



Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas  
Colegiado do curso de Engenharia de Controle e  
Automação - DECAT



Gradimilo Cândido de Jesus

**Desenvolvimento de uma plataforma de monitoramento do ambiente  
via wireless para o biotério da UFOP**

Monografia de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

Ouro Preto, 2017

Gradimilo Cândido de Jesus

**Desenvolvimento de uma plataforma de monitoramento do ambiente  
via wireless para o biotério da UFOP**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Alan Kardek Rêgo Segundo, Dr

Ouro Preto, 2017

J585d

Jesus, Gradimilo Cândido.

Desenvolvimento de uma plataforma de monitoramento do ambiente via wireless para o biotério da UFOP [manuscrito] / Gradimilo Cândido Jesus. - 2017.

52f.: il.: color; grafs.

Orientador: Prof. Dr. Alan Kardek Rêgo Segundo.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.

1. Monitoramento ambiental. 2. Sistemas embutidos de computador. 3. Viveiros. I. Rêgo Segundo, Alan Kardek. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 681.5

Catálogo: [ficha@sisbin.ufop.br](mailto:ficha@sisbin.ufop.br)

Monografia defendida e aprovada, em 18 de agosto de 2017, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Alan Kardek Rêgo Segundo - Orientador



Prof. Dr. Aghaldo José da Rocha Reis – Professor Convidado



Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro – Professor Convidado

*Dedico este trabalho a todos aqueles que contribuíram para  
minha formação acadêmica e social.*

# Agradecimentos

Agradeço à Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, pela utilização dos laboratórios para o desenvolvimento do projeto, em especial ao Centro de Ciência Animal - CCA, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, PNPd/CAPES, à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG, e à Rede Mineira de Bioterismo, pelo apoio financeiro.

# Resumo

Diferente de outros locais de trabalho, onde a preocupação sobre as condições ambientais estão voltadas apenas aos profissionais envolvidos, nos biotérios esse cuidado se estende ao bem estar animal e à garantia de qualidade nos procedimentos a serem realizados. O sistema desenvolvido neste trabalho realiza o monitoramento dos parâmetros mais relevantes para um biotério. São eles: luminosidade, amônia, temperatura e umidade relativa do ar. A plataforma Arduino foi utilizada para processar as medições e enviá-las, via rádio frequência, para um computador. A visualização e armazenamento das medições são realizadas por meio de um software supervisor desenvolvido em linguagem de programação C Sharp. Esse sistema permite ao usuário observar as características do ambiente em tempo real, bem como verificar o histórico do ambiente por meio de um banco de dados com registros gravados a cada 3 segundos. Essas informações permitem o monitoramento do ambiente visando a realização das intervenções necessárias e a geração de relatórios.

**Palavras-chaves:** Sistema Embutido, Arduino, Biotério, Instrumentação, Monitoramento

# Abstract

Unlike other workplaces, where the concern about the environmental conditions are focused only on the professionals, in the laboratory animal house this care extends to animal welfare and to the quality assurance of the procedures to be performed. The system developed in this work performs the monitoring using sensors for some important parameters for the laboratory animal house: luminosity, ammonia, temperature and relative humidity. The Arduino platform was used to process the measurements and send them via radio frequency to a computer. The visualization and the storage of measurements are carried out through supervisory software developed in C Sharp programming language. This system allows the user to observe the characteristics of the environment in real time, as well as verify the history of the environment through a database with records data every 3 seconds. This information allows the monitoring of the environment in order to carry out the needed interventions and create reports.

**Key-words:** Embedded System, Arduino, laboratory animal house, Instrumentation

# Lista de ilustrações

Figura 1	Arduino Nano . . . . .	18
Figura 2	Ilustração das formas de energia de um sensor . . . . .	18
Figura 3	Ilustração da variação de uma grandeza física de um sensor analógico . . . . .	19
Figura 4	Ilustração da leitura da posição de um objeto por um encoder incremental . . . . .	20
Figura 5	Sensor LDR e sua representação elétrica . . . . .	20
Figura 6	Gráfico da Intensidade Luminosa x Resistência do LDR . . . . .	20
Figura 7	DHT11 . . . . .	21
Figura 8	Aplicação simples do Sensor DHT11 . . . . .	22
Figura 9	Sensor de Gás Catalítico . . . . .	23
Figura 10	Curva do sensor MQ-135 . . . . .	23
Figura 11	Curva de dependência do sensor MQ-135 à temperatura e umidade . . . . .	24
Figura 12	Modulo de radio frequência . . . . .	25
Figura 13	Ambiente de Desenvolvimento do Visual Studio . . . . .	26
Figura 14	Exemplo de Supervisório do Visual Studio . . . . .	27
Figura 15	Placa de Captação e Emissão de Dados . . . . .	28
Figura 16	Placa de Recepção de Dados . . . . .	29
Figura 17	Arduino e transmissor . . . . .	29
Figura 18	Modelo de correlação entre a resistência do LDR e a iluminância. . . . .	30
Figura 19	LDR . . . . .	30
Figura 20	DHT11 . . . . .	31
Figura 21	Sensor de Amônia . . . . .	31
Figura 22	Supervisório . . . . .	33
Figura 23	Tela de Banco de dados do Supervisório . . . . .	34
Figura 24	Gráfico de luminosidade no primeiro teste . . . . .	36
Figura 25	Gráfico de luminosidade após as melhorias . . . . .	36
Figura 26	Gráfico de concentração de amônia no primeiro teste . . . . .	37
Figura 27	Gráfico de concentração de amônia após as melhorias . . . . .	37
Figura 28	Gráfico de temperatura e umidade no primeiro teste . . . . .	38
Figura 29	Gráfico de temperatura e umidade após as melhorias . . . . .	39

# Sumário

<b>Lista de ilustrações</b> . . . . .	<b>8</b>
<b>1 Introdução</b> . . . . .	<b>11</b>
1.1 Objetivo Geral . . . . .	12
1.2 Objetivos Específicos . . . . .	12
1.3 Organização e estrutura . . . . .	12
<b>2 Revisão Bibliográfica</b> . . . . .	<b>14</b>
2.1 Biotério . . . . .	14
2.1.1 Experiências Animais . . . . .	14
2.1.2 Normas Ambientais . . . . .	15
2.2 Arduino Nano . . . . .	17
2.3 Sensores . . . . .	18
2.3.1 Sensores Analógicos . . . . .	19
2.3.2 Sensores Digitais . . . . .	19
2.3.3 LDR . . . . .	19
2.3.4 DHT11 . . . . .	21
2.3.5 MQ-135 . . . . .	21
2.4 Comunicação wireless . . . . .	23
2.5 Supervisório . . . . .	24
<b>3 Desenvolvimento e Programação</b> . . . . .	<b>28</b>
3.1 Calibração de sensores . . . . .	29
3.1.1 Calibração - LDR . . . . .	29
3.1.2 Calibração - DHT11 . . . . .	31
3.1.3 Calibração - MQ135 . . . . .	31
3.2 Criação do Supervisório . . . . .	32
3.3 Banco de Dados . . . . .	33
3.4 Teste de Campo . . . . .	34
<b>4 Resultados</b> . . . . .	<b>36</b>
<b>5 Conclusão</b> . . . . .	<b>40</b>
<b>Referências</b> . . . . .	<b>41</b>

<b>Anexos</b>	<b>43</b>
<b>ANEXO A Codigos do Arduino</b> . . . . .	<b>44</b>
A.1 Arduino Emissor . . . . .	44
A.2 Arduino Receptor . . . . .	47

# 1 Introdução

Ao longo da história diversos usos foram dados aos animais, desde de técnicas agrícolas até para fins domésticos. O físico, Galen(129-200 AD), "teria sido o primeiro a usar animais para fins científicos, demonstrando a existência de sangue nas artérias, ao invés de ar como se pensava"(GIRIDHARAN; KUMAR; MUTHUSWAMY, 2000). Como toda atividade científica, leis foram criadas para dar segurança e ordem nas pesquisas que envolvessem animais. A primeira destas leis data de 1876 no Reino Unido, criada pelo British Cruelty to animal Act. Logo, outras nações começariam a criar leis em seus domínios para regulamentar o estudo de animais em laboratórios.

Estudos indicam que o ambiente onde os animais eram criados poderia influenciar nos resultados dos testes que seriam realizados futuramente. Segundo Baêta e Souza, o ambiente externo animal compreende todos os fatores físicos, químicos, biológicos, sociais e climáticos que interagem com o animal, produzem reações no seu comportamento e definem, assim, o tipo de relação animal-ambiente. O micro ambiente térmico do animal consiste em cinco componentes principais (BAÊTA; SOUZA, 2010): temperatura do ar, umidade do ar, temperatura radiante, temperaturas superficiais e velocidade do ar. O conhecimento desse microambiente térmico animal possibilita realizar as modificações ambientais, adequando assim a instalação à categoria e número de animais.

Com o avanço da ciência, surgiu a possibilidade de mensurar dados através de sensores, microcontroladores, PLC's, e outros dispositivos. Foram criados então equipamentos para medir variáveis do corpo animal, tais como pressão, consumo de oxigênio e resposta a estímulos sonoros. O presente trabalho visa a medição de variáveis do ambiente por meio de sensores e um microcontrolador, fazer com que esse sistema tenha um custo mais baixo e que possa aderir em seu sistema um conjunto maior de sensores do que os sistemas convencionais, que costumam ter apenas 1 ou 2 sensores embutidos.

Estudos dirigidos por Politi (2005), determinaram que os fatores físicos de um ambiente, tais como temperatura, umidade relativa do ar, iluminação, ruídos, gases e substâncias particuladas, interferem nas respostas biológicas dos animais selecionados para pesquisas laboratoriais. Para evitar situações de estresse térmico que invalidem um experimento científico, a faixa de temperatura para camundongos e ratos deve ser de 19 a 23 °C, temperatura essa também ideal para os profissionais que trabalham nos biotérios e que devem estar o tempo todo paramentados e munidos de equipamentos de proteção individual (MAJEROWICZ, 2005).

A maioria dos animais de laboratório apresenta sudoração insignificante, e usa a taquipneia como mecanismo de adaptação frente ao calor, o que faz com que o excesso de umidade interfira na dissipação de calor. Recomenda-se então uma faixa de umidade relativa do ar de  $(55 \pm 15)\%$ , especialmente nos casos dos ratos e camundongos (POLITI et al., 2009), sendo que a umidade nas salas é mantida por meio de aparelhos de ar condicionado.

O acúmulo de amônia, produto nitrogenado oriundo da ação de bactérias urease positivas sobre as excretas dos ratos, pode por exemplo afetar o sistema respiratório desses animais, favorecendo a incidência de infecções secundárias (MAJEROWICZ, 2005). Segundo Gamble(1976), um dos efeitos do excesso de amônia em biotérios é a diminuição ou interrupção da atividade das células ciliares do trato respiratório, acúmulo da taxa de deposição de partículas na traquéia, diminuição da imunidade e lesões oculares. O valor máximo permitido para que as funções dos roedores não seja prejudicada é de 20 a 25 ppm.

Atualmente o controle de ambiente é feito manualmente pelos funcionários do biotério em etiquetas e planilhas destacadas em todas as gaiolas e salas, respectivamente. O uso deste sistema reduziria o uso de papel e aumentaria o número de dados, acarretando em uma maior eficácia nos trabalhos do biotério.

## 1.1 Objetivo Geral

Propõe-se neste trabalho o desenvolvimento de um sistema de monitoramento das variáveis ambientais do biotério da UFOP.

## 1.2 Objetivos Específicos

Fazer a calibração dos sensores utilizados, desenvolver uma rede sem fio entre os sensores e um computador, desenvolver um programa computacional para realizar a aquisição de dados e emissão de relatórios, e instalar o sistema do biotério da UFOP.

## 1.3 Organização e estrutura

Este trabalho está dividido da seguinte forma:

- Capítulo 1: uma breve apresentação e introdução sobre o assunto;
- Capítulo 2: Apresentação da revisão bibliografia do tema;
- Capítulo 3: Estudo do biotério da UFOP e desenvolvimento do trabalho;

- Capítulo 4: Discussão sobre os primeiros resultados de campo;
- Capítulo 5: Conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros;

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Biotério

Biotérios são instalações capazes de produzir e manter espécies animais destinadas a servir como reagentes biológicos em diversos tipos de ensaios controlados, para atender programas de pesquisa, ensino, produção e controle de qualidade nas áreas biomédicas, ciências humanas e tecnológicas segundo a finalidade da instituição (CARDOSO, 2001).

Biotérios podem ser classificados como de criação, produção e experimentação. Biotérios de criação são aqueles onde são produzidas e mantidas as matrizes das linhagens, com controle rigoroso da saúde dos animais e esquemas especiais de cruzamentos para manutenção das características genéticas, assegurando os padrões de qualidade. Já os biotérios de produção são aqueles onde se criam grandes quantidades de animais para atender às pesquisas, recebendo matrizes dos biotérios de criação e, por fim, os biotérios de experimentação que se destinam a receber os animais dos biotérios de produção para utilizá-los na experimentação.

#### 2.1.1 Experiências Animais

Em seu livro, *The Principles of Humane Experimental Technique*, Russell e Burch apresentam o uso dos 3 R's da pesquisa animal: Replace (substitua), Reduce (reduza) e Refine (refine).

- Substitua: se remete ao uso de modelos alternativos de investigação, por exemplo, utilizar gatos ou ratos em vez de macacos, cultura de células em vez de modelos animais e, após longos períodos de experimentação e aquisição de dados, modelos computacionais.
- Reduza: apresenta a ideia de usar sempre o menor número de animais possível para o objeto de investigação.
- Refine: traz o aperfeiçoamento de todos os processos envolvidos na experimentação visando, no fim, a redução do uso de animais ou redução do seu sofrimento. A exemplo, podemos falar do aperfeiçoamento da aparelhagem dos biotérios (de criação, manutenção etc) e de desenhos experimentais em si, das técnicas que possam proporcionar o menor nível de aversão (dor, estresse e afins) possível.

O princípio buscado pelos pesquisadores era de tentar realizar os experimentos de maneira não vista pela sociedade como criminosa (RUSSELL; BURCH; HUME, 1959). Com o passar dos anos, como era de se esperar, ONG's, Entidades, Federações, e outros tipos de entidades foram criados para legislar e fiscalizar o uso de animais para fins científicos. Em 1996, nos EUA, o conselho Nacional de Pesquisa criou o “Guia para Uso e Cuidados de Animais de Laboratório” do Conselho Nacional de Pesquisa. Em 2002, o “Ato do Bem Estar Animal” (REGULATIONS, 2013) foi criado, com designações gerais dos cuidados de animais (fora do contexto científico).

No Brasil, hoje temos a Lei Nº 11.794, Leila Arouca, criada em 8 Outubro de 2008, estabelecendo procedimentos para o uso científico de animais e entre diversos requerimentos estava a criação Conselho Nacional de Controle em Experimentação Animal (CONCEA), composto por pessoas vinculadas a entidades que defendem os diversos aspectos relevantes à experimentação animal, e que se tornou no futuro o órgão máximo de definição e fiscalização das diretrizes éticas em experimentação animal no Brasil. (BRASIL, 2008)

### 2.1.2 Normas Ambientais

Instalações adequadas para os padrões necessários à criação e manutenção de animais de laboratório devem possuir programas de gerenciamento das condições físicas e ambientais, garantindo cuidados que favoreçam o desenvolvimento e a reprodução dos animais, mantendo a sanidade e bem-estar, bem como minimizando as variações que possam interferir nos resultados dos ensaios (NIH, 2002). Um erro comum é a expectativa de que os animais utilizados respondam fisiologicamente da mesma forma aos interferentes externos, independentemente de onde estejam alojados (LANG; VESELL, 1976). Embora um ambiente constante em todos os parâmetros recomendados seja o ideal, isso é difícil de ser alcançado (LUCA et al., 1996).

O microambiente é caracterizado como o espaço físico mais próximo ao animal, ou seja, a gaiola, com parâmetros próprios para temperatura, umidade relativa, composição de gases e partículas do ar. Por outro lado, o macroambiente constitui o ambiente físico secundário, em torno do microambiente, representado, por exemplo, pela sala. Embora ambos estejam relacionados, o ambiente na gaiola pode ser bem diferente do secundário e pode sofrer influências pelas características próprias desta interface (COUNCIL et al., 1976). Segundo Vessel (1976) e Besch (1980), os fatores físicos ambientais que mais influenciam as respostas biológicas dos animais são: temperatura, umidade relativa, ventilação, iluminamento, fotoperíodo, ruídos, gases e substâncias particuladas.

No geral, animais de laboratórios suportam a mesma faixa de temperatura que o homem, porém a temperatura do macroambiente deve ser mantida ideal para os animais em detrimento do conforto dos bioteristas. Segundo Majerowicz (2005), a temperatura no interior das gaiolas geralmente é superior em alguns graus à do ambiente e varia em

função da área e número de animais alojados. Por vezes, a exposição dos animais às temperaturas desfavoráveis, sem acesso a abrigos ou outras formas de proteção, podem induzir enfermidades, conferindo risco de mortes. Alguns animais conseguem se adaptar às interferências térmicas, porém, estas alterações fisiológicas ou morfológicas requerem tempo e nem sempre são eficazes, o que provavelmente afetará os resultados dos ensaios (Vessel, 1976).

Por se tratarem de ambientes fechados e de baixa ventilação, os biotérios podem apresentar odores desagradáveis não só para os técnicos, mas principalmente para os próprios animais, afetando suas respostas fisiológicas e farmacológicas em experimentos. Como a maioria das espécies de animais de laboratório é incapaz de promover sudação, o excesso de calor é eliminado com o aumento da frequência respiratória. Caso não haja um ajuste adequado na ventilação da sala de manutenção destes animais, certos produtos metabólicos começarão a se acumular no ambiente, prejudicando a saúde deles. O acúmulo de amônia, por exemplo, produto nitrogenado oriundo da ação de bactérias urease positivas sobre as excretas dos ratos, por exemplo, pode afetar o sistema respiratório destes animais, favorecendo a incidência de infecções secundárias (MAJEROWICZ, 2008).

O controle da umidade relativa do ar é outro parâmetro fundamental na manutenção de um ambiente ideal, embora não interfira de modo tão rigoroso no metabolismo dos animais. Variações e extremos na umidade relativa podem, além de favorecerem o aparecimento de doenças, alterar o consumo de ração e água, gerando conflitos entre os animais (LUCA et al., 1996).

A maioria dos roedores são sensíveis a altas intensidades luminosas por possuírem hábitos noturnos. Os ratos albinos, por exemplo, são mais ativos nos períodos menos iluminados do dia e podem ficar cegos quando expostos a muita luz (NRC, 2003). Segundo Majerowicz (2005), uma iluminação que propicie boa visibilidade, seja uniforme e o mais próxima possível da luz natural, na ordem de 200 lux, é adequada à reprodução e assegura um comportamento normal para a maioria dos roedores. Durante as pesquisas, é fundamental manterem-se os períodos de claro-escuro sem interrupção, pois do contrário, os animais podem sofrer estresse que desencadeará alterações metabólicas e comportamentais, tais como modificações do ciclo circadiano, ciclos reprodutivos, efetividade de drogas e etc. É recomendável que o controle do iluminamento nas salas seja feito de modo automático e programado, pois o controle manual, invariavelmente, pode resultar em uma pequena variação nos períodos de claro/escuro (Majerowicz, 2000). O que também pode interferir na quantidade e intensidade de luz que chega aos animais e prejudicar os resultados dos experimentos é a localização das gaiolas nas estantes e presumir que a iluminação obtida através de janelas ou vidraças é natural. Este tipo de luz apresenta um espectro mais vermelho, para o qual os animais são insensíveis, e que, além de elevar a carga térmica do recinto, aumenta os custos com equipamentos de ventilação.

## 2.2 Arduino Nano

Desde a sua criação em 2005, o Arduino vem sendo amplamente utilizado como plataforma *open-source*, resultando em soluções de baixo custo, de baixo consumo de energia e de aplicação flexível (DESHMUKH; SHINDE, 2016). A placa Arduino possui conectores que facilitam o acesso aos pinos de entrada e saída do microcontrolador, bem como a interface entre sensores e outros dispositivos. Quando associado a ferramentas de desenvolvimento de *software*, como por exemplo o *Visual Studio*, pode-se criar sistemas de alta performance a um custo acessível.

O Arduino é parte de um conceito de hardware e software livre para uso e contribuição de toda sociedade. O conceito surgiu na Itália, em 2005, com o objetivo de criar um dispositivo que fosse utilizado em projetos de uma forma menos difícil do que outros sistemas disponíveis no mercado e que pudesse auxiliar iniciantes de programação com projetos mais simples.

O Arduino oferece uma interface de hardware proporcionando todo o circuito necessário para funcionamento do microcontrolador e uma interface e ambiente de desenvolvimento em software para programação. Por se tratar de uma plataforma de código aberto (open source), os diversos usuários em todo mundo criam bibliotecas e programas que podem ser compartilhadas sem restrição, o que facilita o desenvolvimento de projetos e aperfeiçoamento de sistemas que utilizem do Arduino.

Este equipamento é uma plataforma de computação física sendo possível que sistemas digitais ligados a sensores e atuadores permitam construir sistemas que percebam a realidade e respondem com alterações físicas (MCROBERTS, 2015). O Arduino é baseado em uma placa microcontrolada, com acessos de Entrada/Saída (I/O), sobre a qual foi desenvolvida uma biblioteca de funções que simplifica a sua programação, por meio de uma sintaxe similar a das linguagens C e C++.

O microcontrolador utilizado na plataforma Arduino é o Atmega, podendo também ser denominado MCU. Ele pode ser embarcado no interior de algum outro dispositivo, que, neste caso, é o Arduino, para que possa controlar suas funções ou ações.

De forma geral, segundo Di Renna (2013), o Arduino é um kit de desenvolvimento, que pode ser visto como uma unidade de processamento capaz de manipular variáveis do ambiente externo, transformadas em um sinal elétrico correspondente, através de sensores ligados aos seus terminais de entrada. Quando recebida à informação a mesma poderá ser manipulada computacionalmente.

O presente projeto foi desenvolvido em cima da versão Nano do Arduino (Figura 1), e um dos principais motivos para sua escolha foi a fato do seu tamanho reduzido. O fato de ter um tamanho menor faz com que essa versão tenha menos recursos que as regulares, porém tais funções não seriam tão importantes nesse projeto a ponto de alterar o modelo

utilizado. Uma dessas diferenças é a ausência de um plug 2.1mm centro-positivo para alimentação externa, que no presente caso é feita através dos pinos de alimentação (Vin e GND) da placa.

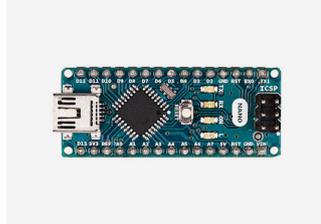


Figura 1: Arduino Nano

Fonte: ARDUINO, 2017

## 2.3 Sensores

O termo sensor é empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente(Figura 2), relacionando informações sobre um grandeza que precisa ser medida (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Geralmente sensores não possuem as características elétricas necessárias para ser utilizado em um sistema de controle. Normalmente o sinal de saída deve ser manipulado antes de passar para o sistema de controle.

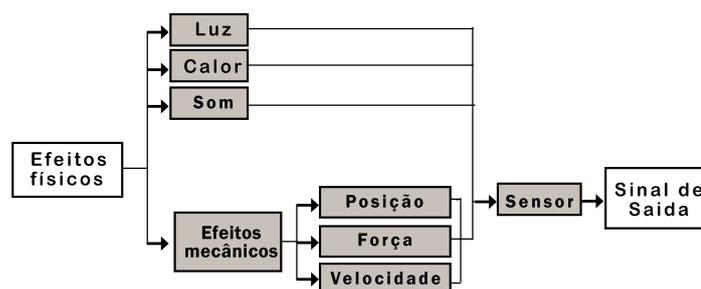


Figura 2: Ilustração das formas de energia de um sensor

Fonte:Adaptado de (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005)

Os sensores podem ser divididos em duas classes : digitais e analógicos. Os analógicos possuem um *range* de valores maior e podem assumir qualquer valor entre um mínimo e um máximo. Os sensores digitais operam em dois estados de valores: Alto e Baixo, 0 e 1, *TRUE*

ou *FALSE*. Saber utilizar essas diferenças entre eles é essencial para o desenvolvimento de um projeto.

### 2.3.1 Sensores Analógicos

Sensores analógicos podem assumir qualquer valor no sinal de saída desde que esteja dentro da sua faixa de operação. Alguns exemplos de variáveis que possuem sensores analógicos associados a elas são: temperatura, velocidade, pressão e luminosidade. Essas variáveis são mensuradas por elementos que respondem ao estímulo físico gerado pelo mensurado com circuitos eletrônicos não digitais. A figura 3 mostra um exemplo de mensuração de temperatura ao longo do tempo e, como previsto, a curva possui uma variação mostrada em um gráfico contínuo.

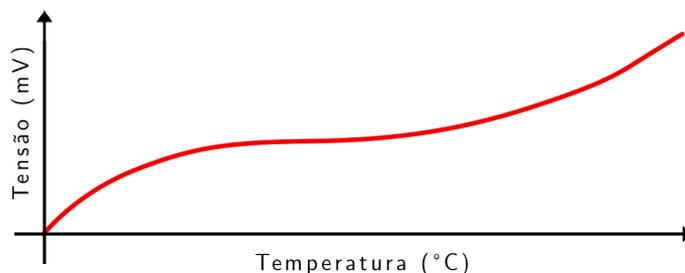


Figura 3: Ilustração da variação de uma grandeza física de um sensor analógico

Fonte: Adaptado de Thomazini, 2005

### 2.3.2 Sensores Digitais

Esse tipo de sensor pode assumir apenas dois valores no seu sinal de saída ao longo do tempo (Figura 4), que podem ser interpretados como zero ou um. Não existem naturalmente grandezas físicas que assumam esses valores, mas eles são assim mostrados ao sistema de controle após serem convertidos por um circuito eletrônico. É utilizado, por exemplo, na detecção de passagem de objetos, encoders na determinação de distância ou velocidade.

### 2.3.3 LDR

O sensor LDR (Light Dependent Resistor) funciona com base na incidência de luz sobre sua superfície, formada de Sulfeto de Cádmio (CdS) e pequenas trilhas do material condutor, se entrelaçando com o material condutor de modo a aumentar a superfície de contato.

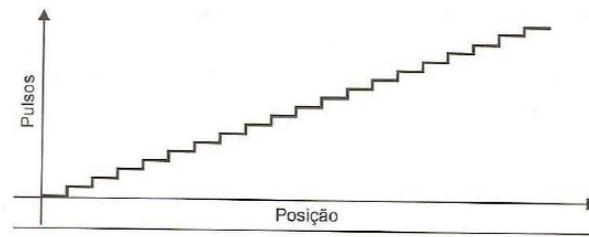


Figura 4: Ilustração da leitura da posição de um objeto por um encoder incremental

Fonte: (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005)

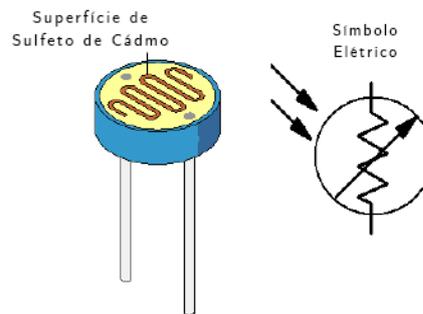


Figura 5: Sensor LDR e sua representação elétrica

Fonte: (WENDLING, 2010)

À medida que a intensidade luminosa se intensifica sobre a superfície do LDR sua resistência diminui de maneira linear (Figura 6), expressando assim, uma relação direta entre a intensidade luminosa e a resistência do sensor. Os LDRs não são componentes polarizados, o que significa que a corrente pode circular nos dois sentidos. As variações de resistência com a luz são iguais em qualquer sentido.

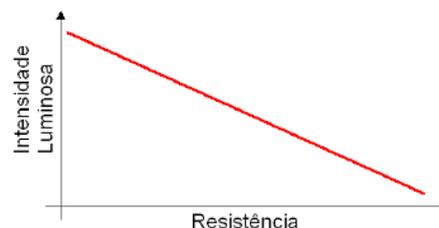


Figura 6: Gráfico da Intensidade Luminosa x Resistência do LDR

Fonte: (WENDLING, 2010)

A dissipação de um LDR de 1 cm é tipicamente de 100 mW e a tensão máxima que pode-se aplicar em seus terminais é tipicamente de 150 volts para o modelo de 1 cm (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

### 2.3.4 DHT11

A umidade relativa do ar é medida normalmente por psicrômetros, higrômetros e registrada por higrógrafos, embora, atualmente, existam sensores eletroeletrônicos que também permitem o monitoramento da umidade instantânea ou contínua, quando operados com sistemas de aquisição de dados (SILVA, 2000).

Segundo Su e Huang, (2007) apud Castro (2010), o inventor do primeiro sensor de umidade foi atribuído a Leonardo da Vinci. O projeto consistia em uma balança onde em um dos pratos havia algodão e no outro, um peso. Conforme o algodão absorvia o vapor da água do meio um desequilíbrio acontecia e a medida da umidade era feita.

A umidade relativa de um meio não pode ser feita de maneira direta, sendo assim necessário verificar a concentração de vapor de água no meio que provoca mudança em alguns metais. Geralmente essas mudanças nas suas propriedades são: elétricas, deformação mecânica, dentre outras. Através desses efeitos podem-se relacionar os valores da umidade relativa (CASTRO, 2011). O sensor de umidade e temperatura modelo DHT11 (Figura 7),

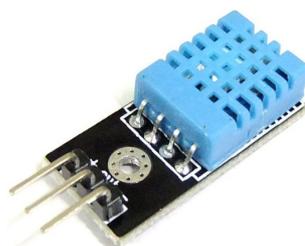


Figura 7: DHT11

Fonte: (D-ROBOTICS, 2010)

é um pequeno dispositivo que possui quatro pontos de conexão: um para receber energia, outro para saída, um nulo e o para transmitir as informações de medição. A alimentação do DHT11 pode variar de 3.3V a 5V. A aplicação mais simples do sensor é feita de modo direto (Figura 8), fazendo leituras diretas pelo pino de saída analógica do sensor.

### 2.3.5 MQ-135

Os processos industriais envolvem o uso e fabricação de substâncias altamente perigosas, especialmente produtos inflamáveis, tóxicos e oxidantes. Os gases fazem parte desses ambientes como participantes de reações, catalisadores ou produtos finais. Outras vezes são resíduos ou subprodutos indesejáveis. Escapes ocasionais de gás ocorrem, e criam um perigo potencial para a planta industrial, seus funcionários e pessoas que vivem nas proximidades. Incidentes e acidentes em todo o mundo, envolvendo asfixia, intoxicação, explosões e perdas de vidas é um lembrete constante desse problema (MACHADO, 2011).

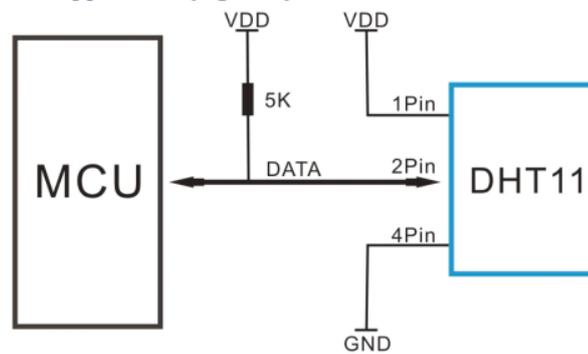


Figura 8: Aplicação simples do Sensor DHT11

Fonte: (D-ROBOTICS, 2010)

Quase todos os sensores de detecção modernos e de baixo custo para gás combustível, são do tipo eletro-catalítico. Eles consistem de um elemento muito pequeno sendo muitas vezes chamado de “pérola”, um “pellistor”, ou “Siegistor”, sendo os dois últimos nomes comerciais registrados para dispositivos comerciais. Eles são feitos de uma bobina de fio de platina aquecido eletricamente, coberto primeiro com uma base de cerâmica, tais como alumina e, em seguida, com um revestimento final exterior do catalisador de paládio ou ródio disperso em um substrato de tório.

Para atingir os requisitos necessários de segurança de concepção, este tipo de sensor catalítico deve ser montado em uma carcaça metálica resistente atrás de um pára-chamas (geralmente uma tela metálica). Isso permite que a mistura de gás de ar para difundir na habitação e para o elemento sensor de calor, mas vai impedir a propagação de qualquer chama para a atmosfera exterior. O pára-chamas reduz ligeiramente a velocidade de resposta do sensor, mas, na maioria dos casos, a energia elétrica vai dar uma leitura em questão de segundos após o gás ser detectado.

O módulo utilizado, MQ-135, pode detectar concentrações na faixa de 100 a 10.000ppm, possuindo um *range* de tensão de 0 - 5V. Os módulos do MQ135 são capazes de operar na faixa de temperatura de -10 a 70°C, consumindo uma corrente aproximada de 150mA.

Além do gás amoníaco o sensor MQ135 pode detectar outros gases, tais como CO e CO<sub>2</sub>. A curva de sensibilidade de cada gás é diferente, garantindo uma boa performance na análise individual dos gases. A curva da figura 10 foi desenvolvida a uma temperatura de 20°C, umidade de 65 % , concentração de O<sub>2</sub> em 21 % , com uma resistência de base,  $R_L$ , de 20 KΩ, onde  $R_o$  é a resistência do sensor a 100ppm de NH<sub>3</sub> em ar limpo, e  $R_s$  é a variação da resistência do sensor para cada concentração de gás.

Como grande parte dos sensores, o MQ135 tem uma resposta ao ambiente depen-



Figura 9: Sensor de Gás Catalítico

Fonte: (HANWEI, 2008)

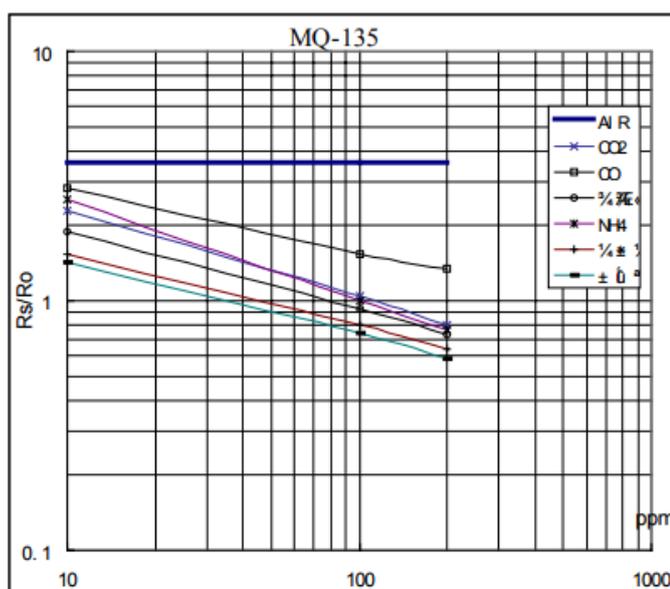


Figura 10: Curva do sensor MQ-135

Fonte: (HANWEI, 2008)

dente de temperatura e umidade local. Essa dependência pode ser vista pela curva (Figura 11).

## 2.4 Comunicação wireless

Redes de Sensores Sem Fio (RSSF), diferentemente das redes de computadores tradicionais, são formadas por nós distribuídos que podem ter restrições energéticas, dotados de mecanismos de autoconfiguração para lidar com problemas de falha de comunicação e

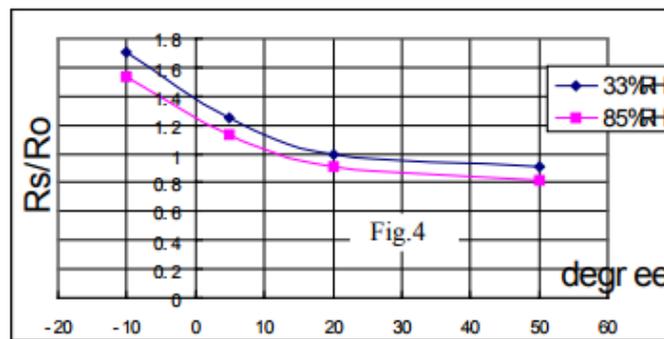


Figura 11: Curva de dependência do sensor MQ-135 à temperatura e umidade

Fonte: (HANWEI, 2008)

perda de nós. Tais nós são compostos por sensores, microcontroladores e transmissores de rádio que se comunicam a uma curta distância, via redes de sensores sem fio (ZHENG; JAMALIPOUR, 2009).

A comunicação sem fio, ou comunicação wireless, é feita através de cristais que emitem os dados por meio de ondas em uma dada frequência pré-determinada. Fazendo uso do modulo NRF240L1 (Figura 12), se estabelece um canal de comunicação comum entre o modulo instalado na placa emissora (Figura 15), e a placa receptora (Figura 16), edificando uma comunicação sem fio para o sistema.

O NRF24L01 é um transceptor 2.4 Ghz integrado de baixo consumo energético que opera na banda de frequência ISM (Industrial, Scientific and Medical), possui um alcance que pode variar de 100 m até 1000 m, com o uso de antenas e uma taxa de transmissão de até 2 Mbps, utiliza a interface SPI como via de comunicação, possui picos de tensão menores que 14mA nos modos TX/RX, possui gerenciamento avançado de energia podendo operar nos intervalos de 1.9 a 3.6V. O NRF24L01 oferece uma solução ULP (Ultra Low Power) que permite gerenciar o consumo de energia resultando em um baixo consumo e aumento da autonomia energética (SEMICONDUTOR, 2007).

## 2.5 Supervisório

Historicamente, nos meados das décadas de 70 e 80, com o avanço da eletrônica e, surgimento dos microprocessadores, o computador se tornou uma peça chave nos diversos setores industriais. Frequentemente coloca-se como solução para diferentes problemas de automação um tipo de software que se torna a cada dia mais poderoso: o software supervisórios (PAULA et al., 2016).

Um sistema supervisório é um software construído com base em telas que demonstram um processo que esta sendo controlado por um controlador (microcontrolador,

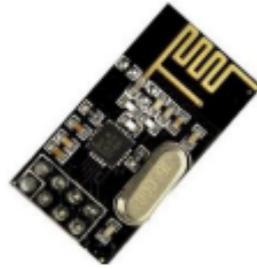


Figura 12: Modulo de radio frequência

Fonte: (ZHENG; JAMALIPOUR, 2009)

PLC, etc), permitindo que o operador verifique de forma gráfica e através de relatórios gerados pelo sistema, o comportamento dos valores das variáveis do processo, observe tendências, cheque o *status quo* de um equipamento, e que atue também no sistema pelo próprio supervisor. Segundo Silva e Salvador (2004): “[...] os sistemas supervisórios são poderosos softwares aplicativos que permitem que sejam monitoradas e rastreadas informações do processo produtivo [...]”. Estes sistemas também podem ser chamados de SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

Os primeiros sistemas SCADA, basicamente telemétricos, permitiam informar periodicamente o estado corrente do processo industrial, monitorando sinais representativos de medidas e estados de dispositivos, através de um painel de lâmpadas e indicadores, sem que houvesse qualquer interface aplicacional com o operador. Para Paula(2016), atualmente, os sistemas de automação industrial utilizam tecnologias de computação e comunicação para automatizar a monitoração e controle dos processos industriais, efetuando coleta de dados em ambientes complexos, eventualmente dispersos geograficamente, e a respectiva apresentação de modo amigável para o operador, com recursos gráficos elaborados (interfaces homem-máquina) e conteúdo multimídia. As principais funções de um supervisor são:

- Aquisição de dados: Esta é uma função muito importante para a funcionalidade do sistema. A aquisição de dados consiste na retirada de informações do processo através da conexão que computador terá com o controlador, que controla o processo e detém em sua memória todos os eventos que estão ocorrendo em tempo real.
- Gerenciamento de dados: Após a aquisição de dados do processo, a apresentação dos mesmos deve ser feita de maneira clara e precisa, e apresentar em tempo real de execução ao operador os valores obtidos. A principal apresentação dos dados é demonstrada nas telas de apresentação dos processos. Esses dados são manipulados e distribuídos para os módulos do software e apresentados em forma de telas, relatórios, históricos, alarmes, etc.

O Visual Studio é um conjunto abrangente de ferramentas e serviços que serve de apoio para a criação de uma ampla variedade de aplicativos para a plataforma Microsoft.

É uma ferramenta muito recomendada para usuários iniciantes com a programação na linguagem C#, já que com esta interface o desenvolvimento (Figura 13) de todas as aplicações fica mais rápido. Uma das características é o recurso de "arrastar e soltar", uma excelente opção para criar interfaces de usuário durante a criação de aplicativos, semelhante à linguagem Delphi.

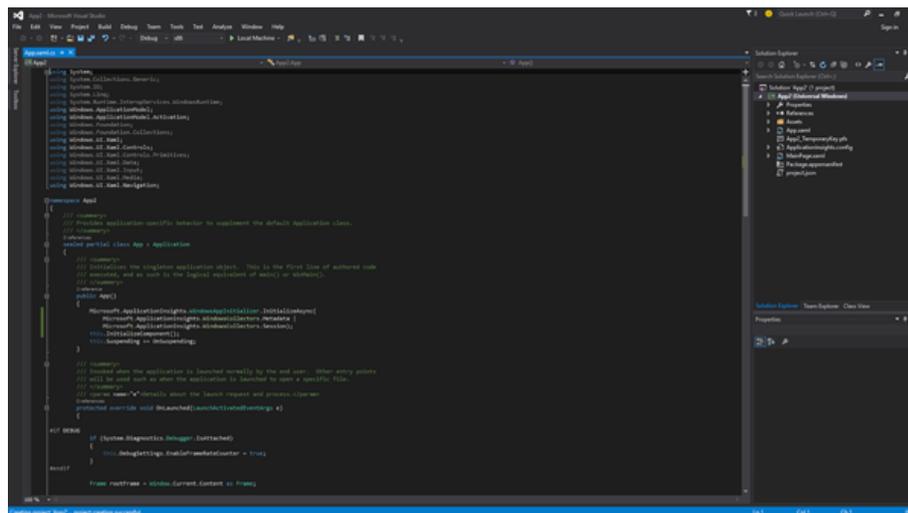


Figura 13: Ambiente de Desenvolvimento do Visual Studio

Fonte: Autor

A linguagem C# ou CSharp foi desenvolvida pela Microsoft para competir com a linguagem Java. O C# é uma linguagem de programação orientada a objeto baseada nas linguagens C/C++, Java, e possui algumas características do VB, fazendo parte das linguagens de programação .NET.

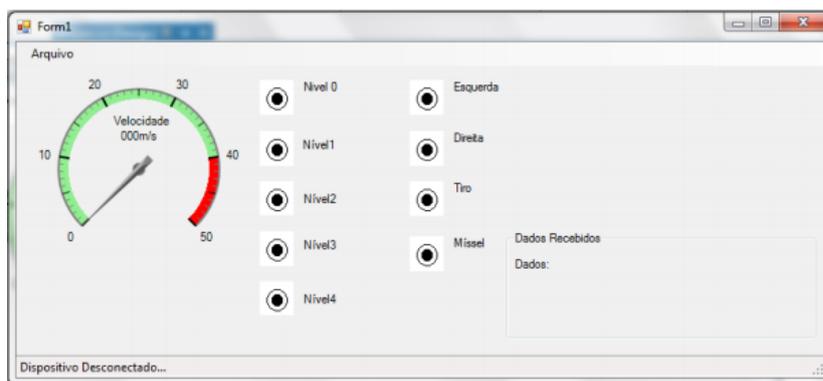


Figura 14: Exemplo de Supervisor do Visual Studio

Fonte: (SOARES, 2013)

### 3 Desenvolvimento e Programação

A primeira etapa deste trabalho consistiu na realização de um estudo sobre o biotério da UFOP, denominado Centro de Ciência Animal (CCA/UFOP), para estabelecer o tipo de monitoramento necessário e viável para o local. Em seguida, foram adquiridos os materiais necessários ao desenvolvimento do projeto: placa Arduino Nano, transmissores de rádio frequência (NRF24L01) e sensores de luminosidade (LDR), sensores de teor de amônia (MQ135), sensores de umidade relativa do ar e temperatura (DHT11), resistores, capacitores e demais componentes eletrônicos auxiliares, bem como os softwares Visual Studio 2015 e Arduino IDE.

O desenvolvimento do programa para aquisição e tratamento de dados dos sensores foi feita pelo ambiente de desenvolvimento do próprio microcontrolador Arduino (IDE Arduino). A plataforma do hardware foi feita sobre uma placa de circuito impresso de fenolite, previamente projetada utilizando o sistema computacional ARES, que é uma plataforma de desenvolvimento de placas de circuito impresso. Foram duas placas criadas: uma para captura e emissão dos dados (Figura 15), e outra para recepção dos dados (Figura 16).

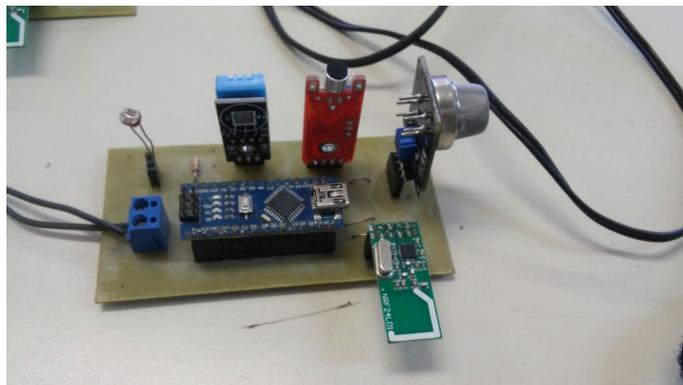


Figura 15: Placa de Captação e Emissão de Dados

Fonte: Foto do Autor

Este projeto utiliza dois Arduinos Nano (Figura 17): um emissor e um receptor. O Arduino emissor é o responsável por receber e realizar o processamento de sinais dos sensores e enviá-los, via radiofrequência, para o Arduino receptor. A transmissão e recepção de dados é feita por meio de módulos NRF24L01 (Figura 17). Este módulo pode produzir uma velocidade alta de transmissão de dados, levando em conta o pequeno consumo de

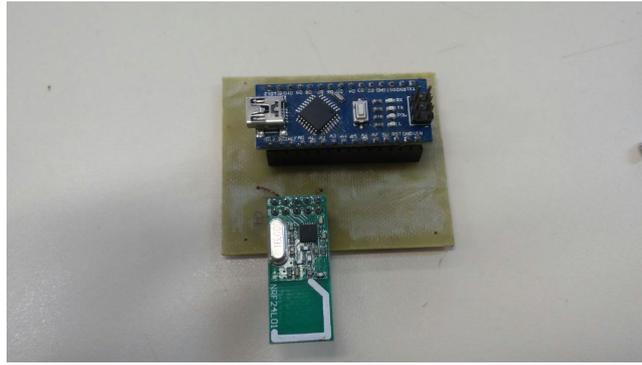


Figura 16: Placa de Recepção de Dados

Fonte: Foto do Autor

energia do Arduino (WANG; CHI, 2016). O Arduino receptor envia as informações, via USB, para um computador, que possui o software supervisor para análise e armazenamento dos dados. Deste modo, o computador pode centralizar as informações de várias salas de um biotério, por meio da comunicação sem fio entre diversos aparelhos individuais de medição.

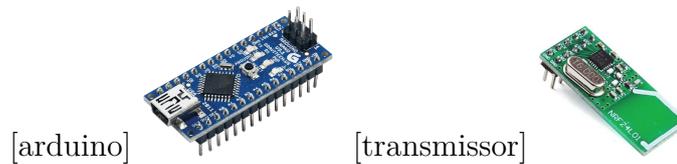


Figura 17: Arduino e transmissor

Antes da integração do sistema wireless, o projeto contava apenas com a leitura e conversão de valores elétricos em unidades de engenharia, para somente depois trabalhar com o envio e recepção dos dados por meio sem-fio.

## 3.1 Calibração de sensores

A segunda etapa consistiu em realizar a calibração dos sensores de modo que as grandezas monitoradas pudessem ser representadas em conformidade com o Sistema Internacional de Unidades. Para isso, foram utilizadas ferramentas de mensuração padrão e as folhas de dados dos sensores (*datasheet*).

### 3.1.1 Calibração - LDR

O primeiro sensor integrado ao projeto foi o sensor de luminosidade LDR (Figura 19), que foi calibrado tomando-se como referência um luxímetro de bancada e, por meio de diversas medidas realizadas, uma planilha eletrônica foi desenvolvida com auxílio do

*Microsoft Excel*, podendo assim obter um modelo de correlação entre o logaritmo da luminosidade (lux) e o logaritmo da resistência elétrica do LDR (ohms), representado pela Equação 3.1. Onde o valor 31849,31 é calculado por  $10^{4,50}$ , ou seja, é uma constante criadas pela aproximação da equação linear (Figura 18).

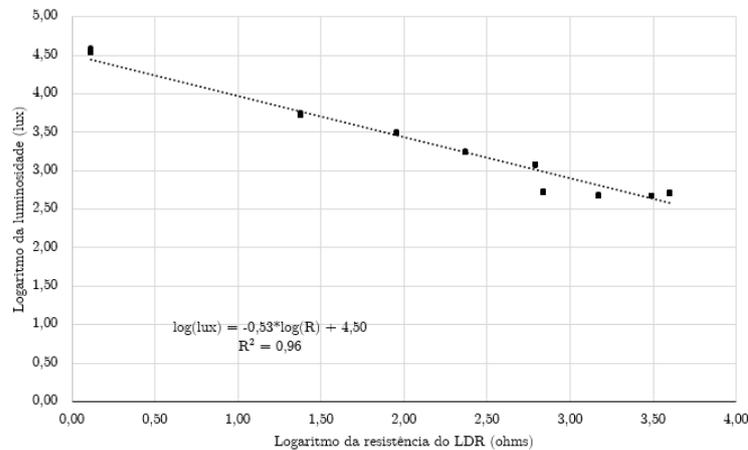


Figura 18: Modelo de correlação entre a resistência do LDR e a iluminância.

O coeficiente de determinação, resultante da aproximação linear, foi igual a 0,96, indicando que as variações de luminosidade são fortemente explicadas pelas variações da resistência elétrica do sensor.

A fórmula criada pelo gráfico gera uma resposta para o logaritmo da luminância, porém o desejável é o valor da luminância em si. Sendo assim por meio de manipulações algébricas podemos isolar a variável da Luminância, resultando na equação 3.1.

$$\text{Luminância} = 31849,31 * R_{LDR}^{-0,53} \quad (3.1)$$

Vale ressaltar que o LDR é um sensor com tempo de resposta baixo, logo, qualquer sombra ou claridade a mais em sua proximidade já faz com que suas leituras se alterem rapidamente (TECHNOLOGIES, 2008).



Figura 19: LDR

### 3.1.2 Calibração - DHT11

O sensor DHT11 (Figura 20) é responsável pelas leituras de temperatura e umidade. A interface desse sensor com a plataforma Arduino foi realizada por meio da biblioteca "DHT11.h" disponibilizada pela fabricante D-Robotics, contendo a implementação das funções e métodos matemáticos para conversão dos valores ADC para Unidades de Engenharia (graus Celsius e porcentagem). Sendo assim a implementação do código se resumiu apenas no uso das funções "`dht.readHumidity()`;" e "`dht.readTemperature()`;" implementadas na biblioteca "DHT11.h".

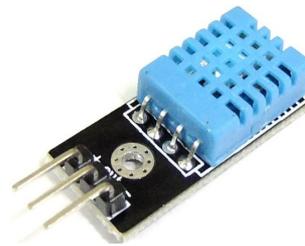


Figura 20: DHT11

### 3.1.3 Calibração - MQ135

A sensor MQ135 (Figura 21) apresenta resistência interna variável de acordo com a concentração de amônia do ar em partes por milhão (ppm). Diversos algoritmos podem ser usados para otimizar a sensibilidade do sensor à concentração de gases nocivos no ambiente (GHOSH et al., 2012). De acordo com a folha de dados do fabricante, essa relação é estabelecida por meio do modelo da equação 3.6.

O sensor de amônia é mais um que funciona a base do circuito divisor de tensão. O modulo MQ 135 ja possui os resistores necessários acoplados à placa do modulo. O valor analógico do sensor (Equação 3.2) é referente a tensão fornecida pelo dispositivo.



Figura 21: Sensor de Amônia

Fonte: (HANWEI, 2008)

Pela sequência de equações (3.2 - 3.6 ) é possível definir a resistência aplicada sobre o MQ 135 e, fazendo uso desse conhecimento, definir os valores a serem usados na curva de calibração do sensor, feita através de métodos matemáticos em uma curva exponencial definida pela folha de dados do sensor (HANWEI, 2008).

$$count = analogRead(PortaConectadaaoMQ135) \quad (3.2)$$

$$V_{out} = \frac{(count * 4.88)}{1024.0} \quad (3.3)$$

$$R_s = \frac{((5.0 * R1) - (R1 * V_{out}))}{V_{out}} \quad (3.4)$$

$$ratio = \frac{R_s}{34503.7} \quad (3.5)$$

$$GasConc = 111,2 * \frac{R_s}{34503,7}^{-2,801} \quad (3.6)$$

Onde:

- count : é o valor analógico lido pelo Arduino em bits.
- Vout : é o valor da tensão, de 0 a 5 volts, referente a sensibilidade do sensor
- Rs: é a resistência, calculada, do sensor MQ135
- ratio: é a variável utilizada como base da exponencial
- GasConc: é o valor da concentração do gás  $NH_3$ , em ppm.

## 3.2 Criação do Supervisório

O software supervisório desenvolvido (Figura 22) neste trabalho recebe os dados fornecidos pela placa receptora e repassa os valores para elementos gráficos na tela principal do programa, que servem para acompanhar as variáveis do ambiente nas dependências de onde está instalado o sistema emissor. Além de contar com os mostradores analógicos para visualização instantânea dos valores, um gráfico pode ser visualizado para acompanhar a variação temporal das últimas leituras de uma determinada variável selecionada.

Cada mostrador analógico é responsável pela representação de uma das variáveis monitoradas e possuem representações em verde para valores aceitáveis, amarelo para razoáveis e vermelhos para níveis críticos ou indesejáveis. O valor da variável "Noise"(ruído) não foi implementada no sistema, porém o supervisório já foi desenvolvido pensando

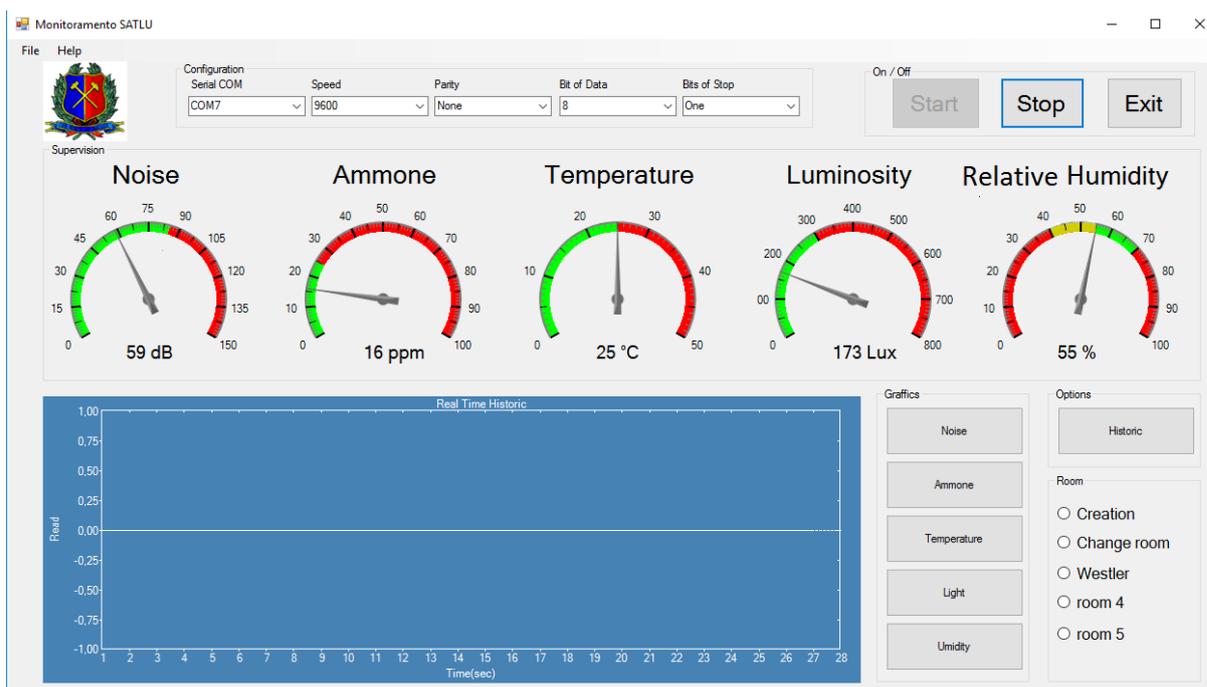


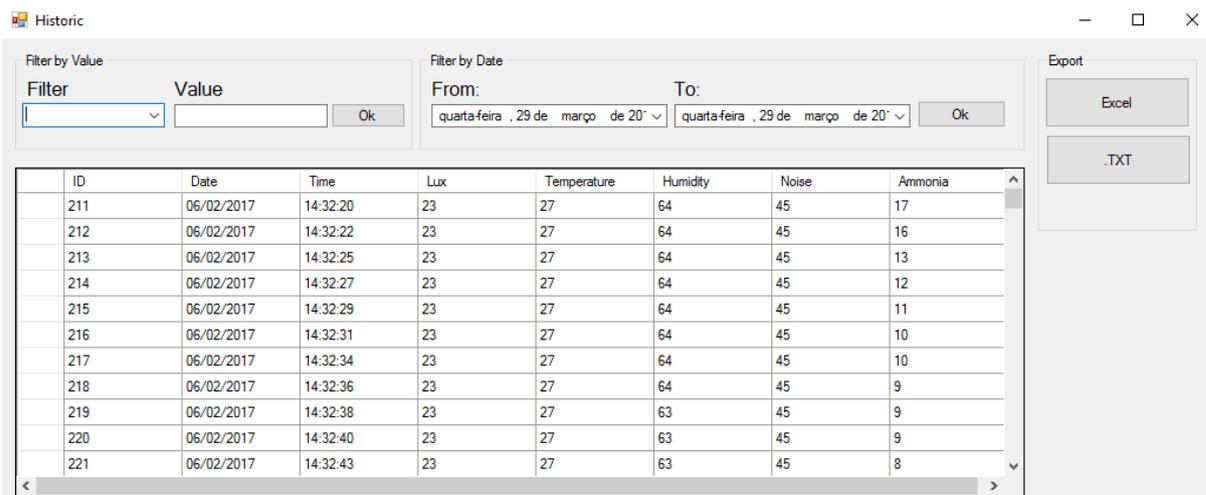
Figura 22: Supervisório

Fonte: Autor

na aplicação da mesma em trabalhos futuros. O gráfico *Real Time Historic* apresenta a variação de leituras de uma determinada variável selecionada. A função principal do gráfico é poder selecionar uma variável que possa estar causando desconforto ambiental e verificar sua variação ao longo do tempo. Um exemplo prático, abordado pelos pesquisadores do biotério da UFOP, é o acompanhamento de uma possível queda ou elevação de partículas de amônia no ar durante a limpeza das gaiolas dos roedores. Atualmente, o odor gerado pelo acúmulo de amônia no biotério é desconfortável para os trabalhadores do local, bem como para os roedores.

### 3.3 Banco de Dados

O software também possui um banco de dados para armazenar os resultados de medição a cada três segundos. Para ter acesso a esses dados o usuário pode optar por fazer um filtro por data ou pelo valor de alguma variável (temperatura, umidade, etc.), e exportá-los para um arquivo de texto (.txt) e tratar os dados de alguma forma em outro software. O banco de dados local é uma forma de manter um controle offline do sistema, principalmente durante a ausência de técnicos no local de armazenamento dos roedores, como por exemplo, durante as madrugadas. Sendo possível assim gerar relatórios mais precisos e que incluem 24 horas de anotações ambiente.



ID	Date	Time	Lux	Temperature	Humidity	Noise	Ammonia
211	06/02/2017	14:32:20	23	27	64	45	17
212	06/02/2017	14:32:22	23	27	64	45	16
213	06/02/2017	14:32:25	23	27	64	45	13
214	06/02/2017	14:32:27	23	27	64	45	12
215	06/02/2017	14:32:29	23	27	64	45	11
216	06/02/2017	14:32:31	23	27	64	45	10
217	06/02/2017	14:32:34	23	27	64	45	10
218	06/02/2017	14:32:36	23	27	64	45	9
219	06/02/2017	14:32:38	23	27	63	45	9
220	06/02/2017	14:32:40	23	27	63	45	9
221	06/02/2017	14:32:43	23	27	63	45	8

Figura 23: Tela de Banco de dados do Supervisório

Fonte: Autor

### 3.4 Teste de Campo

Após o desenvolvimento do primeiro protótipo, um teste preliminar foi realizado nas dependências do CCA no dia 18 de Outubro de 2016, onde foi esperado uma mudança de comportamento principalmente no sensor de amônia pois houve uma troca de serragem nas gaiolas dos roedores. Sendo assim a concentração de amônia iria diminuir a ponto de se estabilizar no período da tarde.

Em seguida, os resultados foram analisados para averiguar o desempenho do sistema. Observou-se que alguns sensores falharam por algumas vezes, com erros de valores que não faziam jus aos valores em torno daquele horário, e o funcionamento do supervisório se mostrava incompleto, com a necessidade de alguns aprimoramentos em relação ao desempenho, tal como o tratamento de valores inválidos. Com base nos resultados preliminares, algumas melhorias no sistema de medição, no programa supervisório e na comunicação sem fio foram implementadas, tais como:

- Desenvolvimento de um filtro de média móvel para os sensores;
- Recalibração de sensores;
- Melhorias no protocolo de comunicação sem fio;
- Otimização do banco de dados;
- Redimensionamento da placa de fenolite para minimizar interferência térmica dos sensores

O filtro de média móvel foi implementado nos sensores que possuem respostas mais rápidas ao ambiente, que foram os sensores LDR e MQ 135. Para garantir que ruídos na rede elétrica ou interferências quaisquer, sejam registadas nos dados fornecidos, foi implementado via código no arduino emissor que tais sensores deveriam fazer 10 leituras consecutivas. Os valores eram somados e o resultado da soma dividido por 5. Garantindo assim um filtro melhor nos valores.

## 4 Resultados

Com o banco de dados gerado pelo teste em campo, gráficos de linha foram construídos através de exportação de uma planilha para o Microsoft Excel, afim de visualizar mais facilmente os valores variando com o tempo.

Fazendo a análise dos dados, alguns valores discrepantes apareceram em alguns sensores, mas ainda assim melhores que os primeiros resultados. O LDR foi um desses sensores (Figuras 24 e 25). Em diálogo com os responsáveis pelo biotério, assumimos que não houve interferência dos usuários do CCA para que os valores mudassem tanto.

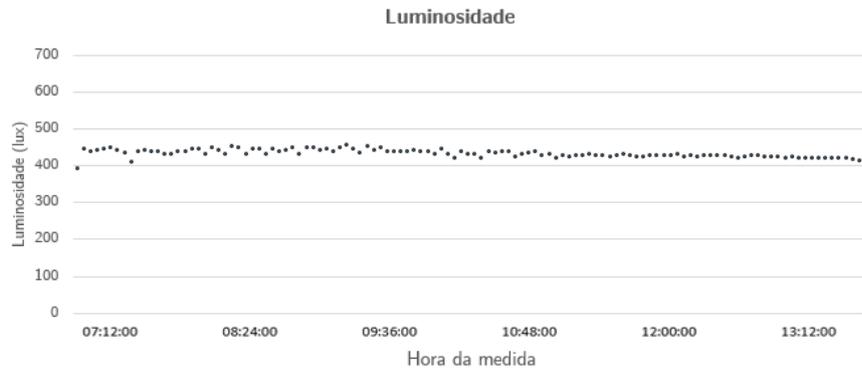


Figura 24: Gráfico de luminosidade no primeiro teste

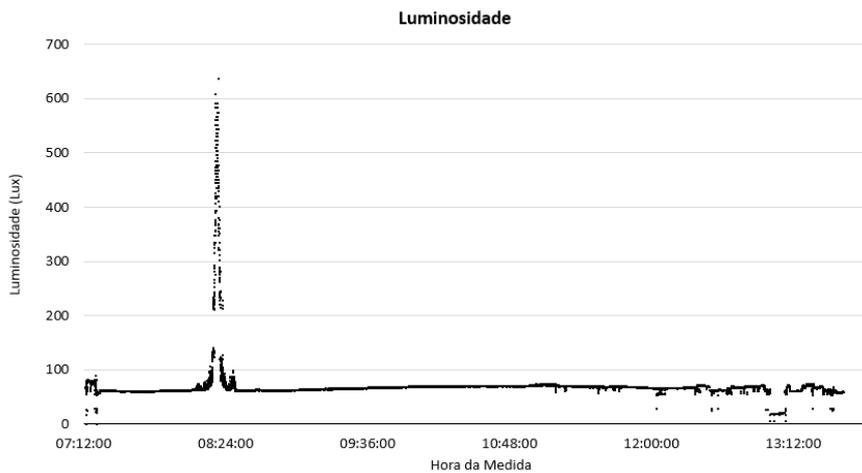


Figura 25: Gráfico de luminosidade após as melhorias

Fonte: Autor

Durante o primeiro teste o sensor utilizava um método matemático que não gerava valores próximos da luminosidade ambiente. Essa conclusão foi com base na comparação

de valores entre o sistema desenvolvido e um luxímetro já calibrado. Para solucionar este problema, e melhorar a leitura do sensor, foi desenvolvido um novo método matemático (sessão 3.1.1). Mesmo com essa calibração um erro de leitura ocorreu no início do experimento, tanto no sensor LDR quanto no sensor MQ135. A possível causa seria uma interferência de sinal elétrico na rede, que não foi previsto no projeto, gerando uma alteração nas leituras nos sensores de resposta mais rápida à estímulos ambientes.

Como dito, outro sensor a realizar leituras fora do padrão esperado foi o sensor de amônia MQ 135. Ele apresentou, quase que no mesmo instante do LDR, leituras atípicas (Figuras 26 e 27). Esse fato pode ter ocorrido devido ao mesmo erro estipulado em relação ao LDR. No momento da troca de serragem nas gaiolas esperava-se o aumento de valores devido à proximidade das gaiolas ao sensor e a sua devida manipulação e, posteriormente, uma estabilização de valores mais baixos provenientes da limpeza das gaiolas e do tempo de acomodação dos particulados na sala.



Figura 26: Gráfico de concentração de amônia no primeiro teste

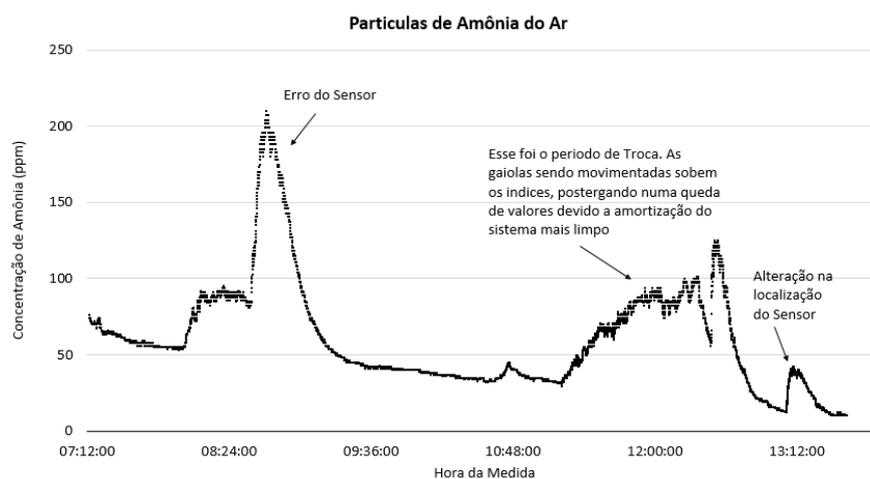


Figura 27: Gráfico de concentração de amônia após as melhorias

Fonte: Autor

Antes da melhoria o sensor de amônia havia sido calibrado com base em um circuito divisor de tensão apenas, ou seja, sem levar em conta a necessidade de equacionar a resposta

elétrica desse sistema para converter o valor em uma concentração em ppm, por acreditar que o modulo já respondia o valor convertido. Através de uma revisão bibliográfica sobre o assunto, um outro método matemático (Equação 3.6) foi desenvolvido para melhor representar os valores. O resultado disso foi um sensor que respondia bem melhor ao gás amoníaco e, ao invés de se manter constante ao longo do tempo, teve variações boas que indicaram um funcionamento melhor do sistema, mesmo que este tenha apresentado erros em alguns pontos.

O sensor DHT11, responsável pela aquisição de dados de temperatura e umidade relativa do ar, se mostrou eficiente, visto que manteve os valores dentro de uma faixa esperada (Figuras 28 e 29).

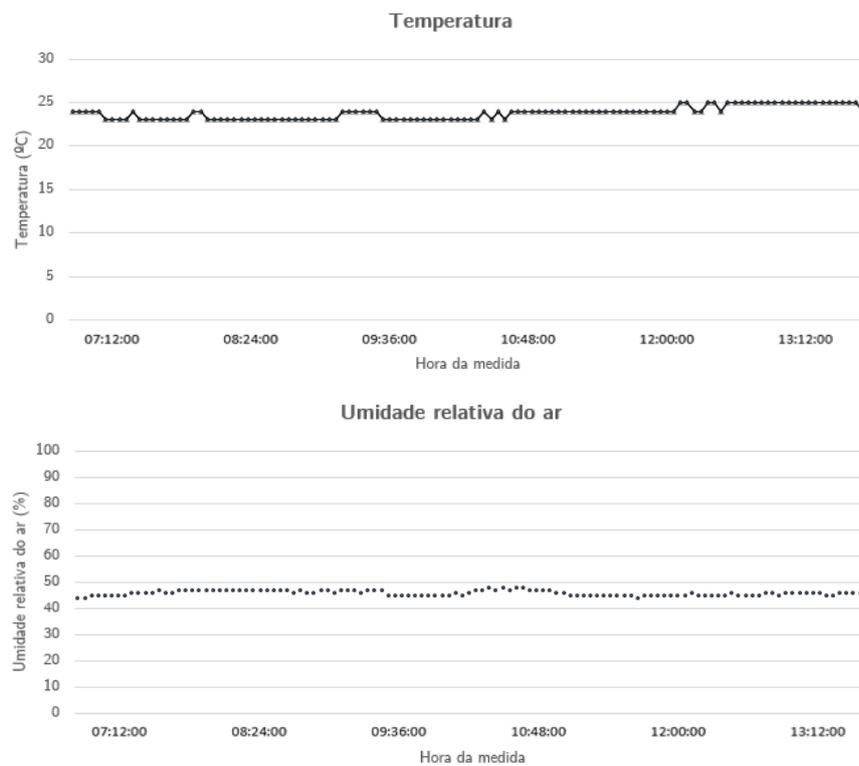


Figura 28: Gráfico de temperatura e umidade no primeiro teste

Fonte: Autor

O sistema para essas variáveis é bastante estável e, essa estabilidade, se deve ao fato também de que as salas do CCA possuem climatizadores e circuladores de ar. No novo sistema as variações estavam dentro de uma faixa de valores desejável, bem como os valores no sistema antigo, porém a influencia de calor dos outros sensores foi amenizada com um novo design para a placa, alocando os sensores mais afastados uns dos outros. Vale lembrar que o sistema de climatização não está conectado ao sistema proposto neste trabalho, logo eles atuam de maneira isolada um do outro.

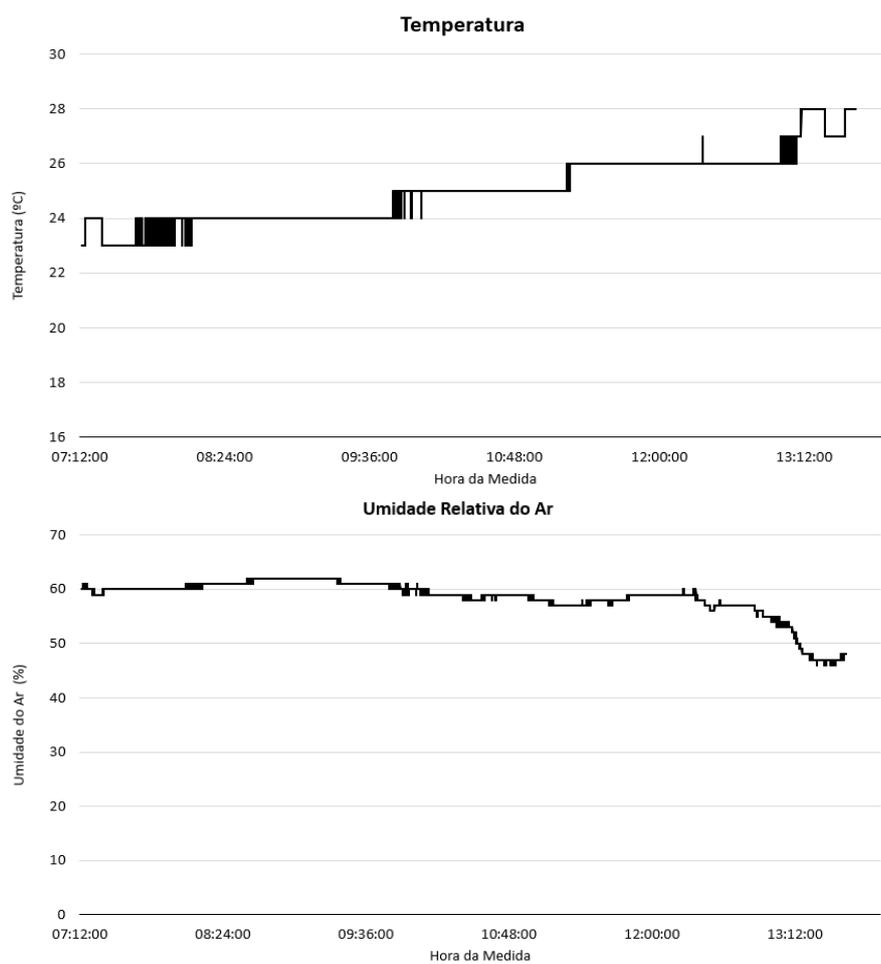


Figura 29: Gráfico de temperatura e umidade após as melhorias

Fonte: Autor

## 5 Conclusão

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de parâmetros do ambiente para biotérios. O projeto se mostrou eficiente quanto a aquisição e transmissão de dados para o software. No entanto, algumas leituras foram inesperadas e devem ser corrigidas para minimizar os erros e aumentar, ainda mais, a performance do sistema. A adição de filtros para ruídos na rede elétrica é uma das técnicas que pode ser aplicada para sanar problemas nos valores atípicos dos sensores.

O projeto foi elogiado pelos bioteristas, se mostrando uma nova ferramenta de monitoramento de baixo custo com grande potencial de aplicação nos biotérios e criadouros de animais. Comparado ao atual sistema instalado no biotério, o sistema desenvolvido neste trabalho possui uma gama maior de valores e a possibilidade de gerar relatórios mais completos e com menos suscetibilidade à perda de dados por falha de rede por ser um sistema que roda independente de acesso a internet.

Como sugestões para trabalhos futuros pode ser desenvolvido um aprimoramento da imunidade do sistema a ruídos eletromagnéticos, com o objetivo de melhorar os resultados de medição dos sensores de amônia e luminosidade, e integrar ao sistema à possibilidade de controlar a iluminação e a climatização do biotério, com o objetivo de racionalizar o uso da energia e garantir o conforto adequado aos animais.

## Referências

- BAÊTA, F. da C.; SOUZA, C. de F. *Ambiência em edificações rurais: conforto animal*. [S.l.]: Ed. UFV, 2010. 11
- BRASIL. *Resolução N879, de 15 de fevereiro de 2008, Dispõe sobre o uso de animais no ensino e na pesquisa*. [S.l.], 2008. Acesso em: 25, jan, 2017. 15
- CARDOSO, T. A. de O. Considerações sobre a biossegurança em arquitetura de biotérios. *Boletim Central Panamaense Fiebre Aftosa*, 2001. v. 64, n. 67, p. 3–17, 2001. 14
- CASTRO, S. de. Sensores de umidade: Caracterização e desenvolvimento de dispositivo eletrônico. *UNIFEI*, 2011. p. 87, 2011. 21
- COUNCIL, N. R. et al. *Long-term holding of laboratory rodents*. [S.l.: s.n.], 1976. 15
- D-ROBOTICS. *Datasheet DHT11 Humidity and Temperature Sensor*. [S.l.], 2010. 21, 22
- DESHMUKH, A. D.; SHINDE, U. B. A low cost environment monitoring system using raspberry pi and arduino with zigbee. In: IEEE. *Inventive Computation Technologies (ICICT), International Conference on*. [S.l.], 2016. v. 3, p. 1–6. 17
- GHOSH, S. et al. Sensor array for manhole gas analysis. In: IEEE. *Physics and Technology of Sensors (ISPTS), 2012 1st International Symposium on*. [S.l.], 2012. p. 9–12. 31
- GIRIDHARAN, N.; KUMAR, V.; MUTHUSWAMY, V. Use of animals in scientific research. *New Delhi: Indian Council of Medical Research*, 2000. 2000. 11
- HANWEI. *Datasheet TECHNICAL DATA MQ-135 GAS SENSOR*. [S.l.], 2008. 23, 24, 31, 32
- LANG, C.; VESELL, E. Environmental and genetic factors affecting laboratory animals: impact on biomedical research. introduction. In: *Federation proceedings*. [S.l.: s.n.], 1976. v. 35, n. 5, p. 1123–1124. 15
- LUCA, R. R. D. et al. Manual para técnicos em bioterismo. In: *Manual para técnicos em bioterismo*. [S.l.]: Winner Graph, 1996. 15, 16
- MACHADO, C. *SENSORES DE GÁS – PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS*. 2011. Disponível em: <<http://www.protecaoespiratoria.com/sensores-de-gas-principios-e-tecnologias/>>. 21
- MAJEROWICZ, J. *Procedimentos de biossegurança para as novas instalações do Laboratório de Experimentação Animal (Laean) de Bio-Manguinhos. 2005. 92f*. Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Imunobiológicos)-Instituto de Tecnologia em Imunobiológicos em parceria com Instituto Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro,, 2005. 11, 12
- MAJEROWICZ, J. Boas práticas em biotérios e biossegurança. In: *Boas práticas em biotérios e biossegurança*. [S.l.]: Interciência, 2008. 16

- MCROBERTS, M. Arduino básico. *São Paulo: Novatec*, 2015. 2015. 17
- PAULA, F. J. D. et al. Supervisórios de automação. 2016. 2016. 24
- POLITI, F. A. S. et al. Caracterização de biotérios, legislação e padrões de biossegurança. *Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada*, 2009. v. 29, n. 1, p. 17–28, 2009. 12
- REGULATIONS, A. W. Animal welfare act. 2013. 2013. 15
- RUSSELL, W. M. S.; BURCH, R. L.; HUME, C. W. The principles of humane experimental technique. 1959. Methuen London, 1959. 15
- SEMICONDUCTOR, N. *Datasheet nRF24L01*. [S.l.], 2007. 24
- SILVA, K. d. Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para aquisição de dados de umidade e temperatura do ar. *Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para aquisição de dados de umidade e temperatura do ar*, 2000. 2000. 21
- SOARES, H. N. Desenvolvimento de protótipo de veículo controlado por realidade virtual. 2013. 2013. 27
- TECHNOLOGIES, S. *Datasheet Light Dependent Resistor - LDR ,model 3190*. [S.l.], 2008. 30
- THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. d. Sensores industriais: fundamentos e aplicações. *São Paulo*, 2005. v. 3, p. 32, 2005. 18, 20
- WANG, Y.; CHI, Z. System of wireless temperature and humidity monitoring based on arduino uno platform. In: IEEE. *Instrumentation & Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC), 2016 Sixth International Conference on*. [S.l.], 2016. p. 770–773. 29
- WENDLING, M. Sensores. *Universidade Estadual Paulista. São Paulo*, 2010. 2010. 20
- ZHENG, J.; JAMALIPOUR, A. *Wireless sensor networks: a networking perspective*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2009. 24, 25

# Anexos

# ANEXO A – Codigos do Arduino

## A.1 Arduino Emissor

```
/*Progam to receive the data from sensor to microcontroller
Autors: Gradimilo Candido de Jesus
Alan Kardek Rego Segundo
Ouro Preto 20/01/2017
All directs reserved */
```

```
/*This project must be feed with 5V~7V and 700mA ~1000mA*/
```

```
/** Librares and Definicions***/
#include <math.h> //biblioteca de calculos matematicos
#include "DHT.h" //biblioteca sensor de umidade
#include <SPI.h>
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"
```

```
#define pin_ldr A7
#define pin_dht A4
#define pin_noise A3
#define pin_gas A2
```

```
//Constants
```

```
#define luxEscalar 31849.30795
#define luxExp = -0.5338
#define ConsDiv 0.00488759
#define approx = 34503.7
```

```
//Resistors
```

```
#define R1 10000
#define R2 4700
```

```
//***** Global Variables*****//
//Light
int lux;
int leituraLDR , res;
double Vldr , Rldr , b , LDRconst , g , LuxCalc;

//Noise
int noise;

//Ammone
int gas;
float Rs , Vout , count , ratio , GasConc;

//DHT
DHT dht (pin_dht , DHT11);
int temperature;
int humidity;

//WIRELESS
int data [5];
//lux , temp , umid , noise , gas

RF24 radio (7 , 8);

// Define o endereco para comunicacao entre os modulos
const uint64_t pipe = 0xE8E8F0F0E1LL;

//***** Start Program*****//
void setup ()
{
  Serial . begin (9600);
  // Inicializa a comunicacao do NRF24L01
  radio . begin ();
  radio . openWritingPipe (pipe);
  delay (1000);
}

//***** EXECUTION *****//
```

```

void loop()
{
  /******Sensor de Luminosidade *****/
  leituraLDR = analogRead(pin_ldr);
  Vldr = leituraLDR*ConsDiv;
  res = 5 - Vldr;
  Rldr = Vldr/res * R1;
  lux = luxEscalar*pow(Rldr , luxExp);

  /****** SENSOR UMIDADE E TEMPERATURA DHT11 *****/
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();
  humidity = h;
  temperature = t;

  /****** SENSOR RUIDO *****/
  noise = analogRead(pin_noise)/10;

  /****** SENSOR AMONIA *****/
  count=analogRead(pin_gas);

  Vout=(count*4.88)/1024.0;
  Rs=((5.0*R1)-(R1*Vout))/Vout;
  ratio=Rs/approx;
  GasConc= 111.2*pow(ratio , -2.801);
  gas=GasConc;

  /****** SENDING DATA *****/
  data[0] = lux;
  data[1] = temperature;
  data[2] = humidity;
  data[3] = noise;
  data[4] = gas;

  bool done = radio.write(data , sizeof(data));

  if( done == true){
  Serial.println("DADO_MANDADO!!!!");
  }
}

```

```
delay(2000);  
}
```

## A.2 Arduino Receptor

```
//*****Librares and Definicions*****//  
#include <SPI.h>  
#include "nRF24L01.h"  
#include "RF24.h"  
  
//*****Global Variables*****//  
// Armazena os dados recebidos  
int data[5];  
  
// Inicializa o NRF24L01 nos pinos 9 (CE) e 10(CS)  
RF24 radio(7,8);  
  
// Define o endereco para comunicacao entre os modulos  
const uint64_t pipe = 0xE8E8F0F0E1LL;  
  
//Variaveis para recepcao  
int lux,temp,hum, noise, gas;  
//int lux, temperature, humidity, noise, gas;  
  
//*****SETUP*****//  
void setup()  
{  
// Inicializa a serial  
Serial.begin(9600);  
// Inicializa a comunicacao do NRF24L01  
radio.begin();  
delay(200);  
// Entra em modo de recepcao  
radio.openReadingPipe(0,pipe);  
radio.startListening();  
}  
  
//***** EXECUTION *****//  
void loop()
```

```
{
// Verifica sinal de radio
if (radio.available())
{
bool done = false;
while (!done)
{
done = radio.read(&data, sizeof(data));
}
//delay(10);

lux = data[0];
temp= data[1];
hum= data[2];
noise= data[3];
gas= data[4];

/***** PRINT VALUES *****/
if (lux < 10)
{
Serial.print("L:000");
Serial.print(lux);
Serial.print(":");
}
if (lux >= 10 && lux < 100)
{
Serial.print("L:00");
Serial.print(lux);
Serial.print(":");
}
if (lux >= 100 && lux < 1000)
{
Serial.print("L:0");
Serial.print(lux);
Serial.print(":");
}
if (lux > 1000)
{
Serial.print("L");
```

```
Serial.print(":");
Serial.print(9999);
Serial.print(":");
}

//TEMPERATURA

if(temp <=0)
{
Serial.print("T:000:");
}
if(temp>0 && temp <10)
{
Serial.print("T:00");
Serial.print(temp);
Serial.print(":");
}
if(temp >=10 && temp <100)
{
Serial.print("T:0");
Serial.print(temp);
Serial.print(":");
}
if(temp >=100)
{
Serial.print("T:");
Serial.print(temp);
Serial.print(":");
}

}

//NOISE
if(noise <10)
{
Serial.print("S:00");
Serial.print(noise);
Serial.print(":");
}
else if(noise >=10 && noise <100)
```

```
{
Serial.print("S:0");
Serial.print(noise);
Serial.print(":");
}
if(noise >=100 && noise <999)
{
Serial.print("S:");
Serial.print(noise);
Serial.print(":");
}

//AMONIA
if(gas >= 100)
{
Serial.print("A:");
Serial.print(gas);
Serial.print(":");
}
else if(gas >=10 && gas <=99)
{
Serial.print("A:0");
Serial.print(gas);
Serial.print(":");
} else if(gas <10){
Serial.print("A:00");
Serial.print(gas);
Serial.print(":");
} else {
Serial.print("A:000:");
}
//UMIDADE
if(hum <10){
Serial.print("U:0");
Serial.print(hum);
Serial.print(":");
}
else if(hum >=10 && hum <100){
```

```
Serial.print("U:");  
Serial.print(hum);  
Serial.print(":");  
}else  
Serial.print("U:100:");
```

```
Serial.print("\n");  
}
```

```
}
```