estações espalhadas pelo município e também dados de temperatura e umidade relativa do ar registradas em 7 estações meteorológicas: Irajá, Jardim Botânico, Barra/Rio Centro, Guaratiba, Santa Cruz, Alto da Boa Vista e São Cristóvão. Para esta segunda atividade o fenômeno ilha de calor urbana foi estudado com base nas séries de dados de duas estações do SAR apresentadas na Figura 7. Os bairros escolhidos pelos estudantes foram Irajá e alto da Boa Vista. Irajá, um bairro de porte médio da cidade do Rio de Janeiro, com quase cem mil habitantes, muita circulação de automóveis, grande concentração de casas e edifícios e pouca vegetação e o Alto da Boa Vista, um bairro de classe média alta da zona norte da cidade com cerca de vinte mil habitantes, localizado no topo do maciço da Tijuca, onde se encontra o parque nacional da Tijuca, terceira maior floresta urbana do planeta.

4.2.1. Resultados da Segunda Atividade

Na Figura 8 mostramos uma comparação da temperatura do ar, nas duas localidades estudadas (Irajá e alto da Boa Vista), no período de 10 a 20 de setembro de 2015, no horário de 18:30 h.

Podemos observar diferenças de temperatura de quase 10°C entre as duas localidades no dia 18/09/15 no horário estudado (18:30 h). Uma outra comparação pode ser vista no gráfico da Figura 9 que

cobre um período de 24 horas num dia em que tivemos grandes máximas de temperatura no verão de 2016. As diferenças de temperatura entre os dois bairros foram significativas ($\Delta T > 0$ em praticamente em todo o intervalo) e se mantiveram altas na madrugada (0h e 7h) e a noite (19h e 24h).

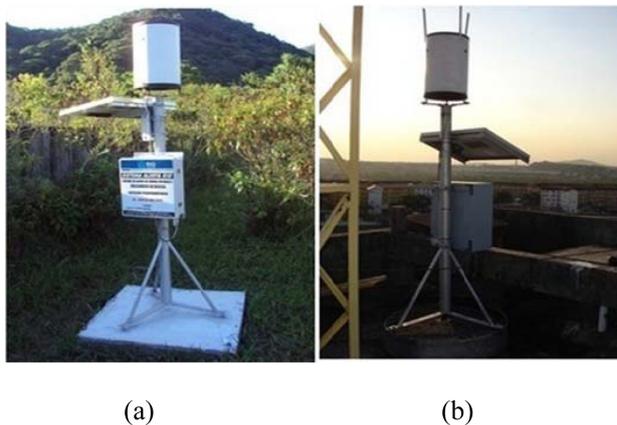


Figura 7: Fotografias das estações meteorológicas automáticas do Sistema Alerta Rio, localizadas em (a) Irajá e (b) no alto da Boa Vista. Fonte: Alerta Rio.

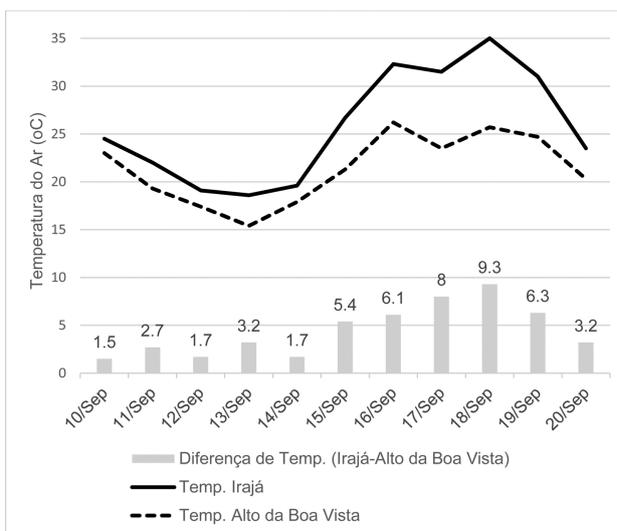


Figura 8: Temperaturas do ar (°C) em Irajá e no Alto da Boa Vista (Alerta Rio) e a diferença de temperatura (°C) entre Irajá e Alto da Boa Vista, no período de 10 a 20/09/2015 no horário de 18:30 h.

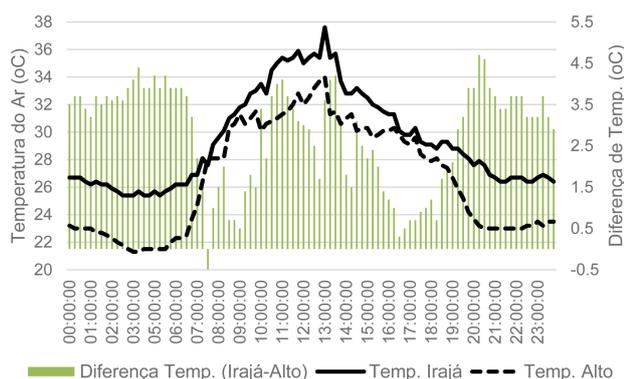


Figura 9: Comparação da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) entre os bairros de Irajá e Alto da Boa Vista para um período de 24 horas (08/01/2016).

De posse dos dados de temperatura do ar a cada 15 minutos coletadas nas estações Irajá e Alto da Boa Vista do período de 01/01 a 31/12/2015 foram calculadas as médias mensais por horário para cada estação meteorológica e a seguir efetuou-se as diferenças de temperaturas (Irajá - Alto da Boa Vista) para apreciar o fenômeno da Ilha de Calor Urbana. Nesta atividade os alunos aprendem a coletar dados em sítios de meteorologia e a utilizar a planilha Excel. No gráfico da Figura 10 pode ser observado o comportamento da ICU em Irajá durante o ano de 2015. Notamos que o fenômeno ocorreu durante todo o ano (todas as diferenças são positivas), sendo mais intenso em abril e no período da tarde e início da noite.

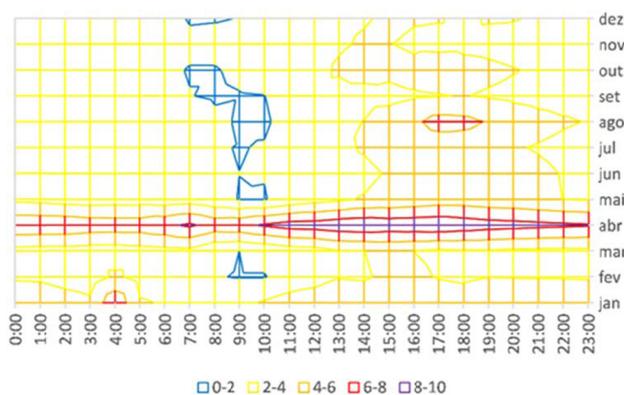


Figura 10: Diferenças de Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) entre Irajá e Alto da Boa Vista durante o ano de 2015

5. Observações Finais

Antes da utilização das miniestações, na primeira atividade, é importante fazer uma primeira coleta de dados com os equipamentos em um mesmo ambiente para se ter certeza que ambos estão calibrados. Nessa

atividade a cada 20 segundos os sensores forneciam os respectivos valores de temperatura e umidade relativa do ar. Como o tempo de coleta não foi tão grande (cerca de 1 hora) todos os dados colhidos puderam ser inseridos nos gráficos para análise. Já na atividade 2, como a quantidade de dados era muito grande tivemos de adotar um critério. O critério adotado foi que apenas seriam analisadas as temperaturas nos dois bairros às 18:30 h e no período de 10 de setembro a 20 de setembro de 2015. Os critérios para análise poderão ser os mais diversos e o professor poderá dar liberdade a seus alunos para tal escolha.

Nenhum aluno tinha conhecimento prévio sobre construção de gráficos no Excel, eles aprenderam através de vídeo aulas na internet e através de orientação do professor durante a execução das atividades.

Um total de três aulas foram necessárias para a realização das atividades: 1 aula para apresentação do tema: 1 aula para coleta de dados e 1 aula para exposição das conclusões dos estudantes.

6. Conclusão

Nestas atividades os alunos participam ativamente e dispõem de muita liberdade para tomar decisões a respeito da coleta e análise dos dados, além de decidir sobre a melhor maneira de apresentar seus resultados. Para estudos mais rigorosos podemos usar o sensor DHT 22 que possui ampla faixa de medição, baixo custo e fácil integração com Arduino. Através da elaboração de gráficos os estudantes podem analisar o comportamento térmico do ar em áreas urbanas e rurais relacionando-o à respectiva umidade relativa. Por exemplo, ao analisar os gráficos das atividades propostas percebe-se facilmente que, ao anoitecer, podem ocorrer grandes diferenças na temperatura do ar das áreas com presença de vegetação e das áreas urbanas, intensificando a ilha de calor urbana. Através da pesquisa os estudantes poderão encontrar, facilmente, uma justificativa para esse fato.

As mini-estações meteorológicas possibilitam a investigação das condições atmosféricas em uma grande variedade de áreas que poderão estar próximas ou distantes entre si, inclusive no próprio meio urbano. Já os sítios de meteorologia, que geralmente possuem séries de dados antigos e atuais, possibilitam investigar a evolução das ilhas de calor urbanas.

A divulgação e o incentivo à utilização da placa Arduino trará muitos benefícios às práticas educativas dos professores por oferecer riquíssimas oportunidades de contextualização através de vários projetos já existentes, muitos voltados para o ensino de Física. Além da possibilidade de utilização de tais projetos, os professores e os alunos que se interessarem poderão conhecer mais profundamente as formas de se trabalhar com a placa Arduino através, por exemplo, de diversos cursos *online* totalmente gratuitos. Assim eles poderão desenvolver seus próprios projetos para fins diversos, inclusive didáticos. Verificou-se que uma prática investigativa contextualizada é fundamental para consolidar aprendizagens anteriores e ampliar as oportunidades para se ad-

quirir novos conhecimentos pois os estudantes são estimulados a cada momento a analisar e tomar decisões acerca de informações que eles mesmos adquiriram. As atividades de investigação contribuem imensamente nesse sentido, proporcionando autonomia aos alunos e ao mesmo tempo promovendo a interação entre eles.

Este projeto foi aplicado em uma escola pública do estado do Rio de Janeiro, mostrando-se bastante promissor por oferecer uma oportunidade de se contextualizar e articular o ensino de Física com outras áreas do conhecimento, além de incentivar a autonomia e a interação dos alunos através da pesquisa, da coleta de dados e da análise de resultados.

7. Anexo

```

/*
Programa para armazenamento de dados Temperatura (Celsius) e Umidade Relativa do ar
(%) em cartão de memória tipo SD - Versão 1.0 de 27/08/2015.

Autores: Alipson Santos e Helio S. Amorim (MPEF { Mestrado Profissional em
Ensino de Física { IF/UFRJ)

Baseado nos códigos,
'SD dataloggermemorycard
created 24 Nov 2010
modified 9 Apr 2012
by Tom Igoe'
e
'Example testing sketch for various
DHT humidity/temperature sensors
Written by ladyada, public domain'

O circuito:
* sensor digital DHT11
* Shield SD card ligado ao SPI bus como se segue:
** MOSI - pino 11
** MISO - pino 12
** CLK - pino 13
** CS - pino 4
*/

#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include "DHT.h"

#define DHTPIN A5
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11

```

```
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

const int chipSelect = 4;

void setup() {

  // Habilita a comunicação serial;
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("Inicializando o cartão SD...");

  // se cartão está presente ou pode ser inicializado:
  if (!SD.begin(chipSelect)){
    Serial.println("Falha no cartão ou cartão não presente");
    // não faça mais nada:
    return;
  }

  Serial.println("cartão inicializado.");
  Serial.println("umidade relativa(%)  Temperatura (oC)");

  // Abre o arquivo \datalog.txt"; você pode trocar o nome deste
  // arquivo segundo as suas necessidades;

  File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);

  //Inicia escrevendo informações de controle; altere essas
  //informações segundo suas necessidades;

  dataFile.println("ABRIGO: 1"); // indique o abrigo usado;
  dataFile.println("SENSOR: DHT11");
  dataFile.println("PROGRAMA: Datalogger_temp_umidade_03");

  //indique sempre a versão do programa que esta gerando os dados;
  dataFile.println("ULTIMA REVISAO DO SISTEMA: 18/06/2016");
  dataFile.println("umidade relativa(%)  Temperatura (oC)");
  dataFile.close();

  dht.begin();

}

void loop() {

  //Lê a temperature e a umidade relative(a leitura do sensor
  //leva em torno de 250 milisegundos);

  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();
```

```
//Abra o arquivo \datalog.txt" e escreva os valores obtidos;

File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);

//se o arquivo está aberto, escreva;
if (dataFile) {
  dataFile.print(h);
  dataFile.print("      ");
  dataFile.println(t);
  dataFile.close();

//escreva na porta serial também;
Serial.print(h);
Serial.print("      ");
Serial.println(t);
}

//Se o arquivo não abre dê uma mensagem de erro;

else {
  Serial.println("erro ao abrir datalog.txt");
}

//período de amostragem (20s). Mude esse valor segundo suas //necessidades;

delay(20000); }
```

Referências

- [1] G. Manley, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society **84**, 70 (1958).
- [2] T.R. Oke, *Boundary Layer Climates*. (Methuen & Co. Ltd., London, 1978), disponível em <http://bayanbox.ir/view/6693893538424427706/T.-R.-Oke-Boundary-Layer-Climates-Second-Editio-BookFi.org.pdf>.
- [3] L. Gartland, *Ilhas de Calor como Mitigar Zonas de Calor em Áreas Urbanas* (Oficina de Textos, São Paulo, 2010), 248 p.
- [4] Encontrado em <http://www.whiteroofproject.org/>.
- [5] W.F.F. Roseghini e F.J.Castelhana, Revista Brasileira de Climatologia **9**, 48 (2011).
- [6] F. Gómez, N. Tamarit and J. Jabaloyes, Landscape and Urban Planning **55**, 151 (2001).
- [7] M.C.P.S. Azevedo, in *Ensino de Ciências*, organizado por A.M.P. Carvalho (Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2004), p. 19-33.
- [8] H.S. Amorim, M.A. Dias e V. Soares, Revista Brasileira de Ensino de Física **38**, e4501 (2016).
- [9] M.A. Cavalcante, C.R.C. Tavoraro e E. Molisani, Revista Brasileira de Ensino de Física. **33**, 4503 (2011).
- [10] L.R.M. Carvalho e H.S. Amorim, Revista Brasileira de Ensino de Física **36**, 3501 (2014).
- [11] A.R. Souza, A.C. Paixão, D.D. Uzêda, M.A. Dias, S. Duarte e H.S. Amorim, Revista Brasileira de Ensino de Física **33**, 1702 (2011).
- [12] http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2016_Alipson_Santos/.
- [13] R. Lamberts, A.A.P. Xavier e S. Goulart, *Conforto e Stress Térmico, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações* (Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008), disponível em (www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/.../ECV4200_apostila%202011.pdf_2.pdf), acesso em 30/6/2016.
- [14] E.C. Lima, *Conforto Térmico em Residências como uma Proposta de Contextualização para o Ensino de Termodinâmica no Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012, disponível em http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2012_Eduardo_Couto/.
- [15] E.C. Thom, Weatherwise **12**, 57 (1959).
- [16] D.B. Giles, C. Balafouts and P. Maheras, International Journal of Biometeorology **34**, 98 (1990).
- [17] Sítio do Alerta Rio: <http://alertario.rio.rj.gov.br/>, acesso em 31/5/2016.