

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
DEPARTAMENTO DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ENGENHARIA AGRÍCOLA



DISCIPLINA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO II
Linha de pesquisa: Pós-Colheita de Grãos e Sementes

**CORREÇÃO DE SENSORES ELETRÔNICOS UTILIZADOS PARA O
MONITORAMENTO DA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA
DO AR AMBIENTE**

GILNEI RENATO BAÚ

ERECHIM
2015

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ENGENHARIA AGRÍCOLA



CORREÇÃO DE Sensores Eletrônicos Utilizados para o
Monitoramento da Temperatura e Umidade Relativa
do Ar Ambiente

Gilnei Renato Baú

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Departamento de Ciências Agrárias na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Graduação II.

ERECHIM
2015

GILNEI RENATO BAÚ

**CORREÇÃO DE SENSORES ELETRÔNICOS UTILIZADOS PARA O
MONITORAMENTO DA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA
DO AR AMBIENTE**

Orientador: Prof. Msc. Jeferson Cunha da Rocha.

Banca examinadora:

Prof. Msc. Jeferson cunha da Rocha
Engenheiro Agrícola
URI - Erechim

Prof. Msc. Leandro de Mello Pinto
Engenheira Agrícola
URI - Erechim

Prof. Msc. Claudio Augusto Zakrzewski
Físico
URI - Erechim

ERECHIM

2015

RESUMO

O ajuste de um instrumento de medida, quando verificado sua necessidade, destina-se a fazer com que este tenha um desempenho confiável e com maior precisão, de outra forma, havendo um grande afastamento entre a leitura realizada por um sensor e a medida real da variável, ocorrerá a obtenção incorreta de informações e o consequente prejuízo na tomada de decisão. O presente trabalho propôs a verificação de afastamentos entre as leituras de temperatura e de umidade relativa do ar atmosférico obtidas em quatro sensores eletrônicos em relação as leituras registradas por um termo-higrômetro, e a aplicação do método dos mínimos quadrados para a correção dos afastamentos. Para este estudo foi utilizado uma bancada de ensaio com um microcontrolador Arduino UNO-R3 para a coleta e o armazenamento da temperatura e da umidade relativa do ar atmosférico obtidos através dos sensores eletrônicos. A coleta das variáveis pelos sensores foram conduzidas inteiramente ao acaso, no período de 27/10 a 07/11 de 2014 e acompanhadas simultaneamente do registro da temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido em termo-higrômetro não aspirado. Os resultados obtidos neste estudo mostraram que há diferenças nos valores de temperatura do ar e umidade relativa entre os sensores e o termo-higrômetro. A utilização do método dos MMQ reduziu consideravelmente os resíduos observados nas diferenças entre as leituras dos sensores e as leituras do termo-higrômetro; O método Matemático dos Mínimos Quadrados MMQ, mostrou-se viável para corrigir as diferenças de temperatura e umidade relativa ar nos sensores apresentados. O sensor com melhor fidelidade de leituras para a temperatura do ar, após a correção, foi o sensor SHT15. O sensor com melhor fidelidade de leituras para a umidade relativa do ar, após a correção, foi o sensor DHT22. O sensor que apresentou o pior resultado de fidelidade de leituras da temperatura do ar, após a correção, foi o sensor LM35. O sensor que apresentou o pior resultado de fidelidade de leitura da umidade relativa do ar, após a correção, foi o sensor HIH- 4040.

Palavras-chave: Métodos dos Mínimos Quadrados, Sensores, Termo-higrômetro.

ABSTRAT

The adjustment of a measuring instrument, when checked need thereof, is intended to make it has reliable performance, and more precisely, otherwise there is a large clearance between the reading performed by a sensor and the actual measurement variable, there will be incorrect obtaining information and the consequent loss in decision making. This study set out to check clearances between the temperature readings and relative humidity of atmospheric air obtained in four electronic sensors over the reading recorded by a thermo-hygrometer, and the application of the method of least squares multiple for correction of clearances . For this study we used a testing bench with a UNO-R3 Arduino microcontroller for the collection and storage of temperature and relative humidity of atmospheric air obtained through electronic sensors. The collection of variables by the sensors were conducted entirely at random, from 27/10 to 07/11 2014 and simultaneously accompanied by the dry bulb temperature record and wet bulb in thermo-hygrometer not vacuumed. The results of this study showed that there are differences in air temperature and relative humidity values between the sensors and the thermo-hygrometer. Using the method of MMQ considerably reduced waste observed the differences between the sensor readings and the readings of the thermo-hygrometer; The mathematical method of Least Squares MMQ, proved to be feasible to correct the differences in temperature and humidity air in our sensors. The sensor with better fidelity readings for air temperature, after correction, was the SHT15 sensor. The sensor with better fidelity readings for relative humidity, after correction, was the DHT22 sensor. The sensor that showed the worst result Loyalty air temperature readings after correction, was the LM35 sensor. The sensor that showed the worst result of moisture reading loyalty of the air, after correction, was the HIH-4040 sensor.

Keywords: Least Squares, sensors, thermo-hygrometer..

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do Método dos Mínimos Quadrados efetuado em Excel.....	17
Figura 2 - Arduíno UNO (MCROBERTS, 2011).	25
Figura 3 - Ethernet Shield. (ROBOCORE, 2014).	26
Figura 4 - Módulo RTC. (LABORATORIODEGARAGEM, 2014).	26
Figura 5 - Sensor de Umidade e Temperatura SHT15 (SENSIRION, 2011).....	28
Figura 6 - Sensor de umidade e temperatura DHT22 (WEBTRONICO, 2014).	29
Figura 7 - Sensor de temperatura LM35 (ROBOCORE, 2014).	30
Figura 8 - Sensor HIH-4040 (HONEYWELL, 2014).	31
Figura 9 -Montagem sensores	33
Figura 10a e 10b - Protótipo experimento em bancada no laboratório, circuito de bancada .	34
Figura 11 - Termo-higrômetro não aspirado	35
Figura 12 - Comportamento da temperatura do ar obtida pelo sensor SHT15, sem a correção de ajustamento, e pelo termômetro	39
Figura 13 - Simulação matemática do comportamento do sensor SHT15 utilizando a equação de ajustamento na obtenção da temperatura do ar, em relação ao registrado em termômetro..	40
Figura 14 - Comportamento da umidade relativa do ar ambiente obtida pelo sensor SHT15, sem a correção de ajustamento, e a calculada por termo-higrômetro	42
Figura 15 - Simulação matemática do comportamento da umidade relativa do ar ambiente no sensor SHT15 utilizando a equação de ajustamento, em relação ao calculado por termo-higrômetro.).	44
Figura 16 - Comportamento da temperatura do ar obtida pelo sensor DHT22, sem a correção de ajustamento, e pelo termômetro.....	46
Figura 17 - Simulação matemática do comportamento do sensor DHT22 utilizando a equação de ajustamento na obtenção da temperatura do ar, em relação ao registrado em termômetro..	47
Figura 18 - Comportamento da umidade relativa do ar ambiente obtida pelo sensor DHT22, sem a correção de ajustamento, e a calculada por termo-higrômetro.....	49

Figura 19 - Simulação matemática do comportamento da umidade relativa do ar ambiente no sensor DHT22 utilizando a equação de ajustamento, em relação ao calculado por termo-higrômetro .	51
Figura 20 - Comportamento da temperatura do ar obtida pelo sensor LM35, sem a correção de ajustamento, e pelo termômetro.	53
Figura 21 - Simulação matemática do comportamento do sensor LM35 utilizando a equação de ajustamento na obtenção da temperatura do ar, em relação ao registrado em termômetro..	54
Figura 22 - Comportamento da umidade relativa do ar ambiente obtida pelo sensor HIH4040, sem a correção de ajustamento, e a calculada por termo-higrômetro..	56
Figura 23 - Simulação matemática do comportamento da umidade relativa do ar ambiente no sensor HIH4040 utilizando a equação de ajustamento, em relação ao calculado por termo-higrômetro.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados referente ao sensor SHT15 (Sensirion, 2014)	28
Tabela 2 - Dados referente ao sensor DHT22 (laboratoriodegaragem, 2014).....	29
Tabela 3 - Dados referente ao sensor LM35 (JEPEX/2009. UFRPE, 2009).....	30
Tabela 4 - Dados referente ao sensor HIH-4040 (honeywell, 2014).....	31
Tabela 5a 5b – Acompanhamento termo-higrômetro e sensores	37
Tabela 6 - Temperatura do ar ambiente obtido em termo-higrômetro e pelo sensor SHT15 sem a correção de ajustamento	38
Tabela 7 - Temperatura do ar ambiente obtida em termo-higrômetro e pelo sensor SHT15 ajustado pelo método MMQ.....	40
Tabela 8 - Umidade relativa do ar ambiente (%) calculada por termo-higrômetro e a obtida pelo sensor SHT15 sem a correção de ajustamento	41
Tabela 9 - Umidade relativa do ar ambiente (%) calculado por termo-higrômetro e a obtida pelo sensor SHT15 ajustado pelo método MMQ	43
Tabela 10 - Temperatura do ar ambiente obtido em termo-higrômetro e pelo sensor DHT22 sem a correção de ajustamento.....	45
Tabela 11 - Temperatura do ar ambiente obtida em termo-higrômetro e pelo sensor DHT22 ajustado pelo método MMQ.....	47
Tabela 12 - Umidade relativa do ar ambiente (%) calculada por termo-higrômetro e a obtida pelo sensor DHT22 sem a correção de ajustamento.....	48
Tabela 13 - Umidade relativa do ar ambiente (%) calculado por termo-higrômetro e a obtida pelo sensor DHT22 ajustado pelo método MMQ.....	50
Tabela 14 - Temperatura do ar ambiente obtido em termo-higrômetro e pelo sensor LM35 sem a correção de ajustamento	52
Tabela 15 - Temperatura do ar ambiente obtida em termômetro e pelo sensor LM35 ajustado pelo método MMQ.....	53
Tabela 16 - Umidade relativa do ar ambiente (%) calculada por termo-higrômetro e a obtida pelo sensor HIH4040 sem a correção de ajustamento.....	55
Tabela 17 - Umidade relativa do ar ambiente (%) calculado por termo-higrômetro e a obtida pelo sensor HIH4040 ajustado pelo método MMQ.....	57

LISTA DE SIGLAS

li	Observações repetidas	
A	Matriz de Coeficientes	
A^T	Transpor Linhas por Colunas	
$\vec{t}$	Vetor dos valores Y	
$det(N)$	Determinante	
N^{-1}	Inversa de N	
$\vec{u}$	Vetor de Termos Independentes	
$\vec{v}$	Vetor de Resíduos	
$\vec{x}$	Vetor de incógnitas	
M_{bs}	Umidade de equilíbrio (base seca)	
M_{bu}	Umidade de equilíbrio (base úmida)	%
T	Temperatura	°C
UR	Umidade Relativa	%
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados	
°C	Celsius	
μA	Microampères	μA
mA	Miliampères	mA
C	Coeficiente do termo-higrômetro	-
$Patm$	Pressão atmosférica equivalente a altitude de Erechim	Kpa
tbs	Temperatura de bulbo seco	°C
tbm	Temperatura de bulbo úmido	°C
Pvm	Pressão vapor momentânea	Kpa
$PVStbm$	Pressão de vapor de saturação na Temperatura de bulbo úmido	Kpa
$PVStbs$	Pressão de vapor de saturação na Temperatura de bulbo seco	

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS.	13
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2	REVISÃO LITERÁRIA.....	14
2.1	INTRODUÇÃO AO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS (M.M.Q).....	14
2.1.1	Por que ajustar observações.....	14
2.1.2	Ajustamento de observações pelo M.M.Q.....	15
2.1.3	Aplicação do ajustamnto de observações pelo M.M.Q ao ajustamento de curva aos pontos experimentais.....	16
2.1.4	Evolução do M.M.Q.....	18
2.2	PSICOMETRIA.....	18
2.2.1	Propriedades do ar úmido.....	18
2.2.2	Instrumentos de medida da temperatura do ar.	19
2.2.3	Instrumentos de medida de umidade relativa do ar.	20
2.3	SILOS SECADORES DE GRÃOS.	20
2.3.1	Secagem estacionária de grãos.	21
2.3.2	Higroscopicidade dos grãos.....	22
2.4	AUTOMAÇÃO.....	23
2.4.1	Micro controlador	24
2.4.2	Arduíno.	24
2.4.3	Ethernet Shield.....	25
2.4.4	Módulo RTC.....	26
2.5	SENSORES.....	27
2.5.1	Sensor el eletrônico SHT15.	28
2.5.2	Sensor eletrônico DHT22.....	29
2.5.3	Sensor eletrônico LM35.....	30
2.5.4	Sensor eletrônico HIH4040.....	31
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1	SELEÇÃO DE SENSORES	33

3.2	COLETA DAS VARIÁVEIS PELOS SENSORES ELETRÔNICOS.....	33
3.3	COLETA DAS VARIÁVEIS PELO TERMO-HIGROMETRO.	35
3.4	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA.	35
3.5	ACOMPANHAMENTO E COLETA DA VARIÁVEIS	36
3.6	PROCESSAMENTO DE DADOS.	37
3.7	APRESENTAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS.	37
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.	38
4.1	SENSOR SHT15.....	38
4.1.1	Temperatura do ar do sensor SHT15.....	38
4.1.2	Umidade relativa do sensor SHT15.....	41
4.2	SENSOR DHT22	45
4.2.1	Temperatura do ar do sensor DHT22	45
4.2.2	Umidade relativa do sensor DHT22	48
4.3	SENSOR LM35	52
4.3.1	Temperatura do ar do sensor LM35	52
4.4	SENSOR HIH-4040	55
4.4.1	Umidade relativa do sensor HIH-4040.....	55
5	CONCLUSÃO.....	59
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

A secagem e o armazenamento dos grãos também são etapas do processo produtivo de grãos onde o emprego da tecnologia tem contribuído para melhorar a conservação e a manutenção da qualidade dos mesmos.

A tecnologia vem oferecendo ao produtor meios para monitorar e controlar as condições ambientais no armazenamento de grandes e pequenos volumes de produto. Com um controle mais eficiente, os grãos podem ficar armazenados por mais tempo e manter índices de qualidade nutritiva aceitáveis para consumo, dando maior autonomia ao produtor, que pode escolher com mais cautela o momento da comercialização dos grãos.

Para Weber (2001), devido aos sistemas de termometria presentes nos silos de armazenagem, é possível conhecer e avaliar a gravidade dos problemas e os movimentos da temperatura e umidade dos grãos, que quando em elevação ao acompanhamento diário dessas temperaturas e umidades permite acionar a ventilação de resfriamento dos grãos (aeração), de forma preventiva, antes que elas atinjam um valor próximo ao de risco de perda dos produtos armazenados.

Criada para facilitar a realização das mais diversas atividades humanas, a automação pode ser observada em diversos locais e áreas. É um conjunto de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar com eficiência ótima pelo uso de informações recebidas do meio sobre o qual atuam, com o objetivo básico, de facilitar os processos produtivos.

Os sistemas de controle automatizados, não necessitam da intervenção e tão pouco da interpretação do operador para decidir sobre o controle do processo. São controlados a partir da variável coletada pelo sensor eletrônico que está sujeito a uma faixa de variação e de precisão. Estas medidas muitas vezes não são precisas e necessitam de correção para que atuem de forma correta. O ajuste de um instrumento de medida destina-se a fazer com que este tenha um desempenho compatível com o seu uso.

Para que a automação funcione corretamente é necessário obter informações externas, e esta é a importante função dos sensores pois atuam para informar ao controlador de processo as condições de trabalho. A sensibilidade e a precisão das leituras obtidas pelos sensores tem grande importância para o bom funcionamento de um sistema automatizado de controle de

processo. O uso de sensores sem a verificação da sua precisão pode acarretar em uma operação fora do ponto ideal, e com prejuízos.

Diferentemente do termo-higrômetro, que obtém a medida direta das temperaturas sensível e latente do ar, o sensor eletrônico associa indiretamente constantes elétricas e dielétricas na obtenção destes parâmetros e necessita de calibração para que se obtenha valores com o máximo de proximidade as reais condições de temperatura e de umidade relativa do ar atmosférico.

1.1 OBJETIVO

O objetivo desse estudo é avaliar a fidelidade das leituras de temperatura e umidade relativa do ar ambiente obtida por diferentes sensores eletrônicos em relação as medidas obtidas por um termo higrômetro e corrigir as diferenças observadas pelo método dos mínimos quadrados MMQ.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar o ensaio dos sensores eletrônicos comparado os registros de temperatura e umidade relativa do ar atmosférico com as indicações de um termo-higrômetro;
- Analisar as diferenças observadas entre as leituras obtidas por sensores e as leituras obtidas em termo-higrômetro;
- Efetuar um ajuste no afastamento das leituras nos sensores em relação as leituras obtidas em termo-higrômetro utilizando o método dos mínimos quadrados;
- Analisar os valores coletados das médias, máximas, mínimas e o resíduos pelo MMQ;

2 REVISÃO LITERÁRIA

2.1 INTRODUÇÃO AO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS (M.M.Q.)

Em 01 de janeiro de 1801, Ceres, um novo asteróide, foi descoberto, mas desapareceu atrás do sol logo depois de ser observado. Astrônomos previram quando e onde Ceres reapareceria, mas seus cálculos diferiram muito daqueles feitos, independentemente, por Gauss. Ceres reapareceu em 07 de dezembro de 1801, quase exatamente onde Gauss predisse que ele estaria. Apesar de não ter revelados seus métodos naquela época, Gauss havia usado o método de aproximação por mínimos quadrados, o qual ele descreveu em um artigo em 1809. O mesmo método já era conhecido antes. Cotes introduziu-o no começo do século XVIII e Lagendre em 1806 publicou um artigo sobre o mesmo. Mas Gauss é quem, geralmente, recebe os créditos pelo método de aproximação por mínimos quadrados. O MMQ é um procedimento utilizado para obter a melhor reta que pode ser ajustada aos dados utilizados. Sabemos que uma das mais importantes aplicações do MMQ é estimar constantes associadas a vários processos, como, a taxa de crescimento de uma população, bem como conceitos, teoremas e outros exemplos do uso do MMQ (CAIRES, 2004).

2.1.1 Por que ajustar observações?

A) Quem dá os primeiros passos na análise de observações começa por fazer uma concessão: abdicar da pretensão de obter o verdadeiro valor de uma grandeza medida. As observações conduzidas pelo homem se caracterizam pela inevitável presença dos “erros de medida”. Erros que decorrem não apenas de falhas humanas mas também da imperfeição do equipamento e da influência das condições ambientais nas quais se processa a mensuração. A desconfiança no resultado de uma medida isolada, fruto da certeza na falibilidade humana, leva naturalmente à multiplicação das observações. E assim cria-se um problema, isto é, de dados redundantes inexatos, extrair um resultado que seja único e que possa representar com a maior confiança a grandeza medida (GEMAEL, 1994).

O “ajustamento de observações” cuida desse problema bem como da estimativa da precisão da solução adotada (GEMAEL, 1994).

B) Nos casos mais simples realizarmos medidas sobre suas próprias grandezas incógnitas. Quando tais incógnitas se ligam por equações de condição o problema se torna um pouco menos simples, outras vezes medimos grandezas que se vinculam com as incógnitas através de relações funcionais conhecidas. Em qualquer caso o que se busca, em última análise, é escoimar as observações das inconsistências que as acompanham; ou melhor dizendo, ajustá-las, juntamente com parâmetros (quando existam), a um modelo matemático; este, em certas circunstâncias, pode conter injunções particulares (GEMAEL, 1994).

C) O ajustamento, entretanto, conduzirá a uma solução única tornando as observações coerentes com um modelo matemático (GEMAEL, 1994).

2.1.2 Ajustamento de observações pelos métodos dos mínimos quadrados.

Tais diferenças (v_i) são os *resíduos*, isto é, os valores, *a priori* desconhecidos, que somados às observações reproduzem o valor escolhido x . Poderíamos, mudando o critério, eleger um valor diferente x' ; resultaria um novo conjunto de resíduos.

$$x' - li = v'_i$$

E assim por diante:

$$x'' - li = v''_i; \text{ etc.}$$

Qual dos valores x , x' , x'' ,adotar. Em outras palavras, como escolher um critério que permita, das observações repetidas li , discrepantes entre si, extrair um valor único para representar a incógnita X . Desde o seu aparecimento o M.M.Q. identificou-se de tal maneira com os trabalhos geodésicos que Perreier (1939), na sua gostosa LA PETITE HISTOIRE DE LA GÉODÉSIE, afirma com muita propriedade que a história do método se confunde com a própria história da Geodésia.

2.1.3 Aplicação do ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados ao ajustamento de curva aos pontos experimentais.

Equação da curva ajustada Eq. (2) aos pontos experimentais.

$$ax + b - y = 0 \quad (2)$$

A = matriz de coeficientes da incógnitas Eq. (2.1).

$$A = \begin{bmatrix} coef \cdot a_1 & coef \cdot b_1 \\ coef \cdot a_2 & coef \cdot b_2 \\ \vdots & \vdots \\ coef \cdot a_n & coef \cdot b_n \end{bmatrix}_{n \times 2} \quad (2.1)$$

A^T = transpor é trocar o número de linhas por colunas Eq. (2.2).

$$A^T = \begin{bmatrix} coef \cdot a_1 & coef \cdot a_2 & \dots & coef \cdot a_n \\ coef \cdot b_1 & coef \cdot b_2 & \dots & coef \cdot b_n \end{bmatrix}_{2 \times n} \quad (2.2)$$

$\vec{y}$ = vetor dos valores de y na equação Eq (2.3).

$$\vec{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad (2.3)$$

O determinante (det) é uma função matricial que associa a cada matriz quadrada um escalar; ela transforma essa matriz em um número real Eq. (2.4). Esta função permite saber se a matriz tem ou não inversa, pois as que não têm são precisamente aquelas cujo determinante é igual a 0.

$$N = A^T P A$$

$$N = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{bmatrix}_{2 \times 2}$$

$$\det(N) = (n_{11})(n_{22}) - (n_{12})(n_{21}) \quad (2.4)$$

A inversa é uma matriz quadrada. A Eq. (2.5) é invertível quando existe outra matriz denotada N^{-1} :

$$N^{-1} = \frac{1}{\det(N)} \begin{bmatrix} n_{22} & -n_{12} \\ -n_{21} & n_{11} \end{bmatrix}_{2 \times 2} \quad (2.5)$$

$\vec{u}$ = vetor de termos independentes do sistema de equações normais ($n \times 1$), Eq. (2.6).

$$\vec{u} = A^T P \vec{\ell} \quad (2.6)$$

$\vec{x}$ = vetor das incógnitas Eq. (2.7).

$$\vec{x} = -N^{-1} \vec{u}$$

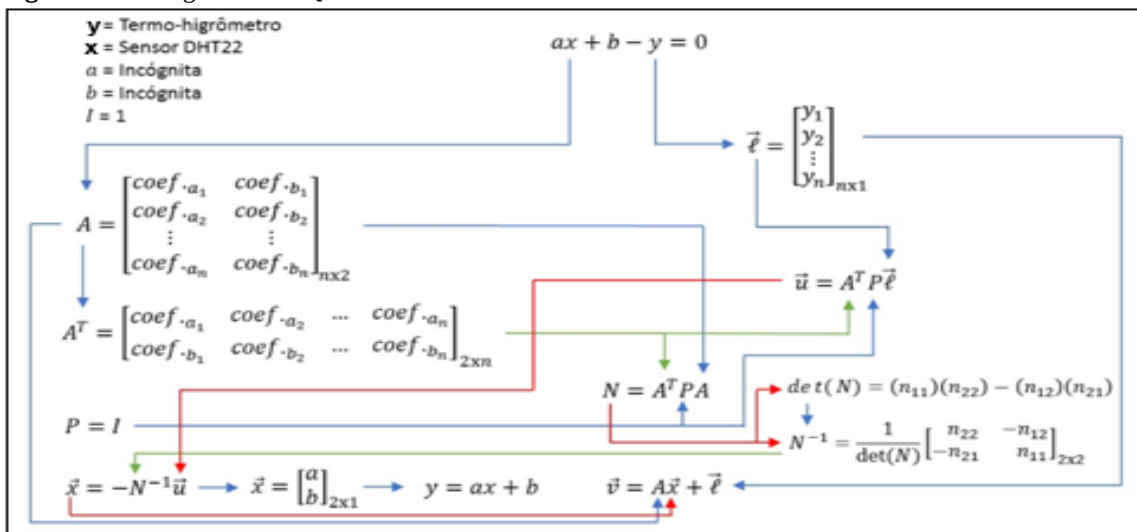
$$\vec{x} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}_{2 \times 1} \quad (2.7)$$

Resíduo é o valor determinado no ajustamento que somado ao valor observado de cada variável de medição resulta na estimativa. Se existirem n valores observados, existirão n resíduos para uma variável e uma estimativa. O resíduo da variável i é dado por:

$$\vec{v} = A\vec{x} + \vec{\ell} \quad (2.8)$$

A Fig. (1) apresenta o fluxograma do cálculo do Método dos Mínimos Quadrados efetuado em planilha eletrônica Excel.

Figura 1 - Fluxograma MMQ efetuado em Excel



2.1.2 Evolução do M.M.Q.

Devemos lembrar que a teoria clássica do método dos mínimos quadrados manteve-se inalterada até há bem pouco tempo. Foram os avanços da Estatística Matemática que mostraram a conveniência da revisão de certos conceitos. As grandezas observadas são encaradas como variáveis aleatórias ou estocásticas (isto é, sujeitas a oscilações probabilísticas), o ajustamento proporcionado estimativas das mesmas e/ou de quantidades (parâmetros) a elas ligadas (GEMAEL, 1994).

A introdução da estimativa por intervalos e dos testes estatísticos veio possibilitar o tratamento mais lógico de certos problemas. Finalmente, a extraordinária concisão da linguagem matricial e o uso de computadores que tornou exequível a manipulação de matrizes de elevadas dimensões, trouxeram outra significativa contribuição no sentido de uma generalização do ajustamento pelo M.M.Q., não obstante a sua estrutura conservar-se a mesma (GEMAEL, 1994).

2.2 PSICROMETRIA

Psicrometria é a ciência que estuda as propriedades do ar, em particular, a capacidade do ar em conter água. O termo psicrometria significa a medição da umidade do ar através do psicrômetro, que é um aparelho constituído de dois termômetros, um com o bulbo úmido e outro com o bulbo seco (MILMAN, 2002).

2.2.1 Propriedades do ar úmido

Segundo Silva (2000), as propriedades do ar úmido estão relacionadas à temperatura, quantidade de vapor de água, volume ocupado pelo ar e a energia nele contida.

- Propriedades relacionadas à temperatura:
 - temperatura do bulbo seco;
 - temperatura do bulbo molhado;
 - temperatura do ponto de orvalho.
- Propriedades relacionadas à umidade (massa de vapor d'água):
 - pressão de vapor;
 - razão de mistura;
 - umidade específica;
 - umidade absoluta;
 - umidade relativa;
 - grau de saturação.
- Propriedades relacionadas ao volume ocupado e à energia:
 - volume específico;
 - entalpia

2.2.2 Instrumentos de medida da temperatura do ar

Dentre os instrumentos de medida da temperatura o mais comum é o termômetro de mercúrio, onde o metal se expande de maneira uniforme, sendo possível aferir medidas de temperatura entre -30°C e 320°C . Entretanto, ao longo do dia a temperatura do ar sofre uma variação influenciada principalmente pelo aquecimento solar, atingindo dois valores extremos; a temperatura máxima e a mínima, sendo estes valores respectivamente a maior e a menor temperatura do ar no período de um dia. Essas medidas são feitas por termômetros específicos, os chamados termômetros de máxima e mínima (PIRES et al., 2006).

O termômetro de máxima utiliza o mercúrio como elemento sensível sendo constituído de um dispositivo próximo ao bulbo, de modo a impedir o retorno do mercúrio, fazendo marcar a maior temperatura atingida (SILVA, 2000). O termômetro de mínima tem o álcool como seu elemento sensível, onde é encontrado um pequeno indicador móvel, em forma de haltere, introduzido no meio do líquido, que devido a força de sua tensão superficial, nunca

atravessa o menisco e, portanto, acompanha o extremo da coluna quando a temperatura desce, marcando assim a menor temperatura diária (SILVA, 2000; PIRES et al., 2006).

2.2.3 Instrumentos de medida de umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar tem como instrumentos de referência o psicrômetro, o qual é um instrumento de medida instantânea, este instrumento é constituído de dois termômetros comuns, os quais são denominados termômetros de bulbo seco e de úmido, onde o bulbo seco é o termômetro de mercúrio, com seu bulbo apenas exposto ao ar, enquanto o termômetro de bulbo úmido tem seu bulbo envolvido, por um condão umedecido em água, a qual evapora, possibilitando assim o cálculo da umidade relativa do ar pela diferença da temperatura (SILVA, 2000).

Além disso, este instrumento pode ser separado em dois tipos: psicrômetro não ventilado e ventilado. O psicrômetro não ventilado é o mais comumente usado e sua ventilação depende do fluxo de ar do ambiente, o qual varia ao longo do tempo favorecendo ou não a evaporação. Já o psicrômetro ventilado possui um mecanismo acoplado ao aparelho, cuja função é aspirar o ar e com isso manter o fluxo constante gerando resultados independentes do fluxo de ar do local (BLAIR; FITE, 1964).

2.3 SILOS SECADORES DE GRÃOS

Os métodos de secagem podem ser divididos em secagem natural, que utiliza a energia solar e eólica, e secagem artificial, que pode ser estacionária, contínua, intermitente ou seca-aeração (MILMAN, 2002).

Os silos-secadores, são estruturas utilizadas para a secagem de grãos a granel, dotados de fundo falso e chapas perfuradas em todo o piso, são adequados para a secagem estacionária, cujo fluxo de ar pode ser axial ou radial (SILVA, 2000).

Segundo Milman (2002), os silos-secadores são adequados para a secagem estacionária que é um método artificial caracterizado pela passagem forçada do ar em fluxo axial ou

radial, através da camada de grãos que permanecem em leito fixo no compartimento de secagem. O ar utilizado pode ser aquecido ou não. O ar aquecido tem a capacidade evaporativa e a energia de troca aumentada pelo incremento de sua entalpia. Sua principal vantagem é a diminuição do tempo necessário para realizar a tarefa de secagem, e as desvantagens são o custo de energia necessária para aquecer o ar e o prejuízo que se pode causar ao grão devido à elevação de temperatura.

A secagem pode ser dividida em três tecnologias: baixa temperatura, baixa temperatura modificada e tecnologia de alta e altíssima temperatura. Os silos secadores mais utilizados na secagem estacionária com ar ambiente são caracterizados por serem construídos com fundo falso perfurado, por onde o ar é insuflado. O processo de secagem ocorre da base para o topo da camada de grãos. Quando o processo ocorre, forma-se uma frente de secagem, onde há um gradiente de umidade de concentração máxima na parte superior da camada de grãos. Esta corresponde às regiões de intercâmbio de água entre os grãos e o ar. Devido a ocorrência da frente de secagem, a camada de grãos não deve exceder 1,2 metros de altura (MILMAN, 2002).

2.3.1 Secagem estacionária de grãos

O ar que envolve os grãos armazenados ou o ar em movimento durante o processo de secagem é que determina as condições em que o grão ficará no final desse processo. Nos sistemas de secagem, o ar é usado para retirar a umidade dos grãos e as propriedades do ar de secagem é que determinarão como se dará essa operação. Caso o ar não esteja saturado, o termômetro de bulbo úmido marcará uma temperatura mais baixa, “mais fria” que a do termômetro de bulbo seco (MILMAN, 2002).

Para Milman (2002), a água, na forma de vapor é uma parte dos 9% restantes da composição do ar atmosférico, e sua proporção na mistura é variável. A quantidade de vapor da água que o ar pode conter varia em função de sua temperatura (quanto mais quente estiver o ar mais vapor de água ele retém).

A secagem estacionária de grãos pode ser realizada com os grãos ainda na espiga, ou já separados dela, quando degranados, no processo de debulha ou trilha. Para ambos os casos,

podem ser utilizados métodos de sistemas não forçados, também denominados naturais, onde a movimentação do ar ocorre por convecção natural do ar ambiente, e/ou forçados, também denominados artificiais ou mecânicos, que utilizam ventiladores e/ou exaustores para a movimentação do ar (ROA *et al.*, 1982; ELIAS *et al.*, 1994, 1997).

Nos sistemas forçados, há processos estacionários, convencionais e mistos. São denominados estacionários se, durante a operação, os grãos permanecerem parados, estáticos, sendo movimentado apenas o ar, aquecido ou sem aquecimento. Serão denominados convencionais se forem movimentados ar e grãos durante a operação, que se realiza com uso de ar aquecido. Serão mistos, se na operação for realizada uma etapa pelo processo convencional e outra pelo estacionário, independentemente da ordem (ROA *et al.*, 1982; ELIAS *et al.*, 1994, 1997).

A qualidade dos grãos deve ser preservada ao máximo durante o armazenamento, em vista da ocorrência de alterações químicas, bioquímicas, físicas e microbiológicas. A velocidade e a intensidade desses processos dependem da qualidade intrínseca dos grãos, das operações de pré-armazenamento, do sistema de armazenagem utilizado e dos fatores ambientais durante o período de estocagem (POMERANZ, 1974; PUZZI, 1986; ELIAS *et al.*, 1999).

2.3.2 Higroscopicidade dos grãos

Equilíbrio higroscópico ou umidade de equilíbrio é o teor de umidade dos grãos em equilíbrio com o ar que os envolvem, isto é: quando a razão da perda de umidade do produto para o ambiente é igual à razão do ganho da umidade; assim pode-se dizer que o produto está em equilíbrio com o ar ambiente (ARAÚJO, et al., 2005; MILMAN, 2002).

O conceito de umidade de equilíbrio tem um papel fundamental no estudo da secagem e armazenamento dos grãos, uma vez que a umidade de equilíbrio determina o menor grau de umidade (condições limites) no qual o grão pode ser secado, sobre determinadas condições de secagem, e também porque os grãos armazenados em condições adequadas de umidade poderão mudar, perdendo ou recebendo umidade durante o armazenamento, portanto

umedecendo ou super-secando, o que causará prejuízo ao produto e à sua comercialização (MILMAN, 2002).

Segundo Milman (2002), a condição para que um produto seja submetido ao processo de secagem é que a pressão de vapor sobre a superfície do produto (p_g) seja maior do que a pressão do vapor no ar de secagem (p_{ar}). A velocidade de secagem de um produto depende além do sistema de secagem utilizado, das características de secagem do grão individualmente.

As seguintes condições podem ser apresentadas:

- Se $p_g > p_{ar}$: ocorrerá secagem do produto;
- Se $p_g < p_{ar}$: ocorrerá umedecimento do produto;
- Se $p_g = p_{ar}$: ocorrerá o equilíbrio hidrostático

Durante o processo de secagem tanto se pode utilizar o ar ambiente, como o ar aquecido. Em qualquer um dos casos, o ar não saturado em contato com os grãos, provoca a evaporação da água periférica nos grãos (MILMAN, 2002).

2.4 AUTOMAÇÃO

A automação implica na implantação de sistemas interligados e assistidos por redes de comunicação ou interligados a um sistema central, compreendendo sistemas supervisores e interfaces homem – máquina que possam auxiliar os operadores no exercício da supervisão e análise dos problemas que por ventura venham ocorrer (MATUCHAKI, 2011).

Georgini (2006), destaca que a automação gera resultados maravilhosos para o sucesso do produto como: maior produtividade, melhor qualidade, menor tempo em se encerrar um ciclo qualquer, diminuição de mão-de-obra, economia de energia e matéria prima.

Entende-se por automação qualquer sistema apoiado em computadores, que substitua a mão-de-obra humana, e que visa à solução rápida para alcance dos objetivos das indústrias complexas. Os pequenos computadores especializados, os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), permitem tanto um controle lógico como um controle dinâmico, com uma enorme vantagem: permitir ajustes mediante simples reprogramações (GEORGINI, 2006; MONTE, et al., 2008; PINTO, 2008).

Nesse contexto, torna-se evidente a necessidade de automatizar os sistemas, onde a máquina não só executaria alguma atividade, mas também faria o serviço pesado, e o homem assim apenas supervisionaria, o que diminuiria de certo modo a mão-de-obra e aumentaria a velocidade da produção (MONTE, et al., 2008).

O desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados compreende a construção ou adaptação de sensores, a interface sensores-microcomputador, condicionamento de sinal, armazenagem e transmissão de dados (BRITO; SOUZA, 1987).

2.4.1 Microcontrolador

Um microcontrolador é um sistema computacional completo, no qual estão incluídos uma CPU (*Central Processor Unit*), memória de dados e programa, um sistema de *clock*, portas de I/O (*Input/Output*), além de outros possíveis periféricos, tais como, módulos de temporização e conversores A/D (Analógico/Digital) entre outros, integrados em um mesmo componente (DENARDIN, 2013).

Segundo Denardin (2013), um micro controlador é como um computador em menor escala e, portanto, tem as seguintes partes integrantes:

- Unidade Central de Processamento (CPU)
- Sistema de *clock* para dar sequência às atividades da CPU
- Memória para armazenamento de instruções e para manipulação de dados
- Entradas para interiorizar na CPU informações do mundo externo
- Saídas para exteriorizar informações processadas pela CPU para o mundo externo
- Programa (*firmware*) para definir um objetivo ao sistema.

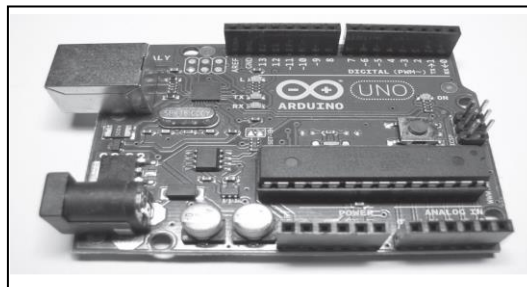
2.4.2 Arduíno

Arduíno é uma plataforma computacional física de *software* livre baseada em uma simples placa de entrada/saída e um ambiente onde é implementada a linguagem de

programação. O Arduino pode ser usado para desenvolver objetos interativos autônomos ou podem ser conectados a *softwares* em seu computador. As placas podem ser construídas a mão ou compradas pré-montadas (BANZI, 2009).

Segundo Warren et al. (2011), o micro controlador Arduino é como um pequeno centro de comando que fica aguardando as suas ordens. Com algumas linhas de código, você pode fazer seu Arduino acender ou apagar uma lâmpada, ler valores de um sensor e mostrar isto na tela do seu computador, ou até mesmo construir um circuito caseiro para reparar algum eletrodoméstico quebrado.

Figura 2- Microcontrolador Arduino UNO



Fonte: (Mcroberts, 2011)

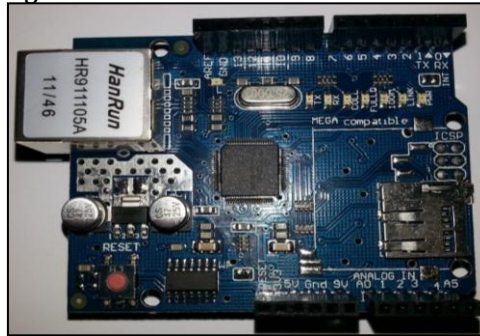
A placa do Arduino é constituída por um microprocessador AVR Atmel, um cristal ou oscilador e um regulador de tensão linear de 5 volts. Dependendo de qual for o tipo do Arduino, ele pode ter também uma porta USB para conectar ao computador para enviar ou receber dados. A placa do micro controlador apresenta pinos de entrada e saída para que possa conectar outros circuitos ou sensores Fig. (2) (MCROBERTS, 2010).

2.4.3 Ethernet Shield

A Ethernet Shield permite que uma placa Arduino conecte-se a internet, e utilize cartão micro-SD. Além da conexão para a internet, a Ethernet Shield possui um slot para cartão Micro-SD, que pode ser usado para guardar e armazenar arquivos. O Arduino se comunica

com o Shield pelos pinos digitais 11, 12, 13, e os pinos 10 para o W5100 e 4 para o cartão micro-SD Fig (3) (ROBOCORE, 2014).

Figura 3 – Microcontrolador Ethernet Shield



Fonte: (ROBOCORE, 2015)

2.4.4 Módulo RTC

O módulo RTC (Real Time Clock) Fig. (4) é um relógio de tempo real que usa o chip DS1307, utilizando uma bateria de lítio (CR1225). O relógio / calendário fornece segundos, minutos, horas, dia, data, mês e ano da informação. No final do mês, a data é ajustado automaticamente para meses com menos de 31 dias, incluindo correções para o ano bissexto. O relógio opera tanto no formato de 24 horas ou 12 horas com indicador de AM / PM. Para manter o controle do ano, mês, dia e horário atual. Possui um cristal/oscilador para fazer o passo de contagem de tempo (LABORATORIODEGARAGEM, 2014).

Figura 4 - Módulo RTC



Fonte: (LABORATORIODEGARAGEM, 2014)

2.5 SENSORES DE TEMPERATURA E DE UMIDADE RELATIVA DO AR ATMOSFÉRICO

Os sistemas de automação são basicamente leitores automáticos de informações, que no caso são fornecidas pelos sensores por um sinal elétrico, proporcional a variação de grandezas físicas, tais como temperatura, umidade relativa, intensidade luminosa, e outros (SILVA, 2000).

O sensor é a parte do sistema automático de medidas, responsável por detectar a variação de determinada grandeza física. Entretanto existem diversos princípios físico-químicos, que podem estar relacionados à diferença no sinal, dentre eles pode-se citar a variação da resistência elétrica, seja esta devido a luminosidade ou temperatura. A variação da temperatura de uma junção bi metálica, pode também afetar a diferença de potencial elétrica oferecida, caracterizando um termo par. Entretanto pequenas influências como a quantidade de vapor da água no ar pode afetar o sinal de um pequeno capacitor, possibilitando uma relação entre um sinal elétrico e a umidade relativa do ar (LOWINSOHN; BERTOTTI, 2006).

Dally et al.(1993), relatou que a automatização na obtenção dos dados tem gerado avanços enormes, pois permite a o acesso medidas em tempo real e portanto, a tomada rápida de decisões. Os dados obtidos em tempo real podem ser empregados para estimar exigências de água e desenvolvimento das culturas, stress do gado e índices de secagem do feno. Podem ser úteis também na determinação da época de pulverização, para controle de doenças e pragas em plantações (HAYHOE; BALCHIN, 1987).

Atualmente, existem inúmeros exemplos de sistemas de automação de aquisição de dados com os mais variados graus de complexidade. Isso ocorre devido à diversidade de situações e climas, presentes na atmosfera, as quais trazem sérios inconvenientes à padronização de equipamentos de medição remota, consequentemente dificultando a formação de redes meteorológicas e elevando o custo de tais instrumentos devido a necessidade de projetos especiais para cada caso (ZAMBALDE, 1991).

2.5.1 Sensor eletrônico SHT15

A família de sensores digitais de umidade relativa e temperatura da Sensirion tornaram-se um padrão da indústria, principalmente devido ao seu alto desempenho e integração em um formato miniatura. O SHT15 Fig. (5) é um sensor de umidade e de temperatura capacitivo e proporciona uma saída digital e são fornecidos calibrados, o que permite a sua integração fácil com sistemas automáticos. A excelente estabilidade a longo prazo e o baixo consumo de energia os torna uma boa escolha para qualquer aplicação remota, a Tab. (1) informa as características do sensor SHT15 (SENSIRION, 2014).

Figura 5 – Sensor de Umidade e Temperatura SHT15



Fonte: (SENSIRION, 2011)

Tabela 1 - Especificações referente ao sensor SHT15

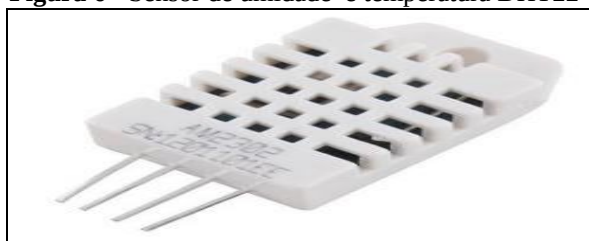
Dimensões	7,5 x 4,9 x 2,6 milímetros
Saída	Digital (interface de dois fios)
Faixa de Tensão de Alimentação	2,4 - 5,5 V
Consumo de Energia	80μW (em 12bit, 3V, 1 medida / s)
Faixa de operação	0 - 100% de UR, -40 a 123,8 °C
Repetibilidade	+/- 0,1 % UR
Faixa temperatura de operação	-40 a + 125 ° C (-40 a + 257 ° F)
Precisão da temperatura	+/- 0,3 °C em 25 °C
UR Tempo de Resposta	8 seg. (63%)
Cálculo de ponto de orvalho	Possível e preciso

Fonte: (SENSIRION, 2014)

2.5.2 Sensor eletrônico DHT22

O DHT22 Fig. (6) é um sensor digital de umidade relativa do ar e temperatura, com saída digital calibrada.

Figura 6 - Sensor de umidade e temperatura DHT22



Fonte: (WEBTRONICO, 2014)

Possui internamente um micro controlador de 8 bits para tratar o sinal, tamanho compacto, baixo consumo e encapsulamento simples com apenas quatro terminais, podendo transmitir o sinal por até 20 metros. Todas essas características permitem utilizar esse sensor nas mais diversas aplicações. A Tab. (2) informa as características do sensor DHT22 (WEBTRONICO, 2014).

Tabela 2 - Dados referente ao sensor DHT22 (WEBTRONICO, 2014)

Tipo de Sensor	Capacitivo COM (4 pinos)
Saída	Digital de 1 fio
Faixa de Tensão de Alimentação	3 a 5,5 VDC (5 VDC recomendado)
Consumo de Energia	3,3 a 5,5V
UR Faixa de operação	0 % a 99,9 % UR
Precisão da UR absoluta	+/- 2 % UR a 5 %
Tº Faixa de operação	-40 a 80 °C
Precisão da temperatura	+/- 0,5 °C (MAX +/- 1 °C)
UR Tempo de Resposta	2 segundos
Resolução	0,1 %; temperatura 0,1 °C

Fonte: (WEBTRONICO, 2014)

O LM35 não necessita de qualquer calibração externa ou “*trimming*” para fornecer com exatidão valores de temperatura com variações de $\frac{1}{4}$ °C ou até mesmo $\frac{3}{4}$ °C. A grande diversidade de encapsulamentos se dá devido à alta gama de aplicações deste integrado (UFRPE, 2009). A Tab. (3) apresenta as características do sensor LM35.

2.5.4 Sensor eletrônico HIH-4040

O sensor HIH-4040/4031 Fig.(8) fabricado pela empresa Honeywell, são sensores analógicos de umidade projetados especificamente para consumo em larga escala e aplicação em OEM (Original Equipamento Fabricante).

Figura 8 – Sensor de umidade HIH-4040



Fonte: (HONEYWELL, 2014)

Tabela 4 - Dados referente ao sensor HIH-4040

Tipo de Sensor	Analógico
Saída	Analógica praticamente linear
Faixa de Tensão de Alimentação	4 e 5,8 V
Consumo de Energia	200 μA
UR Faixa de operação	0% de umidade relativa a 100% UR
Precisão da UR absoluta	$\pm 3,5\%$ UR
T° Faixa de operação	-40 ° C a 85 ° C [40 ° F a 185 ° F]
Precisão da temperatura	-
UR Tempo de Resposta	5 seg.
Resolução	-

Fonte: (HONEYWELL, 2014)

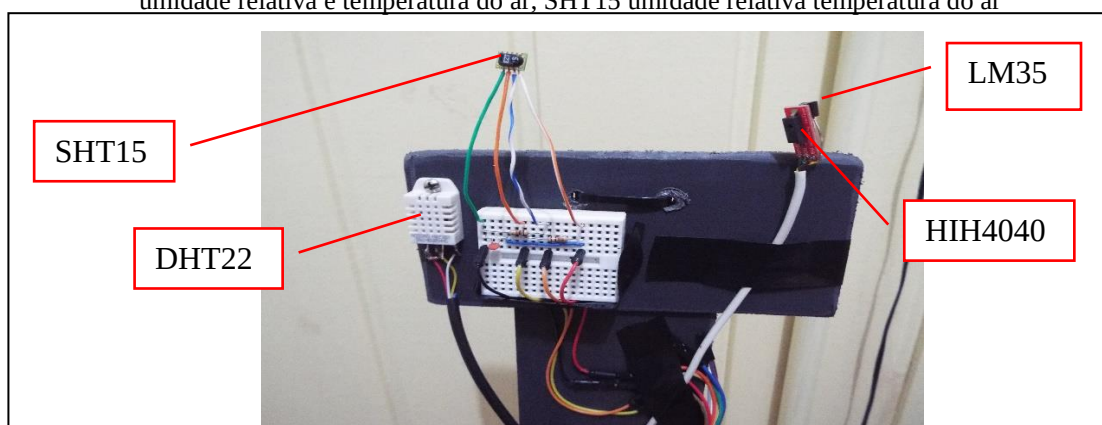
Pode ser conectado diretamente a um controlador ou outro dispositivo com entrada analógica, graças a sua saída de tensão linear. Com uma corrente típica de apenas 200 μA , o HIH-4040/4031 é ideal para ser utilizado em sistemas de baixo consumo. A Tab.(4) informa as características do sensor HIH-4040 (HONEYWELL, 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 SELEÇÃO DE SENSORES

Foram utilizado os sensores LM35, HIH4040 e o DHT22, já aplicados em trabalhos anteriores desenvolvidos por Bagesteiro (2013) e por Paliga (2014). Além deste, foi adicionado o sensor SHT15 escolhido pelas suas especificações por apresentar, segundo o fabricante, uma maior precisão se comparado com os demais citados Fig. (9).

Figura 9 – Sensor LM35 de temperatura do ar, HIH-4040 de umidade relativa do ar , DHT22 umidade relativa e temperatura do ar, SHT15 umidade relativa temperatura do ar



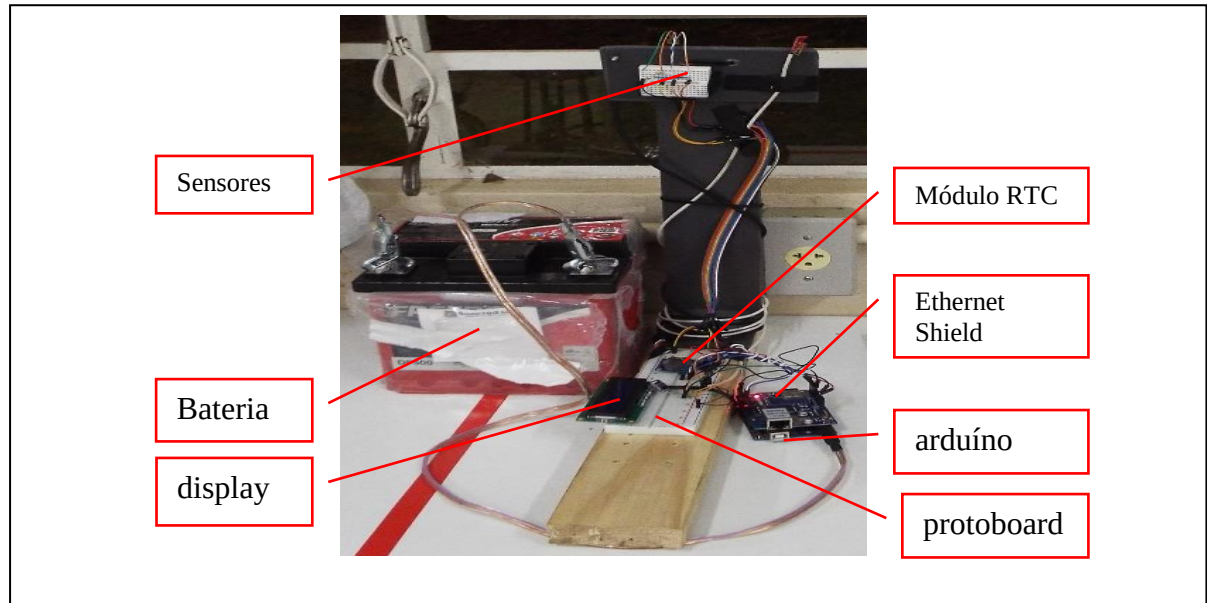
Fonte: (MATTOS, J. J ,2014)

3.2 COLETA DAS VARIÁVEIS PELOS SENSORES ELETRÔNICOS

Este estudo foi realizado utilizando um sistema micro controlado, existente no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícola, elaborado para a utilização de sensores digitais e analógicos, segundo a instrumentação e o código fonte produzido por Mattos (2014). A Fig.(10a e 10b), apresenta o sistema micro controlado para a coleta da temperatura

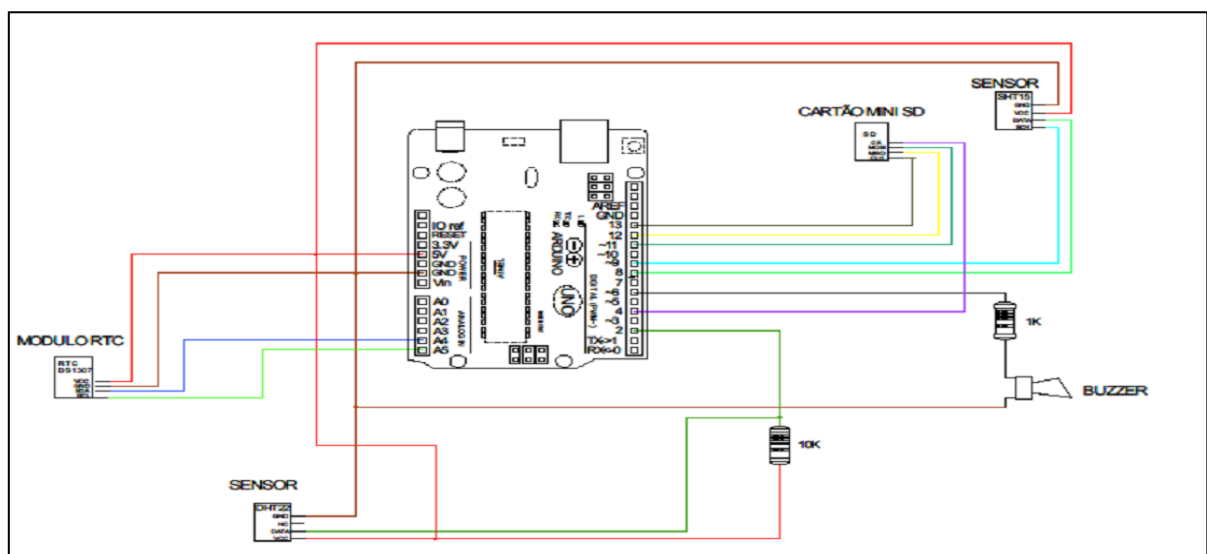
e da umidade relativa do ar atmosférico utilizando sensores eletrônicos, e o circuito da bancada do ensaio.

Figura 10a - Protótipo do Experimento em Laboratório, bateria 12 v, protoboard, Arduino, módulo rtc, sensores, display, Ethernet Shield



Fonte: (MATTOS, J. J ,2014)

Figura 10b - Diagrama do circuito da bancada de ensaio

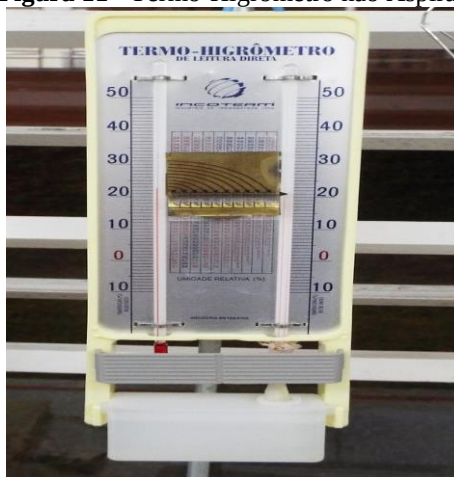


Fonte: (MATTOS, J.J ,2015)

3.3 COLETA DAS VARIÁVEIS NO TERMO-HIGRÔMETRO

As leituras referentes ao Termo-Higrômetro não aspirado foram realizadas manualmente, com o auxílio de um paquímetro digital para medir a altura das colunas de álcool nos termômetros de bulbo seco e de bulbo úmido, e a sua extrapolação para a escala visualmente indicada no termo-higrômetro. A Fig.(11) apresenta o Termo-Higrômetro não aspirado, utilização para as medições de temperatura do bulbo seco e temperatura do bulbo úmido.

Figura 11 - Termo-Higrômetro não Aspirado



Fonte: (MATTOS, J. J ,2014)

3.4 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA

Após a realização da leitura das temperaturas, de bulbo seco e de bulbo úmido, foram utilizadas tabelas eletrônicas do Excel para a determinação analítica da umidade relativa. Diferentemente da medição direta da temperatura ambiente realizada no termômetro de bulbo seco, a umidade relativa foi determinada, utilizando as equações 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 de psicometria proposta por LUZ (2003).

Para o cálculo da pressão de vapor de saturação na temperatura de bulbo seco (tbs) utilizou-se a Eq. (3.1). Este valor é dado em Kpa.

$$PVStbs = 0,61078 \times 10^{\frac{7,5 \times tbs}{237,3 + tbs}} \quad (3.1)$$

Para o cálculo da pressão de vapor de saturação na temperatura de bulbo úmido (tbm) utilizou-se a Eq. (3.2). Este valor é dado em Kpa.

$$PVStbm = 0,61078 \times 10^{\frac{7,5 \times tbm}{237,3 + tbm}} \quad (3.2)$$

Para obter a pressão vapor momentânea em Kpa, utilizou-se a Eq. (3.3), sendo que $C = 8 \times 10^{-4}$ é uma constante, e a pressão atmosférica equivalente a altitude de Erechim $Patm = 93,500$ Kpa.

$$PVm = PVStbm - [C \times Patm \times (tbs - tbm)] \quad (3.3)$$

Com isso podemos obter o valor da umidade relativa do ar através da Eq. (3.4).

$$UR = \frac{PVm}{PVStbs} \times 100 \quad (3.4)$$

3.5 ACOMPANHAMENTO E COLETA DAS VARIÁVEIS

As medições de temperatura e de umidade relativa do ar atmosférico foram realizadas aleatoriamente no período de 27/10 a 07/11 de 2014, neste período foram verificadas as medições obtidas através de leituras manuais do Termo-Higrômetro, acompanhadas do registro de data e hora da coleta, e com isso foram selecionadas nas medições realizadas pelos sensores somente as leituras conflitantes com a hora e data de coleta dos dados em termo-higrômetro.

3.6 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Foram utilizadas planilhas eletrônicas do Excel Tab.(5a e 5b) para a organização e a comparação das observações realizadas pelos sensores e pelo termo-higrômetro. O ajustamento dos afastamentos verificados entre os valores de temperatura e de umidade relativa do ar atmosférico, obtido entre os sensores e o termo-higrômetro, foi realizado em planilha eletrônica aplicando o método do quadrados mínimos.

Tabela 5a – Planilha de acompanhamento do termo-higrômetro

REGISTRO DA TEMPERATURA DO AR						
CÁLCULO DA UMIDADE RELATIVA DO AR						
Data/hora	Tbs	Tbm	PVStbs	PVStbm	PVm	UR (%)

Tabela 5b – Planilha de acompanhamento dos sensores eletrônicos

REGISTRO DA TEMPERATURA DO AR PELOS SENSORES						
REGISTRO DA UMIDADE RELATIVA DO AR PELOS SENSORES						
	Temperatura	Umidade	Temperatura	Umidade	Temperatura	Umidade
Data/hora	Lm 35 (°C)	HIH4040(%)	DHT 22(°C)	DHT 22 (%)	SHT 15 (°C)	SHT15 (%)

3.7 APRESENTAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS

Buscando melhor apresentação gráfica e contraste para os resultados, o comportamento das variáveis e o ajustamento será apresentado utilizando as linhas de tendência,

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nestes resultados são apresentadas avaliações sobre o comportamento de sensores eletrônicos, na coleta da temperatura e umidade relativa do ar, em comparação a um termo higrômetro não aspirado, analisando as diferenças entre os sensores e os termômetros e a correção dos resíduos pelo método dos quadrados mínimos.

4.1 SENSOR SHT15

4.1.1 - Temperatura do ar no sensor SHT15

A Tabela 6 apresenta as médias da temperatura do ar obtida pelo sensor SHT15 e pelo termo higrômetro, no período de 27/10/2014 a 07/11/2014, coletadas aleatoriamente.

Tabela 6 - Temperatura do ar ambiente obtido em termo-higrômetro e pelo sensor SHT15 sem a correção de ajustamento

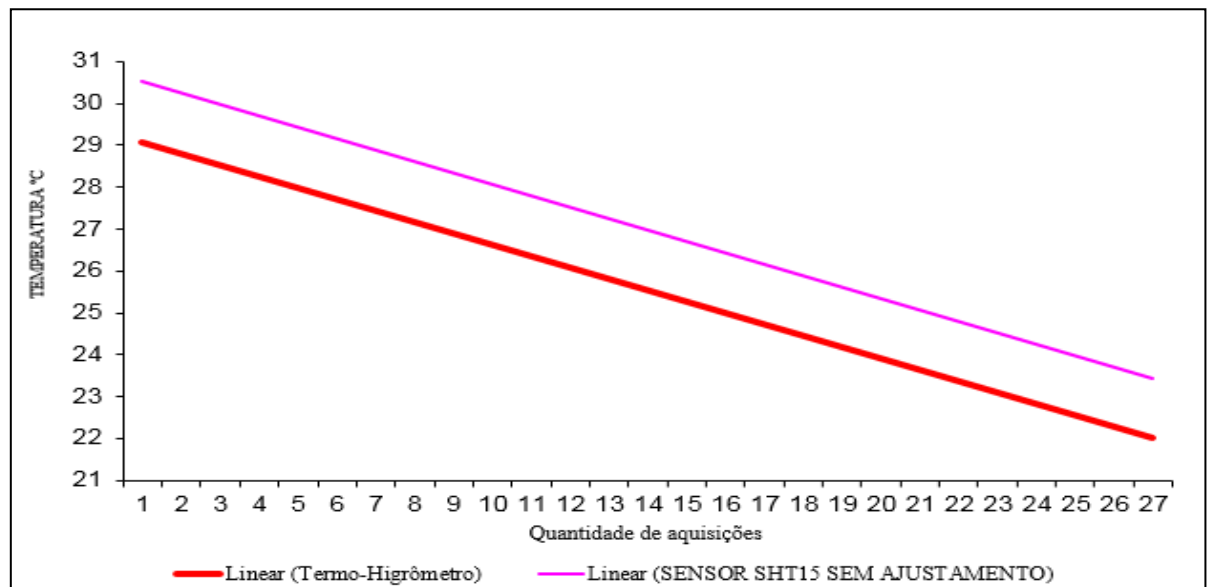
Termo-higrômetro Temperatura (°C)			Sensor SHT15 Temperatura (°C)			Soma dos quadrados do resíduo
Média	Max	Min	Média	Max	Min	$\Sigma(\text{Termômetro} - \text{Sensor})^2$
25,54	29,5	20,5	26,98	31,34	22,43	60,68

Pelos valores das médias de temperatura observado em termômetro e os obtidos pelo sensor SHT15, sem a correção de ajustamento, é possível verificar que houve um afastamento médio positivo de 1,44°C entre a temperatura registrada pelo sensor em relação ao termômetro, resultando em um resíduo acumulado ao longo do período de avaliação de 60,68°C. Já observando as temperaturas máximas observado em termômetro e no sensor sem correção de ajustamento verificamos que há uma diferença de 1,84°C a mais para o sensor.

Os mínimos das temperaturas também apresentam diferenças em suas medições na ordem de 1,93°C a mais para o sensor do que a observado termômetro. A Figura 12

apresenta o comportamento da temperatura do ar ambiente (°C) entre as leituras do sensor, sem a correção de ajustamento, e as leituras em termômetro, representados pelas linhas de tendência, para o mesmo período.

Figura 12 - Comportamento da temperatura do ar obtida pelo sensor SHT15, sem a correção de ajustamento, e pelo termômetro



Observa-se pelo comportamento entre o registrado pelo termômetro e o obtido pelo sensor eletrônico, sem a correção de ajustamento, que há um afastamento entre as medições de temperatura, produzido pelas diferenças entre a leitura indireta, realizada pelo sensor, e a leitura direta realizada pelo termômetro. É possível verificar que as diferenças observadas expressam um comportamento aproximadamente proporcional ao longo de todo o período, o que sugere a possibilidade de aplicar uma equação para obter a correção do afastamento e aproximação entre as leituras do sensor em relação as leituras em termômetro.

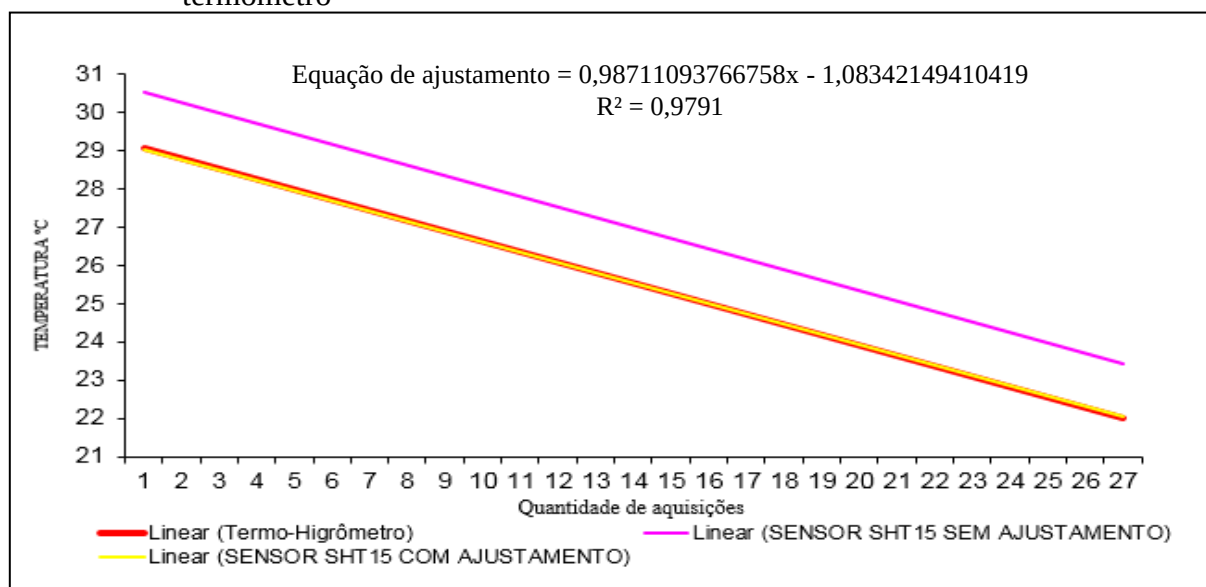
A Tabela 7 apresenta as médias da temperatura do ar obtida pelo termômetro de bulbo seco e pelo sensor SHT15, aplicando uma equação de ajustamento pelo método dos mínimos quadrados (MMQ).

Tabela 7 - Temperatura do ar ambiente obtida em termo-higrômetro e pelo sensor SHT15 ajustado pelo método MMQ

Termo higrômetro Temperatura (°C)			Sensor SHT15 ajustado Temperatura (°C)			Soma dos quadrados do resíduo
Média	Máx	Min	Média	Max	Min	$\Sigma(\text{Termômetro} - \text{Sensor})^2$
25,54	29,5	20,5	25,54	29,85	21,03	5,34

Pelos valores das médias de temperatura entre o registrado em termômetro e o obtido pelo sensor SHT15, aplicando a equação de ajustamento obtida pelo método MMQ, é possível verificar que as médias de temperatura após a correção são iguais, e que o resíduo dos afastamentos acumulado entre as leituras reduziu de 60.68°C para 5.34°C. As diferenças entre a máxima e a mínima temperatura registradas pelo sensor com a correção de ajustamento são mais próximas das indicadas pelo termômetro, em comparação as máximas e mínimas temperaturas registradas pelo sensor sem a correção de ajustamento. A Figura 13 apresenta o comportamento da temperatura do ar ambiente (°C) entre as leituras do sensor, com a correção de ajustamento, e as leituras em termômetro, representados pelas linhas de tendência, para o mesmo período.

Figura 13 - Simulação matemática do comportamento do sensor SHT15 utilizando a equação de ajustamento na obtenção da temperatura do ar, em relação ao registrado em termômetro



Observa-se pela sobreposição das linhas que expressam o comportamento da temperatura do ar ambiente obtida pelo sensor eletrônico, com a correção de ajustamento pelo método dos quadrados mínimos, e o comportamento da temperatura do ar em termômetro, que a correção matemática obtida pela equação de ajustamento reduziu significativamente o afastamento entre as leituras do sensor e as leituras calculadas por termômetro.

Conclui-se pelo comportamento de sobreposição das retas, pela igualdade nas médias de temperatura obtidas entre o sensor ajustado e o termômetro, e a drástica redução do somatório do quadrado dos resíduos para o sensor com correção em relação ao sensor sem o ajustamento, que o método dos quadrados mínimos é uma proposta válida para a correção de sensores eletrônicos, aumentando a fidelidade da leitura obtida em sensor eletrônico em relação ao termômetro de bulbo seco.

4.1.2 Umidade relativa do ar no sensor SHT15

A Tabela 8 Apresenta as médias da umidade relativa do ar ambiente (%) obtida pelo sensor SHT15 e a calculada por termo-higrômetro, no período de 27/10/2014 a 07/11/2014, coletadas aleatoriamente.

Tabela 8 - Umidade relativa do ar ambiente (%) calculada por termo-higrômetro e a obtida pelo sensor SHT15 sem a correção de ajustamento

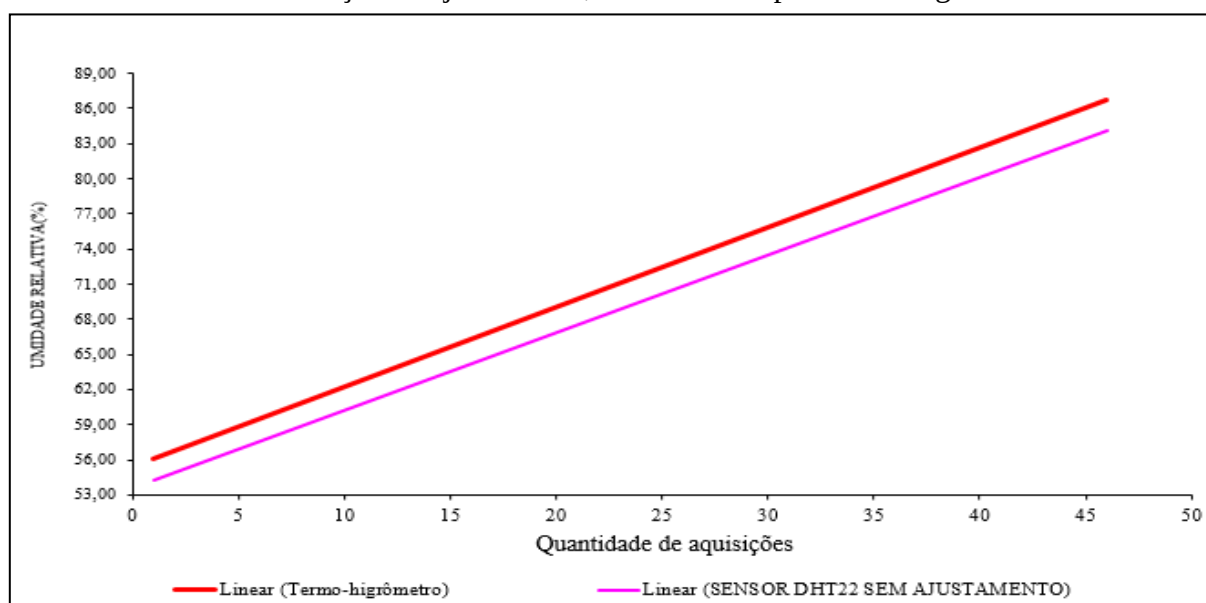
Termo-higrômetro Umidade Relativa (%)			Sensor SHT15 Umidade Relativa (%)			Soma dos quadrado do resíduo
Média	Max	Min	Média	Max	Min	$\Sigma(\text{Termômetro} - \text{Sensor})^2$
78,15	91,01	45,45	79,75	90,24	47,21	208,13

Pelos valores nas médias de umidade relativa entre o calculado por termo-higrômetro e o obtido pelo sensor SHT15, sem correção de ajustamento, é possível verificar que houve

um afastamento médio positivo de 1,6% (pontos percentuais) na diferença da umidade relativa registrada pelo sensor em relação ao calculado por termo-higrômetro, resultando em um resíduo acumulado ao longo do período de avaliação de 208,13% (pontos percentuais).

Já observando a umidade relativa máxima calculada em termo-higrômetro comparando com o sensor sem correção de ajustamento verificamos que a uma diferença de 0,77°C a mais para o termo-higrômetro, os mínimos da umidade relativa do ar também apresentam diferenças em suas medições na ordem de 1,76°C a mais para o sensor do que comparado com o termo-higrômetro. A Figura 14 apresenta o comportamento da umidade relativa do ar ambiente (%) entre as leituras do sensor, sem a correção de ajustamento, e as leituras calculadas por termo-higrômetro, representados pelas linhas de tendência, para o mesmo período.

Figura 14 - Comportamento da umidade relativa do ar ambiente obtida pelo sensor SHT15, sem a correção de ajustamento, e a calculada por termo-higrômetro



Observa-se pelo comportamento da umidade relativa calculada pelo termo-higrômetro e a obtida pelo sensor eletrônico que há um afastamento entre as medições de umidade

relativa do ar ambiente, produzido pelas diferenças entre a leitura indireta, realizada pelo sensor, e a calculada por termo-higrômetro.

É possível verificar que as diferenças observadas expressam um comportamento aproximadamente proporcional ao longo de todo o período, o que sugere a possibilidade de aplicar uma equação para obter a correção do afastamento e a aproximação entre as leituras do sensor em relação a leitura calculada por termo-higrômetro.

A Tabela 9 apresenta as médias da umidade relativa do ar ambiente (%) calculada por termo-higrômetro, e as obtidas pelo sensor SHT15 aplicando uma equação de ajustamento pelo método dos mínimos múltiplos quadrados (MMQ).

Tabela 9 - Umidade relativa do ar ambiente (%) calculado por termo-higrômetro e a obtida pelo sensor SHT15 ajustado pelo método MMQ

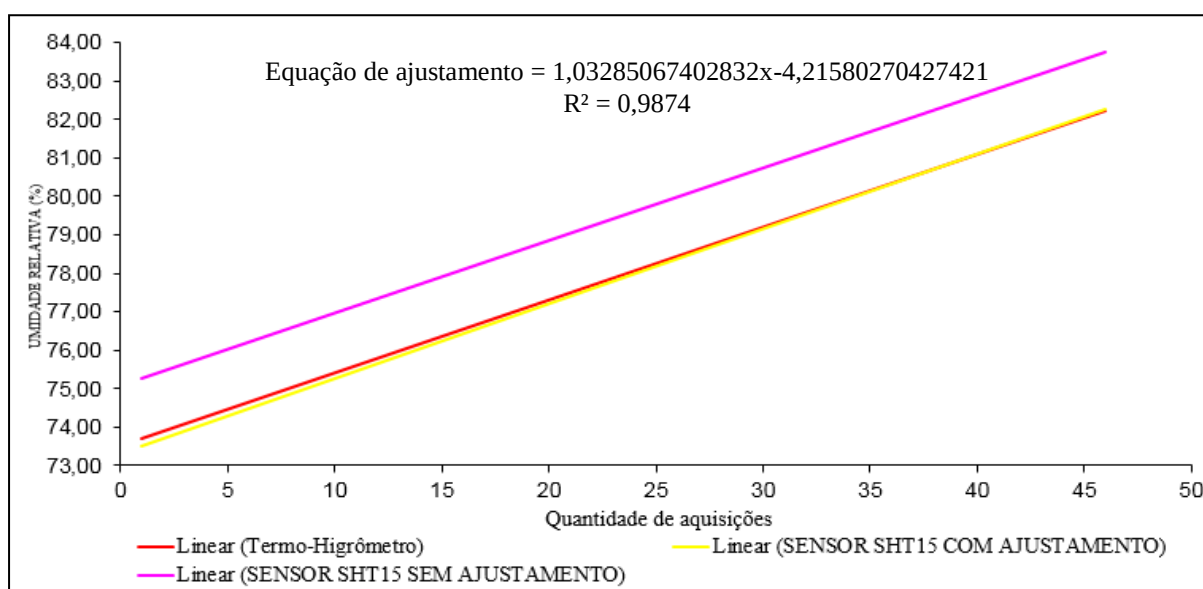
Termo higrômetro Umidade Relativa (%)			Sensor SHT15 ajustado Umidade Relativa (%)			Soma dos quadrados do resíduo
Média	Max	Min	Média	Max	Min	$\Sigma(\text{Termo-higrômetro} - \text{Sensor})^2$
78,15	91,01	45,45	78,15	88,9	44,55	60,67

Pelos valores das médias de umidade relativa do ar ambiente (%) calculado por termo higrômetro e o obtido pelo sensor SHT15, aplicando a equação de ajustamento obtida pelo método MMQ, é possível verificar as médias de umidade relativa após a correção são iguais, e que o resíduo dos afastamentos acumulado entre as leitura reduziu de 208,13% (pontos percentuais) para 60,67% (pontos percentuais). As diferenças entre a máxima e a mínima umidade relativa registradas pelo sensor com a correção de ajustamento foi mais próxima da calculada em termo-higrômetro somente para a mínima, em comparação a máxima e mínima umidade relativa registrada pelo sensor sem a correção de ajustamento. A Figura 15 apresenta o comportamento da umidade relativa do ar (°C) entre as leituras do sensor, com a correção de ajustamento, e a calculada por termo-higrômetro, representados pelas linhas de tendência, para o mesmo período.

Observa-se pela sobreposição das linhas que expressam o comportamento da umidade relativa do ar ambiente registrada pelo sensor eletrônico, com a correção de ajustamento

pelo método dos quadrados mínimos, e o comportamento da umidade relativa do ar calculada em termo-higrômetro, que a correção matemática obtida pela equação de ajustamento reduziu significativamente o afastamento entre as leituras do sensor e as leituras do termo-higrômetro.

Figura 15 - Simulação matemática do comportamento da umidade relativa do ar ambiente no sensor SHT15 utilizando a equação de ajustamento, em relação ao calculado por termo-higrômetro.



Conclui-se pelo comportamento de sobreposição das retas, pela igualdade nas médias de umidade relativa obtidas entre os sensor ajustado e as calculadas por termo-higrômetro, é a drástica redução do somatório do quadrado dos resíduos para o sensor com ajustamento em relação ao sensor sem o ajustamento, que o método dos quadrados mínimos é uma proposta válida para a correção de sensores eletrônicos, aumentando a fidelidade da leitura obtida em sensor eletrônico em relação ao termo-higrômetro.

Entretanto, verifica-se pelo comportamento do afastamento entre as máximas e mínimas obtidas pelo sensor com ajustamento que há a necessidade de ampliar a amostragem, afim de obter um comportamento similar ao ocorrido para a temperatura do ar onde houve maior

proximidade dos valores tanto para a máxima quanto para a mínima no sensor com ajustamento.

4.2 SENSOR DHT22

4.2.1 - Temperatura do ar no sensor DHT22

A Tabela 10 apresenta as médias da temperatura do ar obtida pelo sensor DHT22 e pelo termo-higrômetro, no período de 27/10/2014 a 07/11/2014, coletadas aleatoriamente.

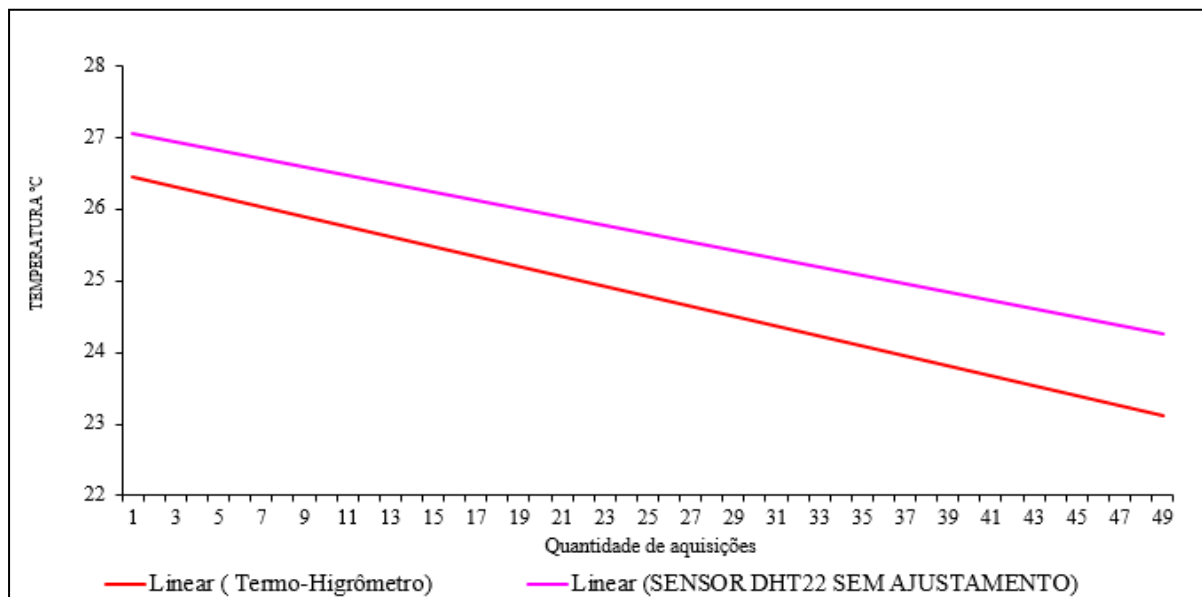
Tabela 10 - Temperatura do ar ambiente obtido em termo-higrômetro e pelo sensor DHT22 sem a correção de ajustamento

Termo-higrômetro Temperatura (°C)			Sensor DHT22 Temperatura (°C)			Soma dos quadrado do resíduo
Média	Max	Min	Média	Max	Min	$\Sigma(\text{Termômetro} - \text{Sensor})^2$
24,78	29,5	19,3	25,66	30,3	20,7	55,48

Pelos valores das médias de temperatura observado em termômetro e os obtidos pelo sensor DHT22, sem a correção de ajustamento, é possível verificar que houve um afastamento médio positivo de 0,88°C entre a temperatura registrada pelo sensor em relação ao termômetro, resultando em um resíduo acumulado ao longo do período de avaliação de 55,48°C. Já observando as temperaturas máximas registradas em termômetro e no sensor sem correção de ajustamento verificamos que há uma diferença de 0,8°C a mais para o sensor.

Os mínimos das temperaturas também apresentam diferenças em suas medições na ordem de 1,4°C a mais para o sensor do que a observado termômetro. A Figura 16 apresenta o comportamento da temperatura do ar ambiente (°C) entre as leituras do sensor, sem a correção de ajustamento, e as leituras em termômetro, representados pelas linhas de tendência, para o mesmo período.

Figura 16 - Comportamento da temperatura do ar obtida pelo sensor DHT22, sem a correção de ajustamento, e pelo termômetro.



Observa-se pelo comportamento entre o registrado pelo termômetro e o obtido pelo sensor eletrônico, sem a correção de ajustamento, que há um afastamento entre as medições de temperatura, produzido pelas diferenças entre a leitura indireta, realizada pelo sensor, e a leitura direta realizada pelo termômetro. É possível verificar que as diferenças observadas expressam um comportamento aproximadamente proporcional ao longo de todo o período, o que sugere a possibilidade de aplicar uma equação para obter a correção do afastamento e a aproximação entre as leituras do sensor em relação as leituras em termômetro.

A Tabela 11 apresenta as médias da temperatura do ar obtida pelo termômetro de bulbo seco e pelo sensor DHT22, aplicando uma equação de ajustamento pelo método dos mínimos quadrados (MMQ).

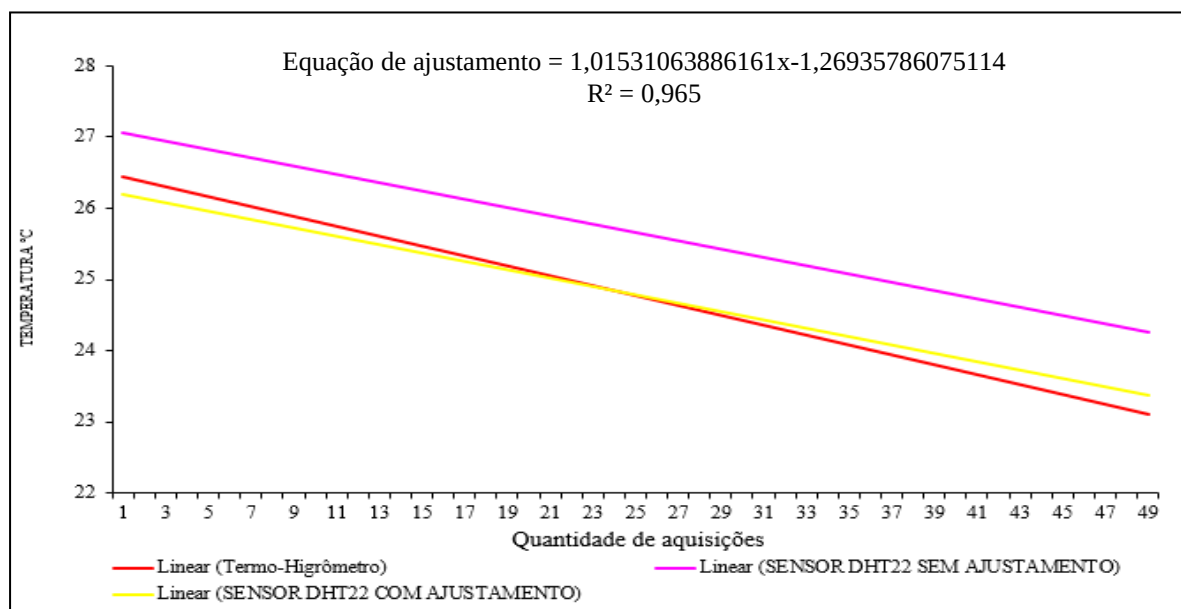
Pelos valores das médias de temperatura entre o registrado em termômetro e o obtido pelo sensor DHT22, aplicando a equação de ajustamento obtida pelo método MMQ, é possível verificar que as médias de temperatura após a correção são iguais, e que o resíduo dos afastamentos acumulado entre as leituras reduziu de 55.48°C para 17.42°C.

Tabela 11 - Temperatura do ar ambiente obtida em termo-higrômetro e pelo sensor DHT22 ajustado pelo método MMQ

Termo higrômetro Temperatura (°C)			Sensor DHT22 ajustado Temperatura (°C)			Soma dos quadrados do resíduo
Média	Máx	Min	Média	Max	Min	$\Sigma(\text{Termômetro} - \text{Sensor})^2$
24,78	29,5	19,3	24,78	29,49	19,75	17,72

As diferenças entre a máxima e a mínima temperatura registradas pelo sensor com a correção de ajustamento são mais próximas das indicadas pelo termômetro, em comparação às máximas e mínimas temperaturas registradas pelo sensor sem a correção de ajustamento. A Figura 17 apresenta o comportamento da temperatura do ar ambiente (°C) entre as leituras do sensor, com a correção de ajustamento, e as leituras em termômetro.

Figura 17 - Simulação matemática do comportamento do sensor DHT22 utilizando a equação de ajustamento na obtenção da temperatura do ar, em relação ao registrado em termômetro



Observa-se pela sobreposição das linhas que expressam o comportamento da temperatura do ar obtida pelo sensor eletrônico, com a correção de ajustamento pelo método

dos quadrados mínimos, e o comportamento da temperatura do ar em termômetro, que a correção matemática obtida pela equação de ajustamento reduziu significativamente o afastamento entre as leituras do sensor e as leituras em termômetro.

Conclui-se pelo comportamento de sobreposição das retas, pela igualdade nas médias de temperatura obtidas entre o sensor ajustado e o termômetro, e a drástica redução do somatório do quadrado dos resíduos para o sensor com correção em relação ao sensor sem o ajustamento.

O método dos quadrados mínimos é uma proposta válida para a correção de sensores eletrônicos, aumentando a fidelidade da leitura obtida em sensor eletrônico em relação ao termômetro de bulbo seco.

4.2.2 - Umidade relativa do ar no sensor DHT22

A Tabela 12 apresenta as médias da umidade relativa do ar ambiente (%) obtida pelo sensor DHT22 e a calculada por termo higrômetro, no período de 27/10/2014 a 07/11/2014, coletadas aleatoriamente.

Tabela 12 - Umidade relativa do ar ambiente (%) calculada por termo-higrômetro e a obtida pelo sensor DHT22 sem a correção de ajustamento

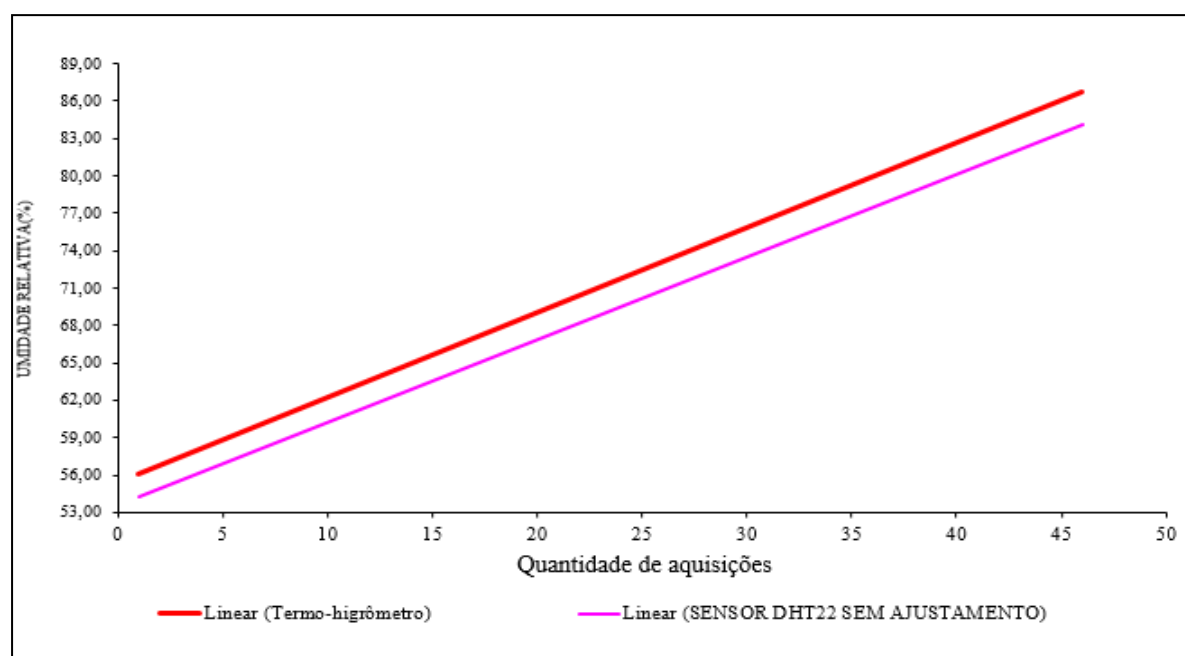
Termo-higrômetro Umidade Relativa (%)			Sensor DHT22 Umidade Relativa (%)			Soma dos quadrado do resíduo
Média	Max	Min	Média	Max	Min	$\Sigma(\text{Termômetro} - \text{Sensor})^2$
72,12	90,21	42,17	69,89	87	41,5	337,85

Pelos valores nas médias de umidade relativa entre o calculado por termo-higrômetro e o obtido pelo sensor DHT22, sem correção de ajustamento, é possível verificar que houve um afastamento médio positivo de 2,23% (pontos percentuais) na diferença da umidade relativa calculada em termo-higrômetro em relação ao obtido pelo sensor, resultando em um resíduo acumulado ao longo do período de avaliação de 337,85% (pontos percentuais), já observando a umidade relativa máxima registrada em termo-higrômetro comparando com o

sensor sem correção de ajustamento verificamos que a uma diferença de 3,21°C a mais para o termo-higrômetro, os mínimos das temperaturas também apresentam diferenças em suas medições 0,67°C a mais para o termo-higrômetro do que comparado com o sensor.

A Figura 18 apresenta o comportamento da umidade relativa do ar ambiente (%) entre as leituras do sensor, sem a correção de ajustamento, e as leituras calculadas por termo-higrômetro, representados pelas linhas de tendência, para o mesmo período.

Figura 18 - Comportamento da umidade relativa do ar ambiente obtida pelo sensor DHT22, sem a correção de ajustamento, e a calculada por termo-higrômetro



Observa-se pelo comportamento da umidade relativa calculada pelo termo-higrômetro e a obtida pelo sensor eletrônico que há um afastamento entre as medições de umidade relativa do ar ambiente, produzido pelas diferenças entre a leitura indireta, realizada pelo sensor, e a calculada por termo-higrômetro.

É possível verificar que as diferenças observadas expressam um comportamento aproximadamente proporcional ao longo de todo o período, o que sugere a possibilidade de

aplicar uma equação para obter a correção do afastamento e a aproximação entre as leituras do sensor em relação a leitura calculada por termo-higrômetro.

A Tabela 13 apresenta as médias da umidade relativa do ar ambiente (%) calculada por termo-higrômetro, e as obtidas pelo sensor DHT22 aplicando uma equação de ajustamento pelo método dos mínimos quadrados (MMQ).

Tabela 13 - Umidade relativa do ar ambiente (%) calculado por termo-higrômetro e a obtida pelo sensor DHT22 ajustado pelo método MMQ

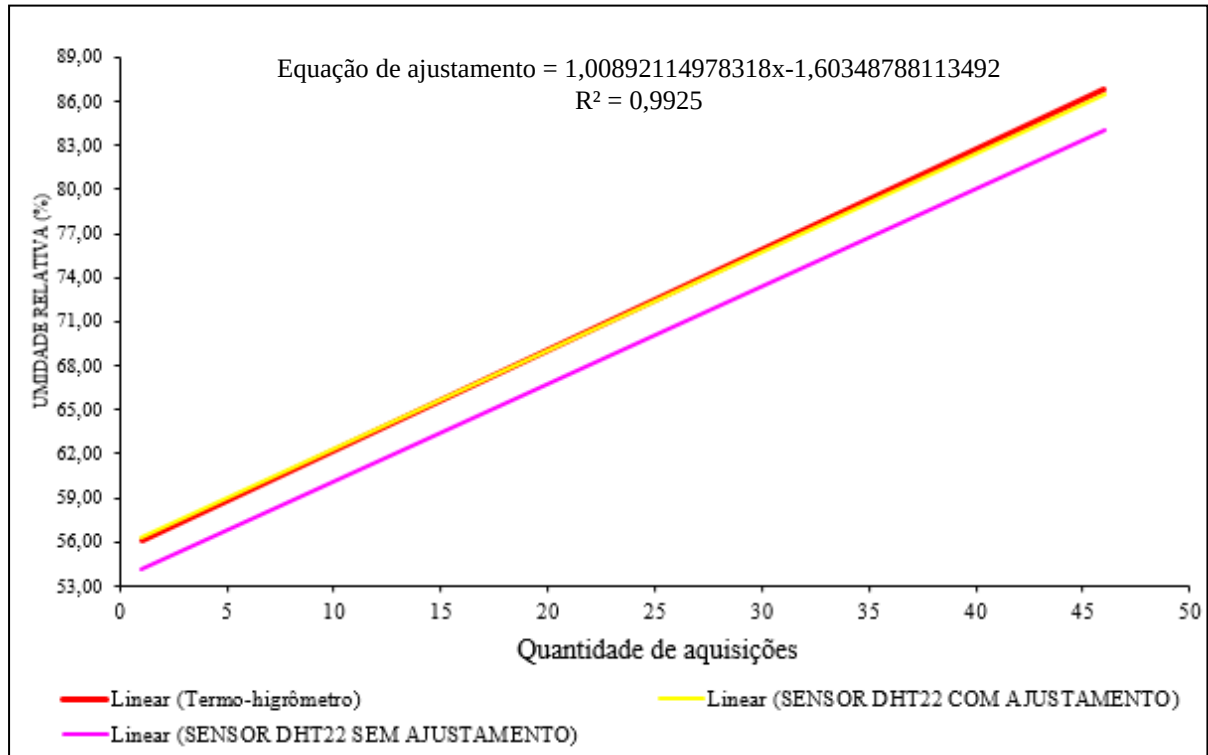
Termo higrômetro Umidade Relativa (%)			Sensor DHT22 ajustado Umidade Relativa (%)			Soma dos quadrados do resíduo
Média	Max	Min	Média	Max	Min	$\Sigma(\text{Termo-higrômetro} - \text{Sensor})^2$
72,12	90,21	42,17	72,12	89,38	43,47	74,22

Pelos valores das médias de umidade relativa do ar ambiente (%) calculado por termo-higrômetro e o obtido pelo sensor DHT22, aplicando a equação de ajustamento obtida pelo método MMQ, é possível verificar as médias de umidade relativa após a correção são iguais, e que o resíduo dos afastamentos acumulado entre as leituras reduziu de 337,85% (pontos percentuais) para 74,22% (pontos percentuais). As diferenças entre a máxima e a mínima umidade relativa registradas pelo sensor com a correção de ajustamento foi mais próxima da calculada em termo-higrômetro somente para a máxima diferença de 0,83°C em comparação com a mínima umidade relativa registrada pelo sensor com a correção de ajustamento diferença 1,3°C.

A Figura 19 apresenta o comportamento da umidade relativa do ar (°C) entre as leituras do sensor, com a correção de ajustamento, e as calculadas por termo-higrômetro, representados pelas linhas de tendência, para o mesmo período.

Observa-se pela sobreposição das linhas que expressam o comportamento da umidade relativa do ar ambiente registrada pelo sensor eletrônico, com a correção de ajustamento pelo método dos quadrados mínimos, e o comportamento da umidade relativa do ar calculada em termo-higrômetro, que a correção matemática obtida pela equação de ajustamento reduziu significativamente o afastamento entre as leituras do sensor e as leituras calculadas por termo-higrômetro.

Figura 19 - Simulação matemática do comportamento da umidade relativa do ar ambiente no sensor DHT22 utilizando a equação de ajustamento, em relação ao calculado por termo-higrômetro



Conclui-se pelo comportamento de sobreposição das retas, pela igualdade nas médias de umidade relativa do ar obtidas entre os sensor ajustado e as calculadas por termo-higrômetro, e a drástica redução do somatório do quadrado dos resíduos para o sensor com correção em relação ao sensor sem o ajustamento, que o método dos quadrados mínimos é uma proposta válida para a correção de sensores eletrônicos, aumentando a fidelidade da leitura obtida em sensor eletrônico em relação ao termômetro de bulbo úmido.

Entretanto, verifica-se pelo comportamento do afastamento entre as máximas e mínimas obtidas pelo sensor com ajustamento que há a necessidade de ampliar a amostragem, afim de obter um comportamento similar ao ocorrido para a temperatura do ar onde houve maior proximidade dos valores tanto para a máxima quanto para a mínima no sensor com ajustamento.

4.3 SENSOR LM35

4.3.1 Temperatura do ar no sensor LM35

A Tabela 14 apresenta as médias da temperatura do ar obtida pelo sensor LM35 e pelo termo higrômetro, no período de 27/10/2014 a 07/11/2014, coletadas aleatoriamente.

Tabela 14 - Temperatura do ar ambiente obtido em termo-higrômetro e pelo sensor LM35 sem a correção de ajustamento

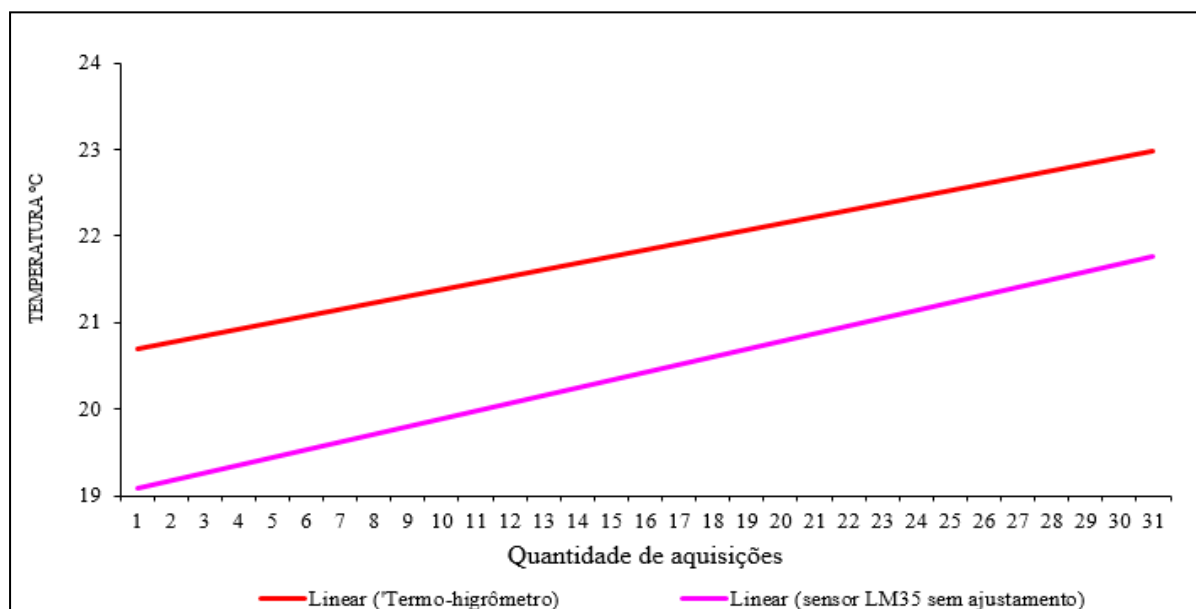
Termo-higrômetro Temperatura (°C)			Sensor LM35 Temperatura (°C)			Soma dos quadrado do resíduo
Média	Max	Min	Média	Max	Min	$\Sigma(\text{Termômetro} - \text{Sensor})^2$
21,83	24,9	19,5	20,42	22,94	17,57	75,19

Pelos valores nas médias de temperatura entre o observado no termômetro e o obtido pelo sensor LM35, sem a correção de ajustamento, é possível verificar que houve um afastamento médio positivo de 1,41°C entre a temperatura registrada pelo sensor em relação ao termômetro, resultando em um resíduo acumulado ao longo do período de avaliação de 75,19°C. Já observando as temperaturas máximas registradas em termômetro e no sensor sem correção de ajustamento verificamos que há uma diferença de 1,96°C a mais para o termômetro.

Os mínimos das temperaturas também apresentam diferenças em suas medições na ordem de 1,93°C a mais para o sensor do que o observado em termômetro. A Figura 20 apresenta o comportamento da temperatura do ar ambiente (°C) entre as leituras do sensor, sem a correção de ajustamento, e as observadas em termômetro, representados pelas linhas de tendência, para o mesmo período.

Observa-se pelo comportamento entre o observado no termômetro e o obtido pelo sensor eletrônico, sem a correção de ajustamento, que há um afastamento entre as medições de temperatura, produzido pelas diferenças entre a leitura indireta, realizada pelo sensor, e a leitura direta realizada pelo termômetro.

Figura 20 - Comportamento da temperatura do ar obtida pelo sensor LM35, sem a correção de ajustamento, e pelo termômetro.



É possível verificar que as diferenças observadas expressam um comportamento aproximadamente proporcional ao longo de todo o período, o que sugere a possibilidade de aplicar uma equação para obter a correção do afastamento e a aproximação entre as leituras do sensor em relação as leituras em termômetro.

A Tabela 15 apresenta as médias da temperatura do ar obtida pelo termômetro de bulbo seco e pelo sensor LM35, aplicando uma equação de ajustamento pelo método dos mínimos quadrados (MMQ).

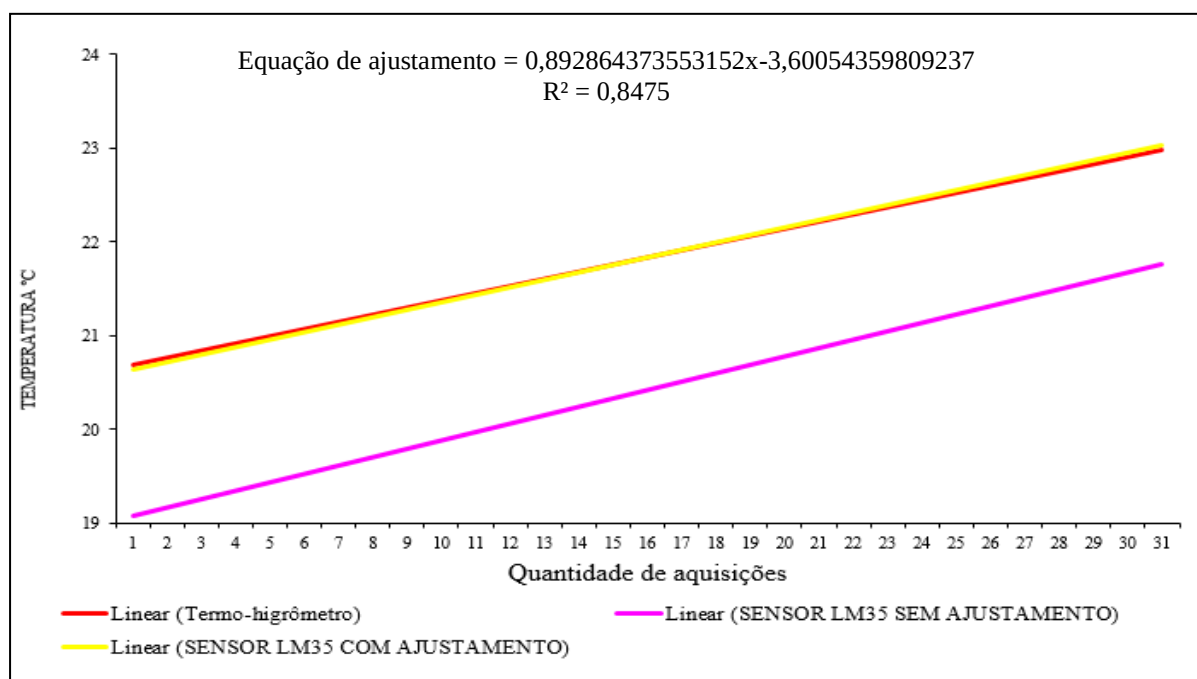
Tabela 15 - Temperatura do ar ambiente obtida em termômetro e pelo sensor LM35 ajustado pelo método MMQ

Termo higrômetro Temperatura (°C)			Sensor LM35 ajustado Temperatura (°C)			Soma dos quadrados do resíduo
Média	Máx	Min	Média	Max	Min	$\Sigma(\text{Termômetro} - \text{Sensor})^2$
21,83	24,9	19,5	21,83	24,08	19,29	12,32

Pelos valores das médias de temperatura entre o registrado em termômetro e o obtido pelo sensor LM35, aplicando a equação de ajustamento obtida pelo método MMQ, é possível verificar que as médias de temperatura após a correção são iguais, e que o resíduo dos afastamentos acumulado entre as leitura reduziu de 75,19°C para 12,32°C.

As diferenças entre a máxima e a mínima temperatura registradas pelo sensor com a correção de ajustamento são mais próximas das indicadas pelo termômetro, em comparação as máximas e mínimas temperaturas registradas pelo sensor sem a correção de ajustamento. A Figura 21 apresenta o comportamento da temperatura do ar ambiente (°C) entre as leituras do sensor, com a correção de ajustamento, e as leituras em termo-higrômetro, representados pelas linhas de tendência, para o mesmo período.

Figura 21 - Simulação matemática do comportamento do sensor LM35 utilizando a equação de ajustamento na obtenção da temperatura do ar, em relação ao registrado em termômetro



Observa-se pela sobreposição das linhas que expressam o comportamento da temperatura do ar ambiente registrada pelo sensor eletrônico, com a correção de

ajustamento pelo método dos quadrados mínimos, e o comportamento da temperatura do ar obtida em termômetro, que a correção matemática obtida pela equação de ajustamento reduziu significativamente o afastamento entre as leituras do sensor e as leituras do termômetro.

Conclui-se pelo comportamento de sobreposição das retas, pela igualdade nas médias de temperatura do ar obtidas entre os sensor ajustado e as observadas por termômetro, e a drástica redução do somatório do quadrado dos resíduos para o sensor com correção em relação ao sensor sem o ajustamento, que o método dos quadrados mínimos é uma proposta válida para a correção de sensores eletrônicos, aumentando a fidelidade da leitura obtida em sensor eletrônico em relação ao termômetro de bulbo seco.

4.4 SENSOR HIH-4040

4.4.1 Umidade relativa do sensor HIH-4040

A Tabela 16 apresenta as médias da umidade relativa do ar ambiente (%) obtida pelo sensor HIH-4040 e a calculada por termo higrômetro, no período de 27/10/2014 a 07/11/2014, coletadas aleatoriamente.

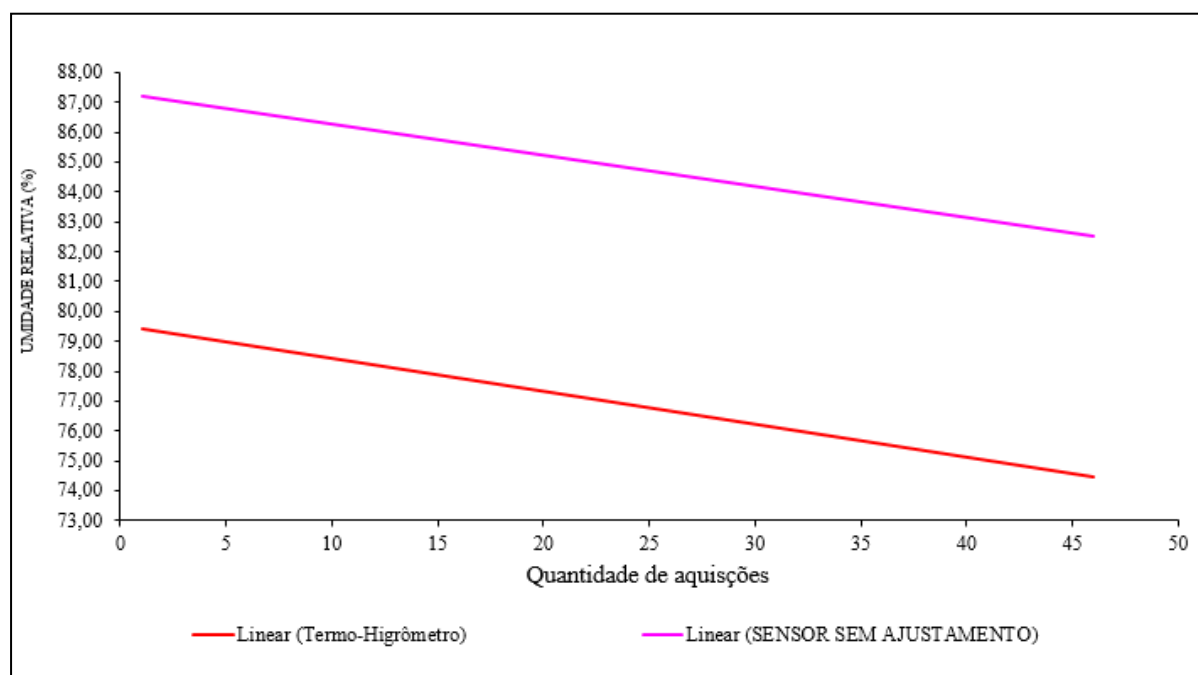
Tabela 16 - Umidade relativa do ar ambiente (%) calculada por termo-higrômetro e a obtida pelo sensor HIH-4040 sem a correção de ajustamento

Termo-higrômetro Umidade Relativa (%)			Sensor HIH4040 Umidade Relativa (%)			Soma dos quadrado do resíduo
Média	Max	Min	Média	Max	Min	$\Sigma(\text{Termômetro} - \text{Sensor})^2$
76,95	91,01	61,29	84,84	99,91	68,83	2963,46

Pelos valores nas médias de umidade relativa entre o calculado por termo-higrômetro e o obtido pelo sensor HIH-4040, sem correção de ajustamento, é possível verificar que houve um afastamento médio positivo de 7,89% (pontos percentuais) na diferença da umidade relativa registrada pelo sensor em relação ao calculado por termo-higrômetro, resultando em

um resíduo acumulado ao longo do período de avaliação de 2963,46% (pontos percentuais). Já observando a umidade relativa máxima calculada em termo-higrômetro comparando com o sensor sem correção de ajustamento verificamos que a uma diferença de 8,9°C a mais para o sensor, os mínimos das temperaturas também apresentam diferenças em suas medições 7,54°C a mais para o sensor do que comparado com o termo-higrômetro. A Figura 22 apresenta o comportamento da umidade relativa do ar ambiente (%) entre as leituras do sensor, sem a correção de ajustamento, e as leituras calculadas por termo-higrômetro, representados pelas linhas de tendência, para o mesmo período.

Figura 22 - Comportamento da umidade relativa do ar ambiente obtida pelo sensor HIH-4040, sem a correção de ajustamento, e a calculada por termo-higrômetro.



Observa-se pelo comportamento da umidade relativa calculada por termo-higrômetro e a obtida pelo sensor eletrônico que há um afastamento entre as medições de umidade relativa do ar ambiente, produzido pelas diferenças entre a leitura indireta, realizada pelo sensor, e a calculada obtida por termo-higrômetro.

É possível verificar que as diferenças observadas expressam um comportamento aproximadamente proporcional ao longo de todo o período, o que sugere a possibilidade de aplicar uma equação para obter a correção do afastamento e a aproximação entre as leituras do sensor em relação a leitura calculada por termo-higrômetro.

A Tabela 17 apresenta as médias da umidade relativa do ar ambiente (%) calculada por termo-higrômetro, e as obtidas pelo sensor HIH-4040 aplicando uma equação de ajustamento pelo método dos mínimos quadrados (MMQ).

Tabela 17 - Umidade relativa do ar ambiente (%) calculado por termo-higrômetro e a obtida pelo sensor HIH-4040 ajustado pelo método MMQ

Termo higrômetro Umidade Relativa (%)			Sensor HIH4040 ajustado Umidade Relativa (%)			Soma dos quadrados do resíduo
Média	Max	Min	Média	Max	Min	$\Sigma(\text{Termo-higrômetro} - \text{Sensor})^2$
76,95	91,01	61,29	76,95	91,94	61,01	95,92

Pelos valores das médias de umidade relativa do ar ambiente (%) calculado por termo higrômetro e o obtido pelo sensor HIH-4040, aplicando a equação de ajustamento obtida pelo método MMQ é possível verificar as médias de umidade relativa após a correção são iguais, e que o resíduo dos afastamentos acumulado entre as leitura reduziu de 2963,46% (pontos percentuais) para 95,92% (pontos percentuais).

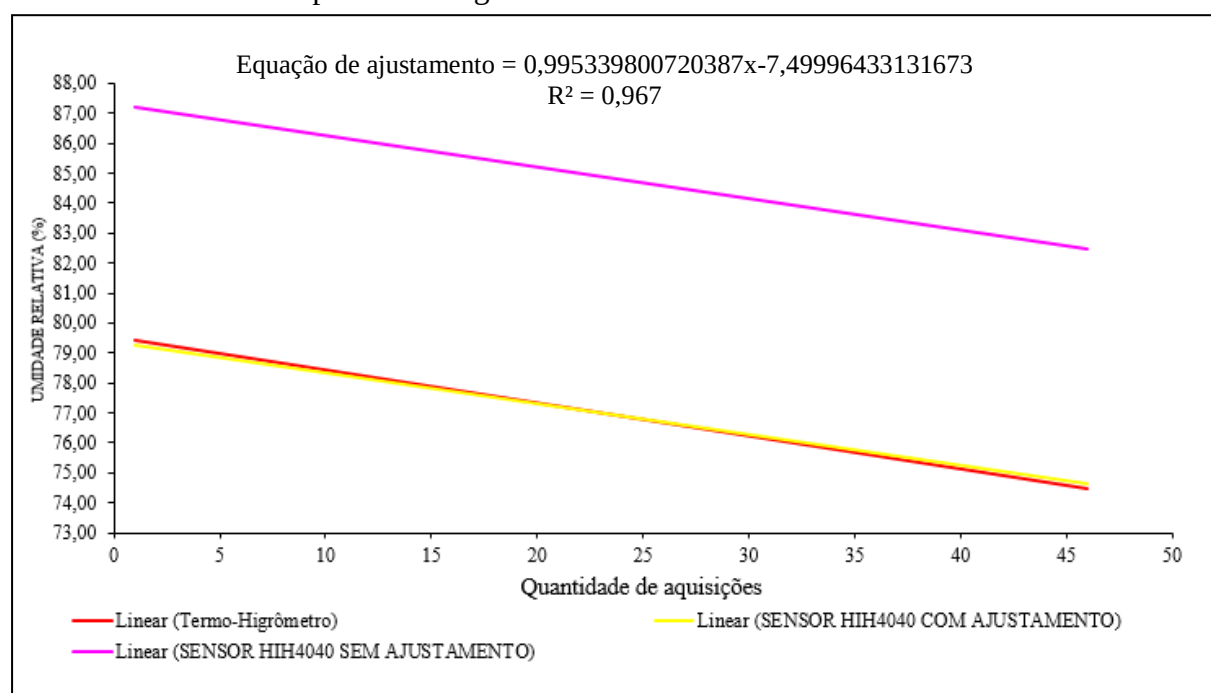
As diferenças entre a máxima e a mínima temperatura registradas pelo sensor com a correção de ajustamento são mais próximas das registradas em termo-higrômetro, em comparação as máximas e mínimas temperaturas registradas pelo sensor sem a correção de ajustamento.

A Figura 23 apresenta o comportamento da umidade relativa do ar (°C) entre as leituras do sensor, com a correção de ajustamento, e as calculadas por termo-higrômetro, representados pelas linhas de tendência, para o mesmo período.

Observa-se pela sobreposição das linhas que expressam o comportamento da umidade relativa do ar ambiente registrada pelo sensor eletrônico, com a correção de ajustamento pelo método dos quadrados mínimos, e o comportamento da temperatura do ar em termômetro, que a correção matemática obtida pela equação de ajustamento reduziu

significativamente o afastamento entre as leituras do sensor e as leituras calculadas por termo-higrômetro.

Figura 23 - Simulação matemática do comportamento da umidade relativa do ar ambiente no sensor HIIH-4040 utilizando a equação de ajustamento, em relação ao calculado por termo-higrômetro.



Conclui-se pelo comportamento de sobreposição das retas, pela igualdade nas médias de umidade relativa obtidas entre os sensor ajustado e as calculadas por termo-higrômetro, e a drástica redução do somatório do quadrado dos resíduos para o sensor com correção em relação ao sensor sem o ajustamento, que o método dos quadrados mínimos é uma proposta válida para a correção de sensores eletrônicos, aumentando a fidelidade da leitura obtida em sensor eletrônico em relação ao termo-higrômetro. Entretanto, verifica-se pelo comportamento do afastamento entre as máximas e mínimas obtidas pelo sensor com ajustamento que há a necessidade de ampliar a amostragem, afim de obter um comportamento similar ao ocorrido para a temperatura do ar onde houve maior proximidade dos valores tanto para a máxima quanto para a mínima no sensor com ajustamento.

5 CONCLUSÃO

1 - Através dos resultados obtidos com os sensores no ensaio de bancada foi possível verificar que há diferenças nos valores de temperatura do ar e umidade relativa entre os sensores e o termo-higrômetro.

2 - A utilização do método dos MMQ reduziu consideravelmente os resíduos observados nas diferenças entre as leituras dos sensores e as leituras do termo-higrômetro.

3 - É possível aplicar uma equação para a correção das diferenças encontradas entre os valores obtidos no sensor eletrônicos em relação ao termo-higrômetro.

4 - O método matemático dos mínimos quadrados MMQ, mostrou-se viável para corrigir as diferenças de temperatura e umidade relativa ar nos sensores apresentados.

5 - O sensor com melhor fidelidade de leituras para a temperatura do ar, após a correção, foi o sensor SHT15.

6 - O sensor com melhor fidelidade de leituras para a umidade relativa do ar, após a correção, foi o sensor DHT22.

7 - O sensor que apresentou o pior resultado de fidelidade de leituras da temperatura do ar, após a correção, foi o sensor LM35.

8 - O sensor que apresentou o pior resultado de fidelidade de leitura da umidade relativa do ar, após a correção, foi o sensor HIH-4040.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO; et al.. Equilíbrio higroscópico da palma forrageira: relação com a umidade ótima para fermentação sólida. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. v.9, n.3, p.379-384. 2005.

BANZI, M. **“Getting Started with Arduino”**. 2009. Make, USA.

BAGESTEIRO, Tiago. S. **Controle do processo de secagem de grãos utilizando CLP na automação de silos-secadores**, TCC (Engenharia Mecânica) – URI Campus de Erechim, Erechim, 2012.

BLAIR,T.A.; FITE, R.C. **Meteorologia**. Rio de Janeiro: Ed. Artes Gráficas Gomes de Souza, 1964.

BRITO, A.A.S.; SOUZA, A.H. Sistema de aquisição de dados climatológicos automatizado por microcomputador. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5., 1987, Belém. Anais...Belém: CBA,1987 . p. 1-4.

CAIRES, V.C; ALMEIDA, H.P.X encontro de iniciação à docência UFPB-PRG, 2004.

DALLY, J.W.; WILLIAM, F.R.; McCONNELL, K.G. **Instrumentation for engineering measurements**. 2nd ed. New York: John Wiley, 1993. 584 p.

DENARDIN, G. W., **“Apostila Microcontroladores”**. Disponível em: <http://pessoal.utfpr.edu.br/gustavo/>. Acessado em 28/10/2013.

ELIAS, M.C. **Tempo de espera para secagem e qualidade de arroz para semente e uso industrial**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 1998. 132 p. Tese (doutorado) – Agronomia – Tecnologia de Sementes – UFPEL-FAEM, Pelotas.

GEORGINI, M.. **Automação aplicada: descrição e implementação de sistemas sequenciais em PLCs**. 7,ed, São Paulo, Érica LTDA. 2006.

GEMAEL,C. Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas. Curitiba: Ed UFPR, 1994.

HAYHOE, H.N., BALCHIN. D. Automatic retrieval of data agrometeorological using a microcomputer and radiotelemetry. **Journal of Computers and electronics abd Agriculture**, Amsterdam, v. 2, n 2, p.129-134, 1987.

HONEYWELL. Home page http://sensing.honeywell.com/product page?pr_id=53969>. Acesso em: 06/09/2014.

LABORATORIO DE GARAGEM. Home page <<http://labdegaragem.com/profiles/blogs/tutorial-alarme-por-temperatura-e-umidade-com-sensor-digital-rht0>>. Acesso em: 06/09/2014.

LOWINSOHN, D.; BERTOTTI, M. Sensores eletroquímicos: considerações sobre mecanismos de funcionamento e aplicações no monitoramento de espécies químicas em ambientes microscópicos. *Química Nova*, São Paulo, v. 29, n. 6, p. 1318-1325, nov./dez. 2006.

LUZ, M. L. G. S. **Termodinâmica e transferência de calor**, Ed. Universitária/ UFPEL, Pelotas, 2003.

MATUCHAKI, G.. **Projeto de um sistema de climatização de aviário**. TCC (Engenharia Agrícola) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná. 2011.

MATTOS, José J. **Validação De Sensores Aplicáveis A Sistemas Automáticos De Monitoramento Da Temperatura E Umidade Relativa Do Ar Atmosférico**. Projeto Interdisciplinar. URI-Erechim-RS, 2014. 42p.

MATTOS, J. J. **Correção de leituras em sensores digitais de temperatura e umidade relativa do ar atmosférico utilizando microcontrolador**. Trabalho de final de curso. Monografia. URI - Erechim, 2015. 70p.

MILMAN, M. J. **Equipamentos para pré-processamento de grãos**, Ed. Universitária/UFPEL, Pelotas, 2002.

MCROBERTS, M. **Arduíno Básico**, Novatec, São Paulo, 2011.

MONTE, et al.. "Sistema automático para secagem de produtos agrícolas em camada fina". **Revista ACTA Scientiarum Agronomy**. Maringá. v.30,n.3, p.307-312. 2008.

PALMIERI, M. A. **Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para coleta e armazenamento de dados de variáveis climáticas**, Dissertação Mestrado ESALQ/USP, São Paulo, 2009.

PALIGA, Renan. Sistema Microprocessador no controle de temperatura e Umidade Relativa do ar em Silos-Secadores de Grãos, TCC (Engenharia Mecânica) – URI Campus de Erechim, Erechim, 2014.

PERRIER, G. **La petite histoire de la Geodésie**, Paris: Presses Universitaires de France, 1939.

PINTO, P.H.. Funcionamento de um controlador lógico programável (CLP). Disponível em: <www.nteditorial.com.br/revista>, Acesso em: 12 jun. 2013.\.

PIRES, D.P.L.; AFONSO, J.C.; CHAVES, F.A.B. A termometria nos séculos XIX e XX. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 1. 101-114, mar. 2006.

POMERANZ, Y. Biochemical, functional and nutritive changes during storage. In: CRISTENSEM, C.M. **Storage of cereal grains and their products**. St. Paul. 1974. p. 56-114.

PUZZI, D. **Armazenamento e Abastecimento de Grãos**. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 603p.

ROBOCORE. Home page <<http://www.robocore.net>>. Acesso em: 06/09/2014.

ROA, G.; QUEIROZ, D.M.; LACERDA Fº, A.F. Avaliação experimental de secador comercial intermitente de arroz. **Revista Brasileira de Armazenamento**. Viçosa, CETREINAR, 1982.

SILVA, J. S. **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**, Aprenda Fácil, Viçosa, 2000.

SENSIRION. Home page <<http://www.sensirion.com/en/products/humidity-temperature/humidity-sensor-sht1x/>>. Acesso em: 06/09/2014.

VASCONCELOS, A. J. S., MENEXES, A., CAVALHEIRAS, C., MENDES, F., SOARES, L., SOUZA, O., LAURENTI, R., SILVA, I. M. **Sistema de Termometria Micro-controlado de um Silo Piloto**, IX Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão JEPEX/2009. UFRPE, 2009.

WEBER, E. A. **Armazenagem agrícola**, 2. ed. Porto Alegre: Kepler Weber Industrial: Porto Alegre, 2001. 392p.

WEBTRONICO. Home page <<http://www.webtronico.com/sensores/temperatura-e-umidade/am2302-rht03-dht22-sensor-de-umidade-e-temperatura.html>> Acesso em 06/09/2014.

WARREN, J. D.; ADAMS, J.; MOLLE, H., 2011. **“Arduino Robotics”**. Apress, USA.

ZAMBALDE, A.L. **Sistema computadorizado para aquisição e análise de dados agro meteorológicos**. 1991. 144 p. Dissertação-(Mestrado em Ciências da Engenharia: eletrônica) - Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 1991.