

Desenvolvimento de Protótipos de Sistemas IoT

Development of IoT Systems Prototypes

Beatriz Miranda da Silva¹, Fernanda Lima Matos², Heloísa Suffert Acosta³, Jesús Dasyam Figari⁴,
João Gabriel Ferraz⁵, Marcelo Henrique Schwade⁶, Marcos Martinho⁷, Matheus Rebello do Nascimento⁸

¹*Universidade Federal de Viçosa – beatriz.miranda@ufv.br*

²*Universidade de São Paulo – fernanda.matos@usp.br*

³*Universidade Federal de Santa Maria – heloisaacosta@hotmail.com*

⁴*Universidad Nacional de Asunción – dasyamfigari@gmail.com*

⁵*Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – jgabrielifes@gmail.com*

⁶*Universidade Federal do Rio Grande do Sul – marcelo.schwade@ufrgs.br*

⁷*Universidade Federal do Rio de Janeiro / Instituto Federal do Rio de Janeiro – marcos.martinho@ifrrj.edu.br*

⁸*Universidade do Estado do Rio de Janeiro / Instituto de Radioproteção e Dosimetria – rebellomatheus99@gmail.com*

Submetido em 22/03/2020

Resumo: Em meio ao crescente desenvolvimento de sistemas IoT (Internet of Things), observou-se que estes são boa alternativa para realizar o monitoramento de um laboratório de modo não presencial. Pensando nisso, este trabalho utiliza um conjunto de sensores eletrônicos para a montagem de protótipos de sistemas IoT para a supervisão de seis características físicas em um laboratório: vibração, nível de água, iluminância, umidade, temperatura e proximidade. Verifica-se por meio de análises gráficas que os sensores têm potencial para aplicação no sistema proposto, além de, posteriormente, possibilitar o controle remoto das atividades no laboratório por meio do acoplamento de atuadores.

Palavras chave: Sistemas IoT, sensores eletrônicos, Arduino, monitoramento.

Abstract: Among the growing development of IoT (Internet of Things) systems, it was observed that these are a good alternative to perform the monitoring of a laboratory in a non-presential manner. With this in mind, this work utilizes a set of electronic sensors for the composition of prototypes of IoT systems for the supervision of six physical characteristics in a laboratory: vibration, water level, lighting, humidity, temperature and proximity. It is verified by graphical analysis that the sensors have potential for application in the proposed system, in addition to subsequently enabling remote control of the activities in the laboratory through the coupling of actuators.

Keywords: IoT systems, electronic sensors, Arduino, monitoring.

1. INTRODUÇÃO

Embora o termo IoT (Internet of Things) tenha seu primeiro uso atribuído ao expert de inovação digital Kevin Ashton, não existe uma definição desta expressão que seja aceita por toda a comunidade de usuários, que inclui pesquisadores, inovadores e desenvolvedores de tecnologia, entre outros [1].

A ideia básica do IoT é permitir a troca autônoma de informações entre dispositivos identificáveis com o auxílio de tecnologias, como Computação por Nuvem, Identificação por Rádio Frequência (RFID) e Redes de Sensores Sem-Fio (WSNs). Os dados são adquiridos por sensores e posteriormente processados de modo a reagir diante de situações e mudanças do ambiente [2].

A IoT têm continuamente evoluído como um *hot research*

topic. O número de dispositivos que utilizam internet cresce diariamente (Figura 1) e a conexão entre todos estes dispositivos traz uma poderosa fonte de informação para as nossas mãos. As tecnologias que compõem um sistema IoT não são novas, mas o conceito de permitir a interação entre máquinas inteligentes é considerada uma tecnologia de ponta [2].

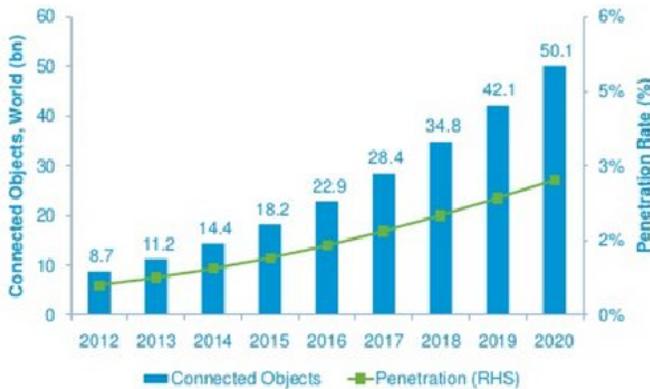


Figura 1: Expectativa de penetração de objetos conectados até o ano de 2020, de acordo com Cisco. Figura extraída de M.U. Farooq et al [2].

Neste contexto, o objetivo do módulo 2 da 5ª EAFExp (Escola Avançada de Física Experimental do CBPF) foi elaborar uma série de protótipos para projetar um sistema de monitoramento ambiental de laboratório, baseado em sensores eletrônicos conectados a placas Arduino, ademais do tratamento dos dados via computação por nuvem em um mesmo servidor, o que se enquadra na fase de aquisição de informações de um sistema de IoT. Com base nisso, o projeto foi dividido em seis subprojetos, dependendo da característica física a ser monitorada. As características que foram monitoradas são: vibração, nível da água, iluminância, umidade, temperatura e proximidade.

2. METODOLOGIA

Para a montagem de cada sensor em seu respectivo subprojeto, foram utilizadas placas Arduino ATMEGA 2560, conectadas a roteadores Raspberry Pi 3B+ vinculados a computadores com sistema operacional Raspbian, baseado no Linux Debian. O programa para aquisição de dados foi adaptado utilizando o IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino. As informações foram transmitidas via porta serial e, então, armazenadas e processadas com o programa CuteCom. Posteriormente, os computadores foram conectados a um servidor do Laboratório de Informação de Instrumentação IOT, onde foi instalado o software Octave para a análise dos dados adquiridos pelos sensores durante o experimento.

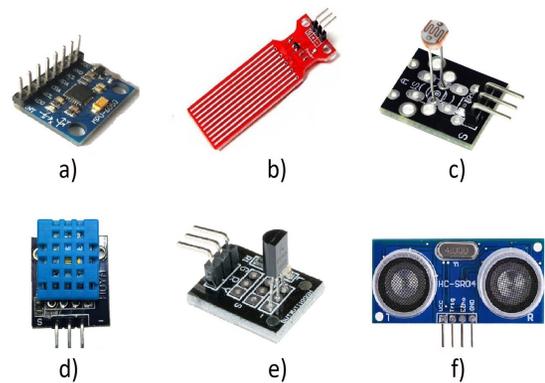


Figura 2: Sensores compatíveis com Arduino usados. Dependendo de sua funcionalidade, são sensores de: a) Vibração b) Nível de Líquidos c) Luminosidade d) Umidade e) Temperatura f) Proximidade.

2.1. Sensor de Vibração

Para a montagem do sistema de monitoramento de vibração foram utilizados três sensores **MPU6050 (GY-521)**. Um sensor desses consiste em um acelerômetro (em três dimensões), um giroscópio (em três dimensões) e um medidor de temperatura[3]. Os sensores foram conectados ao microcontrolador e operados através do protocolo I2C. A montagem experimental pode ser vista na figura 3. Um único sensor é autossuficiente para o monitoramento da vibração em uma bancada ou equipamento, contudo o uso de três sensores foi um recurso empregado para simular o monitoramento de três equipamentos distintos em um mesmo laboratório utilizando o mesmo sistema de aquisição e análise dados.

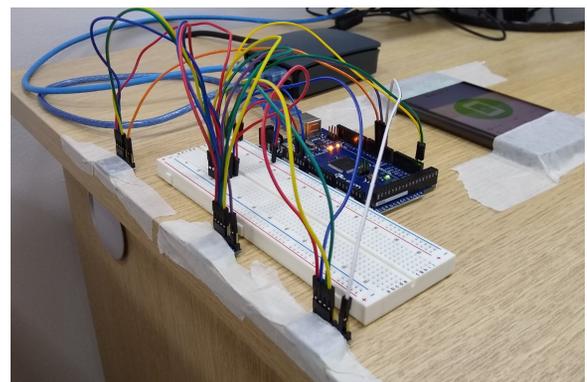


Figura 3: Montagem do sistema de monitoramento de vibração

Foi desenvolvido um programa, através da plataforma do *Arduino*, para operar e ler o conjunto dos três sensores (número ajustável). Devido à forma de sua instalação, a gravidade e outras condições locais podem afetar os resultados obtidos. De forma semelhante, o grau de sensibilidade à vibração pode variar de acordo com a aplicação do sistema,

precisando ser ajustado. Disposto desses dados de referência, o dispositivo passa a coletar dados para monitoramento da aceleração e aceleração angular.

Para correlacionar os valores de aceleração com a vibração da mesa, foram feitas medições de 5 minutos com os três sensores fixados sobre a bancada e em cinco diferentes situações de referência, denotadas: vibração forte, vibração (ambas produzidas por um celular com uso do aplicativo *Vibration*), mesa em uso normal (digitação), mesa sem uso (com laboratório em uso) e laboratório vazio. Dessa forma foi elaborada uma escala de vibração bastante simplificada, mas ilustrativa de algumas possíveis situações.

A análise da vibração foi feita através do desvio da aceleração média *DAM* e também do coeficiente de vibração *CV* das medidas obtidas pelos sensores. Por fim, realizou-se uma medida de prova de conceito para avaliar a sensibilidade da calibração, da escala e do tratamento dos dados na detecção de vibração.

2.2. Sensor de Nível da água

Foram utilizados seis sensores de nível da água (Figura 2f) que operam com tensão de 5V e corrente inferior a 20 mA, de acordo com o fabricante [4]. Empregando esses equipamentos foram realizados três arranjos experimentais distintos:

- O primeiro arranjo experimental conectava os sensores diretamente na fonte de alimentação do Arduino (5 V) e consecutivamente mergulhava-se o sensor em um copo de água aferindo a resposta do sensor de acordo com o nível da água.
- O segundo arranjo experimental incluiu resistores na saída de cada porta digital do Arduino, invés de conectar diretamente na alimentação, fazendo um *switch* da alimentação dos sensores.
- O terceiro foi uma combinação dos arranjos anteriores empregando transistores e resistores de 2 k Ω conectados na fonte de alimentação.

Utilizando esses arranjos, foi realizado uma reta de calibração para cada sensor, relacionando a leitura com a altura da água utilizando um copo (Figura 4).

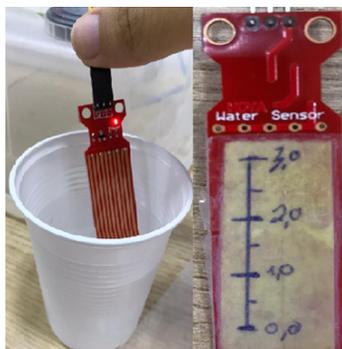


Figura 4: Calibração da resposta do sensor em relação com o nível da água.

Posterior à calibração, todos os sensores foram colocados em um pote, o qual foi enchido gradualmente, fornecendo a leitura de nível de água do conjunto de sensores ao longo do tempo (Figura 5).

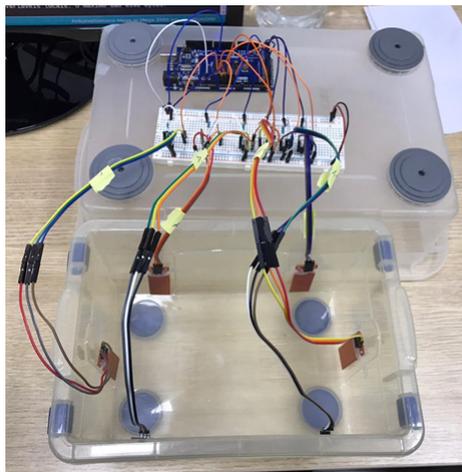


Figura 5: Simulação de uma subida de água com leituras simultâneas.

2.3. Sensor de Luminosidade

Inicialmente foram montados cinco sensores de luz LDR (*Light-dependent resistor*) na placa Arduino (Figura 2d). Após a montagem do circuito (Figura 6), identificou-se os valores analógicos em relação à resistência do LDR, e notou-se que sensores com a mesma especificação técnica apresentam respostas (valores da resistência) diferentes para uma mesma iluminância. Deste modo, não foi possível associar de forma geral (para qualquer sensor) o valor de resistência medida com o valor da iluminância.

Em vista da falta de padronização de respostas entre os LDR's reduzimos o número de sensores para um e o calibramos com um luxímetro externo. Então foi feita uma tabela de valores para diferentes luminosidades. Com um luxímetro de referência (celular ASUS Zenfone 6) medimos a iluminância L e a associamos com os valores que obtivemos pelo Arduino com a resistência R . Depois foi feita uma tabela de valores de R (Ω) e L (lux), com ajuste linear entre os logaritmos (na base 10) dos dados, obtendo-se assim uma forma algébrica entre a resistência e a luminosidade para o sensor específico que foi usado.

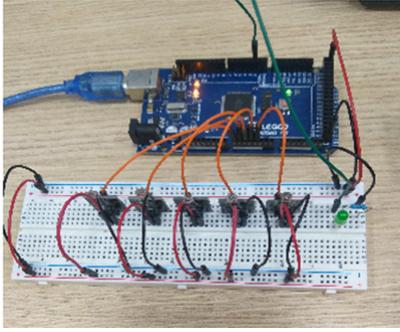


Figura 6: Foto dos cinco LDR's conectados ao arduino, o LED verde é ligado quando a luminosidade fica abaixo de um parâmetro desejado.

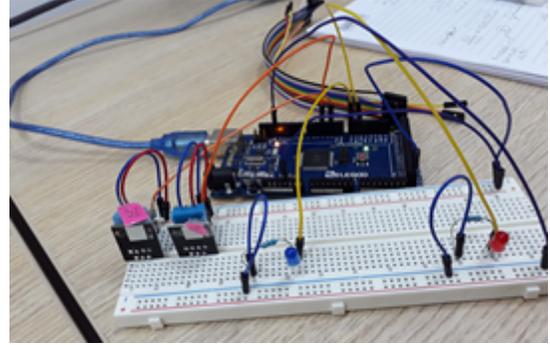


Figura 7: Conexão para o calibração dos sensores de umidade.

2.4. Sensor de Umidade

Foi utilizado o sensor básico de baixo custo DHT11 de umidade relativa e temperatura (Figura 2a). A umidade relativa é dada pela expressão [5]

$$RH = \frac{p_v}{p_{v,s}} \times 100\%$$

onde p_v é a pressão parcial do vapor de água e $p_{v,s}$ é a pressão de vapor de saturação do vapor de água sobre uma superfície líquida, cuja parametrização empírica é dada por

$$p_{v,s} = 6.112 \exp\left(\frac{17.67T_c}{T_c + 243.5}\right).$$

Este sensor mede umidade e temperatura do ar no seu entorno através de um sensor de umidade capacitivo e um termistor, fornecendo essas informações através de um sinal digital. De acordo com o fabricante, o DHT11 pode medir a umidade relativa no intervalo de 10 – 90% RH, com resolução de 1% e acurácia de $\pm 5\%$ RH [6].

Os sensores foram colocados em duas posições diferentes, um mais próximo da porta do laboratório e outro mais próximo do ar-condicionado, separados por uma distância de 318 cm, para obter uma melhor estimativa do valor médio de umidade do ambiente e também observar se há inhomogeneidade na umidade do laboratório. Para eliminar o viés particular de cada sensor, foi feita uma medida preliminar de calibração, com os sensores na mesma posição (Figura 7), da qual foram obtidos coeficientes que representam a distância média das medidas de cada sensor em relação à média das duas medidas.

Neste experimento, a aquisição do sinal foi feita pela porta serial do Arduino, a cada 5 segundos. As médias dos valores obtidos em um intervalo de 10 minutos (equivalente a 120 dados) foram tomados como as medidas de temperatura e umidade do ambiente, cujas incertezas foram estimadas através do desvio padrão da média correspondente.

2.5. Sensor de Temperatura

Foi utilizado o sensor digital DS18B20 (Figura 2b). Segundo o fabricante [7], este informa a temperatura de -55°C até $+125^\circ\text{C}$, com erro de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ para medições entre -10°C e $+85^\circ\text{C}$ com resolução de 9 até 12 bits.

O hardware do sistema de monitoramento foi montado de duas formas utilizando seis sensores. O primeiro sistema (Figura 8) com os sensores fixos em uma mesma protoboard ligada ao arduino. Nesse caso, todas as medidas foram feitas no mesmo local para a seleção dos sensores a partir da análise gráfica e o cálculo da média de todos os valores obtidos para a montagem do segundo sistema (Figura 9), em que dois sensores foram posicionados de modo que um estava mais próximo do ar-condicionado e o outro mais afastado, separados por uma distância de 318 cm, em conjunto com o sensor de umidade (Seção 2.4).

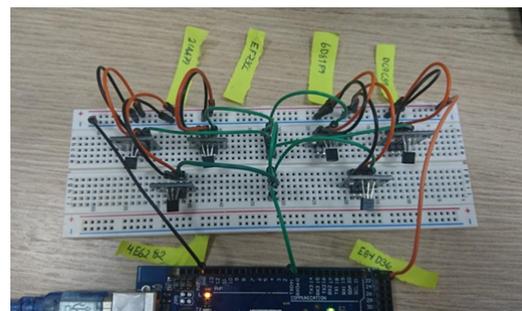


Figura 8: Conexão para a seleção de sensores de monitoramento.

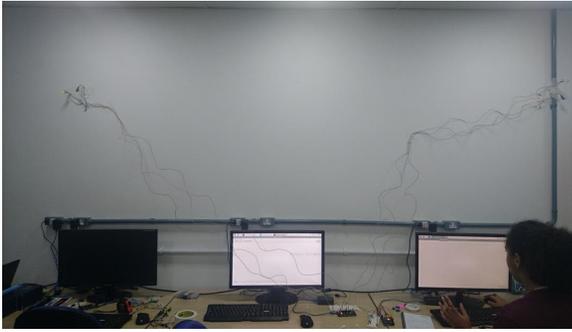


Figura 9: Segundo hardware do sistema de monitoramento.

As medidas foram feitas em um laboratório vazio a cada 2.7 segundos, aproximadamente, no período entre uma noite e a manhã seguinte, considerando os momentos de ativação e desativação do ar-condicionado. As médias dos valores de todas as medidas feitas a cada 10 minutos (216 medidas) foram utilizadas para a construção dos gráficos de Temperatura \times Tempo, utilizados para a análise. As incertezas foram verificadas por meio do cálculo do desvio padrão das medidas efetuadas.

2.6. Sensor de Proximidade

Neste subprojeto será apresentado um protótipo para monitorar entrada e saída de pessoas num laboratório, caracterizando as mesmas de acordo com sua altura. Para isso, foi utilizado um dispositivo constituído de dois sensores ultrassons [8] (Figura 2c). Foi optado por uma análise em referencial unidimensional, considerando apenas a distância entre o batente superior de uma porta e topo da cabeça de uma pessoa. Neste aparato, utilizamos uma escala reduzida, onde uma porta de 2,00 m passa a 0,5 m na bancada. Portanto, simulamos pessoas com alturas de 1,90 m (45 cm), 1,40 m (35 cm), 0,80 m (20 cm) e 0,16 m (4 cm).

O experimento foi montado na horizontal sobre a bancada do laboratório e cada altura foi marcada indicando uma raia paralela ao alinhamento dos sensores de Ultrassom. O objeto a ser detectado tinha uma área de 16 cm², que buscou simular uma pessoa vista de uma perspectiva superior. (Figura 10)

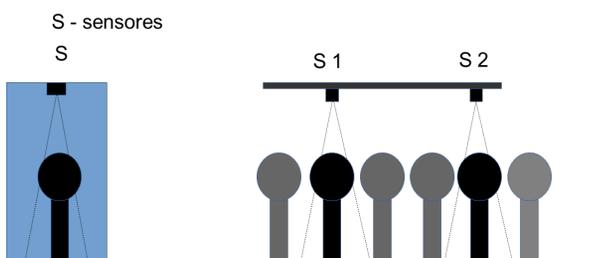


Figura 10: Vista frontal e lateral da entrada de uma pessoa no laboratório, onde a entrada fica caracterizada na passagem pelo sensor 1 em seguida do 2.

Para gerar os dados, o objeto foi suspenso por um fio e

transladado pelas raias definidas como alturas, de forma paralela ao alinhamento do ultrassom (Figura 11). Primeiro foi simulada a entrada, após um certo tempo, simulada a saída. Os dados obtidos pelos sensores acoplados foram transmitidos pela porta serial.

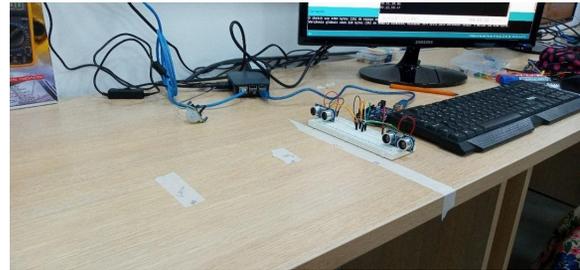


Figura 11: Montagem experimental para o teste de conceito.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Sensor de Vibração

Para análise da vibração na bancada foram consideradas as medidas de um único sensor – o sensor central na figura 3. Contudo, a mesma análise pode ser estendida aos demais sensores individualmente.

O sensor MPU6050 retorna um valor inteiro entre -32767 e $+32767$ e, na situação considerada, foi calibrado para realizar medidas de aceleração entre $-2g$ e $+2g$, onde $g = 9,81m \cdot s^{-2}$ [3]. Com base nisso os valores mensurados foram reescalados para unidades do Sistema Internacional (SI).

O sensor também é sensível à aceleração da gravidade e outros efeitos locais. Para descontar esse efeito, foi realizado um conjunto inicial de 1000 medidas, das quais foram obtidas as acelerações médias em cada eixo, \bar{a}_x , \bar{a}_y e \bar{a}_z e os valores de desvio padrão desses conjuntos de medidas. Subtraiu-se então esses valores médios dos dados subsequentes, tratando-se então de desvios da aceleração média local, que denotamos por DAM_x , DAM_y e DAM_z , respectivamente.

Tomando o módulo do desvio da aceleração média e então calculando a média sobre o conjunto amostrado obtém-se \overline{DAM} . Com esse valor pode-se caracterizar uma escala de vibração de acordo com as situações referência - conforme a figura 12.

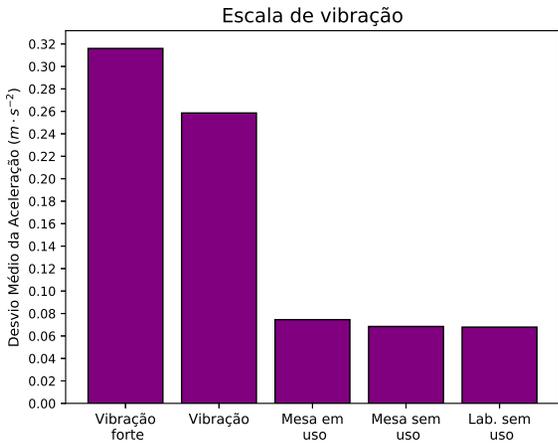


Figura 12: Escala de vibração baseada nos valores de \overline{DAM}

Utilizando os valores de DAM obtidos ao longo das amostragens de 300s foram construídos histogramas (normalizados), com os quais entende-se a distribuição característica dos valores de DAM - uma medida da intensidade de vibração - em cada uma das situações. Conforme vê-se na figura 13, as situações em que há apenas ruído ambiente apresentam distribuições de DAM bastante similares e características.

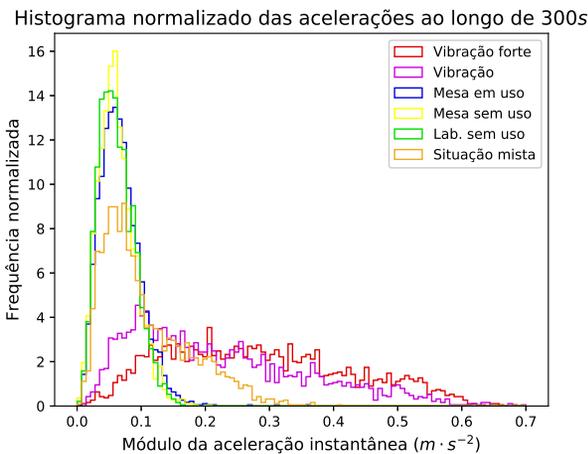


Figura 13: Histogramas normalizados do DAM para diferentes condições de vibração

Também é possível avaliar o comportamento do DAM nas séries temporais de amostragem, conforme a figura 14. Nesse gráfico verifica-se qualitativamente a natureza ruidosa da vibração. Também são evidenciados alguns casos ilustrativos: o pico de DAM na curva “Situação mista” se deve a uma forte pancada na mesa, enquanto o súbito aumento do DAM a partir dos 150s se deve à vibração de um celular sobre a mesa.

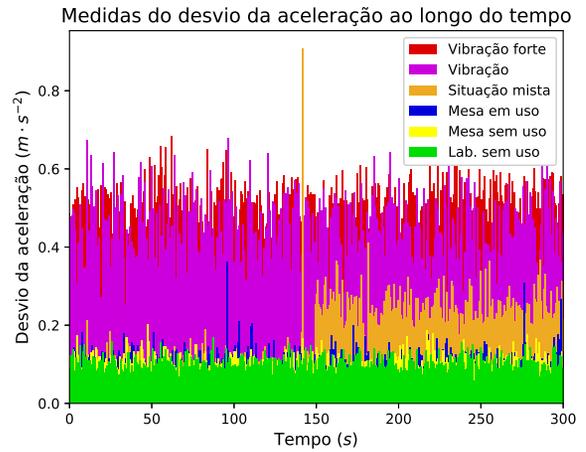


Figura 14: Evolução temporal da vibração em termos de DAM

Ao reescalar-se o DAM em cada amostragem dividindo-o pelo \overline{DAM} da mesma, os cinco diferentes regimes de vibração das situações características passam a ser coincidentes, como pode ser observado na figura 15. Denotou-se por **coeficiente de vibração, CV**, a razão $CV = DAM/\overline{DAM}$. Fazendo uma análise baseada no coeficiente de vibração é possível estipular um regime de vibração aceitável - baseando-se na escala da figura 12, por exemplo - e assim poder utilizar o mesmo sistema de monitoramento para classificar e atuar sobre alterações na vibração de equipamentos que tolerem diferentes regimes de ruído mecânico. Ilustrando isso, a curva “Situação mista” foi reescalada com o mesmo valor de \overline{DAM} da curva “Mesa em uso”, ficando evidente pelo comportamento do CV quando a vibração sai desse regime, no qual ela começa - o que pode ser utilizado como gatilho para o acionamento de um atuador capaz de desligar um equipamento sensível, por exemplo.

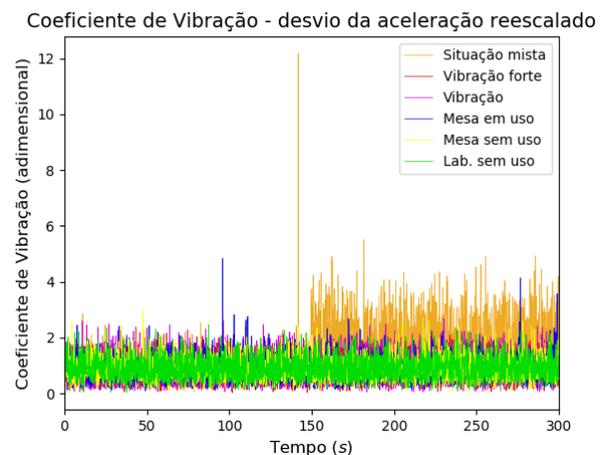


Figura 15: Evolução temporal da vibração em termos do coeficiente de vibração CV

3.2. Sensor de Nível da água

Para o primeiro arranjo foi observado que quando um sensor foi ligado utilizava 30 – 200 mA (dependendo do nível da água presente), porém o limite de corrente da alimentação do Arduino é de 200 mA. Ou seja, com apenas um sensor em uso o limite de segurança do dispositivo estava saturado, impossibilitando a associação de mais sensores. Nesse sentido, foi testada a segunda opção evitando que todos os sensores fossem utilizados juntos. Somado a isto, conectou-se um resistor de $100\ \Omega$ na saída da entrada digital para reduzir o valor da corrente e evitar que os sensores funcionando em conjunto atrapalhassem o funcionamento um do outro. Porém, a porta digital possui um limite de 40 mA e o sensor funciona numa faixa maior que este valor. Este fato produziu um padrão de leitura distorcido com a elevação do nível da água (Figura 16), pois ao adicionar mais água o sensor deixou de responder de forma linear. Cabe ressaltar que foi agregado a este sistema uma configuração de leds que advertiam a presença da água em um ou mais sensores, com o propósito de prevenir falsos sinais de inundação. Se apenas um sensor alertar é provável que ele tenha sido molhado acidentalmente por diversos fatores, enquanto se dois ou mais alertarem é improvável que seja um acidente e de fato esteja ocorrendo uma inundação.

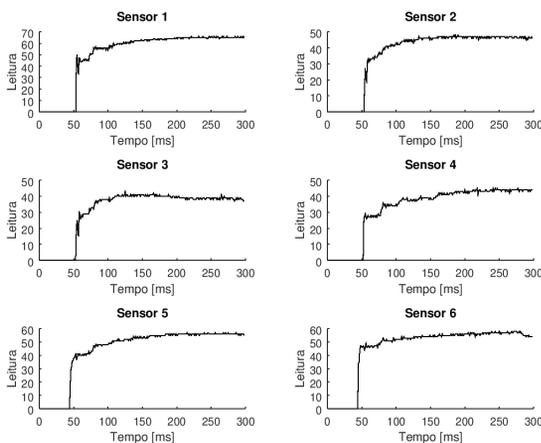


Figura 16: Calibração dos sensores, sem resposta lineal.

Por fim, a terceira opção com o uso de transistores permitiu que cada sensor recebesse a corrente máxima ao mesmo tempo que proibia que mais que um sensor medisse simultaneamente. Desse modo a leitura não foi distorcida e pode então ser ajustada uma reta de calibração para cada sensor (Figura 17).

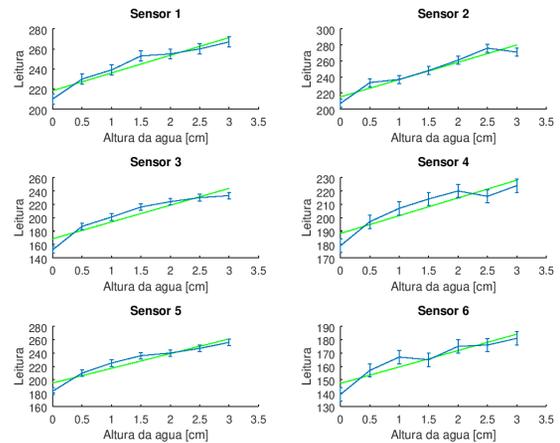


Figura 17: Linha de calibração dos seis sensores de acordo com o nível de água medido.

Após realizar a reta de calibração todos os sensores foram posicionados num pote que seria enchido com água gradualmente de forma que as medidas de nível de água fossem medidas ao longo do tempo (Figura 18).

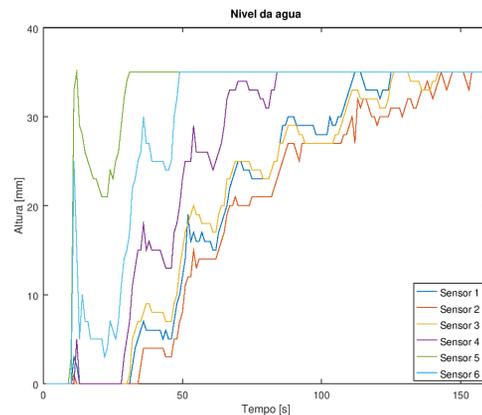


Figura 18: Linha de calibração temporal dos seis sensores.

3.3. Sensor de Luminosidade

Obtivemos uma relação direta entre a resistividade do LDR usado e a iluminância (Figura 19). Testou-se extrapolações de medidas do nosso luxímetro (i.e., valores acima da iluminância L do luxímetro de referência) e observou-se que estas não são confiáveis. Assim, o intervalo de iluminância em que o nosso luxímetro está calibrado está delimitado pelo valor máximo da iluminância L medida pelo luxímetro de referência. Melhores resultados podem ser obtidos com :

- Maior controle experimental;
- Maior número de pontos entre as tabelas de L (do luxímetro de referência) e a resistência (lida analogicamente pelo arduino);

- Intervalo mais extenso em que a iluminância foi tabelada com o luxímetro de referência;
- Luxímetro de referência mais sensível e mais preciso.

Confirmou-se a relação linear entre $\log(R)$ e $\log(L)$ relatada nos datasheets do LDR ([9]). A iluminância da bancada do laboratório com o luxímetro de referência foi medida em 367 lx e por extrapolação o nosso luxímetro marcou 473 lx. Ambos os valores estão abaixo dos 500 lx mínimos recomendados pela norma NBR 5413 da ABNT para a iluminância na bancada de um laboratório.

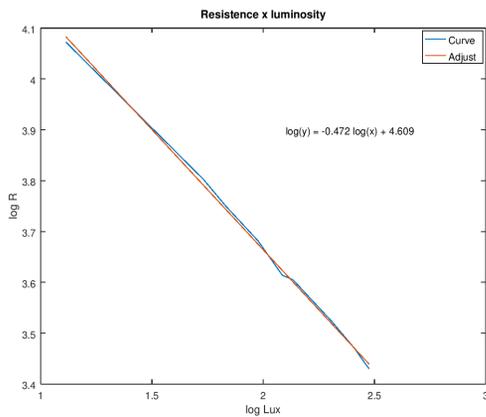


Figura 19: Gráfico relacionando a resistência R dada em Ω com a iluminância L dada em lux.

3.4. Sensor de Umidade

A figura 20 apresenta as medidas de umidade obtidas em um intervalo de 11h15 (entre 21h30 do dia 11/02/2020 e 8h45 de 12/02/2020, quando o laboratório estava vazio e com o ar desligado), na qual é possível observar que há diferença entre as medições feitas com os diferentes sensores.

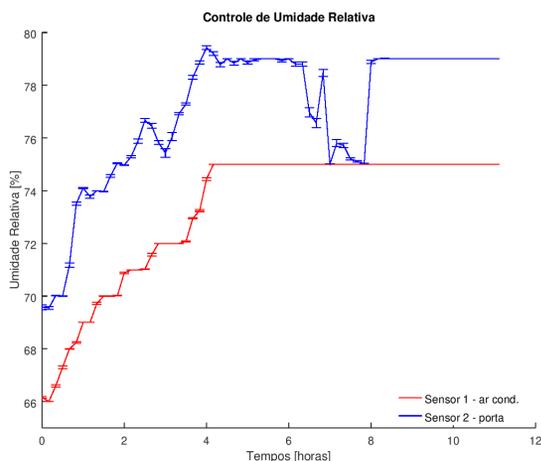


Figura 20: Controle de umidade relativa em um intervalo de 11h15.

A figura 21 apresenta as medidas dos diferentes sensores após a subtração dos coeficientes de calibração e a média dessas medidas. Através dessa figura, podemos ver que, com a calibração, a diferença entre as medidas dos sensores é diminuída, mas não eliminada. Ainda, pode-se observar que as incertezas associadas às medidas são pequenas o suficiente para tornar o gráfico uma indicação de que a umidade do ambiente varia com a posição.

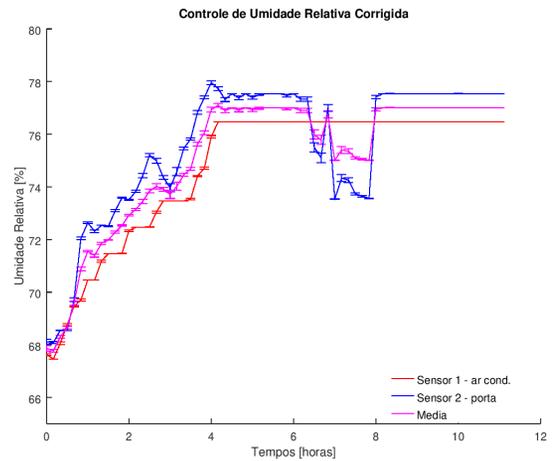


Figura 21: Medida de umidade com calibração e valor médio.

3.5. Sensor de Temperatura

Observou-se que os sensores DC9C59 e EB4D36 produziram as medidas com valores mais próximos da média total, calculada a partir de todos os valores e também da temperatura da sala (Figura 22).

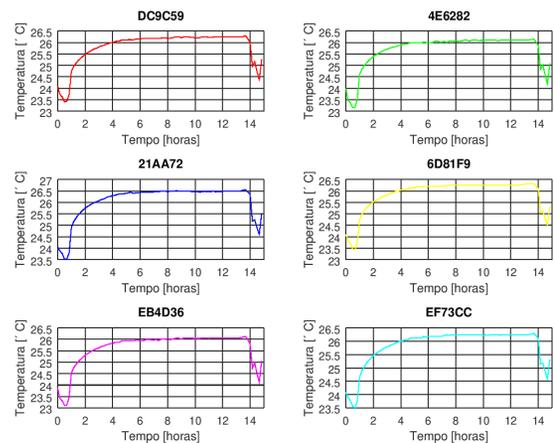


Figura 22: Temperatura medida no período das 19:00 do dia 10 e 11:40 do dia 11 de fevereiro de 2020, por sensor.

Também foi observado que nos intervalos das horas 0 a 1 e 14 a 15, períodos em que o ar-condicionado está ligado e há tráfego de pessoas no laboratório, é possível identificar o

modo como a temperatura varia, demonstrando que o sensor consegue captar momentos que o laboratório está em uso (Figura 23).

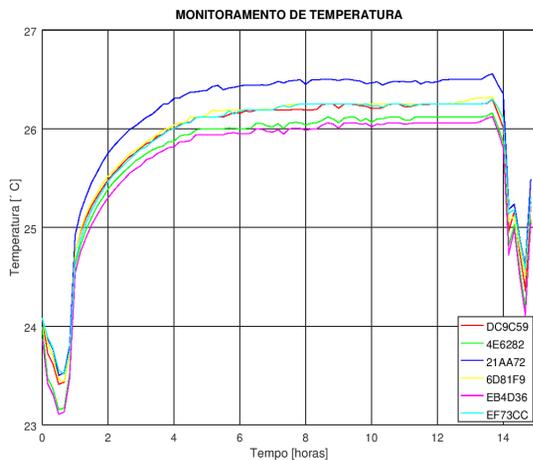


Figura 23: Temperatura medida no período das 19:00 do dia 10 e 11:40 do dia 11 de fevereiro de 2020, dados agregados.

Na segunda parte do experimento, que foi feita com o laboratório completamente vazio e logo após o desligamento do ar-condicionado, observou-se pequena disparidade entre os valores dos dois sensores, com a variação do tempo. Porém, como não foi realizada calibração dos sensores, não é possível afirmar que essa variação foi causada pela diferença de posição (um mais próximo ao ar-condicionado e janela e o outro próximo a porta) ou em consequência da diferença intrínseca de medição dos dois sensores (Figura 24).

Também observou-se que o desvio padrão calculado foi relativamente baixo, garantindo a precisão dos valores medidos por cada sensor.

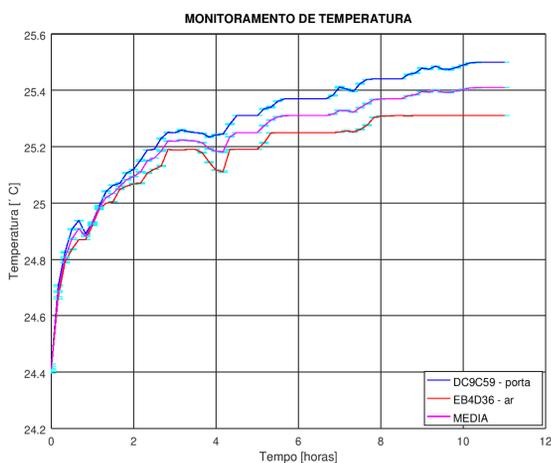


Figura 24: Temperatura medida no período das 21:30 do dia 11 e 08:30 do dia 12 de fevereiro de 2020, com o desvio padrão em ciano.

3.6. Sensor de Proximidade

A análise gráfica mostrou que, quando os sensores não são acionados, o sinal fica estável. Quando alguém entra no ambiente, o sensor 1 percebe e transmite um vale ao gráfico. À medida que o objeto avança no mesmo sentido esse vale diminui e assim o sensor 2 passa a percebê-lo, cujo outro vale é exibido no gráfico. Então, uma entrada é caracterizada quando o sensor 1 é ativado e logo em seguida o sensor 2. A sequência contrária caracteriza a saída, como observado na figura 25. Em todas as simulações para diversas alturas percebe-se o mesmo comportamento.

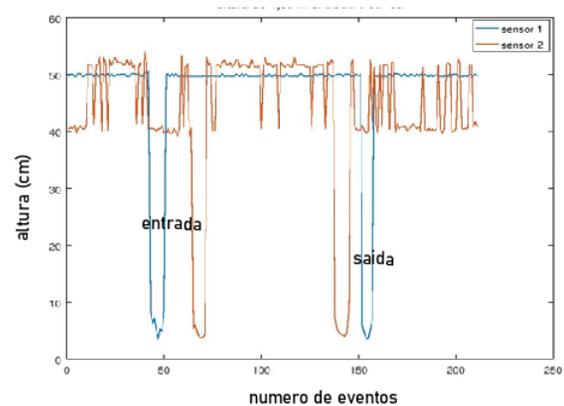


Figura 25: Gráfico que mostra a entrada e saída de uma pessoa no laboratório. O tamanho do vale indica que, quanto maior o vale menor é a pessoa, e sua altura pode ser determinada pela diferença entre a altura do ruído estável e o ponto mínimo do vale.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao combinar dispositivos IoT, é possível coletar informações, analisá-las e, a partir destas, tomar decisões e realizar ações convenientes. Os seis projetos aqui apresentados demonstraram como esse processo, do ponto de vista da coleta e análise de dados (utilizando recursos como computação por nuvem), pode se realizar. Sendo o foco deste trabalho o monitoramento de determinadas características físicas de um laboratório podemos ressaltar os seguintes pontos dos resultados.

O aparato utilizado para medição de vibração demonstrou um bom potencial para aplicação no monitoramento de ruído mecânico em bancadas de laboratório, dada a grande sensibilidade do sensor e a sua rápida resposta. Ademais, foi possível, com esta metodologia, construir uma escala absoluta simplificada, com a qual foi possível delimitar o nível de vibração aceitável – e característico – em diferentes situações. Baseando-se na escala mencionada, foi possível estruturar uma escala de vibração relativa e ajustável, que pode ser utilizada para evidenciar mudanças abruptas no regime de vibração que poderiam danificar um equipamento sensível. Para uso efetivo deste arranjo, são ainda necessárias a imple-

mentação de um sistema de transferência e o processamento automatizado dos dados do microcontrolador para um computador ou para a rede, além da calibração de uma escala de vibração mais extensa e seguindo critérios mais rigorosos.

Por meio do arranjo que utiliza o sensor de presença de água, é possível, após calibração, medir o nível de água ao longo do tempo com o conjunto de sensores utilizados, espalhando os sensores no ambiente. Assim, seria possível monitorar o nível de água do ambiente como um todo, evitando sinais falsos de inundação causados por incidentes.

Com o aparato de luminosidade, foi possível medir a iluminância do ambiente de maneira coerente com o esperado, verificando a relação linear entre $\log(R)$ e $\log(L)$, informada pelo fabricante e permitindo a obtenção de uma indicação de que a iluminância da bancada do nosso laboratório está abaixo do mínimo recomendado pela norma NBR 5413 da ABNT. Isso indica que, com os recursos utilizados, é possível fazer análise semelhante para outros laboratórios.

Com a metodologia utilizada para medição de umidade, foram obtidos dados de umidade ao longo do tempo com precisão suficiente para diferenciar medidas em diferentes pontos do laboratório. Ainda, calibração preliminar permitiu uma melhor indicação de que a diferença entre as medidas de umidade obtidas por cada sensor são uma diferença física, e não apenas uma consequência de um possível viés particular de cada sensor. Assim, este trabalho indica que, com as ferramentas utilizadas, é possível monitorar a umidade de um

laboratório observando sua variação no ambiente.

O dispositivo de monitoramento de temperatura demonstrou potencial para ser implementado em um sistema de supervisão de laboratório graças a sua precisão de medição quanto a diferentes temperaturas e situações. Quando calibrado, poderá ser distribuído em diferentes pontos do ambiente para um monitoramento mais completo. Futuramente, pode-se idealizar um sistema geral, com mais sensores para a supervisão de um laboratório.

O dispositivo para o controle de entrada no laboratório, mostrou, dentro da escala utilizada, potencial para monitoramento de entrada de pessoas em ambiente de trabalho. A análise de dados revela que é possível interpretar uma entrada a partir das curvas gráficas apresentadas. Para a escala real, sugere-se que a distância entre os sensores seja aumentada em quatro vezes. Como trabalho futuro, é possível criar um sistema que se integre a internet e monitore a entrada de pessoas indesejadas em horários que o laboratório estiver fechado.

Todos os projetos desenvolvidos foram eficientes no monitoramento das atividades no laboratório e poderiam ser complementados para produzir ações remotas de controle ambiental, de modo a alertar ou alterar uma configuração quando um dos sensores detectar um dado fora dos limites programados. Assim, a Internet das Coisas oferece a oportunidade de aumentar a eficiência na maneira como as coisas são feitas, economizando tempo e dinheiro.

-
- [1] MADAKAM S., R. R.; TRIPATHI, S. Internet of things (iot): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, v. 3, p. 164–173, 2015.
- [2] FAROOQ, M. et al. A review on internet of things (iot). *International Journal of Computer Applications*, v. 113, p. 1–7, 03 2015.
- [3] InvenSense Inc. *MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4*. 2013. <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>. [Online; acessado em 21-Março-2020].
- [4] DIY Robots KEYES. *Water Sensor Module User's Manual*. 2019. https://www.fecegypt.com/uploads/dataSheet/1480850810_water.pdf. [Online; acessado em 10-fevereiro-2020].
- [5] JACOBSON, M. Z. *Fundamentals of Atmospheric Modeling*. 2. ed. Cambridge University Press, 1999. 828 p. ISBN 9780521548656. Disponível em: <<http://www.cambridge.org/us/academic/subjects/earth-and-environmental-science/atmospheric-science-and-meteorology/fundamentals-atmospheric-modeling-2nd-edition>>.
- [6] Sunrom Technologies. *DHT11 - Humidity and Temperature Sensor - Datasheet*. 2012. <https://datasheet4u.com/datasheet-pdf/Sunrom/DHT11/pdf.php?id=785592>. [Online; acessado em 18-Março-2020].
- [7] Maxim Integrated. *DS18B20 - Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*. 2019. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>. [Online; acessado em 18-Março-2020].
- [8] ElecFreaks. *Ultrasonic Ranging Module HC - SR04*. 2019. <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>. [Online; acessado em 13-fevereiro-2020].
- [9] Shenzhen Jing Chuang He Li Technology. *GL55 Series Photoresistor*. <https://www.kth.se/social/files/54ef17dbf27654753f437c56/GL5537.pdf>. [Online; acessado em 19-Março-2020].