

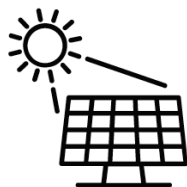


**CIEEMAT`18**

**IV Congresso Ibero-Americano de  
Empreendedorismo, Energia,  
Ambiente e Tecnologia**

**Livro de Atas**

Angra dos Reis, Rio de Janeiro  
27 a 29 de novembro de 2018



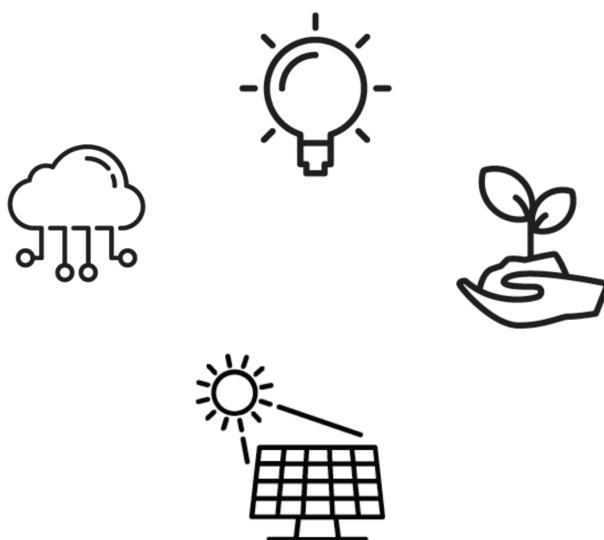
Instituto Politécnico de Bragança

2019



# IV Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia

Livro de Atas



**Título:** IV Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia: Livro de Atas

**Editores:** Ronney Arismel Mancebo Boloy<sup>1</sup>  
Marcus Val Springer<sup>1</sup>  
Vanessa de Almeida Guimarães<sup>1</sup>  
Elizabeth Mendes de Oliveira<sup>1</sup>  
Amilton Ferreira da Silva Junior<sup>1</sup>  
Américo Vicente Leite<sup>2</sup>  
Orlando Manuel Soares<sup>2</sup>  
José Luis Calvo Rolle<sup>3</sup>  
Jonni Guillier Ferreira Madeira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Campus de Angra dos Reis, Rua do Areal, 522, Pq Mambucaba, Angra dos Reis, RJ, CEP: 23953-030, Brasil

<sup>2</sup> Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

<sup>3</sup> Universidade da Coruña, Campus Ferrol, 15403 Ferrol, Espanha

**Edição:** Instituto Politécnico de Bragança – 2019  
Campus de Santa Apolónia  
5300-253 Bragança  
Portugal

**Execução:** Orlando Manuel Soares

**ISBN:** 978-972-745-258-3

**URI:** <http://hdl.handle.net/10198/17919>

**Email:** [congresso.cieemat@gmail.com](mailto:congresso.cieemat@gmail.com)

**Apoios e Patrocínios:**



**Even3**



- Ronney Arismel Mancebo Boloy (CEFET/RJ, Brasil)
- Marcus Val Springer (CEFET/RJ, Brasil)
- Vanessa de Almeida Guimarães (CEFET/RJ, Brasil)
- Elizabeth Mendes de Oliveira (CEFET/RJ, Brasil)
- Amilton Ferreira da Silva Junior (CEFET/RJ, Brasil)
- Américo Vicente Leite (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)
- Orlando Manuel Soares (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)
- José Luis Calvo Rolle (Universidade da Coruña, Espanha)
- Jonni Guiller Ferreira Madeira (CEFET/RJ, Brasil)

- Luis Fernando dos Santos (CEFET/RJ, Brasil)
- Jaqueline Maria Ribeiro Vieira (CEFET/RJ, Brasil)
- Gisele Maria Ribeiro Vieira (CEFET/RJ, Brasil)
- Valter Silva (Instituto Politécnico de Portalegre, Portugal)
- Paulo Brito (Instituto Politécnico de Portalegre, Portugal)
- Luis Frolen Ribeiro (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)
- Agripina Ramirez Sanchez (Instituto de Innovacion En Biotecnología e Industria, República Dominicana)
- Jose Ramon Copa Rey (IPBEN-UNESP-FEG, Brasil)
- Patricia Alves Carneiro (Universidade Federal Fluminense – UFF, Brasil)
- Angel Luis Brito Sauvannell (Universidade de Oriente, Cuba)
- Elizabeth Isaac Aleman (Universidade de Oriente, Cuba)
- Lilliana Gomes Luna (Universidade de Oriente, Cuba)
- Marcelo Borges Rocha (CEFET/RJ, Brasil)
- Aline Monteiro Trigo (CEFET/RJ, Brasil)
- Ursula Maruyama (CEFET/RJ, Brasil)
- Daniel de Cerqueira Lima Penalva e Dos Santos (IFPE, Brasil)
- Marcellus Bastos (CEFET/RJ, Brasil)
- Fernando Luiz Barbuda de Abreu (IFRJ, Brasil)
- Justo Jose Roberts (Universidad del Mar de Plata, Argentina)
- Yilang Fung (Universidad de Oriente, Cuba)
- Paloma María Teresa Martínez Sánchez (Universidad del Bosque, Colombia)
- Janaina Veiga (CEFET/RJ, Brasil)
- Everton Pedroza (CEFET/RJ, Brasil)
- Ezequiel da Silva Oliveira (CEFET/RJ, Brasil)
- Darlene Souza da Silva Almeida (CEFET/RJ, Brasil)
- Fernando da Silva Araujo (CEFET/RJ, Brasil)
- Luane Fragoso (CEFET/RJ, Brasil)

## Comissão Científica

---

- Fabiano Oliveira (CEFET/RJ, Brasil)
- Jorge Carvalho (CEFET/RJ, Brasil)
- Ricardo César da Silva Guabiroba (UFF, Brasil)
- Jose Adilson de Castro (UFF, Brasil)
- Maxwell de Azevedo Ferreira (IFRJ, Brasil)
- Sheila Serafim da Silva (USP, Brasil)
- Viviam Guimarães Rodrigues (UFF, Brasil)
- Leticia Zveiter (CEFET/RJ, Brasil)
- Nelson Cordeiro (CEFET/RJ, Brasil)
- Silvia Ainara Cardoso Agibert (CEFET/RJ, Brasil)
- Carlos Henrique Martins (CEFET/RJ, Brasil)
- Clóvis José da Silva (CEFET/RJ, Brasil)
- Marcelo Oliveira Pereira (CEFET/RJ, Brasil)

## Índice de Trabalhos

---

Nº Artigo	Titulo.....	Pág.
	Autores	
114392	<i>Monitoramento ambiental remoto da qualidade da água.....</i>	141
	Alexandre Silva de Lima, Maria Cristina José Soares, Julio César de Oliveira Antunes, Maria José Paes Santos, Juliane Pereira Zago, Luiz Guilherme Santos de Lima, Yuri Nascimento da Silva	
114400	<i>Avaliação dos níveis de PM<sub>2,5</sub> na zona industrial de Mirandela – Portugal .....</i>	145
	Rafaela Cruz Alves, Artur Goncalves, Leila Droprinchiwski Martins, Manuel Feliciano	
114402	<i>Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede – SFVCR, com adequação do gerador fotovoltaico aos parâmetros elétricos do inversor e aos fatores de perdas.....</i>	151
	Alcides Arruda Junior, Roberto Apolonio, Ozlean De Lima Dantas	
114405	<i>Desenvolvimento e aplicação de sistema de baixo custo na avaliação de parâmetros de QAI .....</i>	159
	Matheus de Oliveira Prestes, Manuel Feliciano, Laercio Mantovani Frare, Rafaela Cruz Alves, Getúlio Igrejas	
114413	<i>Membranas híbridas catiônicas de pva e dióxio de estanho modificado com sal de fenol reticuladas com mistura de ácidos .....</i>	165
	Liz Contino Vianna de Aguiar, Luís Guilherme da Silva Mattos, Larissa Aparecida Toledo Costa, Fabiana Campos do Nascimento, Fábio José Bento Brum, Ailton de Souza Gomes	
114439	<i>Estudo de multicamadas dos polieletrólitos PDADMAC e alginato de sódio .....</i>	171
	Tamiris De Almeida, Joyce de Paula Cipriano, Edwin Elard Garcia-Rojas, Ladário da Silva, Letícia Vitorazi	
114560	<i>Degradação do 1H-Benzotriazol utilizando eletrodos modificados com nanotubos de titânio .....</i>	175
	Thiago Fonseca da Costa, Nelson Ramos Stradiotto, Patricia Alves Carneiro	
115061	<i>Determinação da densidade das fibras picadas de bambu por picnometria .....</i>	179
	Laryssa de Jesus Ramos, Leonardo Nader Chagas, Aldir Paes de Jesus, Simone Pereira Taguchi Borges, Luiz Antonio Borges Junior	

# *Desenvolvimento e aplicação de sistema de baixo custo na avaliação de parâmetros de QAI*

(1) Matheus Prestes

Mestrado em Tecnologia Ambiental  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
matheusdeop@gmail.com

(2) Manuel Feliciano

Centro de Investigação de Montanha  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
msabenca@ipb.pt

(3) Laércio Frare

Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Medianeira, Brasil  
laercio@utfpr.edu.br

(4) Rafaela Alves

Mestrado em Tecnologia Ambiental  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
matheusdeop@gmail.com

(5) Getúlio Igrejas

Departamento de Eletrotécnica  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
igrejas@ipb.pt

**Resumo**—A associação das características físicas, químicas e biológicas observadas nas atmosferas interiores e a integridade física dos ocupantes têm-se tornado um objeto de estudo bastante comum nas últimas décadas, de forma a evidenciar relações significativas entre estes aspetos, com especial ênfase para a os efeitos da fração respirável do material particulado (PM<sub>2,5</sub>) e a saúde humana. Uma compreensão sistemática do assunto envolve o estudo de fenómenos esporádicos e sazonais, o que implica a necessidade de escalas temporais e espaciais de monitorização dispendiosas. Contudo, estas dificuldades promovem a expansão de dispositivos com custos reduzidos (*low-cost*) e com dimensões significativamente inferiores. Este trabalho teve por objetivo a construção de um equipamento de medição simples, eficiente e barata de parâmetros específicos de QAI. O protótipo desenvolvido incorpora sensores que quantificam a temperatura, a humidade relativa, a concentração de dióxido de carbono e as concentrações de PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> e a sua fiabilidade foi aferida através de estudos de intercomparação recorrendo a outros equipamentos de elevada precisão e exatidão. Nesta avaliação foram conduzidos 4 ensaios num espaço laboratorial do Instituto Politécnico de Bragança. Cada ensaio teve uma duração de 24 horas e os registos foram obtidos com uma frequência de 1 minuto. Análises de correlação com estimativas do Índice de Concordância de Willmott (d), do Coeficiente de Correlação de Pearson (r) e do Coeficiente de Determinação (R<sup>2</sup>) mostram uma elevada correlação entre as concentrações de material particulado analisadas (PM<sub>2,5</sub>), onde  $d = 0,918$ ,  $r = 0,943$  e  $R = 0,889$  para a situação de maior distanciamento entre os dados e  $d = 0,983$ ,  $r = 0,994$  e  $R = 0,972$  para a situação de maior proximidade. Em relação às concentrações de dióxido de carbono foi verificada uma correlação muito forte ( $> 0,9$ ) para todas análises estatísticas conduzidas, e para a temperatura e humidade relativa, apesar das correlações não apresentarem valores elevados em todas as análises, o desvio entre equipamentos não foi superior a 1,6°C para temperatura e 5,9% para humidade relativa. No global os resultados sugerem a aplicabilidade do equipamento desenvolvido na avaliação dos parâmetros estudados na qualidade do ar interior.

**Palavras-chave**—atmosferas interiores, *low-cost*, poluentes, monitorização, material particulado.

## I. INTRODUÇÃO

Além da simples conceção da Qualidade do Ar Interior (QAI) como a concentração de poluentes observada numa atmosfera interior, num sentido mais amplo, esta área de estudo compreende ainda fatores climáticos e culturais destes ambientes [1]. A temática apresenta um crescimento

substancial ao longo das últimas 4 décadas quanto ao conhecimento de poluentes e à nocividade destes, e, ainda, em relação ao número de manuais elaborados e de diplomas normativos e legais existentes [2].

A composição química e biológica dos poluentes encontrados em ambientes interiores é reflexo de diversos fatores, como fontes de poluição, atividades de limpeza, combustível utilizado em sistemas de aquecimento e fogões, além de outras características, como temperatura, humidade relativa e ventilação observados nesses espaços [3][4]. De entre os vários poluentes que apresentam elevada nocividade na saúde dos ocupantes, a fração fina de material particulado (PM<sub>2,5</sub>) surge como um dos mais relevantes [4][5].

O material particulado pode ser definido como uma mistura complexa e heterogénea de partículas sólidas extremamente pequenas ou gotículas de líquidos, a variar de poucos nanómetros a micrómetros [6], e que por conta desta heterogeneidade deve então ser classificado de acordo com alguma de suas características, sejam estas físicas, químicas ou biológicas. A classificação mais usual leva em consideração o diâmetro aerodinâmico equivalente das partículas, de modo a adotar intervalos que melhor atendam o objetivo dos estudos, sendo na área da saúde os intervalos inferiores a 10µm os de maior relevância, também referida por fração inalável [7].

É então de grande importância o estudo das concentrações do poluente, dada a elevada correlação encontrada entre estas e os problemas de saúde observados nos ocupantes [8][9]. As doenças que acometem o sistema respiratório e, inclusive, o cancro de pulmão apresentam, há mais de duas décadas, indícios de dependência dos níveis de poluentes observados no ambiente [10], tendo ocorrido em 2013 a confirmação destes indícios [11].

Existem, no entanto, dificuldades associadas à monitorização das concentrações de poluentes e parâmetros climáticos nestes ambientes interiores, sejam estas técnicas ou financeiras. O número de equipamentos a serem utilizados, as elevadas volumetrias dos equipamentos, a complexidade na operação e os custos elevados associados a aquisição são fatores que limitam os estudos de QAI. A evolução tecnológica ocorrida nos últimos anos contribuiu significativamente para a simplificação deste processo, com o desenvolvimento de métodos de análise em tempo real [12]. Os avanços possibilitaram ainda a ascensão de um outro nicho de equipamentos, aqueles conhecidos como *low-cost*, que ganham espaço pelos custos e dimensões

significativamente inferiores, além da possibilidade de construção de sistemas que atendam às necessidades individuais dos utilizadores [13].

A realização deste trabalho teve como objetivo a utilização de componentes de baixo custo no desenvolvimento de um equipamento capaz de obter as concentrações de  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $CO_2$ , a temperatura e a humidade relativa em ambientes interiores, bem como a aplicação deste equipamento e a posterior realização de análises estatísticas de intercomparação dos dados obtidos por este e equipamentos de elevada precisão e exatidão disponíveis comercialmente.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

A compreensão do sistema construído é facilitada pela observação da Fig. 1, que engloba os devidos componentes utilizados de acordo com sua função básica. O bloco de deteção é constituído pelo sensor DHT11, responsável pela aquisição de dados de temperatura e humidade relativa, pelo sensor K30 para as concentrações de dióxido de carbono e os sensores SDS011 e SEN0177 para as concentrações de  $PM_{2.5}$  e  $PM_{10}$ .

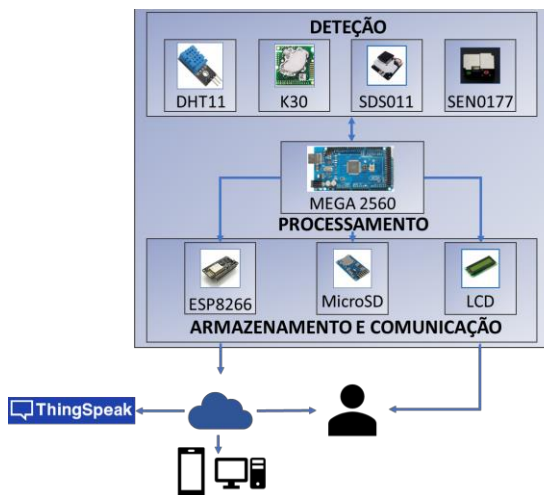


Fig. 1. Arquitetura do sistema construído

O bloco de processamento, responsável pela aquisição das informações do bloco de deteção, processamento dos sinais digitais e envio dos dados integra a plataforma de prototipagem rápida Arduino Mega 2560. Uma vez que os dados estão prontos para serem disponibilizados para o usuário, são então encaminhados para o bloco de armazenamento e comunicação, que conta com três componentes com funções distintas. O módulo ESP8266 realiza o envio das informações para a nuvem, através de uma conexão à rede sem fios e da plataforma ThingSpeak, de modo a possibilitar o acesso remoto à informação a partir de qualquer terminal conectado à internet, bem como o armazenamento destas informações na plataforma. O módulo micro SD realiza o armazenamento local, quer seja pela segurança das informações, quer seja pela indisponibilidade de uma rede sem fios. O display LCD apresenta os dados obtidos instantaneamente ao usuário, sem a necessidade de recorrer ao auxílio de qualquer outro dispositivo.

A verificação da robustez e da fiabilidade do equipamento foi realizada através de aplicações práticas e da posterior intercomparação da informação recolhida pelo sistema construído e por outros equipamentos de elevada

precisão e exatidão, tendo sido utilizada a sonda IAQ610 (GrayWolf Sensing Solutions) para os parâmetros climáticos e as concentrações de dióxido de carbono e o equipamento ADR-1200S (Thermo Scientific) para as concentrações de  $PM_{2.5}$ . A disposição dos equipamentos e do sistema durante as aplicações práticas pode ser observada na Fig. 2.



Fig. 2. Disposição dos equipamentos e do sistema no ambiente de estudo

Os ensaios foram realizados num espaço laboratorial da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, tendo atualmente como principal função o armazenamento de equipamentos e materiais. Foram realizados quatro ensaios com duração de 24 horas cada um e uma resolução temporal de um minuto entre amostragens.

Com o intuito de proporcionar a aplicação do sistema numa gama vasta de concentração de  $PM_{2.5}$  foram acionadas fontes de poluição que envolveram a combustão de tabaco, seja ele na forma de cigarros comerciais (ensaios 1 e 2) ou na utilização de cachimbo de água (ensaios 3 e 4). A abertura da porta (ensaios 2 e 3) também foi utilizada como agente de alteração proposital das condições da QAI observada para o laboratório, que atuou como fator redutor para as concentrações de dióxido de carbono e de  $PM_{2.5}$ .

Uma vez concluídos os ensaios, procedeu-se então à análise dos dados obtidos pelo sistema e pelos equipamentos equivalentes. Utilizou-se de três parâmetros estatísticos para a verificação: Índice de Concordância de Willmott (d), Coeficiente de Correlação de Pearson (r) e Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ).

## III. RESULTADOS

### A. Avaliação e intercomparação das concentrações de $PM_{2.5}$

A Fig. 3 apresenta a variação das concentrações médias horárias de  $PM_{2.5}$  registadas pelos dois sensores integrados no protótipo e pelo monitor ADR-1200S, para os 4 ensaios realizados. A escala de tempo do eixo dos xx da figura corresponde às horas decorridas de ensaio.

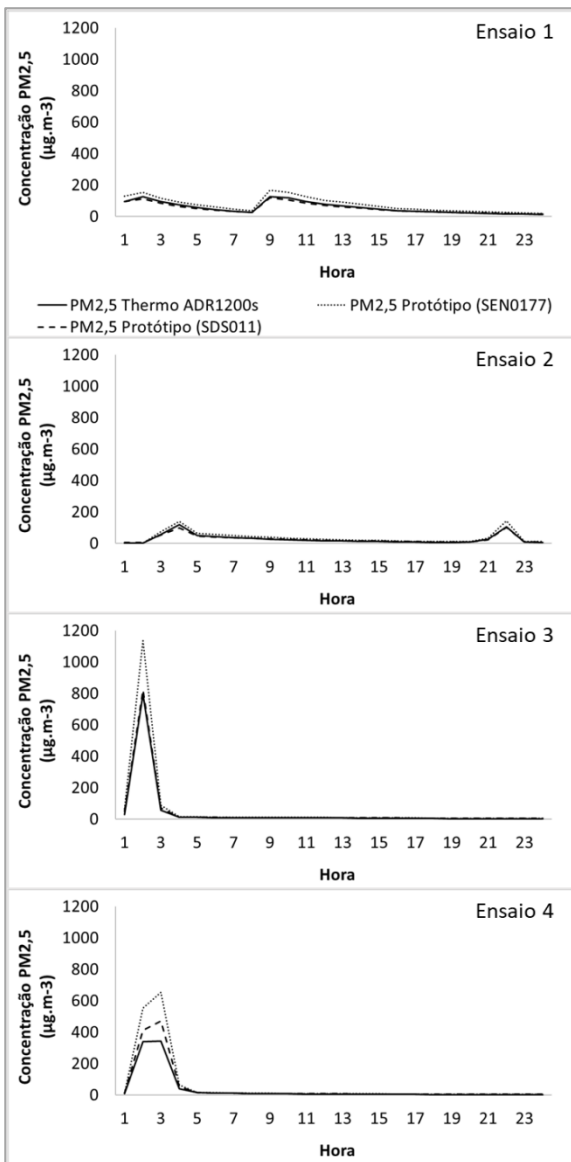


Fig. 3. Evolução temporal das concentrações médias de PM<sub>2,5</sub> obtidas pelo sensor do protótipo e pelo monitor ADR1200S.

Numa primeira análise, podemos constatar que foram criadas atmosferas interiores com uma ampla gama de concentrações de PM<sub>2,5</sub>, com uma dinâmica de variação distinta ao longo do tempo e que, de facto, as fontes de poluição causaram aumentos substanciais nos níveis de PM<sub>2,5</sub>, em todos os ensaios e particularmente nos ensaios 3 e 4, nos quais se recorreu ao cachimbo de água como fonte de poluição. Do mesmo modo, a abertura da porta para assegurar taxas de ventilação mais elevadas, está igualmente bem ilustrada na figura, dado que os ensaios que contaram com esta alteração voluntária (2 e 3) apresentaram os maiores valores de renovações por hora (RPH) e consequentemente as maiores taxas de redução das concentrações de PM<sub>2,5</sub>.

A qualidade dos valores fornecidos pelo protótipo foi avaliada com base nos parâmetros estatísticos referidos anteriormente e os resultados encontrados para estes estão apresentados na Tabela I. Em geral, esses parâmetros mostram o bom comportamento do protótipo para a medição de material particulado fino.

TABELA I. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS USADOS NA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO PROTÓTIPO REFERENTE À MEDIÇÃO DE PM<sub>2,5</sub>

Ensaio	Sensor	r	d	R
1	SDS011	0,979	0,978	0,940
	SEN0177	0,978	0,940	0,939
2	SDS011	0,975	0,983	0,952
	SEN0177	0,978	0,964	0,956
3	SDS011	0,947	0,968	0,898
	SEN0177	0,943	0,926	0,889
4	SDS011	0,994	0,980	0,972
	SEN0177	0,984	0,918	0,968

Os coeficientes de correlação de Pearson encontrados para os ensaios realizados apresentaram variação entre 0,943 (ensaio 3, sensor SEN0177) a 0,994 (ensaio 4, sensor SDS011). Para o índice de concordância de Willmott a oscilação foi entre 0,918 (ensaio 4, sensor SEN0177) e 0,983 (ensaio 2, sensor SDS011), o que indicia uma correlação muito forte entre os equipamentos, mesmo nas análises de menor proximidade ( $r > 0,9$ ).

O coeficiente de determinação apresentou uma variabilidade entre 0,889 (ensaio 3, sensor SEN0177) e 0,972 (ensaio 4, sensor SDS011) e ainda que considerado o cenário de menor proximidade, o valor observado foi superior ao encontrado por [13], que numa experiência semelhante obteve o valor de 0,84 para este parâmetro.

De modo geral, em 3 dos 4 ensaios realizados, o sensor SDS011 apresentou desempenho superior ao sensor SEN0177 quando analisados os parâmetros aplicados.

*B. Avaliação e intercomparação dos valores de temperatura e humidade relativa*

A Tabela 2 apresenta os parâmetros estatísticos para verificação do comportamento dos dados obtidos pelo sistema construído para temperatura e humidade relativa quando comparados com os valores obtidos pela sonda IAQ610.

TABELA II. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS USADOS NA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO PROTÓTIPO RELATIVAMENTE À MEDIÇÃO DA TEMPERATURA E DA HUMIDADE RELATIVA

Ensaio	Parâmetro	r	d	R
1	T	0,704	0,404	0,496
	HR	0,902	0,653	0,814
2	T	0,763	0,606	0,582
	HR	0,950	0,631	0,902
3	T	0,616	0,392	0,379
	HR	0,956	0,675	0,913
4	T	0,908	0,552	0,824
	HR	0,952	0,625	0,906

Na análise dos dados obtidos é possível observar que os comportamentos apresentam baixa correlação, sobretudo no que diz respeito a temperatura, onde nos piores cenários são

encontrados  $r = 0,616$ ;  $d = 0,392$  e  $R = 0,379$ . Uma melhor relação entre os comportamentos é observada para humidade relativa, de modo a obter como menores valores  $r = 0,902$ ;  $d = 0,625$  e  $R = 0,814$ . A Fig. 4 apresenta os gráficos com os dados obtidos por ambos equipamentos.

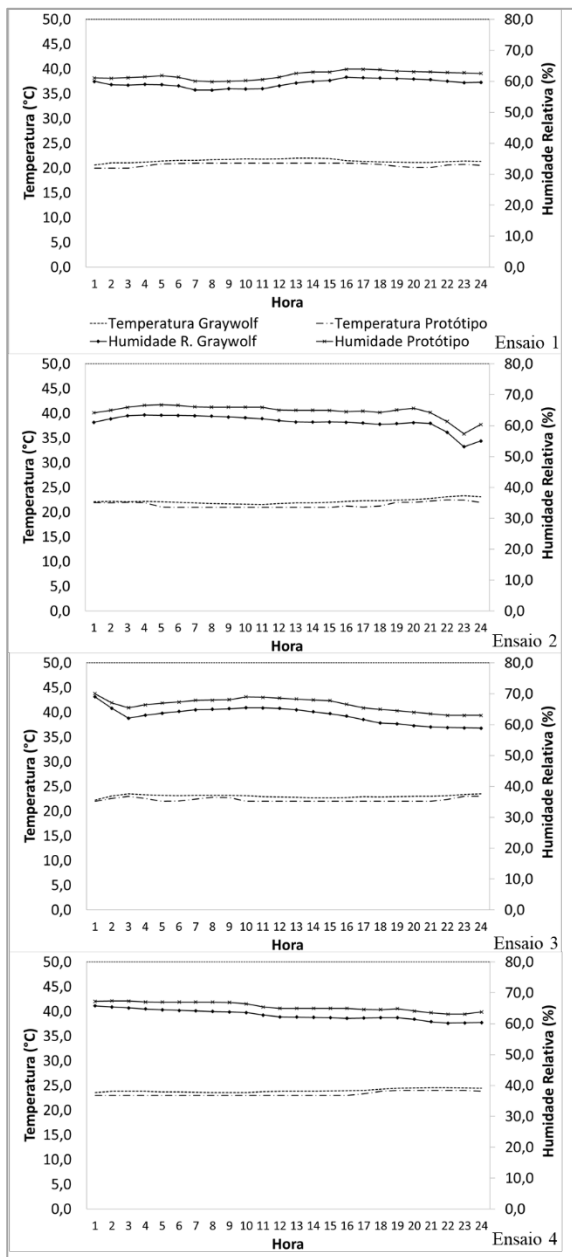


Fig. 4. Evolução temporal da temperatura e humidade relativa médias obtidas pelo sensor do protótipo e pela sonda IAQ610.

É perceptível a proximidade entre os valores informados por ambos sensores ao analisar os gráficos, nomeadamente quando analisada a temperatura. É, no entanto, neste parâmetro em que pequenas oscilações são observadas apenas na sonda IAQ610, fator que é explicado pela ausência da décima de unidade no sensor DHT11. Quanto à humidade relativa uma variação de maior amplitude pode ser observada, porém com uma oscilação bastante semelhante ao equipamento de maior precisão.

Para estes dados obteve-se um desvio máximo entre os equipamentos de 5,9% para a humidade relativa e de 1,6°C

para as temperaturas, quando considerados os dados com resolução temporal de 1 minuto. Para a aplicação desejada deste dispositivo as diferenças obtidas não são significativas e cumprem perfeitamente com objetivo de estudo [14].

C. Avaliação e intercomparação das concentrações de CO<sub>2</sub>

Os parâmetros estatísticos, desta vez aplicados com o intuito da avaliação do comportamento dos dados obtidos pelo sistema para as concentrações de CO<sub>2</sub>, são apresentados na Tabela III.

TABELA III. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS USADOS NA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO PROTÓTIPO REFERENTE À MEDIÇÃO DE CO<sub>2</sub>

Ensaio	r	d	R
1	0,996	0,900	0,993
2	0,990	0,976	0,979
3	0,988	0,900	0,977
4	0,999	0,978	0,998

É possível observar que para todos os parâmetros, e em todos os ensaios, foram encontrados valores superiores a 0,9, indicando fortes correlações entre as concentrações obtidas pelos equipamentos.

A Fig. 5, que apresenta a evolução temporal das concentrações médias de CO<sub>2</sub> obtidas pelo sensor do protótipo e pela sonda IAQ 610, deixa ainda evidente que somado a estes resultados positivos encontrados, os erros observados apresentam também uma baixa variação, que podem desta forma sere corrigidos por meio de um simples ajuste nas leituras observadas no sistema.

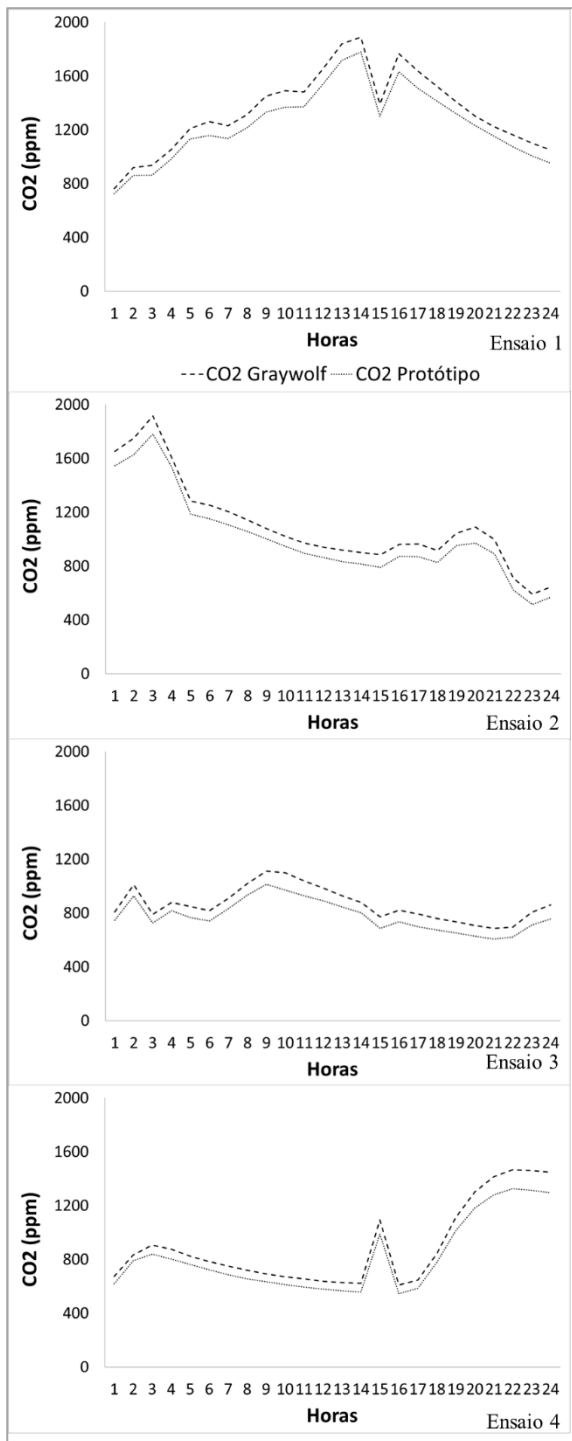


Fig. 5. Evolução temporal das concentrações médias de CO<sub>2</sub> obtidas pelo sensor do protótipo e pela sonda IAQ610.

#### IV. CONCLUSÕES

A obtenção de elevadas escalas espaço-temporais no estudo de poluentes em ambientes interiores tem-se tornado uma realidade cada vez mais próxima, face aos avanços tecnológicos observados nas últimas décadas. Com o presente trabalho procurou-se contribuir para essa realidade, com a elaboração de um protótipo de baixo custo e elevada portabilidade capaz de realizar a medição de parâmetros da QAI em tempo real. A robustez e a fiabilidade do protótipo ficaram igualmente bem demonstradas nos vários ensaios de intercomparação realizados, que envolveram o protótipo e

outros equipamentos comerciais de elevada precisão e exatidão.

De um modo geral, pode afirmar-se que o protótipo permitiu reproduzir fielmente os comportamentos das concentrações de PM<sub>2,5</sub> e de CO<sub>2</sub>. Para temperatura e humidade relativa, ainda que os resultados obtidos para os parâmetros de comparação demonstrem baixa relação entre os dados informados pelos equipamentos, as amplitudes dos desvios não são significativas para a aplicação pretendida do sistema.

O baixo custo, dimensões reduzidas e a facilidade de reparação dos componentes pode proporcionar a utilização do equipamento em residências familiares, escolas e instalações públicas. Informações relevantes à integridade física dos ocupantes podem ser disponibilizadas através do equipamento, como a necessidade de elevação do RPH quando detetadas elevadas concentrações dos poluentes de estudo. O acesso a estas informações é também facilitado devido a possibilidade de observação dos parâmetros por meio da plataforma ThingSpeak, que pode ocorrer através de qualquer terminal com conexão a internet.

O custo associado à construção deste sistema faz-se ainda com que seja viável a realização de amostragens em um maior número de pontos nos ambientes interiores, que pode proporcionar a ampliação dos conhecimentos quanto à dispersão do material particulado e de outras características ao longo do tempo e espaço nestes ambientes.

As dimensões do equipamento, ainda que já reduzidas, podem ser minimizadas por meio da construção de um sistema com base em uma placa de circuito impresso, que além deste benefício promoveria ainda a estabilidade da conexão dos sensores ao microcontrolador. Com a obtenção deste sistema ainda mais compacto e estável, é possível acoplar o equipamento ao corpo de um indivíduo, possibilitando a realização de estudos de exposição pessoal.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Oliveira, E. F., Gustafsson, H., Seppänen, O., Crump, D. e Ventura, G. S. "WP3 Final Report on Characterization of Spaces and Sources. EnVIE Project, European Commission 6th Framework Programme of Research, Brussels, Belgium."
- [2] ASHRAE Standard "Standard for the design of high-performance green buildings except low-rise residential buildings." Vol. 189.1, 2011.
- [3] Sundell, J. "On the history of indoor air quality and health" em *Indoor Air*, Vol. 14, 2004, pp. 51–58.
- [4] WHO. (2010). "WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants" *Bonn, Germany: in puncto druck medien GmbH* (pp. 0–484). <https://doi.org/10.1186/2041-1480-2-S2-11>
- [5] Logue, J. M., Mckone, T. E., Sherman, M. H., & Singer, B. C. "Hazard assessment of chemical air contaminants measured in residences" em *Indoor Air*, vol. 21, 2011, pp. 92–109.
- [6] United States Environmental Protection Agency. (2015). "Particulate matter". Obtido de <<https://www.epa.gov/pm-pollution>>.
- [7] Pope, C. A., & Dockery, D. W. (2006). "Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect" em *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 56, 2006, pp. 709–742.
- [8] Slezakova, K., Morais, S., & Pereira, M. do C. "Atmospheric Nanoparticles and Their Impacts on Public Health" em *IntechOpen*, 2013, pp. 503–529.
- [9] Sundell, J. "On the history of indoor air quality and health" em *Indoor Air*, vol. 14, 2004, pp. 51–58.
- [10] Cohen, A. J., & Pope, C. A. "Lung cancer and air pollution" em *Environmental Health Perspectives*, vol. 103, 1995, pp. 219–224.

#### IV Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia

- [11] International Agency for Research on Cancer. "Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths" *Em Environmental and Molecular Mutagenesis*, vol 51, 2013, pp. 229–235.
- [12] Kulkarni, P., Baron, P. A., & Willeke, K. (2011). "Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications" 3rd ed., vol. 1, Wiley, 2011, pp. 270-272.
- [13] Castell, N., Dauge, F. R., Schneider, P., Vogt, M., Lerner, U., Fishbain, B., Bartonova, A. *et al.* "Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates?" *Em Environment International*, vol. 99, 2017, pp. 293–302.
- [14] Fang, L., Clausen, G., & Fanger, P. O. "Impact of Temperature and Humidity on the Perception of Indoor Air Quality" *Em Indoor Air*, vol. 8, 1998, pp. 80–90.