

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

JOÃO MATHEUS RUGERI MURDIGA

Sistema automatizado para o monitoramento de parâmetros ambientais em ensaios de  
degradação de polímeros

São Carlos  
2018



JOÃO MATHEUS RUGERI MURDIGA

Sistema automatizado para o monitoramento de parâmetros ambientais em ensaios de  
degradação de polímeros

Monografia apresentada ao Curso de  
Engenharia de Materiais e Manufatura da  
Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de  
Engenheiro de Materiais e Manufatura.

Orientadora: Prof. Dr. Marcia Cristina  
Branciforti

São Carlos  
2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da  
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

M974s Murdiga, João Matheus Rugeri  
Sistema automatizado para o monitoramento de  
parâmetros ambientais em ensaios de degradação de  
polímeros / João Matheus Rugeri Murdiga; orientadora  
Marcia Cristina Branciforti. São Carlos, 2017.

Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais e  
Manufatura) -- Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo, 2017.

1. Automação. 2. Controle. 3. Degradação. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

## FOLHA DE APROVAÇÃO

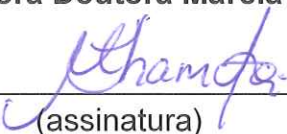
**Candidato:** João Matheus Rugeri Mudiga

**Título do TCC:** Sistema automatizado para o monitoramento de parâmetros ambientais em ensaios de degradação de polímeros

**Data de defesa:** 13/04/2018

Comissão Julgadora	Resultado
Professor Doutor Márcia Cristina Branciforti (orientador)	APROVADO
Instituição: EESC - SMM	
Professor Titular Luralice de Campos Franceschini Canale	APROVADO
Instituição: EESC - SMM	
Pesquisador Rachel Passos de Oliveira Santos	Aprovado
Instituição: USP	

Presidente da Banca: **Professora Doutora Márcia Cristina Branciforti**

  
(assinatura)



## **AGRADECIMENTOS**

A minha família, em especial aos meus pais, Marli e Mário, avós, Joana, Nelson, Luiza e Sebastião e irmã, Nicole, pelo incondicional amor, dedicação e apoio em todos os desafios.

A Prof. Dr. Márcia Cristina Branciforti, pela confiança e apoio durante a realização do estudo.

Aos amigos, Alexandre, Ana Flávia, Ana Victória, Carolina, Fábio, Felipe, Gustavo, José Eduardo, José Francisco e Raíssa, pelos fortes laços de amizades construídos nos últimos quatro anos.

Aos amigos Felipe, José Francisco e Yuri, pelo apoio nos testes, servindo como usuários finais.





## RESUMO

**MURDIGA, J. M. R. Sistema automatizado para o monitoramento de parâmetros ambientais em ensaios de degradação de polímeros.** 2018. 59p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

Para aferir as condições de degradabilidade ou resistência à degradação de materiais poliméricos, um sistema de automação para o monitoramento de parâmetros de processo avaliados durante o ensaio de degradação foi desenvolvido durante o trabalho de conclusão do curso. Os ensaios de degradação necessitam de monitoramento contínuo a fim de avaliar as condições ambientes, em especial temperatura e umidade, tanto do solo quanto do ar, em função do tempo de ensaio. Tradicionalmente, a avaliação é diária e tem sido dada pela medição direta e anotação manual dos dados. A fim de aumentar a precisão de tais medidas e auxiliar no trabalho de outros estudantes e pesquisadores, foi elaborado um sistema de monitoramento customizado, onde é possível um microcontrolador aferir a temperatura, umidade do ar e do solo, controlar possíveis aquecedores ou sistemas de resfriamento e até mesmo sistemas para a adição de umidade no volume de controle, além da medição, também é possível configurar o sistema para o envio de informações para um banco de dados em um *site*, que possibilita o acesso contínuo de qualquer lugar do planeta, desde que o responsável pelo sistema possua acesso a internet.

Palavras-Chaves: Automação. Controle. Degradação.



## ABSTRACT

MURDIGA, J. M. R. **Automatic system for monitoring environmental parameters in polymer degradation tests**. 2018. 59p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

To measure the degradation conditions or the degradation resistance of polymeric materials, an automation system for the monitoring of process parameters evaluated during the degradation test was developed during the course completion work. The degradation tests need to be continuously monitored in order to evaluate the ambient conditions, in particular temperature and humidity, both soil and air, as a function of the test time. Traditionally, the evaluation is daily and has been performed by direct measurement and manual annotation of the data. In order to increase the accuracy of such measures and to assist the work of other students and researchers, a customized monitoring system was developed, where it is possible to a microcontroller to gauge the temperature, humidity of the air and soil, control possible heaters or cooling systems and even systems for the addition of humidity in the control volume, it is also possible to configure the system for sending information to a database in a website, which allows continuous access from any place of the planet, as long as the person in charge of the system use an internet connection.

Keywords: Automation. Control. Degradation.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Placa Arduino contendo o microcontrolador ATmega 328P .....	22
Figura 2 – Placa contendo o chip W5100.....	22
Figura 3 – Chip DHT11 .....	22
Figura 4 – Placa de calibração e sensor resistivo HL-69 .....	23
Figura 5 – Sensor resistivo produzido com dois fios de cobre paralelos com 9 cm de comprimento e 1 mm de diâmetro.....	23
Figura 6 – Sensor capacitivo produzido com área exposta condutora de 25 cm <sup>2</sup> de cobre.....	23
Figura 7– Programa final utilizado no projeto, utilizando as bibliotecas do projeto Arduino e a biblioteca DHT.h.....	24
Figura 8– Gerador de Código fonte desenvolvido para o projeto. ....	25
Figura 9 – <i>Print screen</i> do sistema <i>online</i> sendo utilizado, indicando as medições obtidas.....	26
Figura 10 – Pesagem da amostra de solo em balança de precisão. ....	28
Figura 11 – Obtenção de valores através de sensores resistivos. ....	28
Figura 12– Obtenção de valores através do sensor capacitivo. ....	28
Figura 13 – Estufa AL 100/100, configurada para 110°C conforme a norma NBR 06457 – 1986.....	29
Figura 14 – Amostra seca após 24 horas na estufa.....	29
Figura 15 – Falha no sistema entre as 3:51h e 6:33h do dia 15/08/2016. ....	34
Figura 16 – Falha no sistema às 4:32 do dia 25/08/2016. ....	34
Figura 17 – Exportação de dados pelo sistema. ....	47
Figura 18 – Gerador de Códigos para o microcontrolador.....	48
Figura 19 – Programação do microcontrolador.....	49
Figura 20 – Código exportado pelo gerador de códigos. ....	51
Figura 21 – Sistema corretamente montado seguindo o código gerado.....	52

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	17
1.1 Referencial Teórico .....	18
1.1.1 Degradação Polimérica .....	18
1.1.2 Degradação Polimérica em materiais enterrados no solo .....	18
2 METODOLOGIA.....	21
2.1 Materiais .....	21
2.2 Programação do Microcontrolador.....	24
2.3 Programação do sistema online.....	25
2.4 Avaliação da temperatura e umidade do ar.....	26
2.5 Avaliação da umidade do solo.....	27
2.6 Avaliação do pH.....	30
3 RESULTADOS .....	32
3.1 Sistema do Microcontrolador .....	32
3.2 Operações básicas e comunicativas.....	33
3.3 Equipamento de medida de umidade do solo .....	35
3.4 Sensor resistivo de fios paralelos.....	39
3.5 Sensor resistivo HL-69 .....	41
3.6 Sensor capacitivo de 25 cm <sup>2</sup> .....	44
3.7 Sistema <i>Online</i> .....	45
3.8 Interação entre o usuário e o sistema .....	46
3.8.1 Sistema <i>Online</i> – Instalação .....	46
3.8.2 Sistema <i>Online</i> – Exportação de dados .....	46
3.8.3 Sistema <i>Online</i> – Geração de código.....	47
3.8.4 Microcontrolador – Programação.....	48
3.8.5 Microcontrolador – Conexões Eletrônicas .....	50
3.9 Custo total do projeto .....	53
4 CONCLUSÕES.....	55
4.1 Sugestões para Melhorias .....	55
REFERÊNCIAS.....	56
ANEXO – CÓDIGOS FONTE .....	59
Anexo A - Código Fonte do Sistema Online.....	59
Anexo B - Código Fonte do Microcontrolador .....	59







## 1 INTRODUÇÃO

Sistemas como o Arduino revolucionaram o mercado de microcontroladores, uma vez que a plataforma democratizou o acesso ao público, a plataforma possui um *hardware* acoplado contando com todos os componentes necessários para a sua programação e uso, bastando apenas o uso de um computador e de um *software* livre para o desenvolvimento de programas. Não há grandes diferenças entre um Arduino e um microcontrolador Atmega 328P. Apenas a inclusão de um sistema de gravação integrado a placa, contando com um *software* simples e de código livre, foi o suficiente para tornar a plataforma extremamente popular no mercado [1].

Além de contar com uma linguagem de fácil acesso, suas ferramentas de programação são gratuitas e o programa principal é projeto aberto, permitindo que qualquer fabricante ou usuário produza módulos a fim de adicionar funções ao Arduino. Dessa forma é possível encontrar centenas de placas, peças e sistemas preparados para o uso no Arduino sem a necessidade de leitura de *datasheets* complexos [2].

Diante dessas vantagens, o sistema ganhou força, atualmente é possível encontrar muitos produtos desenvolvidos com base na plataforma Arduino em *blogs* pessoais, revistas de empreendedorismo e até mesmo em publicações científicas [3-6].

Um processo de automação tradicional é algo caro e complexo, não sendo acessível a estudantes. O desenvolvimento de um sistema fácil de ser gerenciado, com um *hardware* de baixo custo, auxilia o estudante na tarefa de obter dados de seus ensaios, restando a função de interpretação e da produção científica, facilitando assim o seu trabalho.

O projeto em questão teve como objetivo desenvolver um sistema simples, de código aberto e gratuito, voltado à automatização do ensaio de degradação polimérica, além de fornecer uma base para a automação de outros processos laboratoriais. Somado a isso, buscou-se alternativas para a minimização do custo do equipamento, visando deixar todo o conjunto final reutilizável em vários procedimentos (ou seja, não consumível de forma irremediável no processo) e mantendo um custo inferior a R\$100,00, aproximadamente US\$30.00.

## **1.1 Referencial Teórico**

### **1.1.1 Degradação Polimérica**

Diversos fatores influenciam na degradação de materiais poliméricos, os principais são os que interferem na velocidade das reações responsáveis pela degradação dos mesmos. Alguns exemplos são: Temperatura, umidade do ar, umidade do solo, incidência de luz solar, e, outro fator muito importante é a variação dos parâmetros acima citados [7, 8].

Ao sofrer a degradação, a cadeia é despolimerizada, sendo quebrada em pedaços de massa molar inferior. Tais processos podem ser causados por agentes físicos, agentes químicos ou biológicos. É notável a perda de propriedades mecânicas e visuais, normalmente de modo irreversível e progressivo.

Os agentes físicos mais tradicionais são radiação solar, temperatura e atrito. Os agentes químicos mais comuns são a presença de água, ácidos, oxigênio, ozônio, entre outros. Os agentes biológicos mais importantes são os microorganismos, tais como fungos e bactérias. De modo geral, a degradação ocorre devido aos três agentes agindo em concomitância [9].

### **1.1.2 Degradação Polimérica em materiais enterrados no solo**

Um dos métodos utilizados para aferir as taxas de degradação, consiste em aterrar uma amostra de material polimérico, realizando monitoramentos contínuos a fim de aferir as condições do meio. Tais condições estão descritas pela norma ASTM G160-03[8].

A norma apresenta como função um método para comparar a susceptibilidade dos materiais quando expostos às condições de solo, a fim de se verificar e comparar a suscetibilidade microbiológica e as alterações possíveis no corpo de prova, tais como, manchas, perda de peso ou redução da resistência à tração ou à flexão [8].

A fim de seguir as especificações e padronizações, a norma determina o tamanho da amostra, condições ambientais do experimento, tais como temperatura, umidade e pH, além do tempo do experimento. O ensaio tem como função avaliar a redução de massa ocasionada em função da degradação do material por microorganismos presentes no solo compostado, tais como fungos e bactérias. A fim de normalizar as taxas de decomposição, deve-se efetuar

um cálculo simples de perda de massa que correlaciona os valores iniciais com os finais, como descrito pela Equação 1[8].

$$\text{Perda de massa percentual (\%)} = \frac{(M_I - M_F)}{M_I} \times 100\% \quad (1)$$

onde: MI = Massa inicial do corpo de prova; e MF = Massa final do corpo de prova



## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Materiais

Utilizou-se neste experimento um sistema baseado em um microcontrolador ATMEGA 328p, fabricado pela Atmel, Figura 1, para comandar o sistema como um todo. Para a interface online, utilizou-se o chip W5100, Figura 2, da WIZnet, para medida de temperatura e umidade foi utilizado o chip DHT11, Figura 3, da Aosong[10-12].

Para a medição da umidade do solo, foram testadas três alternativas, a primeira foi o sensor HL-69, Figura 4, um sensor para Arduino bastante conhecido e de baixo custo, tal sensor obtém medidas em valores analógicos baseadas na condutividade do meio na qual ele está inserido. Para realizar tais medições, dois conjuntos de áreas condutoras paralelas são dispostas em uma placa de fenolite, uma das áreas do sensor é a entrada (*input*) e outra é a saída (*output*), uma corrente é imposta na entrada e a mesma é medida na saída, ou seja, o sistema é semelhante a um divisor de tensão, o sensor é alimentado com 5V e com um fio de aterramento e, se a condutividade for elevada, o sensor retorna o valor máximo de uma variável de 10 bits (1023), se a condutividade for nula, o retorno é zero. Ao ser inserido no solo, a condutividade esperada vem principalmente da mobilidade iônica causada pela presença de água, dessa forma quanto mais água, maior é a condutividade [13].

A fim de testar a obtenção de valores através de sistemas resistivos, utilizou-se o sensor HL-69 e também foi elaborado um sensor próprio, Figura 5. Tal sensor foi desenvolvido através da disposição de dois fios de cobre com diâmetro de 1 mm e um tamanho fixo arbitrário, no caso foi adotado o tamanho total de 10 cm, sendo 9 cm a área exposta ao solo. A distância entre os dois fios foi fixada em 2 cm.

Uma segunda abordagem possível é a de Sistemas Capacitivos, o funcionamento de um sistema capacitivo se baseia nos conceitos de carga e descarga de capacitores. O capacitor armazena cargas elétricas e pode fornecê-las a um determinado componente eletrônico através de uma diferença de potencial, Figura 6.

As telas *touchscreen* são dispositivos conhecidos que utilizam esse sistema, a camada armazena a carga elétrica atrás da tela de contato do usuário. Quando ocorre o toque, as cargas começam a ser transferidas pelo dedo da pessoa de modo que as cargas da camada capacitiva diminuem e, com isso, através de circuitos localizados em cada canto do monitor, essa diminuição localizada é identificada e processada como posição[14, 15].

A presença de água no sistema tende a alterar o tempo de carga e descarga dos capacitores, dessa forma espera-se que a umidade do solo contribua de forma inversamente

proporcional a descarga dos capacitores. A fim de montar um sistema semelhante ao descrito, uma placa de cobre metálico, com área de 25 cm<sup>2</sup> foi preparada, na extremidade superior da placa um circuito foi elaborado com resistores, visando imitar um sistema capacitivo semelhante a dispositivos *touchscreen* e assim realizar a medição de valores de condutividade [16].

Figura 1 – Placa Arduino contendo o microcontrolador ATmega 328P [17].

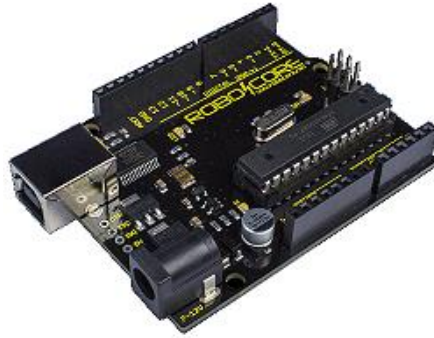


Figura 2 – Placa contendo o chip W5100 [18].

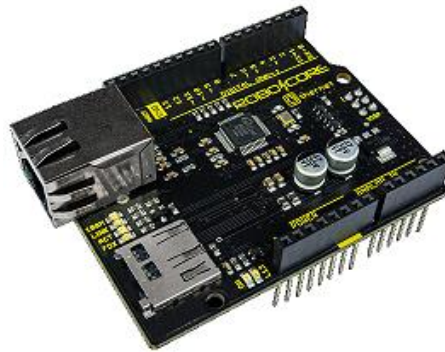


Figura 3 – Chip DHT11 [19].



Figura 4 – Placa de calibração e sensor resistivo HL-69 [20].



Figura 5 – Sensor resistivo produzido com dois fios de cobre paralelos com 9 cm de comprimento e 1 mm de diâmetro.

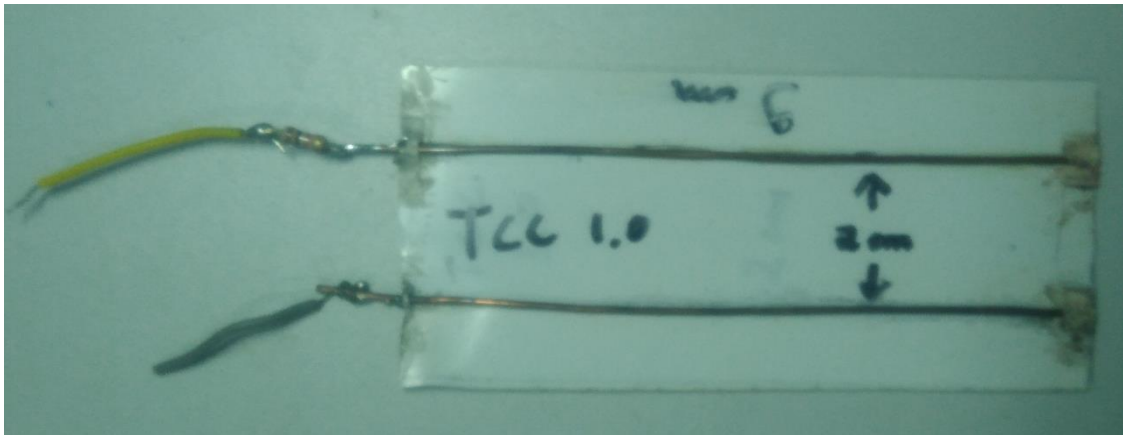
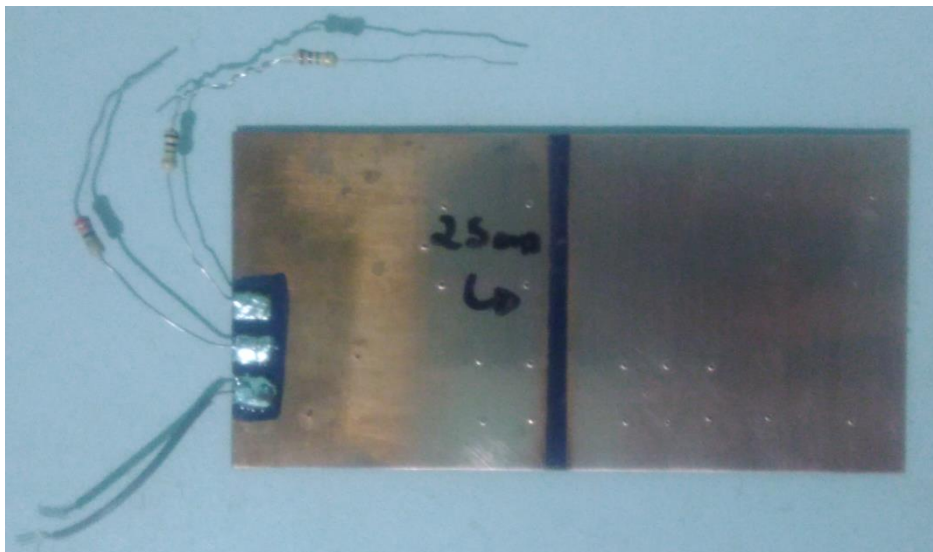


Figura 6 – Sensor capacitivo produzido com área exposta condutora de 25 cm<sup>2</sup> de cobre.



## 2.2 Programação do Microcontrolador

Para a programação do microcontrolador utilizou-se a linguagem C padrão, fazendo uso do compilador AVR-GCC e de bibliotecas de código aberto, disponíveis para projetos envolvendo o microcontrolador ATMEGA 328P executando o bootloader do Arduino. Tais bibliotecas, Figura 7, são desenvolvidas pela empresa Adafruit [21, 22].

O projeto final foi então otimizado a fim de gerar um programa executável com tamanho inferior ao do chip. Além disso, a fim de permitir que qualquer estudante ou pesquisador do laboratório produza um sistema equivalente e monitore suas atividades, foi produzido um sistema online com uma interface amigável, onde o usuário seleciona o que deseja incluir no seu projeto e o programa final é gerado. O usuário do sistema faz o *download* e compila e envia o código através da IDE oficial do Arduino, como mostrado na Figura 8.

Figura 7– Programa final utilizado no projeto, utilizando as bibliotecas do projeto Arduino e a biblioteca DHT.h

```

1  #include <DHT.h>
2  #include <Ethernet.h>
3  #include <SD.h>
4
5  byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
6  char server[] = "www.tccjoaomurdiga.esy.es";
7  IPAddress ip(192, 168, 0, 177);
8  EthernetClient client;
9
10 #define DHTPIN 2          // SENSOR PIN
11 #define DHTTYPE DHT11     // SENSOR TYPE
12 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
13
14 const int chipSelect = 4; /*SD*/
15 const int HL69Pin     = A0;
16
17 unsigned long currentMillis = 0;
18 long intervalo = 60000;
19 long previousMillis = -intervalo;
20
21 float hf = 0, tf = 0;
22 int hs = 0;
23 String data;
24 unsigned long time;
25 int val = 0;

```



Figura 8– Gerador de Código fonte desenvolvido para o projeto.

Monitoramento Laboratorial Início Ajuda Search...

Status Atual  
Tabela  
Exportar  
Gerador de Código

## Gerador de Código

☐ Enviar Informações

A cada 10 Segundos

☐ Sensor de Temperatura e Umidade

Porta do Arduíno 2

Modelo do Sensor DHT 11

### 2.3 Programação do sistema online

No desenvolvimento do sistema *online*, utilizou-se a combinação entre diversas linguagens e pacotes, visando obter uma interface agradável ao usuário, ao mesmo tempo em que fosse obtido um sistema robusto e confiável. A fim de oferecer tais características, foram adotados pacotes de grande reputação no mercado, tais como o Bootstrap e JQuery, além da programação própria do projeto, realizada com linguagens também extremamente difundidas, tais como PHP, MySQL, HTML5 e JavaScript[23, 24]. A Figura 9 mostra o *print screen* do sistema *online* sendo utilizado.

O objetivo do sistema foi o de gerar de modo automatizado um sistema que atingisse a necessidade de qualquer usuário, não ficando restrito a um único projeto de conclusão de curso, mas tornando esse um sistema com aplicação prática no auxílio da produção de conhecimento no laboratório.

A fim de facilitar o uso, foram selecionados três usuários com faixa etária compatível com os usuários do laboratório e foi requisitado que os mesmos gerassem um programa de acordo com uma especificação e fizessem o monitoramento *online* de seu projeto.

Figura 9 – *Print screen* do sistema *online* sendo utilizado, indicando as medições obtidas.

Monitoramento Laboratorial <span>Início</span> <span>Ajuda</span> <span>Search...</span>			
Status Atual Tabela Exportar Gerador de Código	Tabela		
	Data	Temperatura	Umidade do Ar
	2016-09-17 16:53:22	24 °C	33.1 %
	2016-09-17 16:52:59	24 °C	33 %
	2016-09-17 16:52:35	24 °C	33.2 %
	2016-09-17 16:52:11	24 °C	33.1 %
	2016-09-17 16:51:47	24 °C	33.5 %
	2016-09-17 16:51:24	24 °C	33.3 %
	2016-09-17 16:50:59	24 °C	33.1 %

## 2.4 Avaliação da temperatura e umidade do ar

A avaliação de temperatura foi realizada através do chip DHT11, descrito por seu próprio *datasheet*, Tabela 1, como um sensor de temperatura e umidade complexo, com saída de sinal digital calibrada [12].

O sensor apresenta em seu *datasheet* informações importantes a respeito de sua precisão, resolução, estabilidade, dentre outras medidas importantes ao experimento [12].

Tabela 1 – Informações do *datasheet* do DHT11 a respeito de seus parâmetros de medida [12, 22].

Modelo DHT11						
	Intervalo de medida	Acuracidade	Estabilidade temporal	Tempo de resposta	Resolução	Repetibilidade
Temperatura	0-50°C	± 2°C	± 1% ao ano	6-30 s	1°C	± 1°C
Umidade	20-90% de umidade relativa	± 5%	± 1% ao ano	6-15 s	1%	± 1%

## 2.5 Avaliação da umidade do solo

A umidade do solo é uma das medidas de maior importância ao estudo de degradação polimérica em materiais enterrados, mas mensurar tal valor não é simples. Alguns princípios básicos podem ser adotados a fim de se aferir a mudança na umidade do solo, o principal deles é a variação da resistência elétrica do meio condutor em função da concentração de água no solo.

Dessa forma, utilizou-se os três sensores descritos anteriormente no item materiais, visando avaliar a condutividade do meio e assim construir tabelas e equações que buscassem descrever a umidade do solo em função da resistência elétrica do meio. Buscou-se também avaliar qual é o melhor método de aferir a umidade presente no solo, se através da variação da resistência ou da capacitância, além de realizar testes durante o uso dos mesmos e encontrar possíveis falhas.

Para obter a quantidade real de água no solo, foram preparadas algumas amostras e a determinação de valores seguiu o procedimento descrito na norma NBR 06457 – 1986 [25]. Diversas amostras contendo 500 gramas de terra foram preparadas em um béquer de vidro, Figura 10. Inicialmente foram realizadas as medições de umidade, em seguida foram adicionados mais 50 gramas de água, misturaram-se bem ambas as partes, e novas medições foram realizadas. Esse procedimento foi repetido 4 vezes, até atingir 200 gramas de água. Em todas as amostras foram tomadas medidas com o sensor resistivo, Figura 11, e com o sensor capacitivo, Figura 12. Nesse procedimento foram medidas as massas através de uma balança de precisão [26].

Seguindo a norma NBR 06457 – 1986 [25], tais amostras foram deixadas destampadas na estufa a 110°C durante o período de 24 horas, Figura 13, após esse período as amostras foram removidas da estufa, novamente pesadas, Figura 14, e tiveram a sua resistividade aferida pela passagem de corrente, para assim garantir que não havia umidade presente, ou, se houvesse, não fosse detectável no experimento. Além do teste de corrente, também realizou-se a inspeção visual da amostra de terra após essa sair da estufa [26].

Figura 10 – Pesagem da amostra de solo em balança de precisão.



Figura 11 – Obtenção de valores através de sensores resistivos.



Figura 12– Obtenção de valores através do sensor capacitivo.

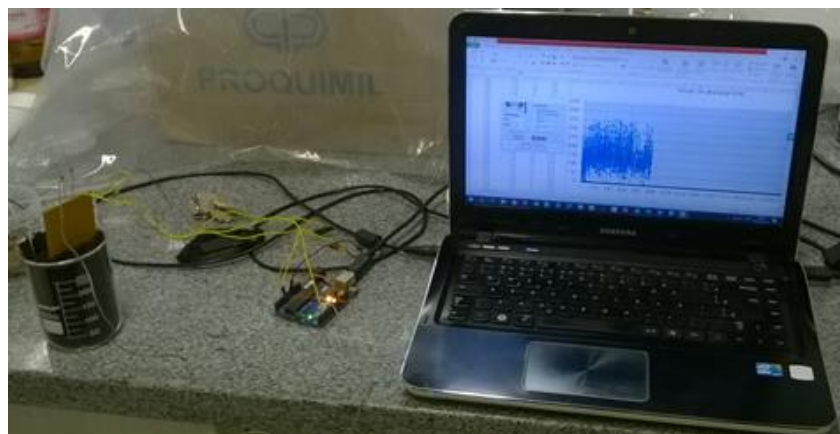
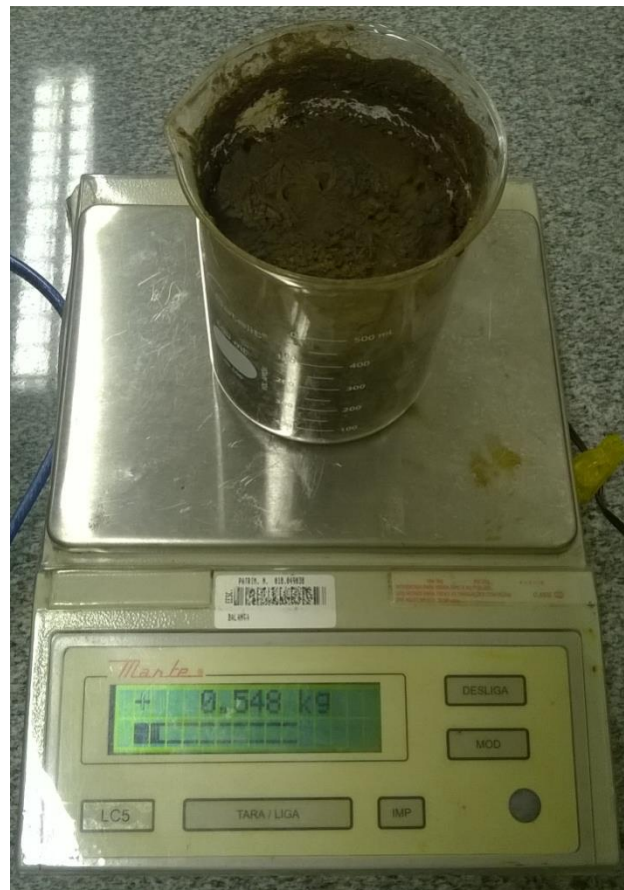


Figura 13 – Estufa AL 100/100, configurada para 110°C conforme a norma NBR 06457 – 1986 [26].



Figura 14 – Amostra seca após 24 horas na estufa.



## 2.6 Avaliação do pH

A avaliação de pH é tradicionalmente realizada por meios manuais, tais como o uso de uma fita de papel indicador. A automação do processo pode ser realizada com os eletrodos do tipo BNC, esses são eletrodos lacrados de prata e cloreto de prata e aferem o valor de pH digitalmente após a calibração do mesmo. Para a conversão dos valores lidos pela sonda, é necessário um equipamento próprio para tal utilização, ou, então, a utilização de uma placa conversora de BNC para serial, e a utilização de um microcontrolador para a realização das leituras.

A norma ASTM G160-03 [8] afirma que há a necessidade de checagem periódica do pH e correção com meios ácidos ou básicos, a fim de manter o mesmo entre 6,5 e 7,5, não especificando o intervalo médio adequado. De acordo com dados obtidos através de pesquisadores que já efetuaram os procedimentos de degradação polimérica, sabe-se experimentalmente que a variação do pH não ocorre de modo abrupto, seu controle não costuma ser realizado diariamente, de modo tradicional, a checagem é realizada semanalmente, ainda assim nota-se uma baixa variação entre os testes. Quando é necessário realizar uma correção, adiciona-se calcário ou enxofre ao solo, de modo homogêneo a fim de estabilizar o pH[8].

O custo do sistema de medição pode ser muito elevado, chegando a custar R\$250,00, enquanto todo o resto do sistema tem um custo entre R\$ 50,00 e R\$ 100,00.

Devido ao fato do ensaio ocorrer de modo menos frequente, devido a variação de valores ser baixa, e do preço ser elevado, o sistema de medição de pH foi descartado do projeto, cabendo ao pesquisador manter a tarefa semanal ou quinzenal de realizar os testes.



### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Sistema do Microcontrolador

O microcontrolador se comportou de modo eficiente durante toda a execução do projeto. Houve algumas falhas de operação, mas ficou claro que as falhas foram relacionadas à falta de energia e a falta de internet no sistema. Pode-se dizer que a eficiência do microcontrolador em realizar a medição e a tentativa de transferência de dados foi de 100%, ou seja, não houve falta de medições nem falta de tentativa de envio de dados.

Um problema verificado durante os testes é um possível *overflow*, ou seja, um estouro no valor da variável que armazena o tempo do microcontrolador e envia ao sistema *online* e dessa forma o sistema se perde na contagem do tempo uma vez a cada 49 dias e 17 horas. Uma variável de 32 bits é utilizada para representar o número de intervalos de um milissegundo entre o momento em que o microcontrolador passa a executar o programa e o momento em atual. Tal variável pode armazenar até 4.294.967.295; após 49 dias o valor é superado, assim no instante seguinte o valor retorna ao zero [26].

Ao ocorrer o *overflow* nota-se que o experimento não é prejudicado, um sistema de correção foi incluído no código do microcontrolador, mas ocorre a perda de sincronia. No instante anterior ao *overflow* o sistema executava ações de modo pré-definido, ou seja, se houve a especificação de envio de dados a cada uma hora, o sistema repetia o envio de hora em hora. Após a ocorrência do *overflow*, o microcontrolador envia outro dado.

Através da análise matemática sabe-se que o *overflow* deverá ocorrer após as 17 horas, 2 minutos e 47 segundos do 49º dia. Dessa forma o sistema envia dados novamente aproximadamente 3 minutos após o último envio, portanto, não haverá perda de informação, mas apenas uma descontinuidade.



### 3.2 Operações básicas e comunicativas

O sistema foi testado durante cerca de 9 meses, entre o início de agosto de 2016 e abril de 2017. Os testes se deram em etapas, buscando encontrar situações ideais de uso do sistema.

De início, buscou-se medir o funcionamento e nada mais, deixando o sistema programado para enviar dados a cada 10 minutos. O resultado foi satisfatório e mostrou-se funcional.

Em seguida, os testes buscaram encontrar um intervalo ideal de comunicação. Testes com cerca de um minuto de intervalo mostraram-se ineficazes, uma vez que os valores apresentavam variações não condizentes com a realidade, tais como partir de 25 °C, no minuto seguinte chegar a 26 °C, logo após voltar a 25 °C e continuar a flutuação durante vários minutos. A fim de contornar o problema, adotou-se a prática de realizar 10 leituras por vez, efetuar a média das leituras e enviar em intervalos maiores. O intervalo de 1 hora se mostrou bastante adequado, gerando dados importantes sobre a variação das condições ambientais, sem resultar em uma quantia exagerada de dados.

Por fim, com as condições finais já definidas, o sistema foi testado com rigor aplicado a fim de verificar se a comunicação entre o sistema e o servidor ocorrem de modo satisfatório, dessa forma, a cada uma hora o sistema deveria enviar dados ao servidor.

Entre os dias 06 de agosto de 2016 e 15 de agosto de 2016, houve 100% de sucesso no envio de dados, contando com 226 informações seguidas sem nenhuma falha. Após isso, houve um hiato de cerca 2 horas e 42 minutos, o retorno se deu em horários com os valores em minutos diferentes, indicando não uma falha no sistema ou na internet, mas uma falha de alimentação, certamente houve falta de energia, proposital ou acidental. Esses dados são apresentados na Figura 15.

Figura 15 – Falha no sistema entre as 3:51h e 6:33h do dia 15/08/2016.

Monitoramento Laboratorial <span>Início</span> <span>Ajuda</span> <span>Search...</span>				
Status Atual	2016-08-15 07:33:24	22.16 °C	39.16 %	0 %
Tabela	2016-08-15 06:33:25	21.62 °C	39.6 %	0 %
Exportar	2016-08-15 03:51:25	22.22 °C	39.6 %	0 %
Gerador de Código	2016-08-15 02:51:25	22.22 °C	39.04 %	0 %

Após a falha do dia 15 de agosto, houve uma segunda falha no dia 25 de agosto de 2016, onde o sistema não entregou os valores requisitados as 04:32:47, mas continuou a entregar normalmente as 05:32:47, indicando que nesse momento houve falha na internet, o que impediu o envio de dados, como mostra a Figura 16.

Figura 16 – Falha no sistema às 4:32 do dia 25/08/2016.

Monitoramento Laboratorial <span>Início</span> <span>Ajuda</span> <span>Search...</span>				
Status Atual	2016-08-25 06:32:47	21.11 °C	40 %	0 %
Tabela	2016-08-25 05:32:47	21.11 °C	40 %	0 %
Exportar	2016-08-25 03:32:47	21.11 °C	40 %	0 %
Gerador de Código	2016-08-25 02:32:47	21.11 °C	40 %	0 %

No dia 26 de agosto o sistema sofreu uma atualização, como método de teste, houve tentativas sucessivas de receber informações e alteração no intervalo do sistema, assim o tempo em que o sistema foi testado sem interrupções foi entre o dia 5 de agosto de 2016, às 23:52:03 horas e o dia 26 de agosto de 2016, às 16:32:42 horas. A diferença entre os minutos (52 minutos no primeiro caso, e 32 no segundo) se deve ao fato do sistema ter sido desligado no dia 15.

Durante tal intervalo, eram esperados 522 valores enviados pelo sistema, sendo que 519 foram recebidos com sucesso, indicando uma taxa de 99,43% de sucesso, sendo que 0,19% dos erros se deram devido à falhas no sistema e 0,38% dos erros se deram devido à falhas na rede elétrica. Esses resultados foram listados na Tabela 2.

Além disso, não foram verificados dados discrepantes, como valores de temperatura e umidade fora do esperado, tais como a temperatura atingir valores não aceitáveis ao dia, por exemplo, chegar a 50 °C e na hora seguinte voltar a valores aceitáveis, da ordem de 20 °C. Também não foi verificada medidas que não condiziam com a situação esperada de acordo com a variação do dia, tais como temperatura superior durante a noite e inferior durante o dia. Durante o período de insolação é esperado um aumento de temperatura, algo que foi notado durante o período de testes e a redução da temperatura durante o período noturno.

Tabela 2 – Informações de execução do projeto durante o período de experimento.

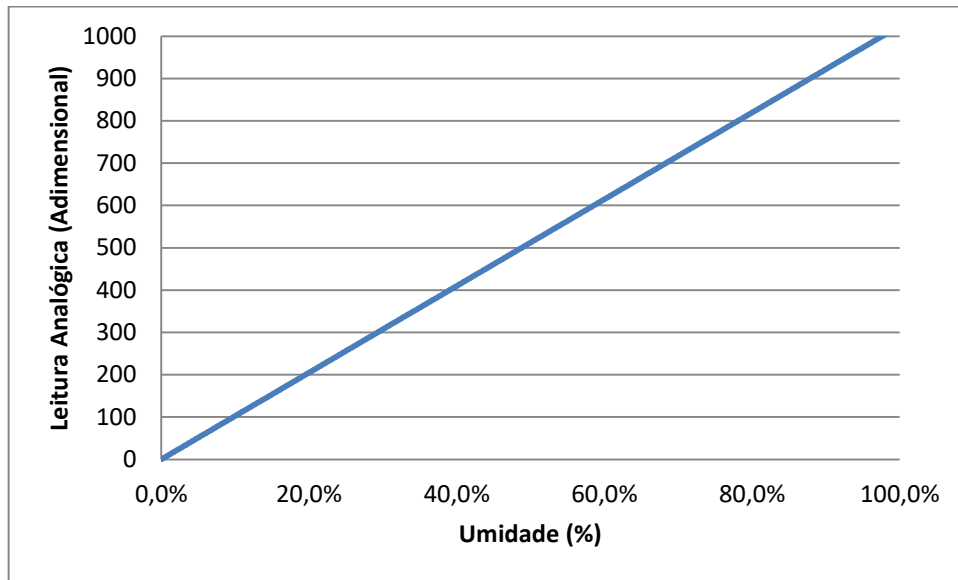
Total de valores Esperados	522	100%
Valores Obtidos	519	99,43%
Falhas no sistema	1	0,19%
Falhas de energia	2	0,38%

### 3.3 Equipamento de medida de umidade do solo

A fim de melhorar a medida de umidade do solo, uma vez que a mesma é importante e os resultados obtidos em sistemas supostamente padronizados não possuem nenhuma confiabilidade, buscou-se elaborar tabelas e gráficos correlacionando valores.

Não há *datasheet* nem informações de alta confiabilidade a respeito da relação entre a resistividade do solo e a diferença de potencial medida no sensor HL-69. É comum encontrar códigos utilizando a função MAP do arduino [1], tal função é semelhante a uma regra de três, e considera que 0% é equivalente a 0 Volts, ou 0 em valores analógicos enquanto 100% é equivalente a 5 Volts, 100% corresponde ao valor máximo representável em 10 bits de informação, 1023, ou seja  $2^{10}-1$ , assim correlacionando de forma linear as duas grandezas, conforme pode ser notado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Valores obtidos utilizando o mapeamento de pontos.



A fim de maximizar a precisão dos resultados e verificar a condutividade ou capacitância do meio, foram escolhidos pontos com umidade da terra compatíveis a condições de ambientes comuns. Dessa forma, o experimento não manteve o foco em amostras com umidade elevada, tais como uma amostra de testes contendo 200 g de terra úmida e mais 200 g de água, o que resultou em uma mistura líquida com 62% de água, algo incomum aos ensaios, a partir de cerca de 45% de água o solo passa a apresentar um comportamento muito semelhante a um líquido comum, como a água, tendo em vista a alta concentração da fase líquida.

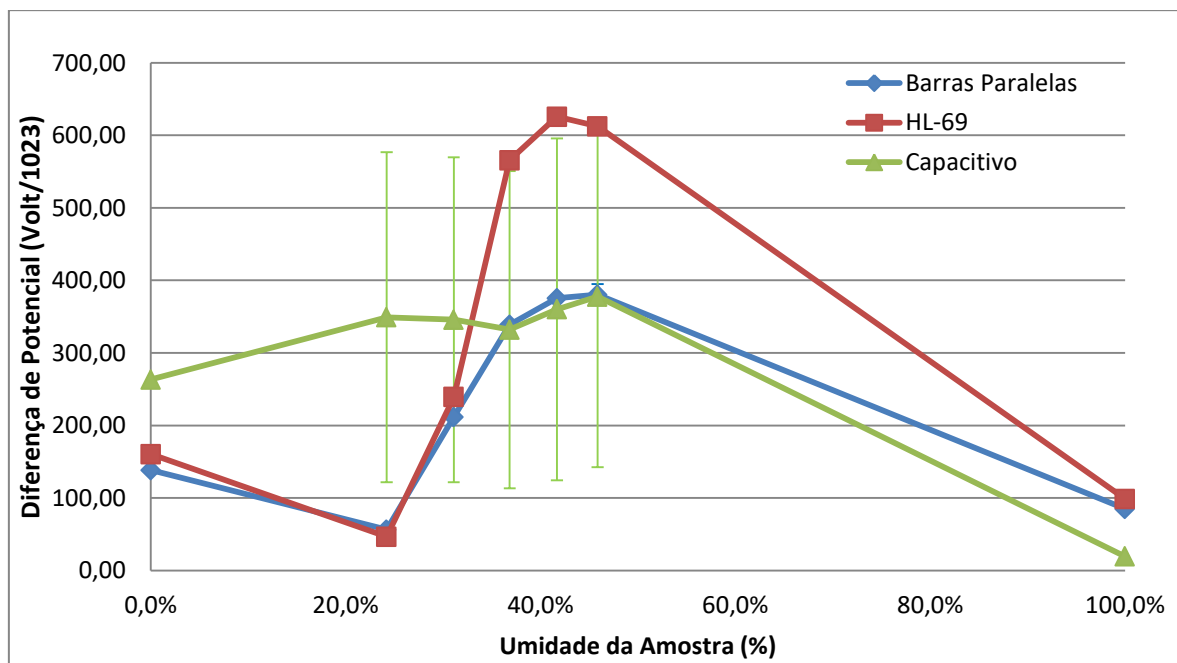
Valores entre 25% e 35% de umidade são mais factíveis, sendo esses bastante comuns a situações rotineiras, tanto ao cotidiano, quanto a ensaios de degradação polimérica, seja em solo natural ou o solo dos ensaios realizados seguindo a norma ASTM G160 2003[8].

A leitura dos sensores capacitivos segue valores analógicos, ou seja, uma leitura de 512/1023 indica aproximadamente 2,5 Volts recebidos no pino analógico. Para o sensor capacitivo a leitura indica o tempo em milissegundos necessário para a descarga do capacitor. A fim de facilitar o entendimento, os 3 conjuntos de pontos apresentados foram plotados no mesmo gráfico, muito embora não exista nenhuma correlação entre o tempo de descarga do sensor capacitivo e a medida do sensor resistivo, a plotagem em um único gráfico facilita o entendimento, como mostra o Gráfico 2.

Para a obtenção dos valores gráficos, foram tomadas 1000 medições em cada sensor, em todas as situações descritas, totalizando 21.000 medições. Após a obtenção de todos os

valores, tomou-se a média e o desvio padrão de cada valor a fim de buscar entender se é possível diferenciar as diversas concentrações de água através da análise de tais sensores.

Gráfico 2 – Valores obtidos utilizando o mapeamento de pontos.



Conforme o desvio padrão destacado no Gráfico2, é possível notar, que os desvios padrões obtidos com o sensor HL-69 foram tão baixos, que estão encobertos com os pontos dessa série. Para o sensor de barras paralelas, é possível ver a barra de desvio padrão para o valor de 45,9%, indicando que para esse valor em específico houve uma variação relativamente elevada. O mesmo procedimento indicou a enorme variação encontrada no sensor capacitivo. Além do mesmo possuir leituras muito próximas e sem padrão definido para valores entre 24,2% e 45,9% de umidade, o desvio padrão também é muito elevado, indicando uma impossibilidade de se utilizar esse tipo de sensor para medir a umidade da terra no ensaio em questão.

É importante salientar que o cobre apresentou corrosão durante os testes, principalmente em testes excessivos, onde se buscou medir a umidade do solo inúmeras vezes por minuto, mantendo a corrente fluindo durante muito tempo seguido. A corrosão se deu de modo diferente nos dois fios, devido à proteção anódica, um dos fios apresentou aumento no brilho, indicando a falta de oxidação, enquanto o cabo paralelo a esse, sofreu corrosão acentuada em decorrência do mesmo agir como o cátodo do sistema [27].

Felizmente o processo de corrosão é demorado, é visível que houve a formação de pequenas manchas que aparentavam ser pits de corrosão, mas durante a preparação para fotografar o sensor, o mesmo foi lixado a fim de remover levemente a camada superior com uma esponja de aço. Com a remoção da camada superior as manchas encontradas no sensor também sumiram, levando à conclusão de que não eram profundas, apenas superficiais. Dessa forma não foi possível afirmar que o sensor HL-69 sofre de corrosão severa em um espaço de tempo inferior a 30 dias.

Nota-se também que o sensor capacitivo aparenta não ser adequado para a medição, uma vez que nos intervalos mais críticos, o mesmo não apresentou boa capacidade de discernir suas medidas em função da porcentagem de água presente na mistura.

### 3.4 Sensor resistivo de fios paralelos

O sensor resistivo de fios paralelos foi testado em todas as condições de umidade, adotando 1000 medições com um intervalo de 50 milissegundos entre cada tomada de valor. A fim de se verificar a distribuição e o comportamento dos valores, os histogramas de todas as medições de umidade foram plotados, conforme pode ser visto nos Gráficos 3-8.

Gráfico 3 – Histograma da amostra seca [379g de Terra; 0% de umidade] utilizando o sensor de fios paralelos.

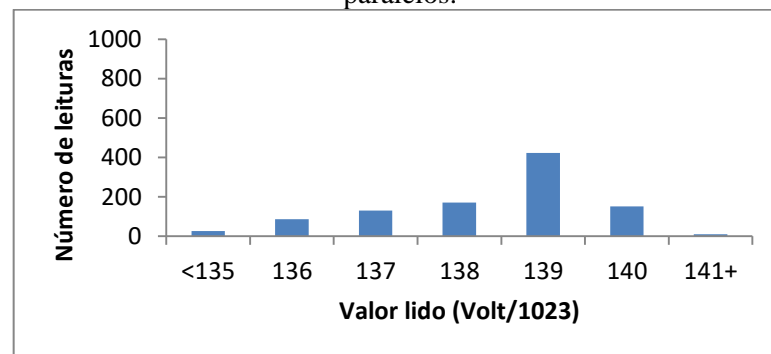


Gráfico 4 – Histograma da amostra 1 [500g de Terra; 24,2% de umidade] utilizando o sensor de fios paralelos.

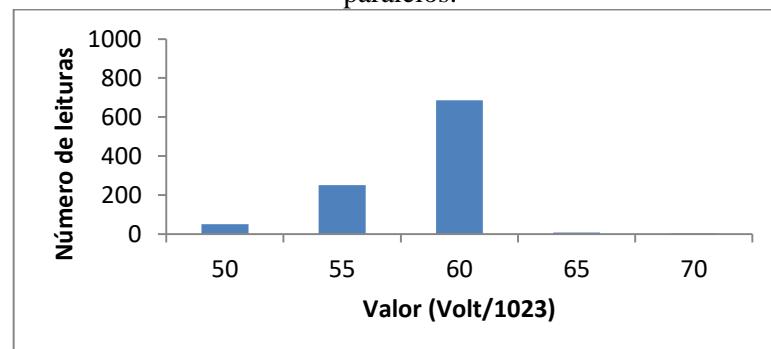


Gráfico 5 – Histograma da amostra 2 [500g de Terra + 50g de Água; 31,1% de umidade] utilizando o sensor de fios paralelos.

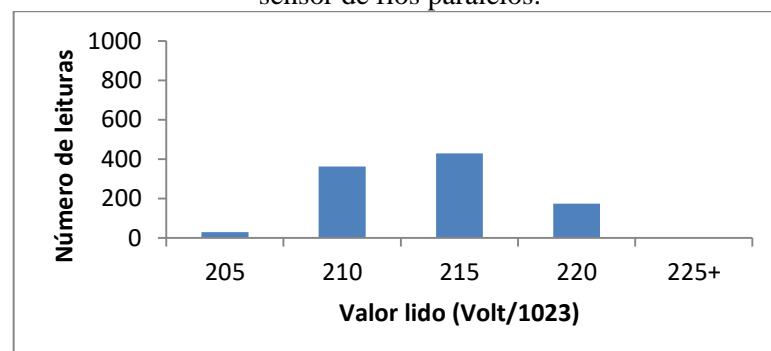


Gráfico 6 – Histograma da amostra 3 [500g de Terra + 100g de Água; 36,8% de umidade] utilizando o sensor de fios paralelos.

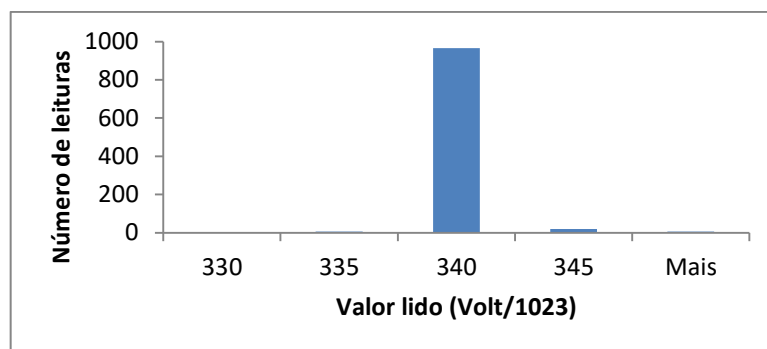


Gráfico 7 – Histograma da amostra 4 [500g de Terra + 150g de Água; 41,7% de umidade] utilizando o sensor de fios paralelos.

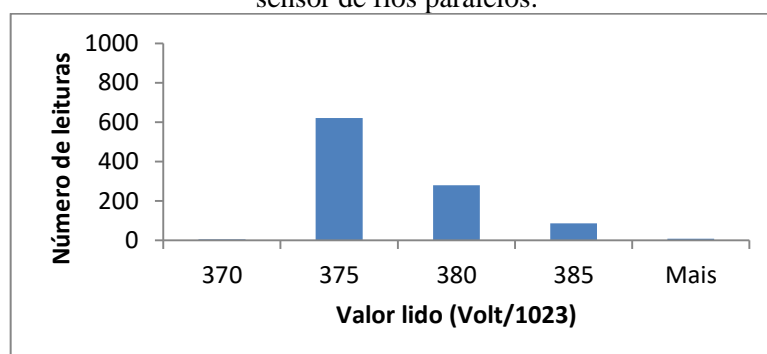
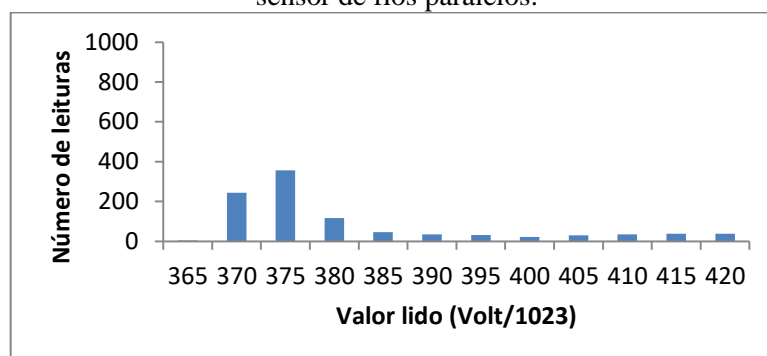


Gráfico 8 – Histograma da amostra 5 [500g de Terra + 200g de Água; 45,9% de umidade] utilizando o sensor de fios paralelos.



Dos histogramas, pode-se notar que há uma distinção de valores, aumentando a condutividade conforme o teor de água na amostra também se eleva. Além disso, fica claro que para algumas amostras, como a amostra 5, a faixa de leitura apresentou uma grande variação. Para realizar a diferenciação dessa amostra e da amostra 4, é necessário adotar a média dos valores de leitura, não apenas um valor individual, sendo necessário realizar o aumento de precisão através da repetição de leituras.

A fim de se obter o valor correspondente a umidade, baseado em uma série de leituras analógicas, a curva em questão foi limitada entre aproximadamente 25% e 45% de umidades, valores factíveis a ensaios e ao cotidiano. Após a limitação, buscou-se uma equação de

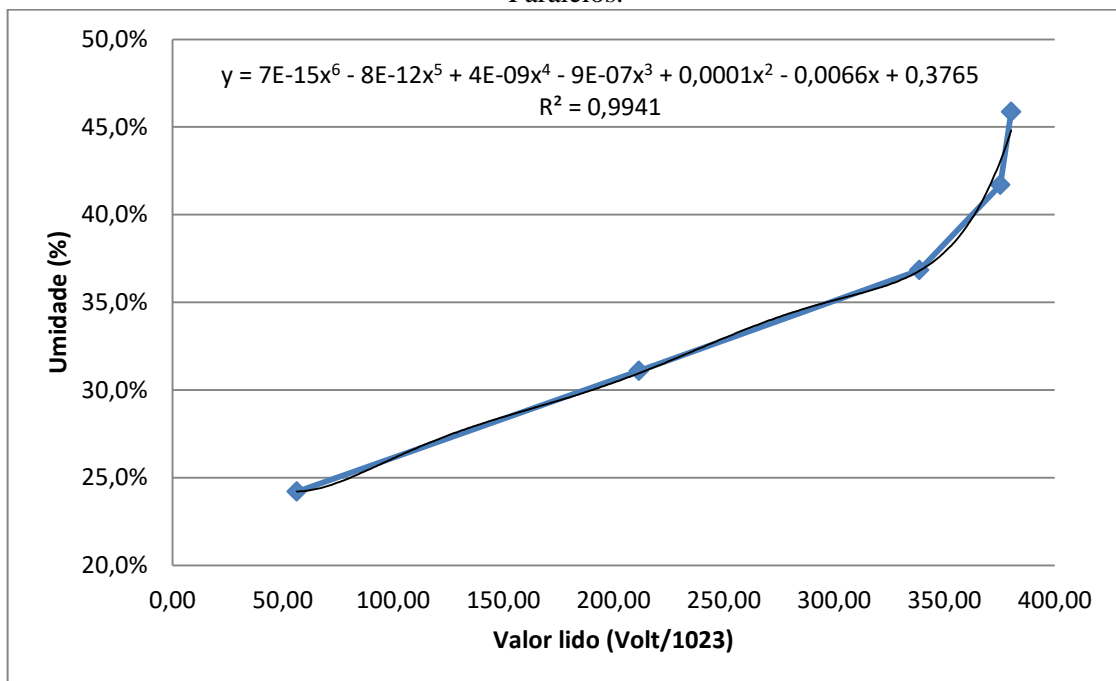


cálculo fácil (em termos computacionais) correlacionando tais valores, como pode ser visto no Gráfico 9. Uma boa correlação foi encontrada ao aproximar a curva por um polinômio de sexto grau, Equação 2, a qual estabelece uma relação entre leitura analógica (x) e umidade do solo (y).

$$y = 7E-15x^6 - 8E-12x^5 + 4E-09x^4 - 9E-07x^3 + 0,0001x^2 - 0,0066x + 0,3765 \quad (2)$$

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para tal intervalo foi bastante elevado, 0,9941, ou seja, para 99,41% dos pontos variáveis são explicados pela regressão [29].

Gráfico 9 – Correlação entre a umidade e a leitura de diferença de potencial para o Sensor de Fios Paralelos.



### 3.5 Sensor resistivo HL-69

O sensor resistivo do tipo HL-69 apresentou-se adequado para medições de umidade do solo. O mesmo apresentou variações de medida aceitáveis, além de uma variação crescente na diferença de potencial lida em função da umidade na faixa entre 25% e 42%, uma faixa que inclui praticamente todos os ensaios realizados no laboratório.

Esse sensor foi testado em todas as condições de umidade, adotando 1000 medições com um intervalo de 50 milissegundos entre cada tomada de valor. A fim de se verificar a distribuição e o comportamento dos valores, os histogramas de todas as medições de umidade foram plotados, conforme pode ser visto nos Gráficos 10-15.

Gráfico 10 – Histograma da amostra seca [379g de Terra; 0% de umidade] utilizando o sensor HL-69.

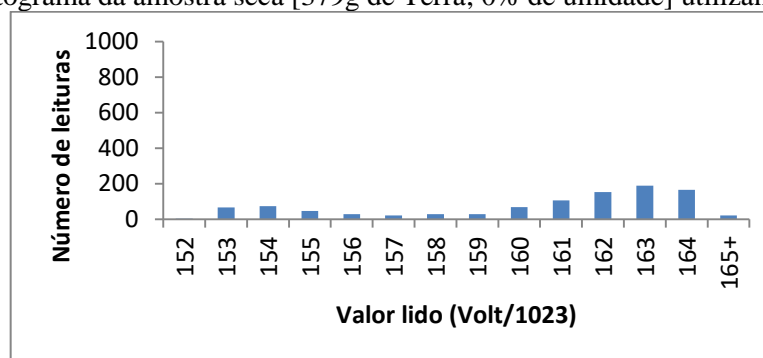


Gráfico 11 – Histograma da amostra 1 [500g de Terra; 24,2% de umidade] utilizando o sensor HL-69.

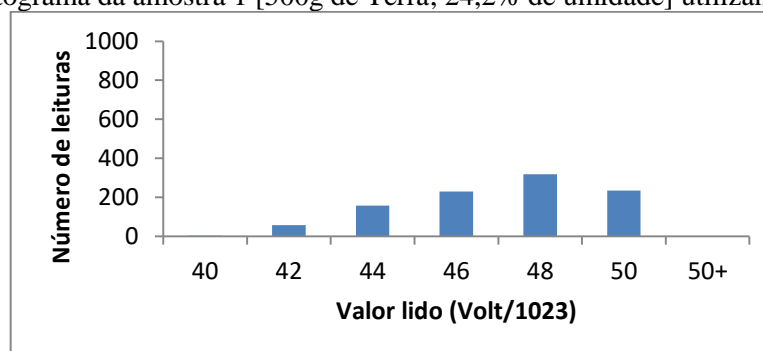


Gráfico 12 – Histograma da amostra 2 [500g de Terra + 50g de Água; 31,1% de umidade] HL-69.

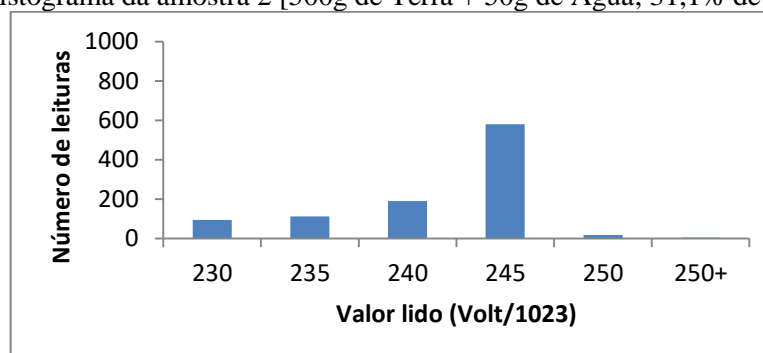


Gráfico 13 – Histograma da amostra 3 [500g de Terra + 100g de Água; 36,8% de umidade] utilizando o sensor HL-69.

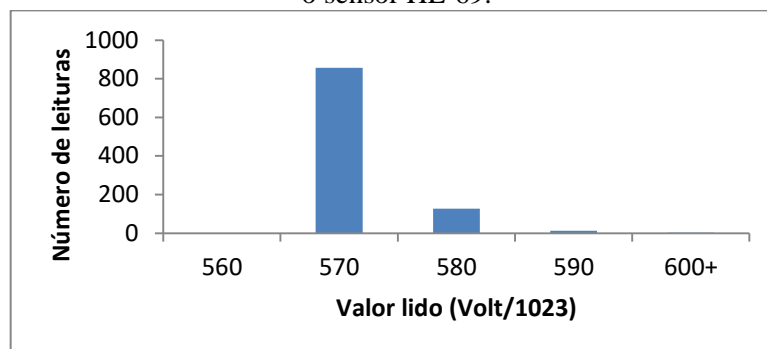


Gráfico 14 – Histograma da amostra 4 [500g de Terra + 150g de Água; 41,7% de umidade] utilizando o sensor HL-69.

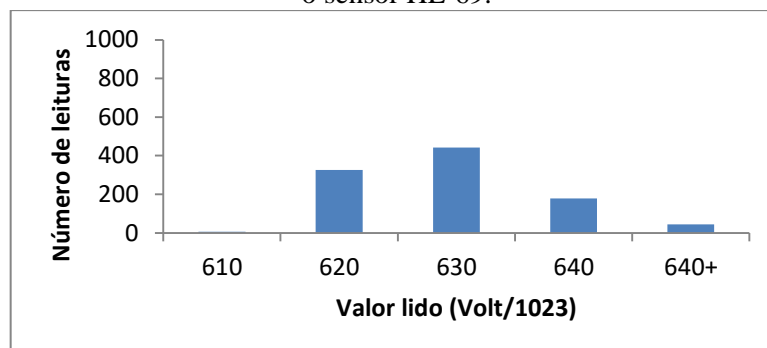
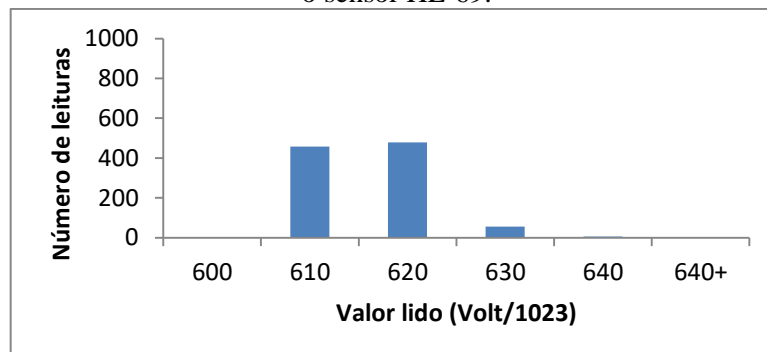


Gráfico 15 – Histograma da amostra 5 [500g de Terra + 200g de Água; 45,9% de umidade] utilizando o sensor HL-69.



Através dos histogramas, pode-se notar que, assim como no sensor resistivo de fios paralelos, há uma distinção de valores, aumentando a condutividade conforme o teor de água na amostra também se eleva, mas nota-se que houve um limite em 41,7% de umidade, após esse ponto, houve uma redução na condutividade.

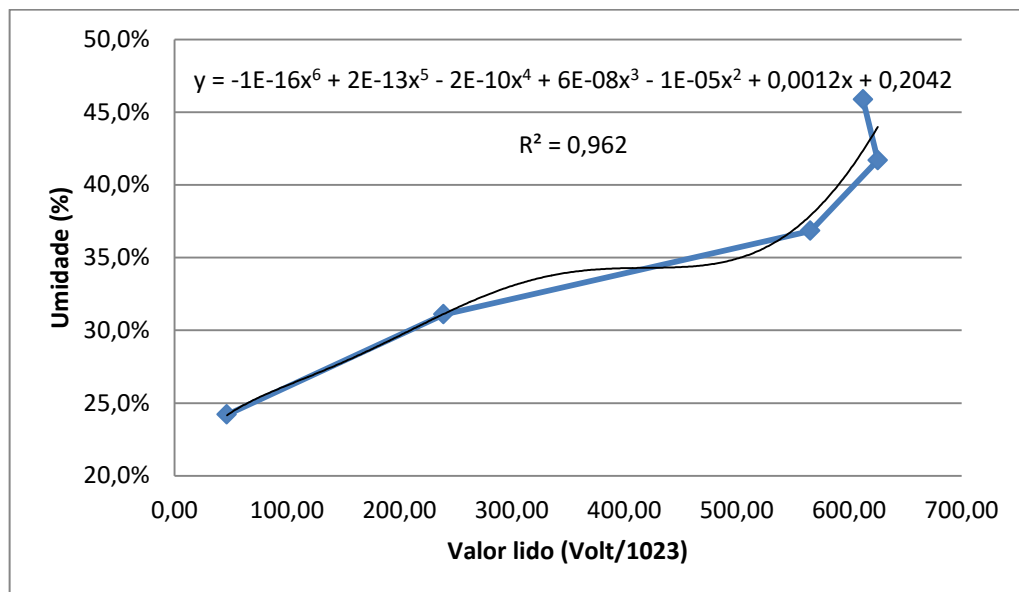
A fim de se obter o valor correspondente a umidade, baseado em uma série de leituras analógicas, a curva em questão foi limitada entre aproximadamente 25% e 45% de umidades, assim como no exemplo anterior. Após a limitação, buscou-se uma equação de cálculo fácil

(em termos computacionais) correlacionando tais valores, como indicado no Gráfico 16. Uma boa correlação foi encontrada ao aproximar a curva por um polinômio de sexto grau, como mostra a Equação 3, a qual relaciona a leitura analógica (x) e umidade do solo (y).

$$y = -1E-16x^6 + 2E-13x^5 - 2E-10x^4 + 6E-08x^3 - 1E-05x^2 + 0,0012x + 0,2042 \quad (3)$$

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para tal intervalo foi bastante elevado, 0,962 [29].

Gráfico 16 – Correlação entre a umidade e a leitura de diferença de potencial para o Sensor HL-69.



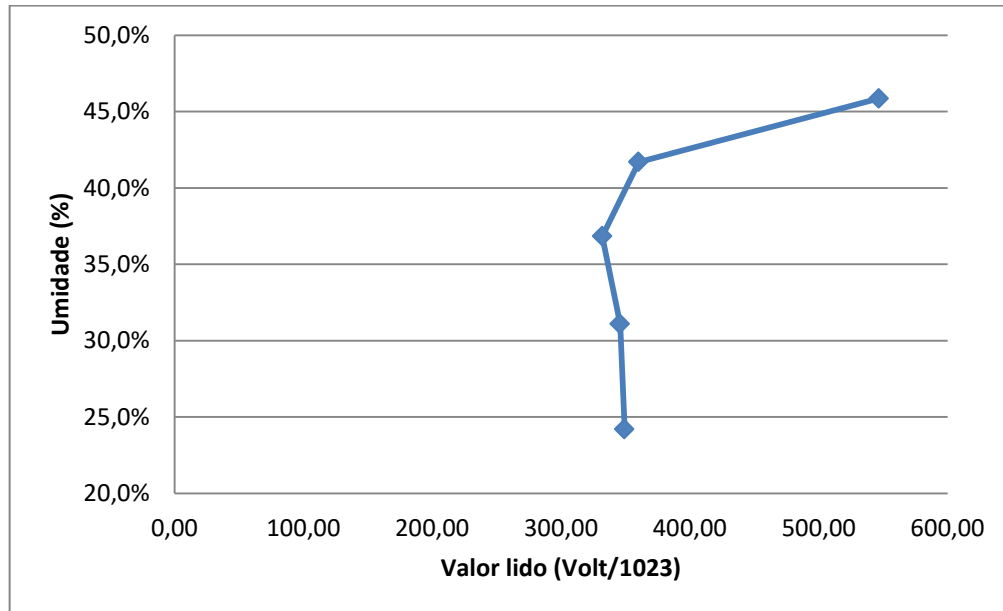
### 3.6 Sensor capacitivo de 25 cm²

O sensor capacitivo com 25 cm² de área livre para condução foi testado em todas as condições de umidade, adotando 1000 medições com um intervalo de 50 milissegundos entre cada ciclo de carga e descarga de capacitor.

O sensor capacitivo não se apresentou adequado para medições de umidade do solo. O mesmo não apresentou um comportamento variável em função da umidade; as medidas foram praticamente constantes, Gráfico 17. As variações não permitiram discernir corretamente os

pontos, dessa forma não há propósito em produzir histogramas, uma vez que de todo o modo é impossível utilizar o sensor para o propósito de medir a umidade do solo.

Gráfico 17 – Correlação entre a umidade e a leitura de diferença de potencial para o Sensor Capacitivo com 25 cm<sup>2</sup>.



Devido ao gráfico em questão não representar uma função, não foi possível, nem necessário, gerar uma linha de tendência polinomial.

### 3.7 Sistema *Online*

O sistema *online* se mostrou robusto e funcional, aceitando dados de modo contínuo. O gerador de código, que também opera de modo *online*, também se mostrou adequado ao uso, não gerando códigos com problemas com *warnings* e *errors*, que inviabilizariam a compilação do código e permitindo qualquer usuário usar o sistema, mesmo sem conhecimento de programação.

### 3.8 Interação entre o usuário e o sistema

A fim de se verificar a usabilidade de tal sistema, foi requisitado para 3 estudantes que os mesmos utilizassem o sistema e atribuísssem uma avaliação de desempenho, tais estudantes são do curso de Engenharia de Materiais e Manufatura da USP de São Carlos.

#### 3.8.1 Sistema *Online* – Instalação

De início é necessário efetuar a instalação do sistema em uma plataforma de hospedagem, conforme o tutorial explicitado no site. Os 3 usuários do sistema deveriam seguir o procedimento descrito para instalar e poder usufruir do sistema. Notou-se que não houve grandes dificuldades, embora o processo seja trabalhoso e não trivial a alguém que nunca hospedou ou publicou um site, qualquer estudante que segue o tutorial é capaz de instalar com sucesso a plataforma.

A instalação ocorre através da hospedagem e configuração do banco de dados em um sistema de *host*, seja ele local (*localhost*) ou via servidor externo. Para o tutorial em questão foi escolhido o uso de servidor externo, tendo em vista que existem excelentes alternativas gratuitas para esse fim. Para o uso em servidor local, é necessário possuir um computador ligado 24 horas por dia para manter o funcionamento do site e do banco de dados.

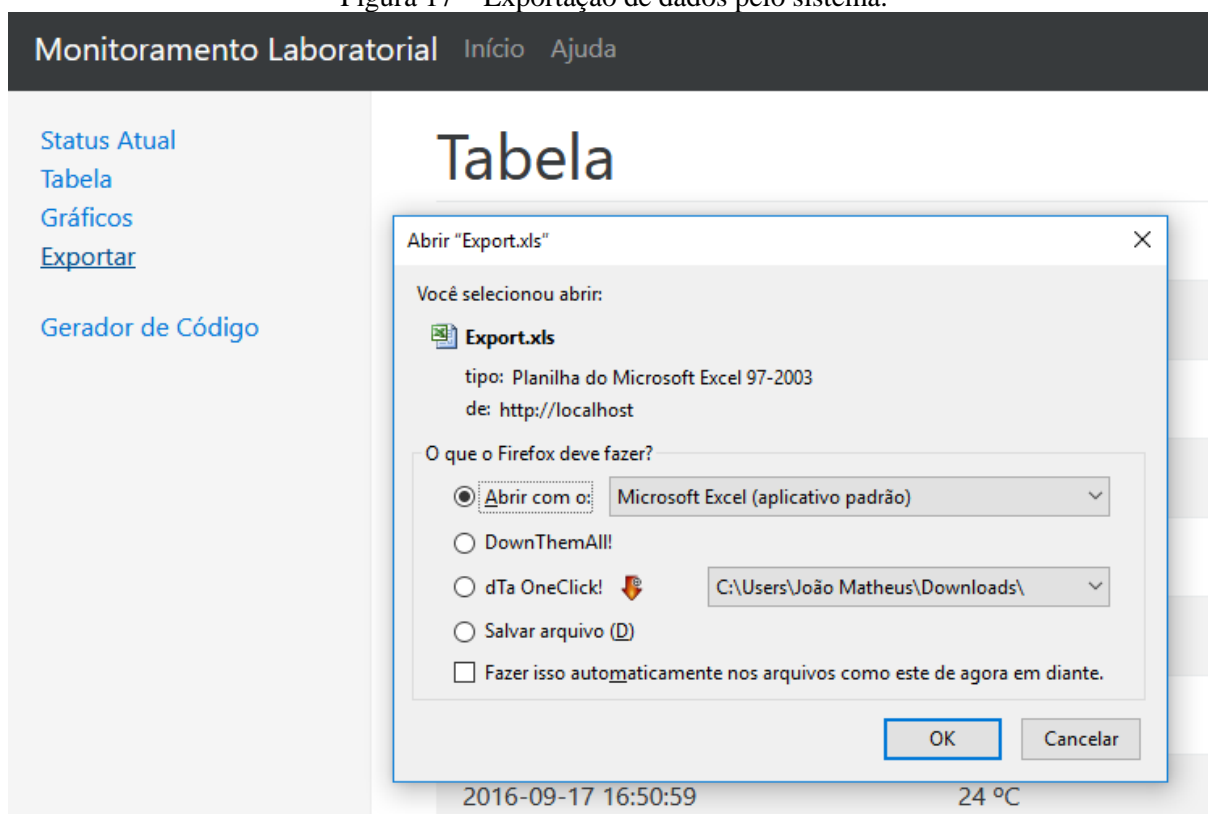
O tutorial completo encontra-se disponível em anexo aos arquivos do sistema *online*, que pode ser obtido através de download no portal GitHub.

#### 3.8.2 Sistema *Online* – Exportação de dados

Após a configuração do sistema e a captura de alguns valores, é possível exportar os dados em um formato aceito por editores de planilhas, tais como o Microsoft Excel e o Open Office Calc.

A exportação é simples, bastando o clique em um único botão, o sistema foi programado visando realizar toda a parte de exportação automaticamente. Não houve nenhuma dificuldade dos usuários em exportar os dados para os softwares comuns ao mercado, Figura 17.

Figura 17 – Exportação de dados pelo sistema.



### 3.8.3 Sistema Online – Geração de código

O gerador de código funcionou de modo satisfatório, exportando o código completo já preparado para as necessidades do usuário. Não houve dificuldades no uso do sistema de geração, tendo em vista que o mesmo foi preparado visando a fácil utilização por qualquer pessoa. Com apenas alguns cliques em caixas de seleção e botões, é possível gerar o código completo sem conhecimento nenhum em linguagem C, Figura 18.

Embora o sistema de geração de códigos tenha funcionado perfeitamente, não é recomendado que o mesmo seja utilizado, vale pontuar que o autor do trabalho nunca viu nenhum tipo de sistema semelhante, e tendo em vista que sintaxe de programação é algo extremamente delicado, é provável que algumas exceções não foram tratadas adequadamente na geração do código, embora diversas situações tenham sido testadas e os códigos gerados foram compilados corretamente, há riscos de comportamento inesperado. Portanto, recomenda-se que sejam utilizados os códigos de exemplo já fornecidos.

Figura 18 – Gerador de Códigos para o microcontrolador.

Monitoramento Laboratorial Início Ajuda Search...

Status Atual  
Tabela  
Exportar  
Gerador de Código

## Gerador de Código

☐ Enviar Informações

A cada 10 Segundos

☐ Sensor de Temperatura e Umidade

Porta do Arduino 2

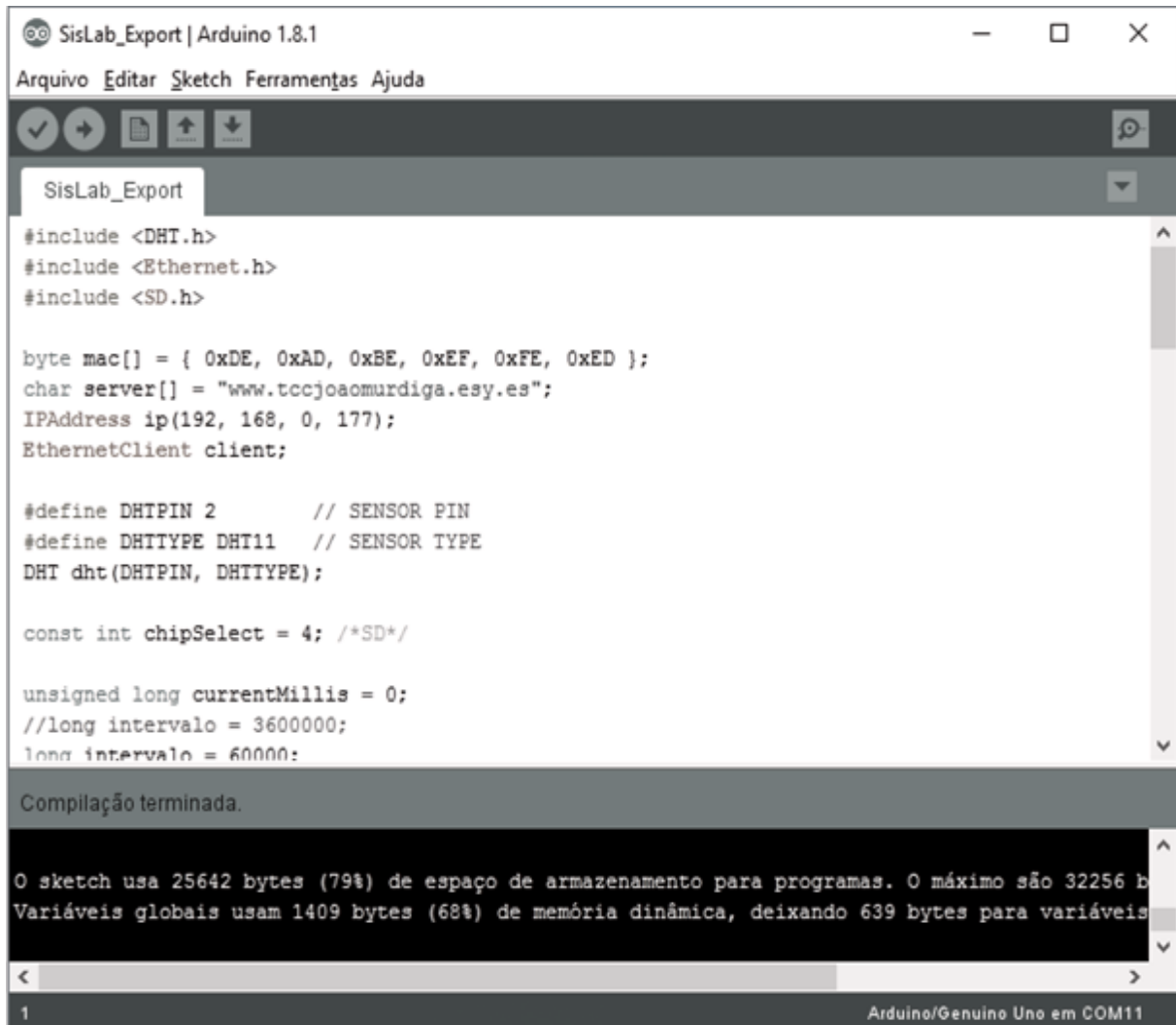
Modelo do Sensor DHT 11

### 3.8.4 Microcontrolador – Programação

Após a geração do código, é necessário enviar os arquivos ao microcontrolador, o processo também foi muito bem explicado no sistema *online*, e o código exportado pelo sistema já está completamente preparado para o envio ao microcontrolador, tal procedimento pode ser executado facilmente com um único clique, todos os usuários não encontraram dificuldades em sua execução, Figura 19.



Figura 19 – Programação do microcontrolador.



### 3.8.5 Microcontrolador – Conexões Eletrônicas

As conexões eletrônicas necessárias ao projeto são detalhadas após a exportação do código, a família de placas Arduino é voltada para pessoas com baixo conhecimento em eletrônica, possuindo indicações numéricas e conectores simples, visando facilitar a conexão feita pelo usuário, sem a necessidade de leitura do *datasheet*, nem a aplicação de processos de soldagem.

Essa foi a parte do procedimento mais difícil, embora a complexidade da instalação do sistema seja muito superior, o domínio do uso de equipamentos eletrônicos pelas gerações atuais facilita o processo. Mas notou-se uma dificuldade dos usuários do sistema em relação aos assuntos relacionados à eletrônica, embora o conceito de resistor seja dominado, o conceito de um resistor de *pull-down* não era conhecido por nenhum dos 3 usuários, ficando evidente que uma simples descrição do procedimento não basta, é necessário uma explicação detalhada do procedimento a ser executado.

Uma falha não prevista, mas encontrada durante o processo de testes com usuários reais, foi o de conexão de pinos errados, foi informado ao aluno que era necessário conectar o cabo de dados ao pino 2 do Arduino, o mesmo conectou ao pino analógico 2 (A2) e não ao pino digital 2 (conhecido somente como 2).

Devido às dificuldades encontradas, além da especificação das conexões, também foi adicionado um tipo de auxílio gráfico no gerador de código fonte, indicando onde deveria ser conectado cada tipo de sensor, como mostrado na Figura 20.

Após a geração de tais figuras, um dos alunos foi orientado a seguir o esquema detalhado no código gerado, Figura 21, obtendo sucesso na conexão do sistema eletrônico.

Figura 20 – Código exportado pelo gerador de códigos.

```

+-----+
+-----+ | USB | +-----+
+-----+ |
[ ] |
GND[ ] |
13[ ] |
12[ ] |
11[ ] |
10[ ] |
9[ ] |
8[ ] |
7[ ] |
6[ ] |
5[ ] |
4[H] |
3[ ] |
2[D] |
1[ ] |
0[ ] |
\
Onde: A - Pino de 5 Volts do DHT
      B - Pino Terra do DHT
      D - Pino de dados do DHT
      R - Resistor (Pull-down) para o HL-69
      H - Um dos pinos do HL-69 (não importando qual)
      H - Um dos pinos do HL-69 (não importando qual)

```

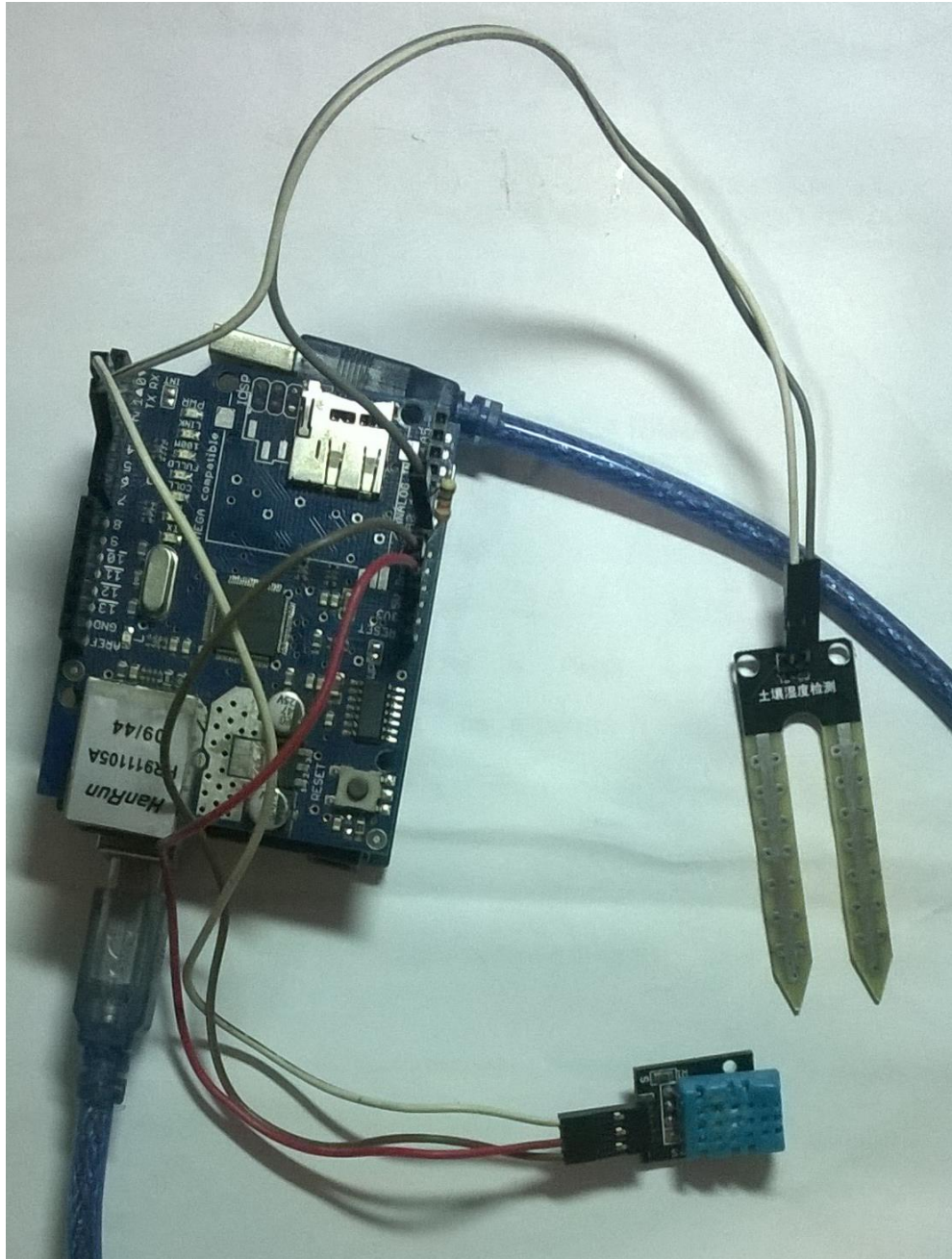
```

#include <DHT.h>
#include <Ethernet.h>
#include <SD.h>

byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
char server[] = "www.tccjoaomurdiga.esy.es";
IPAddress ip(192, 168, 0, 177);
EthernetClient client;

```

Figura 21 – Sistema corretamente montado seguindo o código gerado.



### 3.9 Custo total do projeto

O projeto visou fornecer um sistema voltado aos padrões aceitáveis ao mercado brasileiro, não devendo custar mais do que R\$ 100,00.

A fim de garantir a acessibilidade ao projeto, foram utilizados softwares gratuitos e de livre acesso ao público nas plataformas Linux, Windows e Mac Os. Além disso, o sistema online está disponível para o *download* gratuito.

Para a produção completa do sistema foi elaborada uma lista mínima, Tabela 3, de produtos a serem comprados, seguido de uma lista padrão, Tabela 4, a fim de facilitar as conexões, simplificar e dar robustez ao projeto. A lista mínima toma por base as peças de menor custo, excluindo produtos que podem ser facilmente encontrados sem uso em residências ou mesmo na universidade, tais como fios comuns ou cabos ethernet. A lista completa inclui todos os custos, incluindo cabos, fios mais adequados para a conexão no Arduino, fontes de boa qualidade, entre outros, além de dois módulos adicionais, um relê, útil para controlar aquecedores e um emissor de luz infravermelha, para controlar equipamentos como aparelhos de ar condicionado. Vale destacar que um sistema de controle térmico não foi incluído no projeto, e o código fonte final não inclui esse tipo de situação, mas se houver a necessidade de um controle mais rigoroso é possível utilizar o mesmo projeto com algumas adaptações.

As buscas de preços foram realizadas em sites de grande visibilidade, após a análise de diversas lojas, a loja padrão escolhida foi a “CasadoArduino”, devido ao fato de ser uma das maiores lojas do Brasil no que se refere a placas de Arduino, a mesma é classificada como loja Gold no portal Mercado Livre [30].

Tabela 3 – Custo total do projeto mínimo.

Lista Mínima	
Produto	Preço (R\$)
Arduino Uno	29,99
Sensor DHT11	6,99
Sensor HL-69	5,49
Módulo Ethernet ENC28J60	17,99
Total	<b>R\$60,46</b>

Tabela 4 – Custo total do projeto recomendado.

Lista Padrão	
Produto	Preço (R\$)
Arduino Uno	29,99
Sensor DHT11	6,99
Sensor HL-69	5,49
Módulo Ethernet W5100	44,99
Fonte 12V 1A	15,99
Cabo Ethernet	4,99
Módulo de relê	6,49
Emissor de IR	4,99
Total	<b>R\$ 119,92</b>

A lista mínima permite ao usuário a produção de um sistema equivalente, permitindo a gravação e regravação do *software* ilimitadas vezes, utilização por longos períodos, mas é necessário realizar algumas observações. O módulo ENC28J60 realiza as mesmas atividades do W5100, mas há uma complicação maior em sua configuração tendo em vista a falta de uma biblioteca padrão para módulos Ethernet e o projeto ter sido efetuado com o W5100. Para o sensor DHT11, é necessário realizar a soldagem a fios comuns e ligar os fios ao Arduino, tendo em vista que o sensor especificado não é um módulo pronto, mas um sensor comum. Também é necessário pontuar que, para que a lista padrão possa oferecer o funcionamento completo, é necessário ao usuário possuir um cabo ethernet, além de um meio de alimentação, seja ele um carregador de celular, qualquer objeto com saída no padrão USB, ou mesmo uma fonte comum de tomada com saída entre 9 e 24 volts e ao menos 500 miliamperes.

A lista padrão inclui, além do básico necessário para o funcionamento, o cabo ethernet, uma fonte 12 volts para a alimentação independente do USB, além de módulos de relê e um emissor de infravermelho, permitindo controlar o aquecimento através de uma resistência e resfriar o ambiente por meio de ar condicionado.

## 4 CONCLUSÕES

O sistema se mostrou eficaz na sua função proposta, superando as expectativas. A taxa de falhas na primeira versão foi inferior a 0,6% quando considerado um intervalo de 1 hora. No caso da anotação manual realizada pelo pesquisador, de modo geral os dados são coletados apenas uma vez por dia, desprezando as variações climáticas diárias.

Com o projeto fica claro que há a necessidade de introduzir o estudo de automação ao curso de Engenharia de Materiais, muitas das tarefas realizadas durante as pesquisas no departamento dependem da execução de atividades repetitivas, tomando o tempo do pesquisador em atividades menos importantes do que a análise de resultados.

### 4.1 Sugestões para Melhorias

Notavelmente houve uma falha durante o experimento, embora essa falha tenha afetado menos de 0,6% dos resultados, ela pode se mostrar relevante em análises mais importantes. Dessa forma, uma possibilidade é a inclusão de um chip de memória EEPROM ao circuito, tal chip seria o responsável por armazenar dados das últimas medições, ao detectar a falha de envio o microcontrolador ficaria responsável por armazenar os dados e tentar reenviar posteriormente. Também seria possível a inclusão de um sistema de alimentação externo, tal como uma bateria.

Tal ação não foi implementada no projeto atual, tendo em vista que tais falhas não foram notadas durante a execução do experimento, sendo perceptíveis apenas durante a elaboração dos resultados. Tendo em vista que a internet da USP é confiável e o servidor foi hospedado em *hosts* que garantem a conexão com a internet de modo perene, não é de se estranhar que as falhas foram raras e esporádicas. O usuário final pode incluir um sistema de armazenamento temporário via EEPROM, tal sistema está parcialmente implementado, sendo bastante simples executar as funções de leitura e gravação, mas não houve o desenvolvimento de uma lógica operacional para a execução dessas funções.

## REFERÊNCIAS

- [1] DOCUMENTAÇÃO oficial do projeto Arduino. Disponível em:<<https://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno#documentation>>. Acesso em: 1abr. 2017.
- [2] Maker Shed magazine: O'Reilly media 2011/2012. [S.l.:s.n.], 2012.
- [3] PROJETOS em Arduino. Disponível em:<<http://blog.filipeflop.com/arduino/>>. Acesso em: 1 abr. 2017.
- [4] SINCAK, C. H.; DILDA, V.; LERMEN, R. Projeto, construção e funcionamento de uma máquina CNC com plataforma livre arduino. **Revista de Empreendedorismo, Inovação e Tecnologia**, v.3, n.2, p.67-76, 2016.
- [5] PORTERO, R.; RIOS, A. Photovoltaic lighting system with intelligent control based on zigbee and arduino. **International Journal of Renewable Energy Research**, v.7, n.1, p.224-233, 2017.
- [6] MISHRA, M.; JAISWAL, V. Development of dissolved gas analyser for transformer oil using nano gas sensor and arduino. **International Journal of Control Theory and Applications**, v.9, n.41, p.219-226, 2016.
- [7] DAVIS, A.; SIMS, D. **Weathering of polymers**. London: Applied Science, 1983.
- [8] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **G160/2003**: Standard practice for evaluating microbial susceptibility of nonmetallic materials by laboratory soil burial. Philadelphia, 2003.
- [9] VIANA, H., ANTUNES, R. **Degradação de polímeros**. Santo André: Centro Universitário Fundação Santo André, Notas de aula, 2012.
- [10] 8-BIT AVR microcontrollers ATmega328P datasheet complete. Disponível em:<[http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf)>. Acesso em: 1 abr. 2017.
- [11] W5100datasheet: version 1.1.6. Korea: WIZnet, 2008. Disponível em:<[https://www.sparkfun.com/datasheets/DevTools/Arduino/W5100\\_Datasheet\\_v1\\_1\\_6.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/DevTools/Arduino/W5100_Datasheet_v1_1_6.pdf)>. Acesso em: 1 abr. 2017.
- [12] DHT11 humidity & temperature sensor: drobotics UK (www.droboticsonline.com).2010.Disponível em:<<http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>>. Acesso em: 1 abr. 2017.
- [13] INSTRUMENTAÇÃO e técnicas de medida. Rio de Janeiro: UFRJ, Cap 7. Apostila, 2013.



- [14] SILVEIRA, C. B.; LOPES, G. C. Sensor capacitivo : o que é e como funciona?. 2016. Disponível em:<<https://www.citisystems.com.br/sensor-capacitivo/>>. Acesso em: 1 abr. 2017.
- [15] PROJECTED capacitive technology. Touch Technology Brief. Methuen: 2M Touch Systems, 2011. Apostila. Disponível em: <<http://multimedia.3m.com/mws/media/788463O/tech-brief-projected-capacitive-technology.pdf>>. Acesso em: 1 abr. 2017.
- [16] BADGER, P. Documentação oficial do projeto arduino. Disponível em:<<https://www.playground.arduino.cc/Main/CapacitiveSensor>>. Acesso em: 1 abr. 2017.
- [17] Black Board Uno R3 – Placas Arduino – RoboCore. Disponível em: <<https://www.robocore.net/loja/produtos/arduino-blackboard.html>>. Acesso em: 18 mar. 2018.
- [18] Arduino Shield Ethernet W5100. Disponível em: <<https://www.robocore.net/loja/produtos/arduino-shield-ethernet-w5500.html>>. Acesso em: 18 mar. 2017.
- [19] SENSOR de umidade e temperatura DHT11. Disponível em: <<http://www.filipeflop.com/pd-6b8f7-sensor-de-umidade-e-temperatura-dht11.html>>. Acesso em: 1 abr. 2017.
- [20] SENSORES produino LM 393 sensor de umidade do solo/módulo de detecção de solo para arduino. Disponível em: <<http://www.dx.com/pt/p/produino-290154>>. Acesso em: 1 abr. 2017.
- [21] ARDUINO. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/reference/libraries>>. Acesso em: 1 abr. 2017.
- [22] ADAFRUIT/DHT11 – sensor - library. Disponível em: <<https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>>. Acesso em: 1 abr. 2017.
- [23] BOOTSTRAP Docs: twitter bootstrap documentation archive. Disponível em: <<https://bootstrapdocs.com/>>. Acesso em: 1 abr. 2017.
- [24] JQUERY API. Disponível em: <<https://api.jquery.com/>>. Acesso em: 1 abr. 2017.
- [25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457/1986**: Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- [26] TAHIR, M.; JAVED, K.ARM microprocessor systems: cortex-m architecture, programming, and interfacing. New York: CRC Press, Cap. 2.2.3, 2017.
- [27] RIGGS JR., O. L. et al. Anodic protection: theory and practice in the prevention of corrosion. New York: Plenum Press, 1981.

- [28] FRITZEN LAB: conteúdo sobre eletrônica e sistemas embarcados. Disponível em: <<http://fritzenlab.com.br/>>. Acesso em: 3 maio 2017.
- [29] COEFFICIENT of determination. Disponível em: <<http://www.chegg.com/homework-help/definitions/coefficient-of-determination-31>>. Acesso em: 3 maio 2017.
- [30] CASA do arduino. Disponível em: <<http://www.casadoarduino.com/>>. Acesso em: 21 jan. 2018.

## **ANEXO – CÓDIGOS FONTE**

### **Anexo A - Código Fonte do Sistema Online**

O sistema *online* é gerado através da combinação de vários arquivos, a obtenção do mesmo, já configurado para ser executado em um servidor, pode ser feita através de um *link* de *download* do portal ‘sourceforge.com’, uma plataforma gratuita visando a disseminação do trabalho em grupo no desenvolvimento e publicação de softwares.

Soma-se a isso o fato do sistema ser inteiramente de código aberto, garantindo o acesso gratuito a qualquer usuário, e também o direito de produzir atualizações e melhorias no sistema, dessa forma, a plataforma SourceForge se mostrou adequada ao armazenamento do código, tendo em vista que o sistema é bastante difundido e de fácil acesso.

Qualquer usuário pode fazer o download do programa em conjunto com a página da internet no site: <https://sourceforge.net/projects/tcc-joao-murdiga/files/latest/download>

### **Anexo B - Código Fonte do Microcontrolador**

O sistema do microcontrolador é o cérebro por detrás de todos os processos, sua obtenção pode ocorrer de duas formas, o sistema online foi preparado justamente para gerar os códigos para o microcontrolador. Outra alternativa é utilizar-se do código pronto, o mesmo contém a base comum a todos os projetos, não incluindo funções mais avançadas, mas é funcional e adequado para atividades mais simples.

Qualquer usuário pode fazer o download do programa em conjunto com a página da internet no site: <https://sourceforge.net/projects/tcc-joao-murdiga/files/latest/download>