



---

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU  
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**EDUARDO NOGUEIRA DOS SANTOS**

**CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE SISTEMA  
ELETROMECAÂNICO UTILIZADO EM LISÍMETRO DE  
PESAGEM**

**EDUARDO NOGUEIRA DOS SANTOS**

**CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE SISTEMA  
ELETROMECHANICO UTILIZADO EM LISÍMETRO DE  
PESAGEM**

Dissertação apresentada à Universidade de Cuiabá-  
UNIC, como requisito parcial para a obtenção do título  
de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Alves Pereira

**CUIABÁ – MATO GROSSO**  
Agosto de 2020

**Dados internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca UNIC**

---

S237c

SANTOS, Eduardo Nogueira dos

Construção e calibração de sistema eletromecânico utilizado em lisímetro de pesagem. / Eduardo Nogueira dos Santos - Cuiabá MT, 2020

59 p.: il

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ensino de stricto sensu, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais área e concentração em Ciências Ambientais. Universidade de Cuiabá - UNIC, 2020

Orientador: Prof.º Dr.º Osvaldo Alves Pereira

1. Arduino. 2. Lisímetro. 3. Evapotranspiração. 4. Recursos Hídricos.

CDU: 628.1:556

---

Terezinha de Jesus de Melo Fonseca - CRB1/3261

**Eduardo Nogueira dos Santos**

**CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE SISTEMA  
ELETROMECÂNICO UTILIZADO EM LISÍMETRO DE  
PESAGEM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Cuiabá - UNIC, no Mestrado em Ciências Ambientais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre conferida pela Banca Examinadora formada pelos professores:

---

Prof. Dr. Osvaldo Alves Pereira  
Orientador - Física Ambiental  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais  
Universidade de Cuiabá – UNIC

---

Prof. Dr. Victor Hugo de Moraes Danelichen  
Examinador Interno - Física Ambiental  
Programas de Pós-Graduação em Física e Ciências Ambientais  
Universidade de Cuiabá - UNIC

---

Prof. Dr. Marcelo Paes de Barros  
Examinador Externo – Física Ambiental  
Programas de Pós-Graduados em Física e Ciências Ambientais  
Universidade Federal de Mato Grosso -UFMT

Cuiabá, 10 de agosto de 2020.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais Maria Neide Nogueira e Emílio Nogueira (in memoriam) pelo apoio em seguir a caminhada na vida e incentivar-me a continuar sempre nos momentos mais difíceis. A eles só posso dizer meu muito obrigado e eterna gratidão.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pela vida e a oportunidade de levantar todos os dias e enfrentar e vencer os desafios impostos.

A Universidade de Cuiabá-UNIC-, Programa de Pós Graduação de Mestrado em Ciências Ambientais, por poder ampliar meus conhecimentos e todo apoio oferecido durante essa jornada.

À minha esposa Cleudes Pinheiro por seu incentivo para aceitar esse desafio apoio nas horas mais exaustivas e difíceis.

À minha filha Maria Eduarda Pinheiro Nogueira por encorajar-me a encarar a vida e dar-me força para sempre seguir adiante.

Ao meu orientador Prof. Dr. Osvaldo Alves Pereira, pela sua confiança depositada e prontidão em atender-me sempre que necessário.

Ao Prof. Dr. Carlo Ralph de Muisis pela sua valiosa atenção, dicas e colaboração no entendimento da plataforma Arduino e Linguagem C.

Ao Prof. Dr. Osvaldo Borges Pinto Júnior, coordenador do programa, pelo seu incentivo desde a primeira entrevista para admissão ao programa.

A todos os professores do PPGCA - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - UNIC, por todo apoio recebido e imensa contribuição acadêmica.

Ao amigo Noel Flávio Costa pelo seu companheirismo em todas as etapas, ajudando-me com sua vasta experiência no ramo da eletroeletrônica.

A todos aqueles que se fizeram presentes nessa caminhada, amigos, colegas, professores e funcionários da instituição pela sua imensa contribuição e dedicação.

## EPÍGRAFE

*“Há homens que lutam um dia e são bons.  
Há homens que lutam um ano e são melhores.  
Há aqueles que lutam muitos anos e são muito bons.  
Porém, há os que lutam toda a vida. Estes são os imprescindíveis.”*

*B. Brecht*

## RESUMO

SANTOS, E.N. **Construção e Calibração de Sistema Eletromecânico Utilizado em Lisímetro de Pesagem.** 2020. Dissertação. (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade de Cuiabá – UNIC. Cuiabá – MT.

A escassez de recursos hídricos no mundo é um problema que preocupa cada vez mais a humanidade. Sendo a agricultura responsável pela maior fatia do consumo de água doce, o estudo da evapotranspiração é imprescindível para o manejo de culturas. O objetivo desse trabalho foi o de desenvolver um sistema eletromecânico para a automação de lisímetros de pesagem. A plataforma de desenvolvimento é o Arduino, de baixo custo e *open source*. Composto por estrutura de aço, célula de carga e um sistema de aquisição e armazenagem de dados, o sistema possibilita avaliar a evaporação do solo ou a evapotranspiração, tendo como referência uma dada cultura. Os dados do sistema, coletados automaticamente, permitem a avaliação em conjunto com as informações de variáveis climáticas obtidas em estações meteorológicas como umidade relativa do ar, temperatura, precipitação, velocidade do vento e radiação fotossinteticamente ativa. Os resultados obtidos indicam claramente a variação de massa de amostras de solo pela evaporação da água contida conforme as variáveis do clima. Os dados podem ser obtidos em tempo real pela leitura diretamente no *display* ou pelo conjunto armazenado em cartão SD.

**Palavras-Chave:** Arduino; Lisímetro; Evapotranspiração.

## **ABSTRACT**

SANTOS, E.N. Construction and Calibration of Electromechanical System Used in Weighing Lysimeter. 2020. Dissertation. (Master in Environmental Sciences). University of Cuiabá - UNIC. Cuiabá - MT.

The scarcity of water resources in the world is a problem that worries humanity more and more. As agriculture is responsible for the largest share of freshwater consumption, the study of evapotranspiration is essential for crop management. The objective of this work was to develop an electromechanical system for the automation of weighing lysimeters. The development platform is Arduino, low cost, and open source. Composed of a steel structure, load cell and a data acquisition and storage system, the system makes it possible to evaluate soil evaporation or evapotranspiration, using a given crop as a reference. The system data, collected automatically, allows the evaluation together with the information of climatic variables obtained in meteorological stations such as relative humidity, temperature, precipitation, wind speed and photosynthetically active radiation. The results obtained clearly indicate the variation in the mass of soil samples due to the evaporation of the water contained according to the climate variables. The data can be obtained in real time by reading directly on the display or by the set stored on an SD card.

**Keywords:** Arduino; Lysimeter; Evapotranspiration.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01</b> – Lisímetro de Pesagem.....	5
<b>Figura 02</b> – Lisímetro de drenagem.....	6
<b>Figura 03</b> – Lisímetro de lençol freático.....	8
<b>Figura 04</b> – Lisímetro de Flutuação.....	8
<b>Figura 05</b> – Radiação solar anual no topo da atmosfera. 20° e 40° Norte e Sul do Equador.....	10
<b>Figura 06</b> – Efeito da velocidade do vento na evapotranspiração em condições de clima quente e seco e úmido e quente.....	12
<b>Figura 07</b> – Pressão do vapor de saturação mostrada em função da temperatura: curva $e^o (T)$ .....	16
<b>Figura 08</b> – Estação Meteorológica Automática – Campus UNIC BARÃO.....	17
<b>Figura 09</b> – Mensuração de variáveis.....	18
<b>Figura 10</b> – Representação do fluxo de dados meteorológicos.....	19
<b>Figura 11</b> – Arduino Mega 2560 R3 Atmel Mega16u2.....	21
<b>Figura 12</b> – IDE do Arduino.....	23
<b>Figura 13</b> - Vista do lisímetro de pesagem com mola.....	24
<b>Figura 14</b> - Vista da lisímetro de pesagem com guia cilíndrico.....	25
<b>Figura 15</b> - Vista do lisímetro de pesagem somente com a célula de carga.....	25
<b>Figura 16</b> - Imagem da célula de carga Líder modelo PLA 300 kg.....	26
<b>Figura 17</b> - Circuito de aquisição de dados.....	27
<b>Figura 18</b> - Fluxograma Utilizado.....	28
<b>Figura 19</b> – Procedimento de calibração das balanças.....	29
<b>Figura 20</b> – Procedimento de carregamento do código na placa Arduino.....	30
<b>Figura 21</b> – Sistema de aquisição e armazenamento de dados – Datalogger.....	31
<b>Figura 22</b> – Sistema de aquisição e armazenamento de dados – Células de Carga.....	31
<b>Figura 23</b> – Estação Meteorológica – Campus UNIC Barão.....	32
<b>Figura 24</b> – Datalogger utilizado na estação.....	32
<b>Figura 25</b> – Saldo-radiômetro NR Lite2.....	33
<b>Figura 26</b> – Anemômetro 03002-5.....	33
<b>Figura 27</b> – Termo higrômetro HC2S3-L.....	34
<b>Figura 28</b> – Amostra de solo.....	35
<b>Figura 29</b> – Variação de Massa dos Lisímetros, Temperatura, Umidade Relativa do Ar,	

Vento, Radiação e Precipitação (22 a 25/05/2020) .....	37
<b>Figura 30</b> – Variação de Massa dos Lisímetros, Temperatura e Umidade Relativa do Ar, Vento e Radiação (29/05/2020 a 01/06/2020) .....	39

## **LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 01</b> – Escalas de Temperatura .....	14
<b>Quadro 02</b> – Fatores de Calibração .....	36

## LISTA DE ABREVIações E SÍMBOLOS

<b>%</b>	Porcentagem
<b>A/D</b>	Analógico/Digital
<b>CAD</b>	Desenho Auxiliado por Computador
<b>CLP</b>	Controlador Lógico Programável
<b>CPU</b>	Unidade Central de Processamento
<b>D/A</b>	Digital/Analógico
<b>E/S</b>	Entrada e Saída
<b>EEPROM</b>	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory - Memória somente leitura programável e apagável eletronicamente
<b>EMA</b>	Estação Meteorológica Automática
<b>e<sub>s</sub></b>	Pressão de Saturação
<b>ET<sub>c</sub></b>	Evapotranspiração da Cultura
<b>ET<sub>o</sub></b>	Evapotranspiração de Referência
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization
<b>IDE</b>	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Metrologia
<b>IOT</b>	Internet das Coisas
<b>K</b>	Kelvin
<b>m</b>	Massa
<b>M</b>	Massa molecular
<b>m<sub>a</sub></b>	Massa do Ar Seco
<b>M<sub>a</sub></b>	Massa molecular do Ar Seco
<b>m<sub>v</sub></b>	Massa do Vapor D'água
<b>M<sub>v</sub></b>	Massa Molecular do Vapor D'água
<b>mV</b>	Mili Volt
<b>°C</b>	Grau Celsius
<b>°F</b>	Grau Fahrenheit
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>p</b>	Pressão

<b><math>p_a</math></b>	Pressão Parcial do Ar Seco
<b>PC</b>	Computador Pessoal
<b><math>p_v</math></b>	Pressão Parcial do Vapor D'água
<b>R</b>	Constante universal dos gases ideais
<b>RAM</b>	Memória de Acesso Randômico
<b>s</b>	Segundo
<b>SD</b>	Secure Digital – Cartão de Memória
<b>SPI</b>	Serial Peripheral Interface – Interface Periférica Serial
<b>SRAM</b>	Memórias de Acesso Aleatório
<b>T</b>	Temperatura
<b>U</b>	Umidade Relativa do Ar
<b>UFMT</b>	Universidade Federal de Mato Grosso
<b>UNIC</b>	Universidade de Cuiabá
<b>USB</b>	Universal Serial Bus – Porta Serial Universal
<b>V</b>	Volume ocupado
<b><math>\rho_a</math></b>	Massa Específica do Ar
<b><math>\rho_v</math></b>	Massa Específica do Vapor D'água
<b><math>\alpha</math></b>	Albedo
<b>Rn</b>	Radiação Líquida

## SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS.....	IX
LISTA DE ABREVIações E SÍMBOLOS .....	X
RESUMO .....	XII
ABSTRACT.....	XIII
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 OBJETIVO GERAL .....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	4
2.1 LISÍMETROS .....	4
2.1.1 LISÍMETROS DE PESAGEM .....	5
2.1.2 LISÍMETROS DE DRENAGEM .....	6
2.1.3 LISÍMETROS DE LENÇOL FREÁTICO.....	7
2.1.4 LISÍMETROS DE FLUTUAÇÃO.....	8
2.2 RADIAÇÃO.....	9
2.3 VELOCIDADE DO VENTO.....	11
2.4 TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR.....	13
2.5 SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS .....	17
2.6 ARDUINO .....	20
3. MATERIAS E MÉTODOS.....	24
3.1 ESTRUTURA DOS LISÍMETROS.....	24
3.2 INTERFACE DE AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DE DADOS.....	26
3.3 PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DOS LISÍMETROS .....	29
3.4 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO E SENSORES .....	30
3.5 AMOSTRAS DE SOLO .....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	36
5. CONCLUSÃO .....	40
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41
7. ANEXOS .....	51
7.1 CÓDIGO ARDUINO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO E ARMAZENAGEM DE DADOS.....	51
7.2 CÓDIGO ARDUINO PARA CALIBRAÇÃO DOS LISÍMETROS.....	61
7.3 ESQUEMA DE PINAGEM DO ARDUINO MEGA.....	63

## 1. INTRODUÇÃO

As civilizações tiveram o início de sua história às margens dos rios Tigres e Eufrates na Mesopotâmia e esse fato foi devido ao desenvolvimento agrícola permitido pela irrigação através da água provinda desses rios. Essenciais ao crescimento e desenvolvimento da humanidade, os recursos hídricos sempre desempenharam um papel fundamental na nossa história, seja como para geração de trabalho ou para a irrigação. É por isso que através dos tempos e mesmo com a evolução do mundo, é objeto de preocupação e estudo em todas as partes da Terra.

Sendo um setor da economia essencial para a vida humana, a agricultura é onde mais se consome água no mundo. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), aproximadamente 70% de toda a água potável disponível no planeta é utilizada para irrigação, enquanto as atividades industriais consomem 20% e o uso doméstico 10%. O consumo de água tende a crescer a uma taxa duas vezes maior do que o crescimento da população ao longo do último século. Existe uma estimativa de que esse consumo seja elevado em até 18% e 50% em 2025 em países em desenvolvidos e em desenvolvimento, respectivamente

No Brasil, o índice de consumo de água na atividade agrícola, chega a 72%, com uma área equipada para irrigação de aproximadamente 6,9 milhões de hectares (2015), podendo chegar a 10,09 milhões de hectares em 2030. Em regiões que sofrem com a escassez de água em determinados períodos do ano, como o Centro Oeste brasileiro, algumas culturas só podem ser produzidas com o uso da água complementada pela irrigação. Em 2015, a Região Centro Oeste respondia por 17% da área irrigada no território brasileiro, segundo a ANA (Agência Nacional de Águas).

A escassez de água figura como um dos principais problemas a serem enfrentados pela agricultura, principalmente em regiões semiáridas. Isso pode levar a uma produção abaixo do inesperado, o que requer uma adaptação de diferentes métodos de desenvolvimento com o intuito de otimizar o uso da água (SÁNCHEZ; APARICIO, 2015).

A necessidade hídrica de uma cultura é dada pela evapotranspiração, que é o processo de perda água do solo pela evaporação e a perda de água de uma cultura pela transpiração, simultaneamente, para a atmosfera. Para Kumar et al. (2002), a evapotranspiração é um fenômeno bastante complexo, pois depende da interação entre

diversas variáveis climáticas e do tipo e estágio de desenvolvimento da vegetação. É de suma importância o conhecimento desse processo e uma das formas utilizadas como estratégia de manejo de hídrico, é aquela baseada no monitoramento de elementos meteorológicos como radiação, temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do vento para estimar a evapotranspiração. A evapotranspiração da cultura de referência representa a evapotranspiração de uma superfície vegetada padronizada. Através do conhecimento da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), que é definida como evapotranspiração de uma cultura que cobre todo o solo, em crescimento ativo, sem restrição hídrica ou nutricional, com altura média de 0,12 m, resistência da superfície de  $70 \text{ s.m}^{-1}$  e albedo de 0,23 (ALLEN et al., 1998) e com base nos coeficientes de cultura, calcula-se a evapotranspiração de cultura,  $ET_c$ , configurando-se um procedimento de duas etapas (SEDIYAMA, 1996). A  $ET_o$  expressa o poder de evaporação da atmosfera em um local e época específicos do ano e não considera as características das culturas e os fatores do solo.

O método FAO Penman-Monteith é recomendado como o único método para determinar a  $ET_o$ , pois se aproxima da grama  $ET_o$  no local avaliado, é baseado fisicamente e incorpora explicitamente parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos. Além disso, foram desenvolvidos procedimentos para estimar parâmetros climáticos ausentes. Esse método foi recomendado por Allen et al. (1998) e embora tenham sido verificados a consistência e ótimo desempenho (JENSEN et al., 1990), a necessidade de um conjunto amplo de dados, impõe obstáculos à sua difusão e aplicação, sobretudo aos pequenos produtores, para os quais os custos de aquisição de estações meteorológicas automáticas são, ainda, impeditivos.

Dessa forma, quando uma base mais ampla de dados meteorológicos não é disponível, um método mais simples pode ser empregado para se planejar de forma sustentável o esquema de irrigação de uma cultura. Esse método emprega o conceito da medida direta do balanço de água com o uso de lisímetros.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Construir e calibrar sistema destinado para aquisição e armazenamento de dados de Lisímetros de Pesagem, de baixo custo, visando à agricultura familiar.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Desenvolver o sistema de aquisição e armazenamento de dados em Arduino para a comunicação serial com as células de carga.
- b) Projetar e construir três modelos de suportes metálicos para célula de carga.
- c) Verificar qual suporte é mais estável e adequado.
- d) Calibrar o conjunto de células de carga.
- e) Coletar amostras de solo.
- f) Avaliar o desempenho do método do lisímetro para as amostras de solo e compará-los com dados de temperatura, vento, umidade do ar, precipitação e radiação solar.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 LISÍMETROS

A evapotranspiração não é fácil de medir, sendo necessário dispositivos específicos e medições precisas de vários parâmetros físicos ou o balanço hídrico do solo em lisímetros para sua determinação. Os métodos empregados costumam ser caros, exigem precisão de medição e dependem de pessoal de pesquisa altamente treinado. Pode ser expressa em valores totais, médios, diários e horários, em volume por unidade de área ou em lâmina de água em período predeterminado (BERNARDO et al., 2006).

Os lisímetros têm sido utilizados por mais de três séculos para estudos das relações entre água, solo e plantas. Segundo Kirkham et al. (1984), os lisímetros são estruturas destinadas a medir, de maneira precisa, eventos de precipitação, evaporação e drenagem. Campeche (2002) comenta que, inicialmente, os lisímetros foram desenvolvidos para quantificação e qualificação da água do solo percolada em estudos hidrológicos.

Os lisímetros, quando bem instalados, possibilitam medidas precisas da evapotranspiração (ET), principalmente quando são preenchidos corretamente, pois, dessa forma, as camadas de solo no seu interior assemelham-se o máximo possível às camadas de solo da área externa (SILVA, 2003). São aparelhos utilizados para se medir diretamente a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) ou da cultura ( $ET_c$ ). Também são chamados de evapotranspirômetros e a mensuração da evapotranspiração é determinada diretamente pelo balanço hídrico dos dispositivos.

De acordo com Machado (1996), o primeiro relato de utilização de lisímetros ocorreu na França, em 1688, quando De La Hire usou recipientes preenchidos com solo argilo-arenoso e observou que nos lisímetros cobertos com grama a perda de água era maior do que em outros com solo sem cobertura vegetal. Nos Estados Unidos, o primeiro a utilizar um lisímetro para mensurar a evapotranspiração em condições de campo foi Thorntwaite (GREBET; CUENCA, 1991).

Os lisímetros podem ter diferentes configurações, dependendo do clima, disponibilidade de materiais e custos envolvidos em sua construção.

Para Machado e Matos (2001), os lisímetros são divididos em duas grandes categorias, uma delas são os lisímetros de pesagem: mecânica, eletrônica, hidráulica e de flutuação. Outra categoria são os lisímetros não pesáveis também chamados de

volumétricos: drenagem e lençol freático. Já para Bernardo et al. (2006), os lisímetros são classificados em quatro grupos: lisímetro de drenagem, pesagem, flutuante e hidráulico.

O método do lisímetro é o mais preciso e considerado ainda instrumento-padrão para a determinação da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) segundo Bernardo et al. (2006) e Amorim (1998).

### 2.1.1 LISÍMETROS DE PESAGEM

Dotados de uma balança, os lisímetros de pesagem possibilitam determinar a quantidade de água que evaporou ou evapotranspirou no sistema. Um recipiente contendo o solo com a cultura desejada (figura 01) é colocado diretamente sobre a estrutura a qual fornece a mensuração da massa total e com a adição de uma quantidade conhecida de água e anotando-se a massa total, a evaporação ou evapotranspiração pode ser calculada pela diferença entre a massa inicial menos a massa final depois de um determinado período.



**Figura 01** – Lisímetro de Pesagem  
Fonte: Carvalho et al (2007)

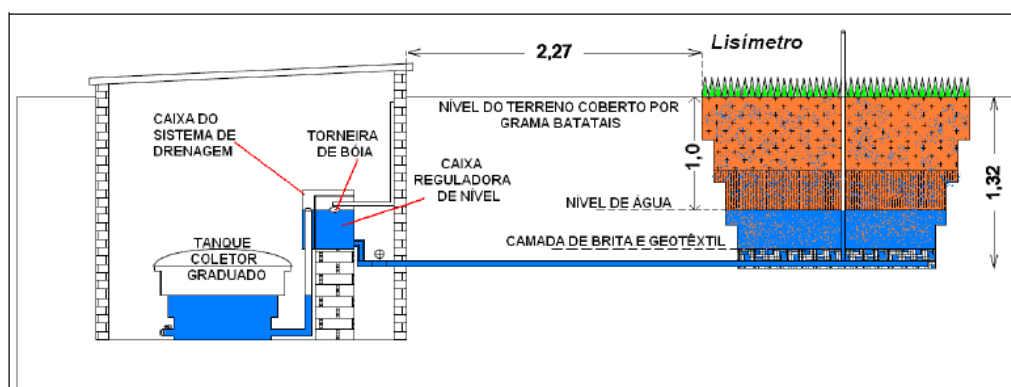
Os lisímetros podem ser equipados com mecanismos modernos de pesagem como as por células de carga, permitindo, assim, a realização de medidas automatizadas quando um sistema de aquisição de dados está instalado em conjunto, o que fornece resultados mais confiáveis, e possibilitam a obtenção de medidas em escala horária, representando grande vantagem em relação aos demais tipos de lisímetros (ALLEN et al., 1991).

Problemas enfrentados no passado e que representavam a dificuldade de sua operação em escalas de tempo muito reduzidas, hoje já são totalmente superados com a tecnologia disponível no mercado. Pereira et al. (2002) comentam que dificuldades

operacionais são verificadas em dias com chuvas intensas, em sequência de dias com chuvas intermitentes bem como em dias sem chuvas, mas com ventos intermitentes. Os autores concluíram que medidas de ET em intervalos inferiores a 60 minutos nem sempre são tão exatas quanto se espera de um sistema admitido como padrão. Já Carvalho et al (2007), comentam que esses equipamentos quando bem projetados, calibrados e manejados medem precisamente e representativamente a evapotranspiração das culturas, integrando as variáveis do ambiente que regem tal processo.

### 2.1.2 LISÍMETROS DE DRENAGEM

Outra configuração de lisímetro usa um sistema de drenagem de água (figura 02), ao invés da balança. Colocando-se a água até a capacidade de campo de um determinado solo, a evapotranspiração é representada pela quantidade de água drenada subtraída da água adicionada.



**Figura 02** – Lisímetro de drenagem

Fonte: Cabrera (2013)

O lisímetro de drenagem é constituído por um tanque contendo solo e na parte inferior, um filtro com 10 a 15 cm de espessura e com materiais de diferentes granulações. Camadas superpostas de brita, cascalhinho, areia grossa e areia fina, são adicionadas a partir do fundo. É dotado de um dreno na sua parte inferior, possibilitando medir a água escoada pela infiltração. Um tubo de pequeno diâmetro é instalado verticalmente junto à borda do tanque, garantindo a adequada aeração do fundo e evitando-se problemas relacionados com a pressão.

A evapotranspiração em um período qualquer é dada pela equação:

$$ET = (I+P-D) / S \quad (1)$$

Em que,

ET = evapotranspiração, em mm;

I = irrigação do tanque, em litros;

P = precipitação pluviométrica no tanque, em litros;

D = água drenada do tanque, em litros;

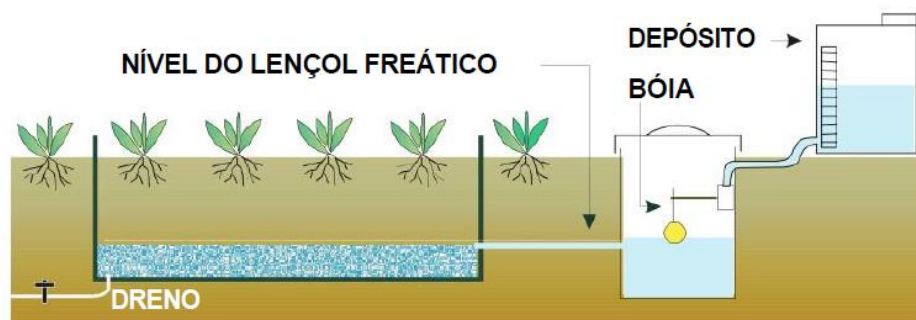
S = área do tanque, em m<sup>2</sup>.

A evapotranspiração de referência, por eles determinada, deve ser em termos de médias semanais, quinzenais ou mensais (BERNARDO et al., 2006).

Hillel et al. (1972) comentam que o conhecimento dos padrões de movimento da água no solo é essencial para resolver problemas que envolvem irrigação, drenagem, conservação de água, recarga e poluição de aquíferos, bem como infiltração e controle do escoamento.

### 2.1.3 LISÍMETROS DE LENÇOL FREÁTICO

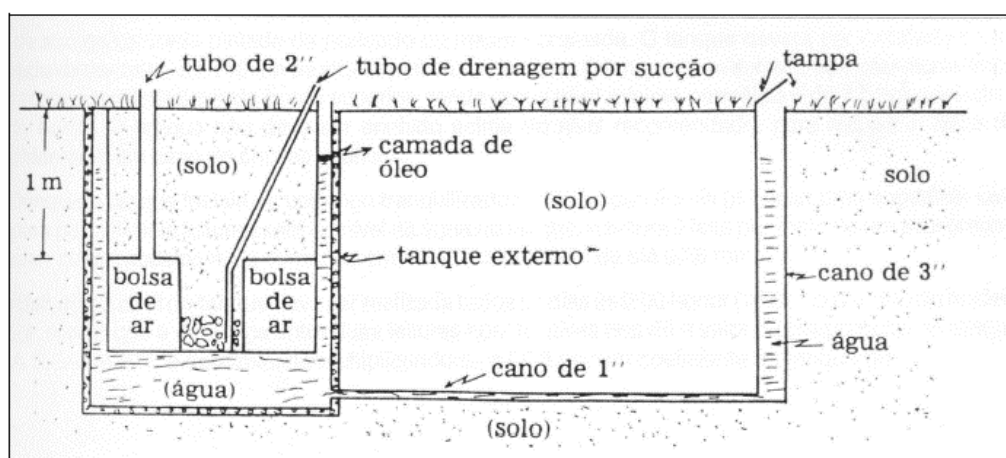
Segundo Materán et al. (2009), uma opção economicamente acessível são os lisímetros não-pesáveis com lençol freático constante, em que o nível da água é mantido a determinada profundidade. O lisímetro de lençol freático regulável é muito semelhante ao lisímetro de drenagem em relação ao tanque, solo e vegetação, a diferença se dá apenas na forma como é feito o suprimento hídrico no fundo desse tanque, formando um lençol freático à profundidade que é previamente escolhida. O lençol é obtido através de um recipiente coberto, provido de uma boia regulável para controlar a altura da lâmina de água existente em seu interior e através do princípio dos vasos comunicantes. Esse recipiente é abastecido por um reservatório. A variação do nível da água no reservatório é indicada em uma escala, graduada em milímetros de evapotranspiração, levando-se em conta a área do lisímetro (Figura 03).



**Figura 03** – Lisímetro de lençol freático  
Fonte: Varejão (2006)

#### 2.1.4 LISÍMETROS DE FLUTUAÇÃO

Esse equipamento é dotado de um tanque de evapotranspiração de pequenas dimensões. Flutuante, possui, em seu interior, um compartimento hermeticamente fechado que constitui uma câmara de flutuação (Figura 04). Na parte inferior do tanque flutuante há um pesado lastro, com a função de mantê-lo verticalmente apurado.



**Figura 04** – Lisímetro de Flutuação  
Fonte: Bernardo et al (2005)

O recipiente interno do lisímetro com o solo, flutua sobre um líquido ( $H_2O$  ou solução de  $ZnCl$ ), que tem a superfície coberta por uma fina camada de óleo, para evitar a evaporação, dentro de outro recipiente (flutuação hidrostática ou princípio de Arquimedes). Com as variações de peso no lisímetro, ocorrem variações de nível do líquido deslocado pela variação no empuxo do tanque interno, devidas à evapotranspiração, chuva e/ou irrigação.

Esses lisímetros são mais baratos e simples que os de pesagem, porém, grandes espaços são necessários para o líquido que mantém o tanque em flutuação. A evapotranspiração é calculada pela variação no nível da água no tubo de medida pela seguinte equação:

$$ET = F \times (h_1 - h_2) + I \quad (2)$$

Em que,

ET = evapotranspiração (mm);

F = fator de conversão determinado para cada lisímetro;

$h_1 - h_2$  = variação do nível do tubo de medida (cm);

I = precipitação ou irrigação ocorrida sobre o lisímetro, em duas leituras (mm).

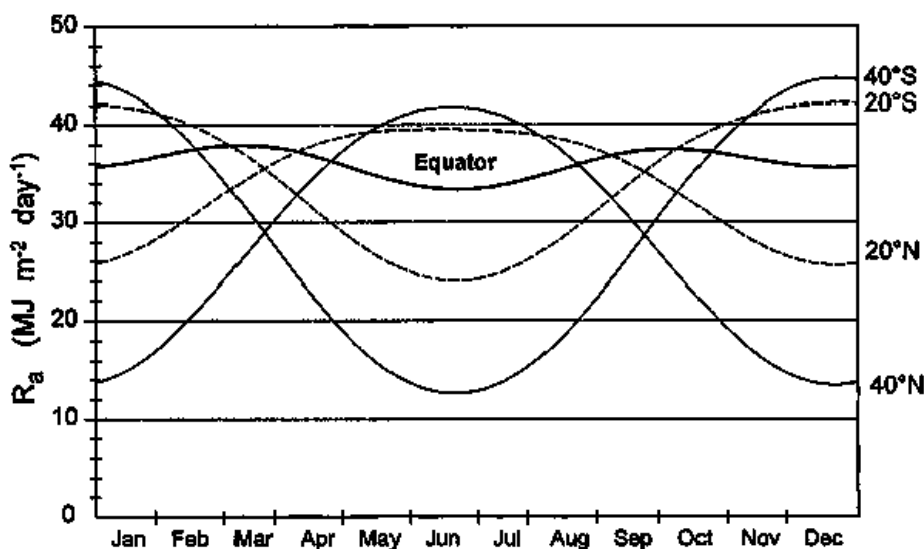
## 2.2 RADIAÇÃO

A evapotranspiração nada mais é que um processo de vaporização, ou seja, uma mudança de estado físico, que é determinada pela quantidade de energia disponível para vaporizar a água. A radiação solar é a maior fonte de energia na natureza capaz de transformar grandes quantidades de água líquida em vapor d'água. A quantidade potencial de radiação que pode atingir a superfície de evaporação é determinada por sua localização e época do ano, pois é definida pelo ângulo entre a direção dos raios solares e a normal à superfície. Esse ângulo mudará durante o dia e será diferente em diferentes latitudes e em diferentes estações do ano. Ainda, a radiação solar real que atinge a superfície de evaporação, depende da turbidez da atmosfera e da presença de nuvens que refletem e absorvem as principais partes da radiação.

Devido ao seu movimento de translação, a Terra se afasta e se aproxima do Sol, por isso, o fluxo de energia solar que é interceptado pelo planeta, muda ao longo do ano. Com o objetivo de obter um padrão que servisse como termo de referência à análise da variação desse fluxo, estabeleceu-se a constante solar, que é a quantidade de energia proveniente do Sol na unidade de tempo, interceptada por uma superfície plana, de área unitária, perpendicular à direção dos raios solares e situada fora da influência da atmosfera, a uma distância do Sol igual à distância média Terra-Sol. Se o Sol estiver

diretamente acima e o ângulo de incidência for zero, o valor da constante solar é  $0,082 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ . Logo, a radiação solar é uma função da latitude, data e hora do dia.

A radiação solar (ondas curtas) recebida na parte superior da atmosfera da Terra (figura 5) sobre uma superfície horizontal é chamada a radiação global  $R$ . Para fins de estimativa da evapotranspiração é necessário estimar a radiação líquida,  $R_n$ . Essa radiação é a diferença entre a radiação que atinge a superfície terrestre e a radiação que é refletida por essa superfície. Por isso, é importante o conhecimento do conceito de albedo ( $\alpha$ ).



**Figura 05** – Radiação solar anual no topo da atmosfera. 20° e 40° Norte e Sul do Equador  
Fonte: FAO (2020)

O albedo é a quantidade de radiação solar refletida pela superfície terrestre em questão. Essa considerável parcela de radiação solar é altamente variável para cada tipo de superfície e de acordo com o ângulo de incidência e inclinação do planeta. Pode ser tão alta como 0,95 para uma superfície coberta com neve recém caída e tão baixa quanto 0,05 para um solo nu e úmido. Uma cobertura verde tem o albedo entre 0,20 e 0,25 sendo que para a grama de referência assume-se o valor de 0,23.

Assim, a saldo de radiação solar que não é refletida é dado por:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (3)$$

onde  $R_s$  é a radiação que atinge a superfície terrestre.

A energia absorvida pela Terra ( $R_{ns}$ ) é convertida em energia térmica e é dissipada por vários processos, inclusive por radiação (ondas longas).

A radiação líquida,  $R_n$ , é a diferença entre a radiação de entrada e saída de comprimentos de onda curtos e longos. É o equilíbrio entre a energia absorvida, refletida e emitida pela superfície da Terra ou a diferença entre a radiação líquida de entrada ( $R_{ns}$ ) e a radiação líquida de saída ( $R_{nl}$ ).

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (4)$$

$R_n$  normalmente assume um valor positivo durante o dia e negativo durante a noite, sendo seu valor diário total quase sempre positivo em um período de 24 horas, exceto em condições extremas em altas latitudes.

Para Pereira, 1998, a radiação líquida representa a energia disponível ao meio ambiente, na forma de ondas eletromagnéticas, após as trocas radiantes. Em seu experimento, o autor observa que a presença de nuvens é um dos principais fatores responsáveis pela variação da radiação líquida, interferindo nas trocas de energia radiante entre o sol e a superfície do solo. Ometto (1991) comenta que essa energia é utilizada nos processos naturais de evaporação, transpiração, evapotranspiração, aquecimento do solo e do ar e sínteses biológicas.

A fração da radiação líquida chamada de fotossintética ativa (Photosynthetically Available Radiation -PAR) é aquela compreendida na faixa espectral da luz solar visível (400 a 700 nanômetros), necessária para as plantas realizarem a fotossíntese. Segundo Oliveira, 2010, apresenta grande importância em estudos sobre a produção de biomassa, morfologia vegetal, crescimento de plantas, taxa fotossintética e condutância estomatal por ser a radiação capaz de excitar as moléculas de clorofila, iniciando o processo químico que ocorre nos cloroplastos, o que resulta na liberação molecular e na captura de dióxido de carbono da atmosfera.

### 2.3 VELOCIDADE DO VENTO

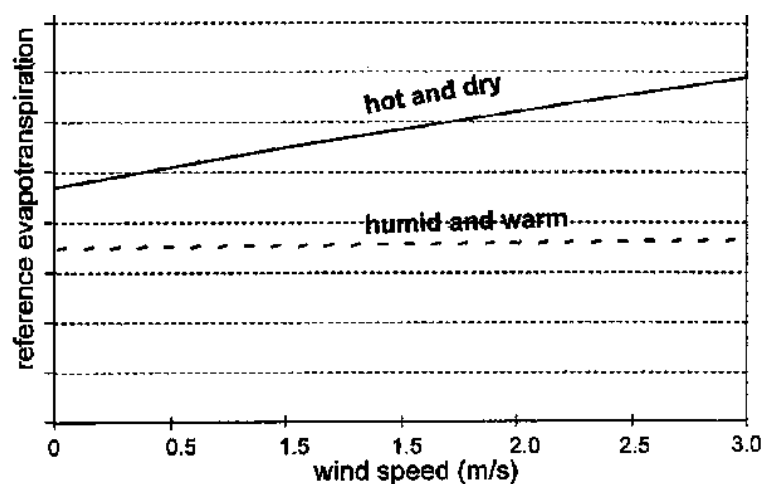
O vento é caracterizado por sua velocidade e direção. No processo de evapotranspiração, a velocidade do vento assume um papel muito importante. Ela varia com tempo em um determinado local e é medida por anemômetros em estações meteorológicas e geralmente é expressa em  $\text{ms}^{-1}$ .

A velocidade do vento varia de acordo com a altura a partir da superfície solo, onde essa sofre uma desaceleração devido ao atrito. Assim, a velocidade do vento tende

a aumentar conforme a altura aumenta a partir da superfície do solo. Por isso, os anemômetros são colocados na altura padrão de 10 m em meteorologia e 2 ou 3 m em agrometeorologia. Para o cálculo da evapotranspiração utiliza-se a medida de 2 m para a instalação do anemômetro.

Grande parte da remoção do vapor depende de como se caracteriza a turbulência do ar expressada pelo vento, pois grandes massas podem ser transferidas sobre a superfície de evaporação. Conforme a água é vaporizada, o ar acima da superfície se torna gradativamente saturado, esse ar deve ser substituído por ar mais seco para que a evaporação aconteça continuamente.

A evapotranspiração tende a ser alta em clima mais quente e seco devido à energia de radiação solar e calor latente, assim muito vapor de água pode ser armazenado no ar e o vento promove o transporte dessa água de forma que mais vapor de água seja absorvido. Já em condições de clima mais úmido, alta umidade do ar e presença de nuvens, diminuem a taxa de evapotranspiração. O efeito da velocidade do vento na evapotranspiração pode ser verificado na figura 06 para as duas condições climáticas citadas.



**Figura 06** – Efeito da velocidade do vento na evapotranspiração em condições de clima quente e seco e úmido e quente  
Fonte: FAO (2020)

Observa-se que para condições úmidas, o vento só pode substituir o ar saturado por outro um pouco menos saturado e remover a energia térmica, e a inclinação da curva é pequena. Já, para condições mais secas, a velocidade do vento afeta a taxa de evapotranspiração em maior extensão, o que pode ser observado pela inclinação maior da curva.

Ruhoff et al. (2009), estudando a evapotranspiração em áreas de cerrado e cana-de-açúcar, comentam que a velocidade média diária do vento está associada principalmente à sazonalidade da energia cinética da atmosfera no hemisfério sul, em grande parte devido à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Esses autores concluíram que o processo de circulação atmosférica local estudado, representado pelas variáveis de velocidade do vento e pressão atmosférica, regulam o sistema de precipitação e as condições de umidade do ar e do solo, em 23,84% da variância do processo em áreas de cerrado e 22,75% em áreas de cana-de-açúcar.

#### 2.4 TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR

A evapotranspiração é provocada pelo aumento da temperatura do ar o qual é ocasionado pelo calor absorvido pela atmosfera devido à radiação solar. A radiação exerce, dessa forma, uma influência controladora na taxa de evapotranspiração. Em condições de tempo quente e ensolarado, a perda de água é maior que num tempo nublado e frio.

Temperatura é definida como o grau de agitação das moléculas ou partículas de um sistema em equilíbrio térmico. Não é uma medida de calor, mas a diferença de temperaturas é a responsável pela transferência da energia térmica entre dois ou mais sistemas, ou seja, calor é uma forma de energia em trânsito. Assim, quando dois sistemas estão à mesma temperatura diz-se que estão em equilíbrio térmico e neste caso não há transferência de calor do sistema de maior temperatura para o de menor temperatura. Os padrões da Organização Meteorológica Mundial (OMM) preconizam que a temperatura deve ser medida a 2 m acima do solo.

No Sistema Internacional de Unidades utiliza-se a escala Kelvin para a mensuração da temperatura, com o ponto triplo da água a 273,16 K como o ponto fundamental de fixação. A escala Celsius, ou centígrada ( $^{\circ}\text{C}$ ) é internacionalmente aceita e recomendada para o intercâmbio de dados. A escala absoluta (K) é usada para fins científicos. Alguns países ainda mantêm a escala Fahrenheit. A conversão das escalas Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ), Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) e absoluta (K) é feita através das seguintes relações com base no Quadro 01 e levando-se em consideração as temperaturas de fusão e ebulição da água:

**Quadro 01** – Escalas de Temperatura

ESCALA	Celsius (°C)	Fahrenheit (°F)	Kelvin (K)
Ponto de Fusão	0	32	273,16
Ponto de Ebulição	100	212	373,16

$$\frac{F-32}{9} = \frac{C}{5} \quad (5)$$

$$K = C + 273,1 \quad (6)$$

A diferença entre a pressão de vapor d'água da superfície da evapotranspiração e a do ar circundante é o que determina a remoção desse vapor. O termo umidade do ar está relacionado com a quantidade de vapor d'água existente na atmosfera.

Como exemplo do efeito da umidade do ar, culturas bem regadas em regiões áridas quentes e secas consomem grandes quantidades de água devido à abundância de energia e ao poder de vaporização da atmosfera, já em regiões tropicais úmidas, apesar da alta entrada de energia, a alta umidade do ar reduz a taxa de evapotranspiração, porque o ar já está próximo ao estado de saturação e pouca quantidade de água pode ser adicionada.

Pezzopane et al. (2010), observaram em seu estudo sobre o efeito das variáveis climáticas sobre o cultivo de café conilon, uma variação diária da umidade relativa média do ar, inversa à temperatura do ar, fato também observado por Costa, Leal e Carmo Jr (2004), na simulação da temperatura e umidade relativa do ar no interior de uma estufa plástica.

Para o estudo da umidade do ar é importante o conhecimento do conceito de gás ideal ou perfeito, que é o modelo físico de um gás sem interação alguma entre as moléculas, ou seja, cada uma atuaria como se as demais não existissem. Esse modelo foi idealizado com o objetivo de facilitar o estudo dos gases reais, porém, sob baixas pressões e temperaturas, muitos gases reais têm comportamento praticamente análogo ao ideal.

Os gases ideais obedecem a equação:

$$pV = (m/M) RT \quad (7)$$

Onde,

p é a pressão do gás

$V$  é o volume ocupado

$m$  é a massa do gás

$M$  é a massa molecular

$T$  é a temperatura

$R$  é a constante universal dos gases ideais

Ou

$$p = \rho (R/M)T \quad (8)$$

sendo,

$$\rho = m/V \quad (\text{massa específica}) \quad (9)$$

Cada constituinte do ar seco se comporta praticamente como um gás ideal e, assim, o próprio ar seco pode ser considerado de modo idêntico, atuando como se fosse um gás ideal. Analogamente, uma massa ( $m_v$ ) de vapor d'água, ocupando sozinha um certo volume ( $V$ ) a uma dada temperatura ( $T$ ) e pressão ( $p_v$ ), tem o mesmo comportamento de um gás ideal. Assim, tem-se as seguintes expressões:

$$p_a V = m_a RT/M_a \quad \text{ou} \quad p_a = \rho_a RT/M_a \quad \text{para o ar seco} \quad (10)$$

$$p_v V = m_v RT/M_v \quad \text{ou} \quad p_v = \rho_v RT/M_v \quad \text{para o vapor d'água} \quad (11)$$

Para melhor entendimento, toma-se uma amostra de ar úmido (ar seco mais o vapor d'água) dentro de um cilindro, provido de um êmbolo móvel no interior com  $m_a$  (massa de ar seco) e  $m_v$  (massa de vapor d'água). Essa mistura está submetida a uma temperatura  $T$  (K) e à pressão atmosférica  $p$  e mantém-se a hipótese de que, tanto o ar seco, como o vapor d'água, comportam-se praticamente como gases ideais. Como o êmbolo é móvel, a pressão atmosférica será compensada pela soma das pressões parciais devido a cada integrante da mistura, isto é, exercidas pelo vapor ( $p_v = e$ ) e pelo conjunto dos constituintes do ar seco ( $p_a = p - e$ ). Assim, na mistura ar úmido, tem-se as equações:

$$(p - e)V = m_a RT/M_a \quad (12)$$

$$p - e = \rho_a RT/M_a \quad (13)$$

Sendo  $\rho_a$  a massa específica do ar seco na mistura. Para o vapor d'água, encontra-se:

$$eV = m_v RT/M_v \quad (14)$$

$$e = \rho_v RT/M_v \quad (15)$$

Com um comportamento praticamente ideal, tanto o ar seco, como o vapor, ocupa todo o volume (V) disponível, do mesmo modo que o fariam se estivessem sozinhos, submetidos à temperatura (T), isto é, exerceriam a mesma pressão parcial.

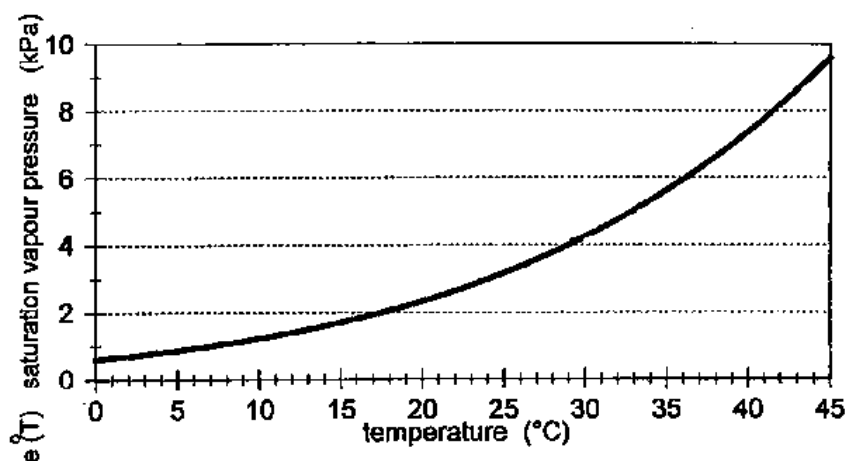
Um ambiente é dito saturado a uma determinada temperatura, quando possui a quantidade máxima possível de vapor d'água àquela temperatura. Chama-se pressão de saturação do vapor d'água, ou pressão saturante, a pressão máxima exercida pelo vapor d'água. A pressão de saturação depende exclusivamente da temperatura ambiente, isto é:

$$e_s = e_s(T) \quad (16)$$

A umidade relativa (U) do ar úmido, submetido a uma determinada temperatura (T), é o quociente entre a pressão parcial do vapor (e) e a pressão de saturação ( $e_s$ ) àquela temperatura, ou seja:

$$U = e / e_s \quad (17)$$

Na figura 07, está representada a pressão de saturação do vapor (kPa) em função da temperatura (°C).



**Figura 07** – Pressão do vapor de saturação mostrada em função da temperatura:  
curva  $e^{\circ}(T)$   
Fonte: FAO (2020)

Na literatura técnica, o termo ponto de orvalho é a temperatura para a qual a umidade relativa da massa de ar em consideração, atinge 100%. A quantidade máxima de vapor de água que se pode encontrar dissolvida em uma dada massa de ar é função da pressão e temperatura do sistema. Ponto de orvalho é, portanto, a temperatura na qual o vapor d'água em suspensão, começa a se condensar.

A temperatura e a umidade relativa do ar podem ser obtidas pelo termo higrômetro. O instrumento é uma junção do higrômetro com o um sensor de temperatura. Um exemplo de estação meteorológica automática que utiliza um termo higrômetro está representado na figura 08.

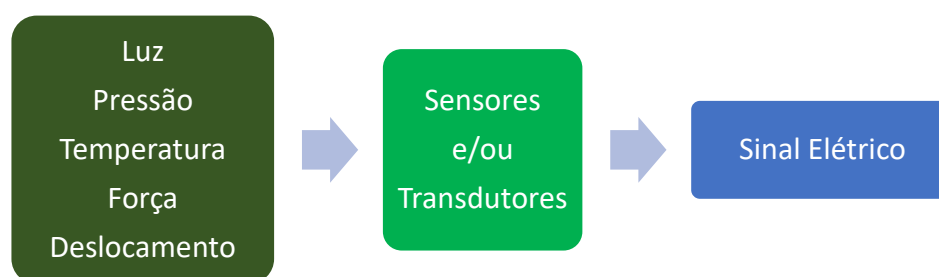


**Figura 08** – Estação Meteorológica Automática – Campus UNIC BARÃO  
Fonte: O autor

## 2.5 SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Segundo Cassiolato (2011), os sistemas de aquisição têm por finalidade obter dados digitais através de medições de grandezas físicas (analógicas), tais como temperatura, pressão, densidade, pH, umidade, posição etc., e vêm sendo incorporados por diversas vertentes, tanto industriais quanto científicas.

Estas grandezas são colhidas por sensores ou transdutores (figura 09) e convertidas em quantidades elétricas por condicionadores de sinais que os levam até hardwares dedicados, transformando-os em valores digitais.



**Figura 09** – Mensuração de variáveis  
Fonte: O autor

Os sensores transformam um fenômeno físico em sinais elétricos que uma vez detectados ou produzidos, variam de acordo com os parâmetros físicos que estão sendo monitorados, e devem ser condicionados para fornecer sinais apropriados ao hardware de aquisição de dados. Os circuitos e ou elementos de condicionamento de sinais amplificam, isolam, filtram e excitam sinais para que estes sejam apropriados aos hardwares de aquisição. Uma vez condicionados e trabalhados na forma desejada, os sinais podem ser lidos em controladores ou mesmo computadores, com placas específicas instaladas, e armazenados em diferentes formatos, como arquivos de texto, banco de dados etc.

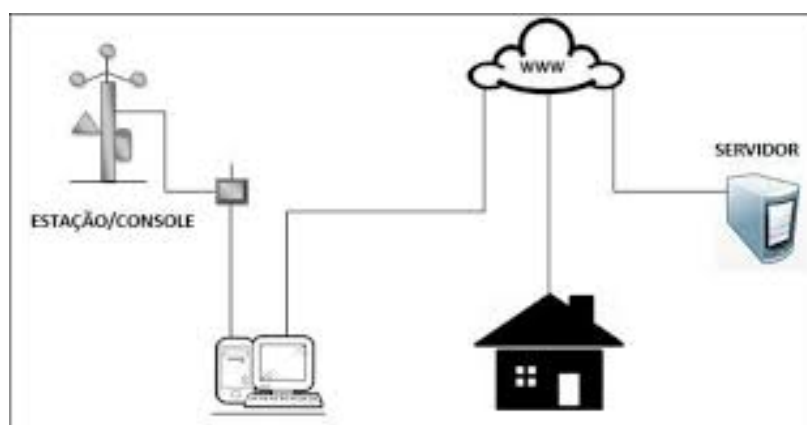
Uma placa de aquisição de dados é geralmente composta pelos seguintes elementos:

- Entradas Analógicas
- Conversor A/D
- Conversor D/A

- Saídas Analógicas
- Triggers
- Entradas e Saídas Digitais
- Contadores e Temporizadores

Os elementos responsáveis pelo processamento dos sinais adquiridos são os processadores. Atualmente os mais utilizados em sistemas de aquisição de dados são os computadores pessoais (PC).

Sistemas modernos de aquisição (Figura 10), tornam possível a análise de dados coletados em estações meteorológicas remotas e de difícil acesso. O armazenamento dos dados em *dataloggers* ou mesmo em transmissões de rede *wireless*, é hoje parte do trabalho de pesquisadores que podem usufruir de material consistente envolvendo diversas variáveis climáticas.



**Figura 10** – Representação do fluxo de dados meteorológicos  
Fonte: Sousa, Drumond e Naldi (2015)

A aquisição de dados está presente em quase todas as nossas atividades. Sousa, Drumond e Naldi (2015) comentam que a necessidade de automatizar atividades ocorre devido ao tempo gasto para realizá-las, que é maior do que se elas fossem programadas para serem executadas por máquinas, na maioria das vezes. No Brasil, as estações meteorológicas automatizadas com sistemas de aquisição são utilizadas com muita frequência, seja em centros educativos e universidades, assim como no setor agrícola, na indústria, em pesquisas, agências governamentais e por particulares em suas residências, Turco e Barbosa (2008).

Uma estação meteorológica automática (EMA) é composta de uma unidade de memória central ("datalogger"), ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos

(pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento), que integra os valores observados em unidades de tempo. O sistema de armazenamento possui baixo consumo de energia e faz o registro dos valores observados na unidade de memória. Um sistema de energia incluindo baterias e um painel fotovoltaico, torna a estação independente de energia elétrica externa e não requer nenhum equipamento ou sala para sua operação diária.

## 2.6 ARDUINO

Em 2005, na Itália, Massimo Banzi e David Cuartielles, com o objetivo facilitar o desenvolvimento de projetos, desde os mais simples aos mais complexos, desenvolveram uma plataforma open source (código aberto) que permite controlar diversos sensores, motores, leds, dentre vários outros componentes eletrônicos. O nome Arduino nasceu na cidade de Ivrea onde os integrantes do time de desenvolvimento iam, depois do expediente, tomar cerveja num bar chamado Arduino, então, em homenagem ao bar, o projeto levou o mesmo nome.

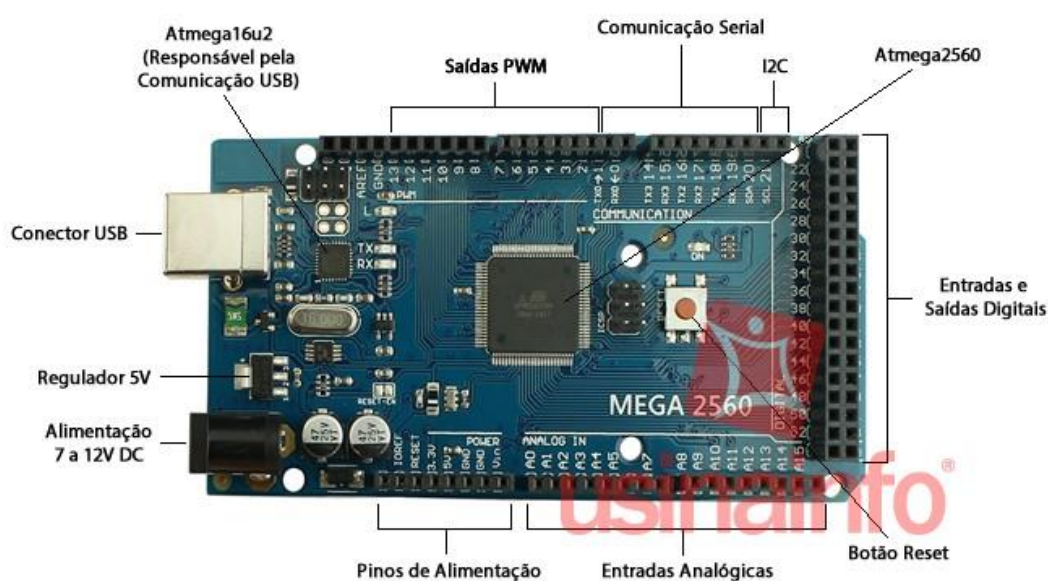
Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única, projetada com um microcontrolador Atmel AVR com suporte de entrada/saída embutido, uma linguagem de programação padrão, a qual tem origem em Wiring e é essencialmente C/C++. Tem como objetivo criar ferramentas acessíveis, com baixo custo, flexíveis e fáceis de se usar por principiantes e profissionais e sobretudo para aqueles que não teriam alcance aos controladores mais sofisticados e ferramentas mais complicadas.

Um ponto forte sobre o Arduino, é que todo material disponibilizado pelo fabricante, como a IDE (Integrated Development Environment) de desenvolvimento, bibliotecas e até mesmo o projeto eletrônico das placas são open source, ou seja, é permitida a utilização e reprodução sem restrição sobre os direitos autorais dos idealizadores do projeto. Os usos mais comuns do Arduino estão nos campos de Robótica e Internet das Coisas (IOT), para funções como: IOT domiciliar, construção de robôs, brinquedos, sensores, música, dentre outras utilidades que podem ser adaptadas por programadores e profissionais de eletrônica, Hachouche (2017).

Os campos de atuação para o controle de sistemas atingem ainda, aplicações na área de impressão 3D, robótica, engenharia de transportes, engenharia agrônômica, musical ou até mesmo em ambiente escolar, para o desenvolvimento de experimentos lúdicos, otimizando assim a aprendizagem dos alunos em diversas áreas.

Torres et al. (2015) desenvolveram uma estação meteorológica de baixo custo com sensores de temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade utilizando a plataforma Arduino. Além dos sensores citados, eles incorporaram um sistema de armazenamento de dados composto por módulos RTC e leitor de cartão SD, com um custo de apenas 4% de uma estação convencional. Os autores comentam que já existem projetos trabalhando com o Arduino em aplicações meteorológicas para previsão e alarme de catástrofes, monitoramento de corais e qualidade do ar urbano.

O Projeto Arduino une Hardware e Software, e resulta em uma plataforma de fácil desenvolvimento utilizando um microcontrolador. Uma típica placa Arduino (Fig. 11) é composta por um controlador, algumas linhas de E/S digital e analógica, além de uma interface serial ou USB, para interligar-se ao hospedeiro, que é usado para programá-la e interagir-la em tempo real. A placa em si não possui qualquer recurso de rede, porém é comum combinar um ou mais módulos Arduino, usando extensões apropriadas chamadas de Shields.



**Figura 11** – Arduino Mega 2560 R3 Atmel Mega16u2  
Fonte: USINAINFO

Como a principal finalidade do Arduino num sistema é facilitar a prototipagem, implementação ou emulação do controle de sistemas interativos, a nível doméstico, comercial ou móvel, da mesma forma que o CLP, ele controla sistemas de funcionamento industriais. Com ele é possível enviar ou receber informações de basicamente qualquer sistema eletrônico, como identificar a aproximação de uma pessoa e variar a intensidade

da luz do ambiente conforme a sua chegada ou abrir as janelas de um escritório de acordo com a intensidade da luz do sol e temperatura ambiente.

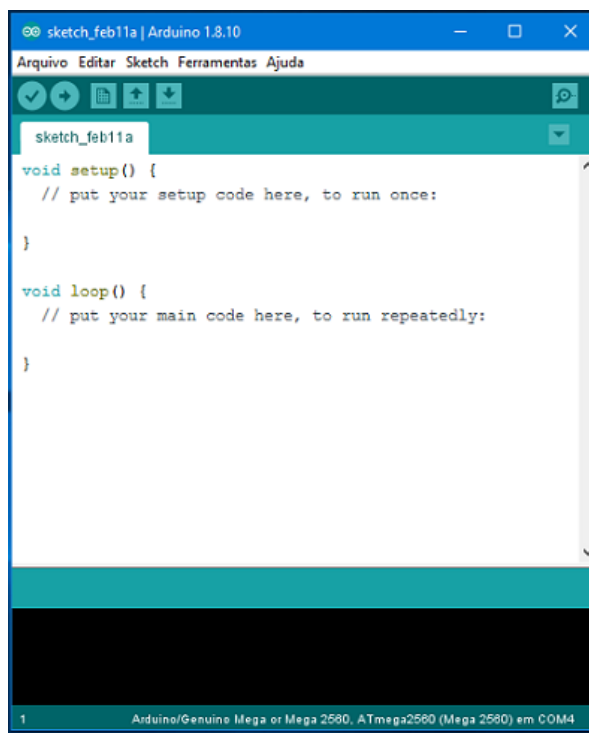
Uma placa Arduino é um computador, propriamente dito, porém possuindo menos memória e menor poder de processamento. O Arduino MEGA 2560 por exemplo, possui as seguintes especificações:

- Modelo: MEGA 2560 R3;
- Microcontrolador: ATmega2560;
- Tensão de funcionamento: 5V;
- Tensão de entrada (recomendada): 7-12V;
- Limite de tensão: 6 a 20 Volts;
- Saídas digitais I/O Pin: 54 (dos quais 14 oferecem saída PWM);
- Canais de entradas analógicas: 16;
- Corrente DC por saída digital I/O Pin: 40mA;
- Corrente DC por saída analógica Pin: 50mA;
- Flash memory: 256kb (ATmega2560) dos quais 8 KB são utilizados pelo carregador de inicialização;
- SRAM: 8 KB (ATmega2560);
- EEPROM: 4KB (ATmega2560);
- Clock Speed: 12MHz;
- Dimensões (CxLxA): 120x53x10mm;
- Peso: 35g.

O circuito interno do Arduino é alimentado com uma tensão contínua de 5V, quando conectado a uma porta USB de um computador. Esta conexão fornece a alimentação bem como a comunicação de dados. Caso seja necessário, é possível utilizar uma fonte de alimentação externa, que forneça uma saída entre 7,5V e 12V, contínua com um plug P4, ou pode ser ligada diretamente na placa utilizando os pinos Vin e Gnd.

A IDE do Arduino (Fig. 12) é utilizada basicamente para escrever o código do programa, salvá-lo, compilá-lo, e realizar a gravação do código compilado no Arduino (memória flash) através da porta USB do computador. Uma vez gravado o programa no Arduino, o computador não é mais necessário. A partir do momento em que se utiliza uma fonte de alimentação externa, o Arduino se torna uma placa totalmente independente. Mas antes de tudo é preciso obter os arquivos de instalação e drivers, que vêm juntos no

mesmo pacote, que pode ser obtido no site oficial do Arduino (<http://arduino.cc/en/Main/Software>).



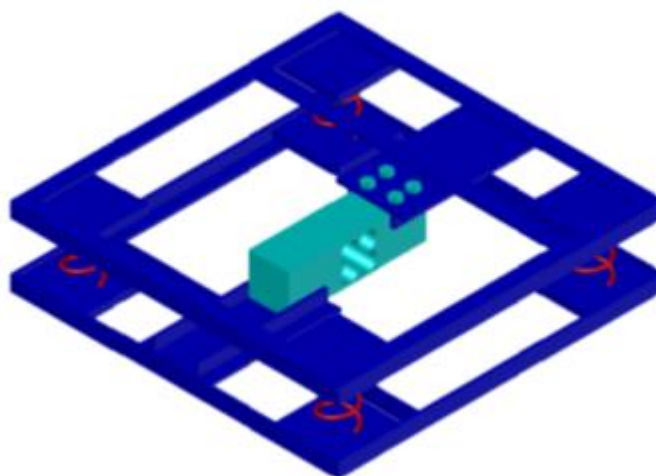
**Figura 12** – IDE do Arduino

Fonte: O autor

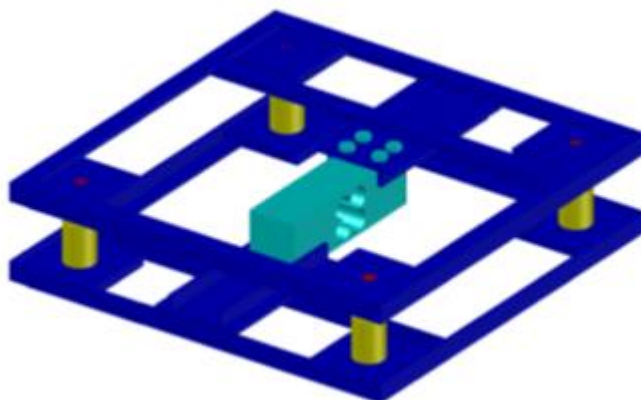
### 3. MATERIAS E MÉTODOS

#### 3.1 ESTRUTURA DOS LISÍMETROS

Foram construídos três modelos de lisímetros de pesagem para verificar qual ofereceria a melhor estabilidade nas medidas. A estrutura de suporte dos três lisímetros foi construída com duas plataformas de cantoneiras metálicas de dimensões 40x40 cm cada. Essas plataformas foram fixadas diretamente na célula de carga a qual fica localizada no centro da estrutura. As diferenças construtivas entre as três estruturas de suporte são: a primeira utiliza molas nos quatro cantos (Figura 13), a segunda utiliza um guia cilíndrico nos quatro cantos (Figura 14) e a terceira utiliza apenas a célula de carga entre as plataformas (Figura 15). A massa total, é registrada por células de carga modelo PLA (Figura 16), de capacidade de 300 kg, seladas contra umidade e com dispositivo para compensação contra variações de temperatura na faixa de -10 à +60 °C. Segundo o fabricante (Líder Balanças – Tecnologia em Pesagem, Araçatuba - SP), a sensibilidade das células de carga é de 2mV/V +/- 0,1% e a acuracidade é de 0,01% do fundo de escala.



**Figura 13** - Vista do lisímetro de pesagem com mola  
Fonte: O autor



**Figura 14** - Vista da lisímetro de pesagem com guia cilíndrico  
Fonte: O autor

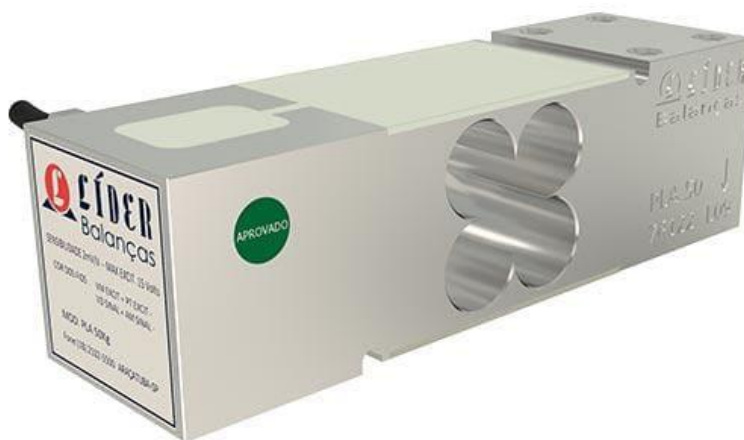


**Figura 15** - Vista do lisímetro de pesagem somente com a célula de carga  
Fonte: O autor

A estrutura escolhida dentre as três apresentadas foi aquela representada pela figura 15, sem guias ou molas, pois durante os testes de calibração, os resultados ao colocar ou retirar os pesos, refletiram melhor nessa estrutura, ou seja, garantiu uma melhor estabilização. As guias promoveram um certo atrito, refletindo nos resultados de calibração e estabilização, já as molas também exerceram uma força contrária ao deslocamento devido à sua constante elástica, o que também interferiu na estabilização.

O projeto das estruturas foi realizado com a ajuda do software Auto CAD

Mechanical 2017 da Autodesk, sendo construídos seis lisímetros com a estrutura escolhida.

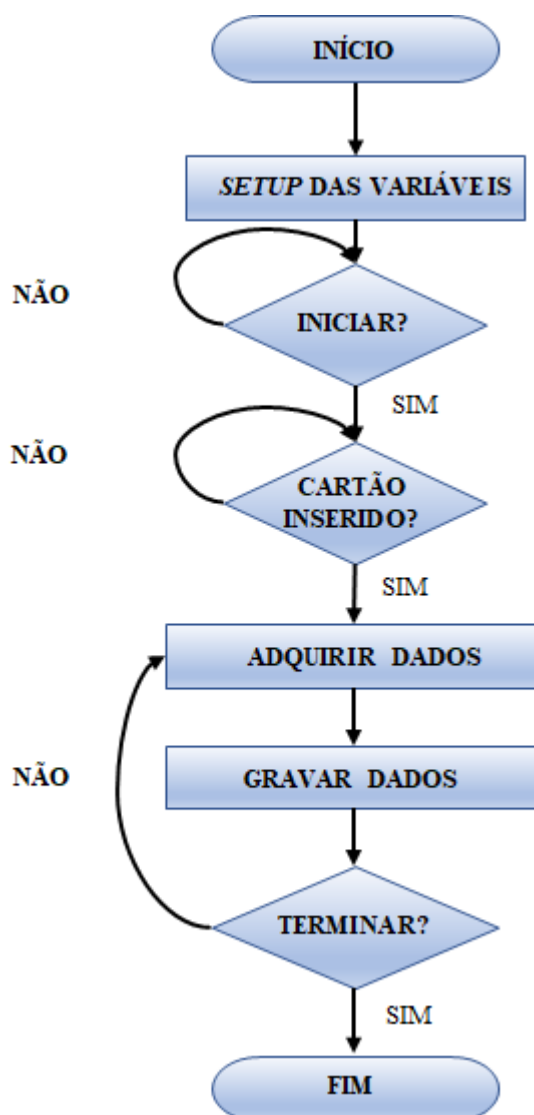


**Figura 16** - Imagem da célula de carga Líder modelo PLA 300 kg  
Fonte: Líder Balanças

### 3.2 INTERFACE DE AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DE DADOS

Para interface de aquisição e armazenamento de dados, utilizou-se a placa Arduino Mega R3, que possui um micro controlador ATMEGA2560 da empresa Atmel. Esta escolha justifica-se pela necessidade de aliar um módulo conversor/amplificador A/D do tipo HX711 de 24 bits para aquisição de dados com uma interface SPI para comunicação com o Arduino. Além disso, o Arduino por ser open source, possui variadas bibliotecas disponíveis na internet, entre elas uma biblioteca de gravação de dados em cartão de memória do tipo SD formatado em FAT32 com capacidade de até 4GB de memória. Na figura 17 pode ser visto o Circuito Montado com a placa de desenvolvimento Arduino, Conversor A/D HX711, módulo cartão micro SD, e um RTC tipo DS3231.





**Figura 18** - Fluxograma do Sistema  
Fonte: O autor

Foi desenvolvido um código (software) para automatizar as leituras e armazenar os resultados no cartão SD do Arduino (ANEXO I). As leituras foram programadas para cada 5 minutos.

A estrutura do código funciona da seguinte maneira: depois de iniciadas as variáveis, é verificado se o cartão está inserido no dispositivo, se sim, começa a gravar os dados no cartão SD até que o usuário desligue a fonte de alimentação para parar a gravação.

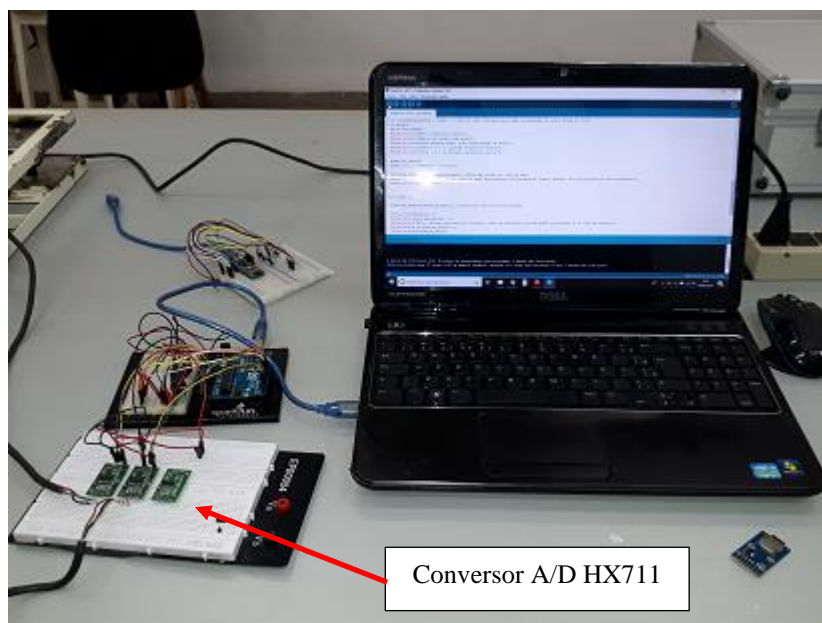
### 3.3 PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DOS LISÍMETROS

A calibração foi realizada em ambiente de laboratório para evitar interferência no registro da massa padrão devido ao efeito do vento durante o procedimento, utilizando-se vários pesos padrão.

Iniciou-se o ensaio de calibração (figuras 19 e 20) com um código específico de calibração (ANEXO II), o qual utiliza uma constante para a leitura A/D do conversor HX711 que é convertida para massa em quilogramas, então foi anotada essa constante quando valor registrado pelo Arduino no monitor serial da IDE (Tela do computador), ficasse igual à massa padrão colocada no lisímetro. A variação de massa foi obtida com a adição e retirada de várias massas individuais, sendo os acréscimos ou retiradas de massa, realizados a cada dois minutos aproximadamente, descartando-se da análise as leituras registradas durante o primeiro minuto, já que incluíam as oscilações provocadas pela variação de massa.



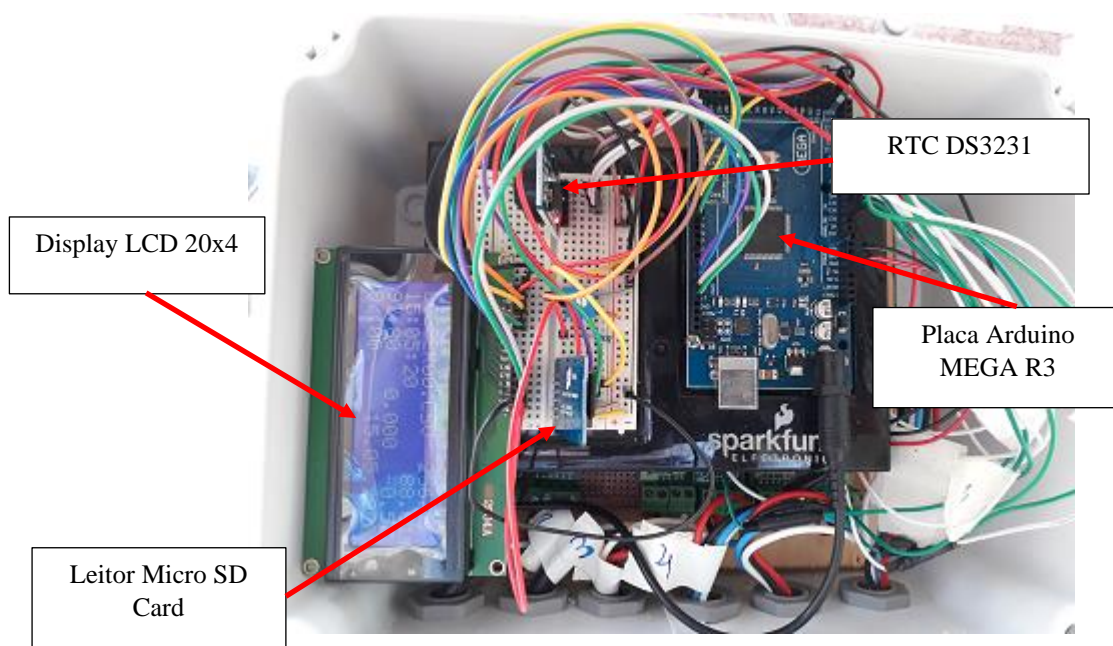
**Figura 19** – Procedimento de calibração das balanças



**Figura 20** – Procedimento de carregamento do código na placa Arduino  
Fonte: O autor

#### 3.4 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO E SENSORES

O circuito de aquisição e armazenamento de dados foi montado junto à estação meteorológica (UNIC – Barão) em Cuiabá - MT, coordenadas S 15°37.1326', W 56°7.0550', altitude 156 m. O clima de Cuiabá é classificado, segundo Köppen, como Aw (Clima Tropical de Savana), caracterizado por estação seca de inverno e temperatura média do mês mais frio do ano acima de 18 °C . O sistema foi conectado aos lisímetros de pesagem descritos anteriormente (figuras 21 e 22).



**Figura 21** – Sistema de aquisição e armazenamento de dados - Datalogger  
Fonte: O autor



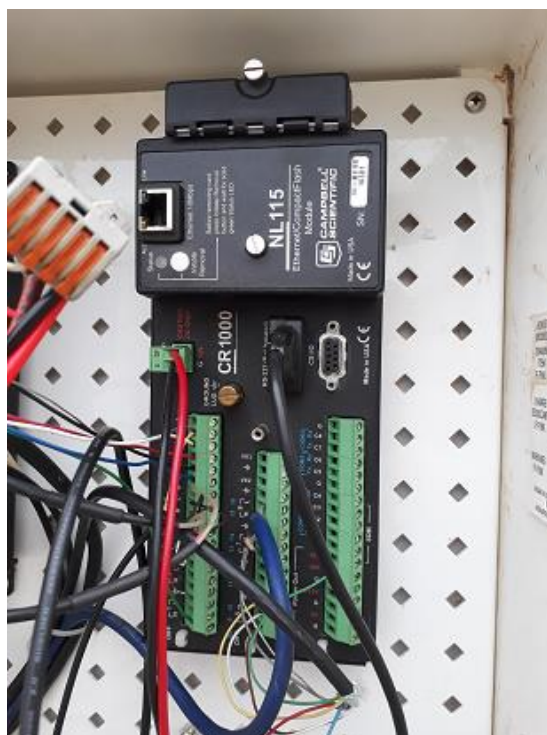
**Figura 22** – Sistema de aquisição e armazenamento de dados – Células de Carga  
Fonte: O autor

A estação meteorológica utilizada, conta com os equipamentos necessários para comparar o desempenho dos lisímetros com os dados de temperatura, umidade do ar, radiação solar e velocidade do vento. É alimentada por sistema fotovoltaico (figura 23) ligado a uma bateria que alimenta um *datalogger* para aquisição dos dados meteorológicos.



**Figura 23** – Estação Meteorológica – Campus UNIC Barão  
Fonte: O autor

O *datalogger* utilizado na estação é da marca CAMPBELL SCIENTIFIC, modelo CR100, SN 10381 (Figura 24). O CR 100 inclui CPU e entradas e saídas analógicas e digitais. A linguagem de programação inclui rotinas de processamento e análise de dados. O software provê a geração, edição e monitoramento de dados em tempo real.



**Figura 24** – Datalogger utilizado na estação  
Fonte: O autor

A radiação fotossintética ativa foi medida pelo sensor calibrado para a radiação solar PAR (LI-190SZ Quantum Sensor, LICOR, Inc.), (Figura 25).



**Figura 25** – Sensor Quântico (*LI-190SZ*) que fornece a radiação fotossinteticamente ativa.

Fonte: LI-COR - BIOSCIENCES

Para medir a velocidade do vento utilizou-se conjunto anemômetro de três copos hemisféricos leves. O modelo utilizado é o 03002-5 da marca YOUNG (Figura 26) com precisão de velocidade do vento  $\pm 0,5$  m/s e de direção de  $\pm 5^\circ$ .



**Figura 26** – Anemômetro 03002-5

Fonte: Campbell Scientific

A temperatura e umidade relativa do ar foi obtida com um termo higrômetro (figura 27), marca CAMPBELL SCIENTIFIC, modelo HC2S3-L, NS 61052865, com as

seguintes características:

**a) Temperatura do Ar**

Sensor: PT100 RTD, IEC 751 1/3 Classe B

Range: 50 a 100 °C (default –40 to 60 °C)

Range de sinal de saída: 0 a 1.0 Vdc

Acuracidade a 23 °C:  $\pm 0.1$  °C

**b) Umidade Relativa do Ar**

Sensor: ROTRONIC Hygromer® IN1

Range: 0 a 100%

Range de sinal de saída: 0 a 1.0 Vdc

Acuracidade a 23 °C:  $\pm 0.8\%$



**Figura 27** – Termo higrômetro HC2S3-L  
Fonte: O autor

### 3.5 AMOSTRAS DE SOLO

As amostras de solo para o experimento foram colhidas na fazenda experimental da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) onde está instalada a estação meteorológica Padre Ricardo Remetter, no município de Santo Antônio de Leverger em Mato Grosso.

Acondicionadas em recipientes plásticos (figura 28) e resistentes ao tempo, as amostras de solo foram devidamente colhidas em camadas e compactadas.



**Figura 28** – Amostra de solo

Fonte: O autor

Foram escolhidas duas amostras aleatoriamente para a realização do experimento. Os recipientes tiveram sua massa inicial medida e logo após foram acrescentados 2,5 litros de água, uma única vez, para as análises comparativas da evaporação do solo e verificação do desempenho dos lisímetros.

Todos experimentos de calibração, construção e aquisição de dados dos lisímetros foram realizados nos laboratórios do Programa de Mestrado em Ciências Ambientais da UNIC Barão.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o processo de calibração foram obtidos valores para os fatores de conversão para seis lisímetros de acordo com a estrutura escolhida, mostrados no quadro 2.

**QUADRO 02** – Fatores de Calibração

<b>LISÍMETRO</b>	<b>FATOR DE CALIBRAÇÃO</b>
1	-14120
2	-13890
3	-13640
4	-13730
5	-13800
6	-13460

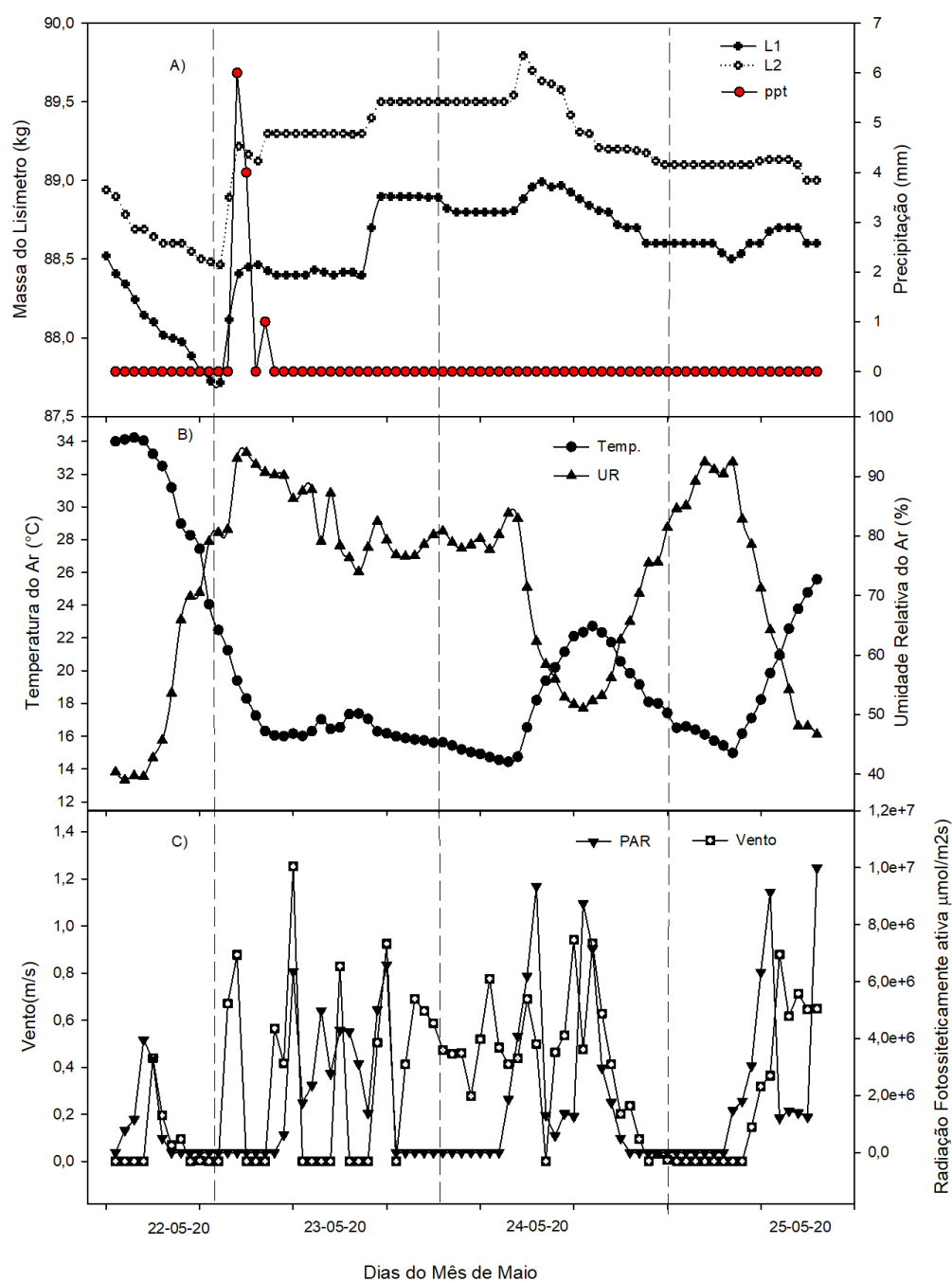
Os resultados dos fatores para cada lisímetro foram inseridos no código para a leitura e processamento dos dados.

A coleta de dados se deu em dois períodos diferentes. O primeiro ocorreu dos dias 22 a 25/05/20 e os resultados estão representados na figura 29.

Na figura 29 é possível observar um decréscimo inicial na massa dos lisímetros enquanto a temperatura e umidade relativa do ar mantiveram-se constantes, porém a velocidade do vento variou positivamente, aumentando a capacidade convectiva do sistema, o que justifica a evaporação. Logo após, a massa continuou a cair numa menor taxa, enquanto a temperatura inicia uma queda brusca ocasionada por uma frente fria que se instalou na região, que provocando a elevação da umidade relativa do ar, no dia 22/05/2020.

No início do dia 23/05/2020, observa-se uma variação na precipitação, o que fez

aumentar a massa dos lisímetros. Essa massa manteve-se constante ao longo do dia com a umidade relativa do ar acima de 80%, chegando acima de 90%. Uma pequena variação na massa (200 g) ocorreu no dia 24/05/2020, o que pode ser atribuído a uma instabilidade na leitura, fato que pode ser explicado pela variação do vento e a precisão do sistema. Com a elevação da radiação solar e velocidade do vento, observa-se o decréscimo na massa dos lisímetros pelo aumento da evaporação. Essa tendência seguiu-se até o dia 25/05/2020.



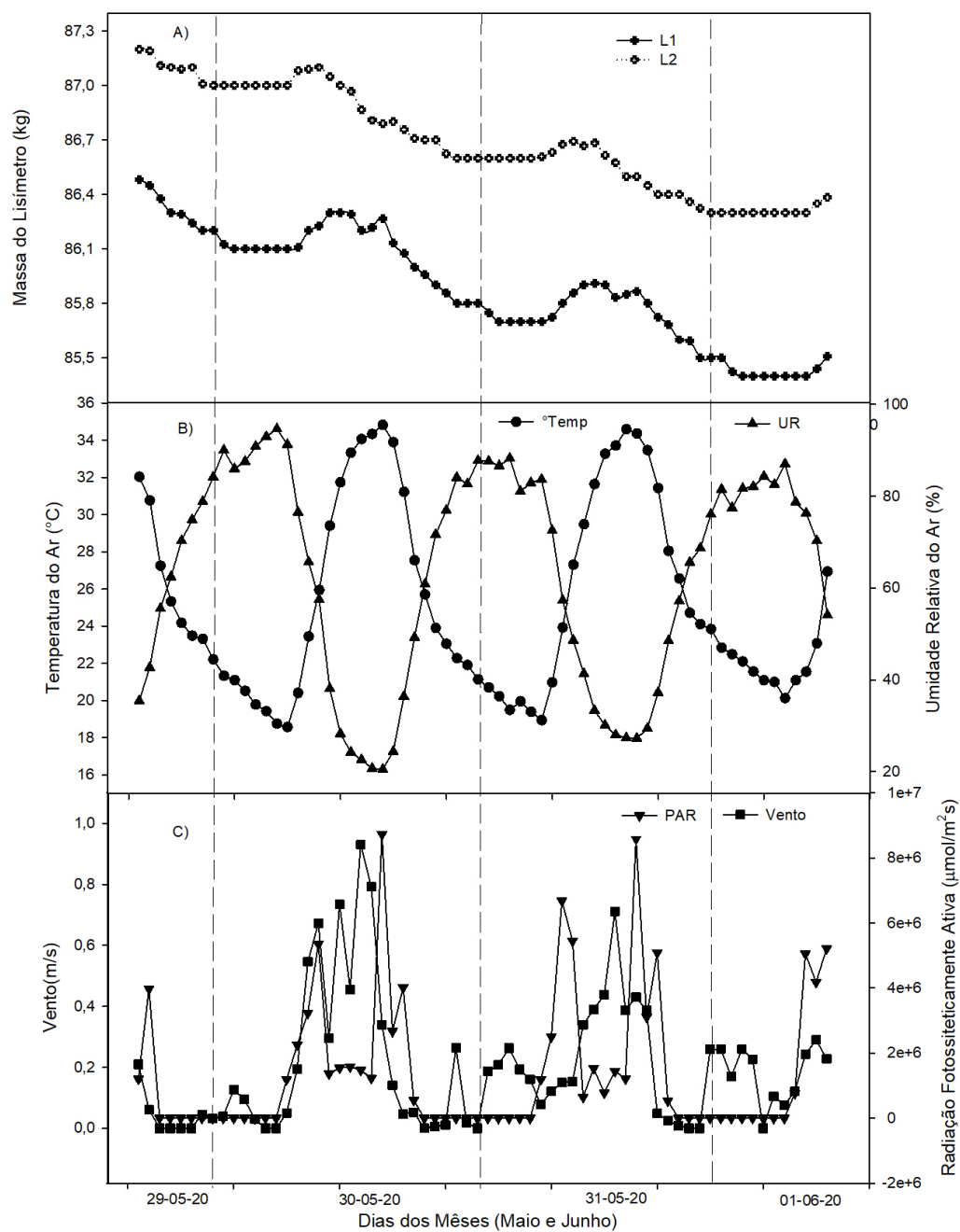
**Figura 29** – Variação de Massa dos Lisímetros, Temperatura, Umidade Relativa do Ar, Vento, Radiação e Precipitação (22 a 25/05/2020)

Fonte: O autor

No segundo período de avaliação, a massa nos lisímetros caiu, enquanto a temperatura e a umidade relativa do ar, decresceram e aumentaram, respectivamente (figura 30), no dia 29/05/2020 e permaneceu constante em grande parte do dia 30/05/2020, com uma pequena variação nesse dia, possivelmente pela variação do vento e instabilidade do sistema, o que é percebido também no dia 31/05/2020. Com a diminuição da temperatura e aumento da umidade relativa do ar, observa-se uma tendência de queda na taxa de evaporação.

A influência do vento e da radiação solar, nesse período, também podem ser observadas. Com o aumento da radiação solar e velocidade do vento, a taxa de evaporação aumentou, fato percebido pelo decréscimo na massa dos lisímetros.

Araújo, Reis e Moreira (2011) em seu estudo sobre a evapotranspiração relatam que a radiação global e a temperatura média do ar foram as variáveis de maior influência sobre a estimativa da evapotranspiração de referência, sendo a radiação global a variável de maior efeito direto. Evangelista et al. (2010) estudando a influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais, destacam o déficit de pressão de vapor e a velocidade do vento, além da radiação solar, que foi o elemento meteorológico que mais influenciou a estimativa da  $ET_0$ .



**Figura 30** – Variação de Massa dos Lisímetros, Temperatura e Umidade Relativa do Ar, Vento e Radiação (29/05/2020 a 01/06/2020)

Fonte: O autor

## 5. CONCLUSÃO

No estudo realizado foi possível analisar o perfil de evaporação das amostras de um determinado solo, comparando com as variáveis climáticas como temperatura e umidade relativa do ar, radiação fotossinteticamente ativa, precipitação e velocidade do vento.

Com uma precisão de 100 gramas, pode-se dizer que o sistema de coleta e armazenagem de dados da massa analisada serve ao propósito de um aparato eletromecânico de baixo custo (R\$ 1500,00), visando à agricultura familiar.

No presente estudo foi analisada apenas a evaporação do solo, porém é possível estender o estudo para a análise da evapotranspiração para uma determinada cultura de referência e determinar as necessidades de hídricas. O sistema pode ser instalado em qualquer ambiente externo, pois demonstrou robustez e facilidade na coleta de dados. Estudos utilizando um microcontrolador Arduino, sensores de umidade do solo e válvulas solenoides para o controle da irrigação de uma casa de vegetação, comprovaram a eficácia e viabilidade do sistema.

O uso da Plataforma Arduino traz uma ampla gama de versatilidade quando se trata da aplicação em sistemas de aquisição de dados e extrapola o âmbito da agrometeorologia. O sistema como de produção de biodiesel já foi avaliado e testado com etapas de reação, separação e lavagem com o uso de materiais de baixo custo e controle através da placa de comando Arduino. Um sensor de fluxo para medir o consumo de combustível de máquinas agrícolas com base nessa plataforma, e foi observado um ótimo funcionamento do aplicativo.

Já consolidada em aplicações lúdicas e didáticas, fica claro que o Arduino pode trazer inúmeros benefícios na engenharia como um todo no uso profissional. Sistemas para controle de temperatura, deformações estruturais, automação, por exemplo, podem ter sua base nessa plataforma de forma segura com custos altamente acessíveis.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.; JENSEN, M. E. Environmental requirements of lysimeters. In: ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O. et al. (Ed.) Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements. New York: **American Society of Civil Engineers**. p. 170-181, 1991.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **Rome: FAO**. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56). 1998.

ALVES, C. T; OLIVEIRA, A. Q. R; SOARES, I. A; NEMEZIO, I. V; PEREIRA, B. G; MOREIRA, J. Construção de um sistema de bancada para produção de biodiesel a partir de óleos reciclados controlado por Arduino, na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química** (pp. 1–8). 2016.

AMARAL, A. M.; VELLAME, L. M.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; CAZUZA NETO, A. Construção e calibração de lisímetros de pesagem em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 12, n. 4, p. 2740-2748, 2018.

AMORIM, M. C. DE. Avaliação da eficácia do lisímetro de lençol freático constante, do tanque classe “A” e do modelo de Penman-Monteith (FAO) para estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>). 56 p. Dissertação (**Mestrado em Meteorologia Agrícola**). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Minas Gerais, Brasil. 1998.

APARICIO, J. S.; SÁNCHEZ, J. P. Evaluating Groundwater Management Sustainability under Limited Data Availability in Semiarid Zones. **Water**. v. 7, p. 4305-4322, 2015.

ARAÚJO, G; REIS E; MOREIRA, G. Correlações entre variáveis climatológicas e seus efeitos sobre a evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 5, p. 96-104, 2011.

ARDUINO. Arduino - **Introduction**. Disponível em [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc). 2015.

ARRAES, F. D. D. Modelagem bidimensional do movimento da água em condições de solo não saturado. 2014. 87f. Tese (**Doutorado em Física do Ambiente Agrícola**) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.

ÁVILA, V. S.; PETRY, M. T.; CARLESSO, R., MARTINS, J. D.; GONZÁLEZ, M. G.; OLIVEIRA, Z. B.; NUNES, J. N. V.; MENEGAZ, S. T. Simulation of soil water balance and partitioning of evapotranspiration of maize grown in two growing seasons in Southern Brazil. **Ciência Rural**. v. 47, n. 12, 2017.

BADAMASI, Y. A. The working principle of an Arduino. Proceedings of the 11th **International Conference on Electronics, Computer and Computation, ICECCO**. 2014.

BARROS, V. R.; SOUZA, A. P.; FONSECA, D. C.; SILVA, L. B. D. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica- RJ, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 4, n. 2, p. 198-203, 2009.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 7.ed. Viçosa: Editora UFV. 611 p. 2006.

CAMPECHE, L. F. M. S.; NETTO, A. O. A.; SOUSA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V. Lisímetro de pesagem de grande porte: desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15, n. 5, p. 519-525, 2011.

CAMPECHE, L. F. S. M. Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida ‘tahiti’ (*Citrus latifolia* tan.). 2002, 79f. Tese (**Doutorado em Irrigação e Drenagem**) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

CARVAJAL, C. J.; PEÑALVER, L. R.; REPULLO, J. A. V.; BUENDÍA, M. J.; MERINO, A. A.; MARTÍNEZ, J. M. M. Weighing lysimetric system for the

determination of the water balance during irrigation in potted plants. **Agricultural Water Management**. 183, 78–85. 2017.

CARVALHO, D. F. Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 27, n. 2, p. 363-372. 2007.

CARVALHO, H. DE P.; DE MELO, B.; ATARASSI, R. T.; DE CAMARGO, R.; DA SILVA, C. R.; MORAES, M. R. B. Desenvolvimento de lisímetros de pesagem na cultura do café. **Bioscience Journal**. v. 29, n. 6, p. 1750-1760, 2013.

CASSIOLATO, C. Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados. Instrumatic. Disponível em: <https://www.instrumatic.com.br/artigo/sistemas-de-supervisao-e-aquisicao-de-dados>. 2011, Acesso em fev/2021..

COMUNELLO, É.; SENTELHAS, P. C.; FIETZ, C. R.; FLUMIGNAN, D. L.; CECCON, G. Avaliação de um conjunto lisimétrico na determinação da demanda hídrica de milho cultivado no outono-inverno. **Irriga**, Botucatu, v. 23, n. 2, p. 204-219, 2018.

COSTA, E. V. Medidas da umidade relativa do ar em um ambiente fechado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 346–348. 2003.

COSTA, E.; LEAL, P. A. M.; CARMO JR, R. R. Modelo de simulação da temperatura e umidade relativa do ar no interior de estufa plástica. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 57–67, 2004.

CPTEC/INPE. **Noções básicas de meteorologia**. Cursos CPTEC/INPE Centro de Previsão de Tempos e Estudos Climáticos. 2013.

CUSTODIO, R.; KUBOTA, L. T.; ANDRADE, J. C. Lei dos processos de absorção da radiação. **Revista Chemkeys**. 2018.

DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N.; KLAMT, E.; DICK, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 481-489, 2005.

DUNN, A. M.; HOFMANN, O. S.; WATERS, B.; WITCHEL, E. Cloaking malware with the trusted platform module. In **Proceedings of the 20th USENIX Security Symposium** p. 395–410, 2011.

EVANS, B. W. **Arduino Programming Notebook**. Disponível em: <http://freecomputerbooks.com/Arduino-Programming-Notebook.html>. 2008.

FARIA, R. T. DE; CAMPECHE, F. DE S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 10, n. 1, p. 237-242, 2006.

GALVANI, E. Avaliação da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) em São Paulo, SP. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, n. 25, p. 155–164, 2009.

GARCIA, R. F; DE LIMA, R. C; MANHÃES, C. M. C. Nota técnica: avaliação de um sensor de fluxo utilizando placa microcontroladora Arduino - **Revista Engenharia na Agricultura - reveng**, v. 23, n. 2, p. 162–168, 2015.

GÓMEZ, J. M. R.; CARLESSO, F.; VIEIRA, L. E.; DA SILVA, L. A irradiância solar: conceitos básicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 40, n. 3, 2018.

GREBET, P.; CUENCA, R. History of lysimeter desing of environmental disturbances. In: ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O. et al. (Ed.) **Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: **American Society of Civil Engineers**. p. 10-18. 1991.

HACHOUCHE, A. S. **Apostila Arduino Básico – V 1.0**. Disponível em <http://apostilas.eletrogate.com>.

HILLEL, D.; KRENTOS, V.D.; STYLIANOU, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ - **Soil science**. 1972.

INMET. **Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET**. Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, n. 001, p. 1–11, 2011.

JENSEN, M.E.; BURMA, R.D.; ALLEN, R.G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. New York: **American Society of Civil Engineers**, 332p. 1990.

KIRKHAM, R.R.; GEE, G.W.; JONES, T.L. Weighing lysimeters for long-term water balance investigations at remote sites. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, n.5, p.1203-5. 1984.

KUMAR, M; RAGHUWANSHI, NS; SINGH, R; WALLENDER, WW; PRUITT, WO. Estimating evapotranspiration using artificial neural network. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.128, n.4, p.224- 233, 2002.

LEMOS FILHO, L. C. A.; CARVALHO, L. G; EVANGELISTA, A. W. P; ALVES JÚNIOR, J. Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, p. 1294–1303, 2010.

LIMA, L. P. D. A.; GAIO, D. C.; ROSA, L. L. DA; ANJOS, M. R. DOS; DE MUSIS, C. R.; SANCHES, L.; NOGUEIRA, J. S. Lisímetros de pesagem de pequeno porte na investigação de transpiração de plantas de feijão. **Nativa**. V. 8, n. 2, p. 192-197, 2020.

MACHADO, R. E. E.; MATTOS, A. Construção e instalação de um lisímetro com sistema de drenagem. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 147-151. 2001.

MATERÁN, F. J. V.; OLIVEIRA, R. A. DE.; CECON, P. R.; SEDIYAMA, G. C.; MARTINEZ, H. E. P.; TAGLIAFERRE, C. Lisímetro com lençol freático constante operando com Irrigâmetro modificado para medida da evapotranspiração de referência. **Revista UDO Agrícola**, v. 9, n. 2, p. 364-375, 2009.

MATZENUER, R. Evapotranspiração da cultura do milho. II-Relações com a evaporação do tanque classe “A”, com a evapotranspiração de referência e com a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p. 15–21, 1998.

MIRANDA, F. R. DE; YODER, R. E.; SOUZA, F. DE. Instalação e calibração de um lisímetro de pesagem no projeto de irrigação Curu-Paraipaba, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 3, n. 1, p. 107-110, 1999.

OLIVEIRA, S. L. DE; FILHO, M. A. C.; COELHO, E. F. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v. 7, p. 57–60, 2005.

OLIVERIA, F. C. Estimativa da radiação fotossinteticamente ativa para as bacias dos Rios Doce, São Mateus e Jequitinhonha. 1998. 75f Dissertação. (**Mestrado em Meteorologia Agrícola**) - Universidade Federal de Viçosa. 2010.

OMETTO, J.C. **Registro e estimativas dos parâmetros meteorológicos da região de Piracicaba**. Piracicaba: FEALQ, 76 p. 1991.

PALMIERI, A. M. Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para coleta e armazenamento de dados de variáveis climáticas: aplicações no ambiente agrícola. 2009. 85f. Dissertação (**Mestrado em Física do Ambiente Agrícola**) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

PEREIRA, F. A. C. Desempenho do modelo de Penman-Monteith e de dois evaporímetros na estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) em relação a um lisímetro de pesagem. 1998. 104f. Tese (**Doutorado em Irrigação e Drenagem**) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.

PEREIRA, A. B; SENTELHAS, P.C; NOVA, N. A. V. Estimativa do balanço de energia radiante em função de elementos climáticos. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 201-206. 1998.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. **Agropecuária**, Guaíba, 478p. 2002.

PEZZOPANE, J. R. M.; MARSETTI, M. M. S.; SOUZA, J. M.; PEZZOPANE, J. E. M. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com noqueira macadâmia. **Ciência Rural**, v. 40, n. 6, p. 1257–1263, 2010.

PILAU, F. G.; ANGELOCCI, L. R. Padrões de interceptação de radiação solar por cafeeiros em função da área foliar. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 127–136, 2016.

QUAGLIA, L. Calibração de um lisímetro de pesagem para monitoramento da evaporação do solo sem cobertura vegetal. 2005. 74f. Dissertação. (**Mestrado em Física do Ambiente Agrícola**) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

RADIN, B.; BERGAMASCHI, H.; REISSER, C.; BARNI, N. A.; MATZENAUER, R.; DIDONÉ, I. A. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 38, n. 9, p. 1017-1023, 2003.

RESENDE, S. D.; ALMEIDA LOBO, F.; DALMAGRO, H. J.; BIUDES, M. S.; PINTO JÚNIOR, O. B.; DE SOUZA NOGUEIRA, J.; VOURLITIS, G. L. Avaliação de dois métodos para estimativa do índice de área foliar em Floresta de transição Amazônia-Cerrado. **Ciência e Natura**, v. 32, n. 2, p. 183–195, 2010.

ROCHA, M. R. DA; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; BASSO, L. J.; MENEGAZ, S. T. Dinâmica da água nos resíduos culturais em um sistema irrigado. **Irriga**, Botucatu, v. 23, n. 4, p. 622-636, 2018.

RUHOFF, A. L.; SALDANHA, C. B.; COLLISCHONN, W. Análise multivariada do processo de evapotranspiração em áreas de cerrado e cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 14, p. 137-146, 2009.

SANCHES, A. C.; SOUZA, D. P. DE; MENDONÇA, F. C.; MAFFEI, R. G., SANCHES. Construction and calibration of weighing lysimeters with an automated drainage system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 7, p. 505–509, 2017.

SANTOS, D. P.; SANTOS, M. A. L.; SANTOS, C. S.; SILVA, P. F.; LEÃO, I. B. Construção, instalação, calibração, performance e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem cultivados com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 11, n. 4, p. 1606-1616, 2017.

SÉRVULO, A. C. O.; VELLAME, L. M.; CASAROLI, D.; ALVES JÚNIOR, J.; DE SOUZA, P. H. African mahogany transpiration with granier method and water table lysimeter. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 5, p. 322–326, 2017.

SILVA, A. J. P. DA; COELHO, E. F. Estimation of water percolation by different methods using TDR. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**. v. 38, p. 73-81, 2014.

SILVA, F. C.; FOLEGATTI, M. V.; MAGGIOTTO, S. R. Análise do funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 7, n. 1, 53-58, 1999.

SILVA, H. C. D. DA; SILVA, M. T.; SILVA, M. M. M. A.; ROCHA JUNIOR, C. A. N. DA. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (Eto) na região de Petrolina-PE. **Ciência e Natura**. Santa Maria, v. 36, p. 456-461, 2014.

SILVA, L. D. B. Evapotranspiração do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) e grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem. Piracicaba, SP, 93f. Tese (**Doutorado em Irrigação e Drenagem**) - Escola Superior Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. 2003.

SILVA, T.J.A.; MONTENEGRO, A.A.; RODRIGUES, J.J.; BONFIM, E.M.S. Aplicação de lisímetro de pesagem hidráulica na determinação da evapotranspiração de referência, em Petrolina - PE. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.511-20, 2003.

SOUSA, I. F.; NETTO, A. O. A.; CAMPECHE, L. F. M. S.; BARROS, A. C.; SILVA, V. DE P. R. DA; AZEVEDO, P. V. DE. Lisímetro de pesagem de grande porte. parte II:

consumo hídrico do coqueiro anão verde irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 526–532, 2011.

SOUSA, M. M. DE; DRUMOND, L. C. D.; NALDI, M. C. Sistema computacional para aquisição automática e disponibilização de dados meteorológicos. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p. 606–612, 2015.

SOUSA, M. M.; DRUMOND, L. C. D.; NALDI, M. C. Sistema computacional para aquisição automática e disponibilização de dados meteorológicos. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p. 606–612, 2015.

SOUZA, A. P. DE; DE LIMA, M. E.; DE CARVALHO, D. F. **Evapotranspiração e coeficientes de cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a mucuna-cinza, usando lisímetros de pesagem**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. 2012.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 835–841, 2000.

TORRES, J. D.; MONTEIRO, I. O.; SANTOS, J. R.; ORTIZ, M.S. Aquisição de dados meteorológicos através da plataforma Arduino: construção de baixo custo e análise de dados. **Scientia Plena**, v. 11, n. 2, p. 1–13, 2015.

TURCO, J. E. P.; BARBOSA, J.C. Avaliação de duas estações meteorológicas automatizadas, para estimativa diária da evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 3, p. 339-354, 2008.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife, Versão Digital 2, 2006.

VIANA, T. V. DE A.; FOLEGATTI, M. V.; AZEVEDO, B. M. DE; BONFIM, G. V. DO; ELÓI, W. M. Evapotranspiração obtida com o sistema razão de Bowen e com um lisímetro de pesagem em ambiente protegido. **Irriga**. Botucatu, v. 8, n. 2, p. 113-119, 2003.

VIANELLO, R. L. **A Estação Meteorológica E Seu Observador**. INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. 2011.

YNOUE, R. Y.; REBOITA, M. S; AMBRIZZI, T.; SILVA, G.A. M. DA. **Meteorologia: noções básicas**. Oficina de Textos. 184 p. 2017.

## 7. ANEXOS

### 7.1 CÓDIGO ARDUINO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO E ARMAZENAGEM DE DADOS

/\*

Exemplo usando a placa de fuga SparkFun HX711 com uma escala

Mapeamento de Hardware

Pino Arduino -> HX711

```

-----
A0 -> DAT  A2 -> DAT  A6 -> DAT  A8 -> DAT  D10 -> DAT
A12 -> DAT A14 -> DAT D3 -> DAT  D6 -> DAT  D8 -> DAT
A1 -> CLK  A3 -> CLK  A7 -> CLK  A9 -> CLK  D11 -> CLK
A13 -> CLK A15 -> CLK D2 -> CLK  D5 -> CLK  D7 -> CLK
5V -> VCC  5V -> VCC  5V -> VCC  5V -> VCC  5V -> VCC
5V -> VCC  5V -> VCC  5V -> VCC  5V -> VCC  5V -> VCC
GND -> GND GND -> GND GND -> GND GND -> GND GND -
> GND GND -> GND GND -> GND GND -> GND GND -> GND GND ->
GND

```

-----  
A placa HX711 pode ser alimentada de 2,7V a 5V, então a potência do Arduino 5V deve ficar boa.

Mapeamento de Hardware

DS3231 -> Arduino Duemilanove/UNO

-----  
VCC pin -> Arduino 5V

GND pin -> Arduino GND

SDA pin -> Arduino Analog A4 (SDA)

SCL pin -> Arduino Analog A5 (SCL)

Mapeamento de Hardware

MicroSD Card -> Arduino /UNO

-----  
VCC pin -> Arduino 3,3V

GND pin -> Arduino GND

MOSO/MISO pin -> D6

MOSI pin -> D7

SCK pin -> D5

CS pin -> D8

```

*/
// --- Bibliotecas ---
#include <LiquidCrystal.h>
#include <HX711.h>
#include <DS3231.h> //Inclui a biblioteca do DS3231 (RTC)
#include <SPI.h> // Biblioteca de comunicação SPI Nativa
#include <SD.h> // Biblioteca de comunicação com cartão SD Nativa
//novo
#include "HX711.h"

LiquidCrystal lcd(2,4,10,11,12,13);

// --- Comunicação I2C ---
DS3231 rtc(SDA,SCL); //Comunicação do Relógio com o integrado DS3231
(RTC)

//#define calibration_factor_1 -14120 // -13950
#define calibration_factor_2 -14140 // -7950
#define calibration_factor_3 -13640 // -13450
#define calibration_factor_4 -13730 // -13800
#define calibration_factor_5 -13800 // -7950
#define calibration_factor_6 -13460 // -13450
//#define calibration_factor_7 -13450 // -13450
//#define calibration_factor_8 -14200 // -13800
//#define calibration_factor_9 -7950 // -7950
//#define calibration_factor_10 -13600 // -13450

const int chipSelect = 4;
unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 300000;

//#define DOUT A0
//#define CLK A1
//HX711 constructor (dout pin, sck pin)
//HX711 Celula_1(A0, A1); //HX711 1
HX711 Celula_2(A2, A3); //HX711 2
HX711 Celula_3(A4, A5); //HX711 3
HX711 Celula_4(A6, A7); //HX711 4
HX711 Celula_5(A8, A9); //HX711 5
HX711 Celula_6(A10, A11); //HX711 6
//HX711 Celula_7(A12, A13); //HX711 7
//HX711 Celula_8(A14, A15); //HX711 8
//HX711 Celula_9(3, 2); //HX711 9
//HX711 Celula_10(5, 4); //HX711 10

// --- Configurações Iniciais ---

```

```

//Arquivo de dados
File dados;
int leitura = 0;

void setup(){

  Serial.begin(9600); //Inicia comunicaÃ§Ãµes Serial em 9600 baud rate
  lcd.begin(20,4);
  // -----
  // pinMode(53, OUTPUT); // mude isso para 53 em um mega (nÃ£o siga isso !!)
  // digitalWrite(53, HIGH); // Adicione esta linha

  // -----
  Serial.print( "Iniciando cartÃ£o SD ..." );

  // ---- Criar arquivos separados a cada inicializacao do Arduino
  Serial.print("Iniciando cartao SD...");
  // see if the card is present and can be initialized:
  if (!SD.begin(53)) {
    Serial.println("falha no cartao ou cartao nao presente");
    lcd.print("ERRO!SEM GRAVAR!");
    // don't do anything more:
    return;
  }
  Serial.println("Cartao inicializado!");

  // Cria um novo arquivo
  char filename[] = "LOGGER00.CSV";
  for (uint8_t i = 0; i < 100; i++) {
    filename[6] = i/10 + '0';
    filename[7] = i%10 + '0';
    if (!SD.exists(filename)) {
      // only open a new file if it doesn't exist
      dados = SD.open(filename, FILE_WRITE);
      break; // leave the loop!
    } // end if
  } // end for

  if (!dados) {
    error("Nao foi possivel criar o arquivo");

  } // end if
  Serial.print(F("Gravando dados em: "));
  Serial.println(filename);

```

```

lcd.print(filename);
// -----

//SD.begin(53); //CS

Serial.println("Mestrado UNIC-Ciências Ambientais");
Serial.println("Orientador Prf. Dr. Osvaldo Alves");
Serial.println("Orientando Eduardo Nogueira");
Serial.println("Dado, Peso nos Lisímetros em kg:");

//Inicializa RTC
rtc.begin();

//As linhas seguintes têm de ser atualizadas com a Data e Hora de Envio do
Programa para o Arduino
//rtc.setDOW( THURSDAY ); //Deve ser alterado o dia da semana para o dia em
que estás em Inglês.
//rtc.setTime( 11, 29, 0 ); //Escreve as horas no formato 12:00:00 (formato 24
horas).
//rtc.setDate( 19, 3, 2020 ); // Escreve a data de acordo com o sistema que utiliza
DD, MM, AAAA.
// Este programa escreve a data e hora noRTC e o relógio fica a trabalhar.
//end setup

//Celula_1.set_scale(calibration_factor_1); //Esse valor é obtido usando o
esboço SparkFun_HX711_Calibration
Celula_2.set_scale(calibration_factor_2); //Esse valor é obtido usando o
esboço SparkFun_HX711_Calibration
//Celula_3.set_scale(calibration_factor_3); //Esse valor é obtido usando o
esboço SparkFun_HX711_Calibration
//Celula_4.set_scale(calibration_factor_4); //Esse valor é obtido usando o
esboço SparkFun_HX711_Calibration
//Celula_5.set_scale(calibration_factor_5); //Esse valor é obtido usando o
esboço SparkFun_HX711_Calibration
Celula_6.set_scale(calibration_factor_6); //Esse valor é obtido usando o
esboço SparkFun_HX711_Calibration
// Celula_7.set_scale(calibration_factor_7); //Esse valor é obtido usando o
esboço SparkFun_HX711_Calibration
// Celula_8.set_scale(calibration_factor_8); //Esse valor é obtido usando o
esboço SparkFun_HX711_Calibration
// Celula_9.set_scale(calibration_factor_9); //Esse valor é obtido usando o
esboço SparkFun_HX711_Calibration

```

```

// Celula_10.set_scale(calibration_factor_10); //Esse valor Ã© obtido usando o
esboço SparkFun_HX711_Calibration
// Celula_1.tare(); //Assumindo que não há peso na balança na
inicialização, redefina a escala para 0
  Celula_2.tare(); //Assumindo que não há peso na balança na inicialização,
redefina a escala para 0
//Celula_3.tare(); //Assumindo que não há peso na balança na inicialização,
redefina a escala para 0
//Celula_4.tare(); //Assumindo que não há peso na balança na inicialização,
redefina a escala para 0
//Celula_5.tare(); //Assumindo que não há peso na balança na inicialização,
redefina a escala para 0
  Celula_6.tare(); //Assumindo que não há peso na balança na inicialização,
redefina a escala para 0
// Celula_7.tare(); //Assumindo que não há peso na balança na
inicialização, redefina a escala para 0
// Celula_8.tare(); //Assumindo que não há peso na balança na
inicialização, redefina a escala para 0
// Celula_9.tare(); //Assumindo que não há peso na balança na
inicialização, redefina a escala para 0
// Celula_10.tare(); //Assumindo que não há peso na balança na
inicialização, redefina a escala para 0
}

```

```

// --- Loop Infinito ---

```

```

void loop()

```

```

{

```

```

  unsigned long currentMillis = millis();

```

```

  if (currentMillis - previousMillis >= interval) {

```

```

    previousMillis = currentMillis;

```

```

    leitura = leitura + 1;

```

```

    //lcd.setCursor(0,1);

```

```

    //lcd.print(rtc.getTimeStr());

```

```

    //lcd.setCursor(9,1);

```

```

    //lcd.print(leitura);

```

```

    //lcd.print("SAVING");

```

```

    // --Alterado por Paulo

```

```

    //File dados = SD.open("dados1.txt", FILE_WRITE);

```

```

    if(dados){

```

```

// dados.print("Dia da semana: "); // Escreve o texto que está entre parenteses

```

```

// dados.print(rtc.getDOWStr()); //Imprime o dia da semana

```

```

// dados.print(" "); // Coloca um espaço entre os dados

```

```

  lcd.setCursor(14,0);

```

```

lcd.print(leitura);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(rtc.getTimeStr());

```

```

dados.print("Data: "); // Escreve o texto que está entre parenteses
dados.print(rtc.getDateStr()); //Imprime a Data
dados.print(" "); // Coloca um espaço entre os dados

```

```

dados.print("Horas: "); // Escreve o texto que está entre parenteses
dados.print(rtc.getTimeStr()); //Imprime o horário
dados.print(" "); // Coloca um espaço entre os dados

```

```

dados.print("Temperatura: "); // Escreve o texto que está entre parenteses
dados.print(rtc.getTemp()); //Imprime a temperatura ambiente
dados.print(" C"); // Escreve o texto que está entre parenteses
dados.print(" "); // Coloca um espaço entre os dados

```

```

// dados.print("L1: ");
// dados.print(Celula_1.get_units(), 1); // scale.get_units() returns a float;
// dados.print(" kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você precisará;
mudar o calibration_factor_1
// dados.print(" "); // Coloca um espaço entre os dados

```

```

dados.print("L2: ");
dados.print(Celula_2.get_units(), 1); // scale.get_units() returns a float;
dados.print(" kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você precisará;
mudar o calibration_factor_2
dados.print(" "); // Coloca um espaço entre os dados
lcd.setCursor(15,1);
lcd.print(Celula_2.get_units());

```

```

//dados.print("L3: ");
//dados.print(Celula_3.get_units(), 1); // scale.get_units() returns a float;
//dados.print(" kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você precisará;
mudar o calibration_factor_3
//dados.print(" "); // Coloca um espaço entre os dados
//lcd.setCursor(0,2);
//lcd.print(Celula_3.get_units());

```

```

//dados.print("L4: ");
//dados.print(Celula_4.get_units(), 1); // scale.get_units() returns a float;
//dados.print(" kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você precisará;
mudar o calibration_factor_4
//dados.print(" "); // Coloca um espaço entre os dados
//lcd.setCursor(8,2);
//lcd.print(Celula_4.get_units());

```

```

//dados.print("L5:  ");
//dados.print(Celula_5.get_units(), 1); // scale.get_units() returns a float;
//dados.print("  kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você precisará;
mudar o calibration_factor_5
//dados.print("  "); // Coloca um espaço entre os dados
//lcd.setCursor(15,2);
//lcd.print(Celula_5.get_units());

dados.print("L6:  ");
dados.print(Celula_6.get_units(), 1); // scale.get_units() returns a float;
dados.print("  kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você precisará;
mudar o calibration_factor_6
dados.print("  "); // Coloca um espaço entre os dados
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print(Celula_6.get_units());

lcd.setCursor(10,3);
lcd.print(rtc.getDateStr());

// dados.print("L7:  ");
// dados.print(Celula_7.get_units(), 2); // scale.get_units() returns a float;
// dados.print("  kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você precisará;
mudar o calibration_factor_7
// dados.print("  "); // Coloca um espaço entre os dados

// dados.print("L8:  ");
// dados.print(Celula_8.get_units(), 2); // scale.get_units() returns a float;
// dados.print("  kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você precisará;
mudar o calibration_factor_8
// dados.print("  "); // Coloca um espaço entre os dados

// dados.print("L9:  ");
// dados.print(Celula_9.get_units(), 2); // scale.get_units() returns a float;
// dados.print("  kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você precisará;
mudar o calibration_factor_9
// dados.print("  "); // Coloca um espaço entre os dados

// dados.print("L10:  ");
// dados.print(Celula_10.get_units(), 2); // scale.get_units() returns a float;
// dados.print("  kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você precisará;
mudar o calibration_factor_10
// dados.print("  "); // Coloca um espaço entre os dados

dados.println();

// ----- Alterado por Paulo

```

```

//dados.close();
dados.flush();

}
else {
  Serial.println("erro ao criar o arquivo");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("SEM DADOS");
}

//As linhas seguintes são para fazer a leitura da data e hora;
// Serial.print("Dia da semana: "); // Escreve o texto que está entre parenteses
// Serial.print(rtc.getDOWStr()); //Imprime o dia da semana
// Serial.print(" "); // Coloca um espaço entre os dados

Serial.print("Data: "); // Escreve o texto que está entre parenteses
Serial.print(rtc.getDateStr()); //Imprime a Data
Serial.print(" "); // Coloca um espaço entre os dados

Serial.print("Horas: "); // Escreve o texto que está entre parenteses
Serial.print(rtc.getTimeStr()); //Imprime o horário
Serial.print(" "); // Coloca um espaço entre os dados

Serial.print("Temperatura: "); // Escreve o texto que está entre parenteses
Serial.print(rtc.getTemp()); //Imprime a temperatura ambiente
Serial.print(" C"); // Escreve o texto que está entre parenteses
Serial.print(" "); // Coloca um espaço entre os dados

//Serial.print("L1: ");
//Serial.print(Celula_1.get_units(), 1); // scale.get_units() returns a float;
//Serial.print(" kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você
precisará; mudar o calibration_factor_1
//Serial.print(" "); // Coloca um espaço entre os dados

Serial.print("L2: ");
Serial.print(Celula_2.get_units(), 1); // scale.get_units() returns a float;
Serial.print(" kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você precisará;
mudar o calibration_factor_2
Serial.print(" "); // Coloca um espaço entre os dados

//Serial.print("L3: ");
//Serial.print(Celula_3.get_units(), 1); // scale.get_units() returns a float;
//Serial.print(" kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você
precisará; mudar o calibration_factor_3
//Serial.print(" "); // Coloca um espaço entre os dados

//Serial.print("L4: ");

```

```

//Serial.print(Celula_4.get_units(), 1); // scale.get_units() returns a float;
//Serial.print("    kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você
precisará; mudar o calibration_factor_4
//Serial.print("    "); // Coloca um espaço entre os dados

//Serial.print("L5:  ");
//Serial.print(Celula_5.get_units(), 1); // scale.get_units() returns a float;
//Serial.print("    kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você
precisará; mudar o calibration_factor_5
//Serial.print("    "); // Coloca um espaço entre os dados

Serial.print("L6:  ");
Serial.print(Celula_6.get_units(), 1); // scale.get_units() returns a float;
Serial.print("    kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você precisará;
mudar o calibration_factor_6
Serial.print("    "); // Coloca um espaço entre os dados

// Serial.print("L7:  ");
// Serial.print(Celula_7.get_units(), 2); // scale.get_units() returns a float;
// Serial.print("    kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você
precisará; mudar o calibration_factor_7
// Serial.print("    "); // Coloca um espaço entre os dados

// Serial.print("L8:  ");
// Serial.print(Celula_8.get_units(), 2); // scale.get_units() returns a float;
// Serial.print("    kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você
precisará; mudar o calibration_factor_8
// Serial.print("    "); // Coloca um espaço entre os dados

// Serial.print("L9:  ");
// Serial.print(Celula_9.get_units(), 2); // scale.get_units() returns a float;
// Serial.print("    kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você
precisará; mudar o calibration_factor_9
// Serial.print("    "); // Coloca um espaço entre os dados

// Serial.print("L10:  ");
// Serial.print(Celula_10.get_units(), 2); // scale.get_units() returns a float;
// Serial.print("    kg"); //Você pode mudar isso para kg, mas você
precisará; mudar o calibration_factor_10
// Serial.print("    "); // Coloca um espaço entre os dados
Serial.println();

//delay (1000); //Tempo de espera antes de uma nova leitura (1 seg)
//delay (300000); //Tempo de espera antes de uma nova leitura (5 min)

}

```

```
}
```

```
// Error message in case there's a problem with the SD card
```

```
void error(char *str)
```

```
{
```

```
  Serial.print("erro: ");
```

```
  Serial.println(str);
```

```
  while(1);
```

```
}
```

## 7.2 CÓDIGO ARDUINO PARA CALIBRAÇÃO DOS LISÍMETROS

```
/*
```

Este é o esboço de calibração. Use-o para determinar o fator de calibração usado pelo exemplo principal. Isso também

Gera o zero\_factor útil para projetos que possuem uma massa permanente na escala entre os ciclos de energia.

Configure sua escala e inicie o esboço SEM um peso na balança

Assim que as leituras forem exibidas, coloque o peso na balança

Pressione +/- ou a / z para ajustar o fator de calibração até que as leituras de saída correspondam ao peso conhecido

Use este calibration\_factor no esboço de exemplo

Este exemplo assume libras (lbs). Se você preferir quilos, altere o Serial.print ("lbs"); linha para kg. o

o fator de calibração será significativamente diferente, mas será linearmente relacionado a lbs (1 lbs = 0,453592 kg).

Seu fator de calibração pode ser muito positivo ou muito negativo. Tudo depende da configuração do seu sistema de escala e a direção que os sensores defletem do estado zero

Este código de exemplo usa a excelente biblioteca do bogde: <https://github.com/bogde/HX711>

A biblioteca do bogde é lançada sob uma licença GNU GENERAL PUBLIC LICENCE

Pino Arduino 2 -> HX711 CLK

3 -> DOUT

5V -> VCC

GND -> GND

A maioria dos pinos no Arduino Uno será compatível com o DOUT / CLK.

A placa HX711 pode ser alimentada de 2,7V a 5V, então a potência do Arduino 5V deve ficar boa.

```
*/
```

```
#include "HX711.h"
```

```
#define DOUT A6
```

```
#define CLK A7
```

```

HX711 scale(DOUT, CLK);

float calibration_factor = -14000; //Balança sem nada -13800, Balança com mola
-7950, Balança com guia vertical -13450,
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("HX711 calibration sketch");
  Serial.println("Remove all weight from scale");
  Serial.println("After readings begin, place known weight on scale");
  Serial.println("Press + or a to increase calibration factor");
  Serial.println("Press - or z to decrease calibration factor");

  scale.set_scale();
  scale.tare(); //Reponha a escala para 0

  long zero_factor = scale.read_average(); //Obter uma leitura de linha de base
  Serial.print("Zero factor: "); //Isso pode ser usado para remover a necessidade de
  tarar a balança. Útil em projetos de escala permanente.
  Serial.println(zero_factor);
}

void loop() {

  scale.set_scale(calibration_factor); //Ajuste para este fator de calibração

  Serial.print("Reading: ");
  Serial.print(scale.get_units(), 1);
  Serial.print(" Kg"); //Altere isso para kg e reajuste o fator de calibração se você
  seguir as unidades do SI como uma pessoa sã
  Serial.print(" calibration_factor: ");
  Serial.print(calibration_factor);
  Serial.println();

  if(Serial.available())
  {
    char temp = Serial.read();
    if(temp == '+' || temp == 'a')
      calibration_factor += 10;
    else if(temp == '-' || temp == 'z')
      calibration_factor -= 10;
  }
}

```

### 7.3 ESQUEMA DE PINAGEM DO ARDUINO MEGA

# MEGA PINOUT

