

# DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO IOT PARA MEDIDA REMOTA DE TEMPERATURA, UMIDADE DO AR E DO SOLO COM BAIXO CUSTO E BAIXO CONSUMO DE ENERGIA

Nome: Patrick Thierry Lorusso El Omairi

GRR: 20133823

Professor orientador: Prof. Dr. Málio José Do  
Couto Bonfim

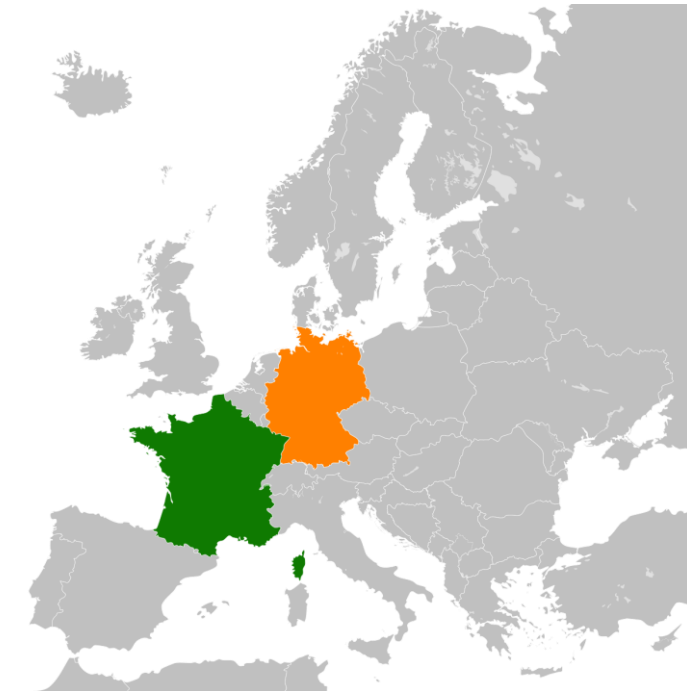


# Agenda

- 1. Introdução - Problema
- 2. Objetivos gerais
- 3. Objetivos específicos
- 4. Metodologia
- 5. Desenvolvimento
- 6. Resultados
- 7. Melhorias
- 8. Conclusão
- 9. Bibliografia

# 1. Introdução - Problema

- Área de lavouras no Brasil: 639945 km<sup>2</sup>      Equivalente a área da França.
  - Dos quais 351000 km<sup>2</sup> de soja      Equivalente a área da Alemanha
- 
- 47% dos agricultores brasileiros não utilizam nenhum tipo de agricultura de precisão no Brasil (PAPP, 2014)
  - Agricultura 4.0: Facilidade na obtenção de dados. IoT e big data aplicados para o campo. (FONTES, 2017)



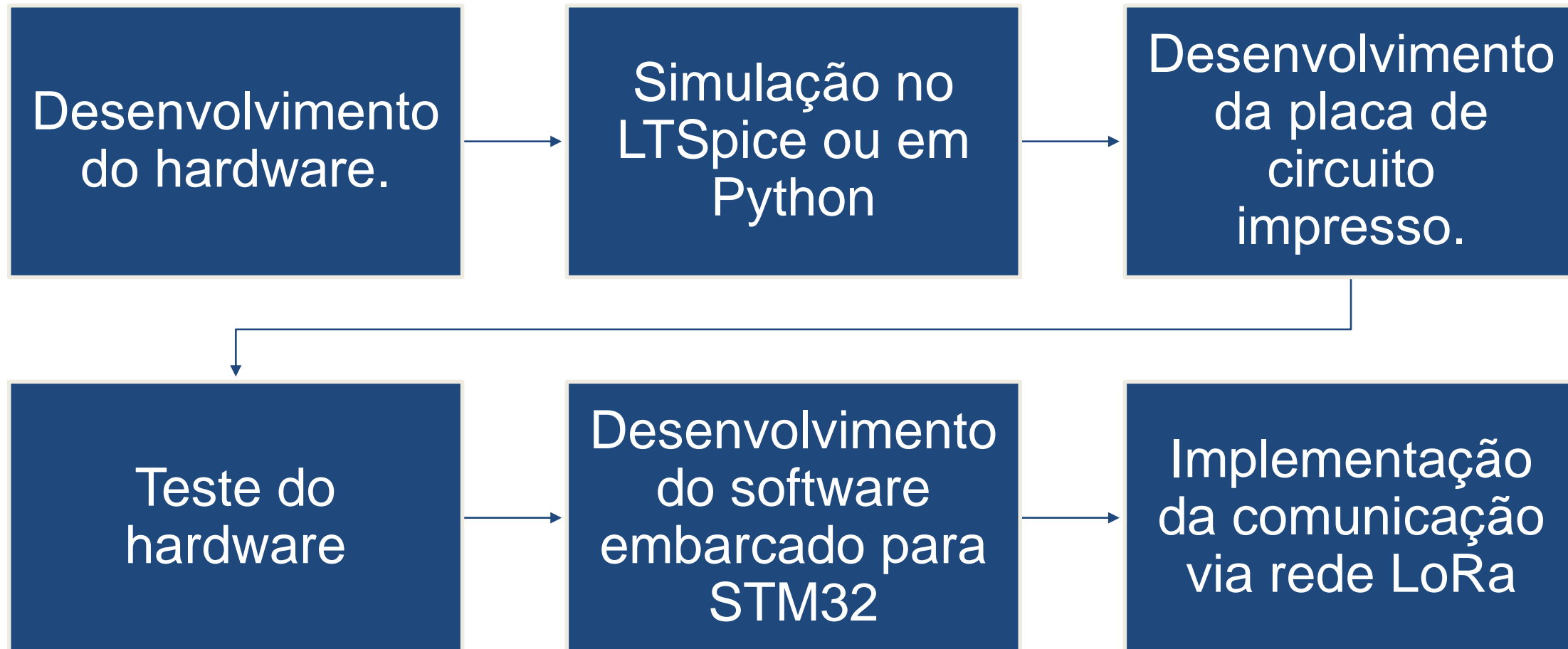
(LIMA, 2017)  
(EMBRAPA, 2018)

## 2. Objetivos gerais

Desenvolver um dispositivo eletrônico capaz de medir temperatura, umidade relativa do ar e do solo, e enviar os dados por uma rede IoT Lora.

Todos os sensores devem ser integrados junto do MCU em uma só placa de baixo custo e baixo consumo de energia.

### 3. Objetivos específicos



# 4. Metodologia

## Desenvolvimento Hardware

- Escolha dos componentes.
- Circuito de condicionamento dos sensores.
- Circuito do microcontrolador.
- Circuito para o módulo de transmissão (LoRa)

## Simulação do Hardware

- LTSpice
- Python (modelação por equações)
- FEMM

## Teste do hardware

- Testes em bancada

## Desenvolvimento da PCB

- Software: KiCAD
- Fabricação: Método fotossensível

## Software embarcado (STM32)

- Desenvolvimento em C
- Usando Atollic TrueSTUDIO e STM32CUBEMX)

## Comunicação via LoRa

- Definição da payload.
- Definição de parâmetros de rede.
- Desenvolvimento de um gateway.

# 5. Desenvolvimento HW

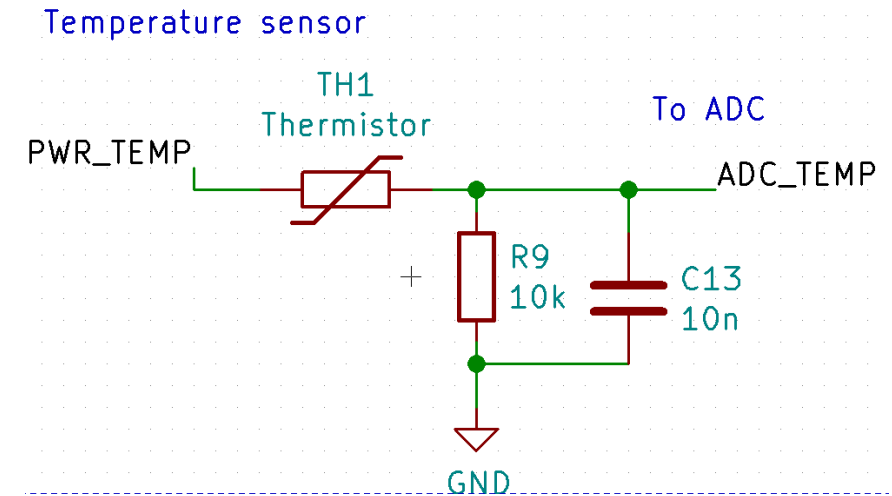
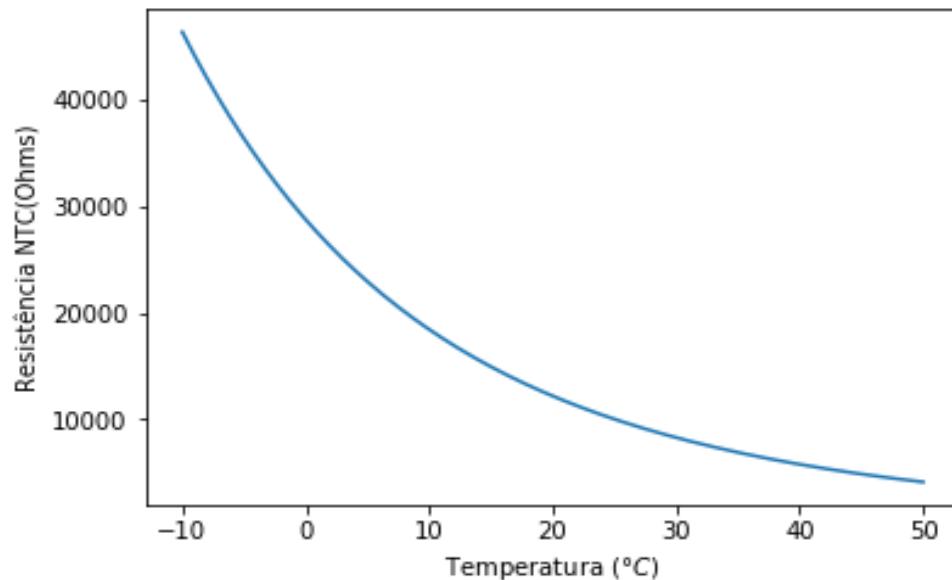
- Escolha dos componentes

Função	Componente
Sensor temperatura	NTC
Sensor umidade do ar	HR202
Sensor umidade do solo	Integrado na PCB – Capacitivo.
Bateria	2 Pilhas AA alcalinas.
Microcontrolador	STM32L051
Modulo LoRa	Ra-01

# 5. Desenvolvimento - Sensor de temperatura

## NTC

- Resistência que varia com a temperatura.
- Não depende de Vcc



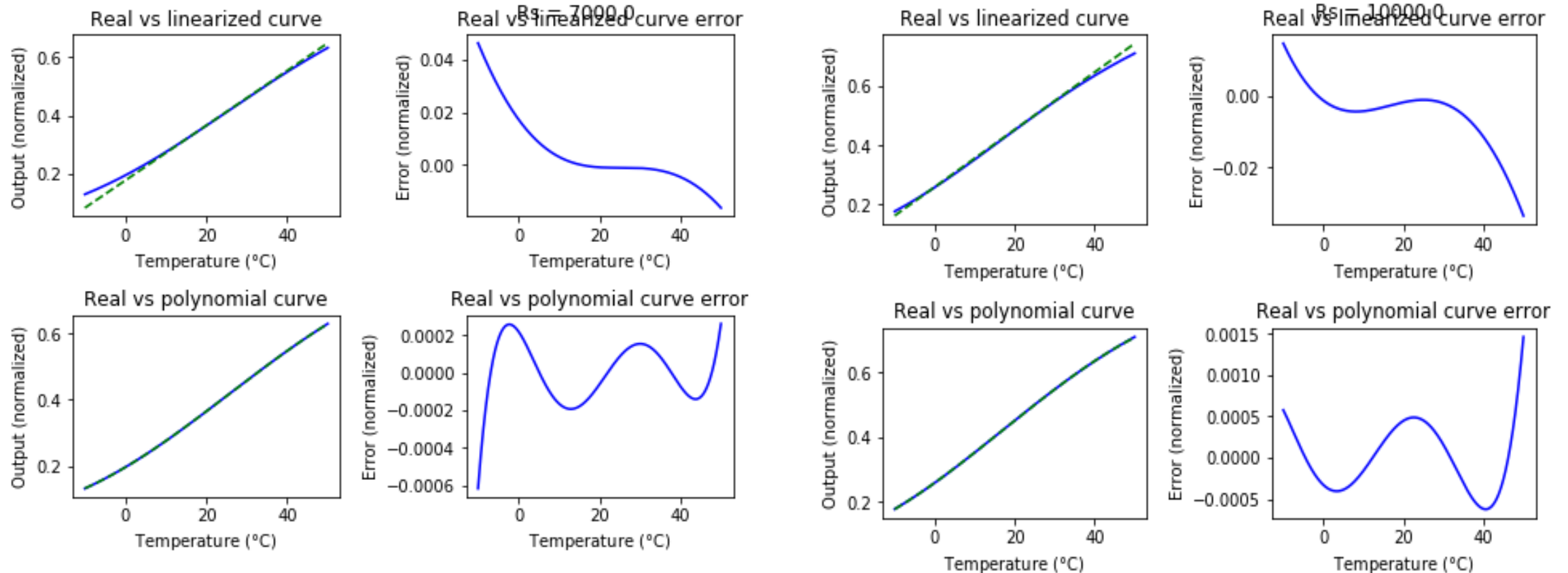
Resistor de linearização escolhido pelo método de inflexão.

$$R_s = 7k$$

$$R_{ntc} = R_0 \cdot \exp\left(\beta \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right)$$



# 5. Desenvolvimento - Sensor de temperatura



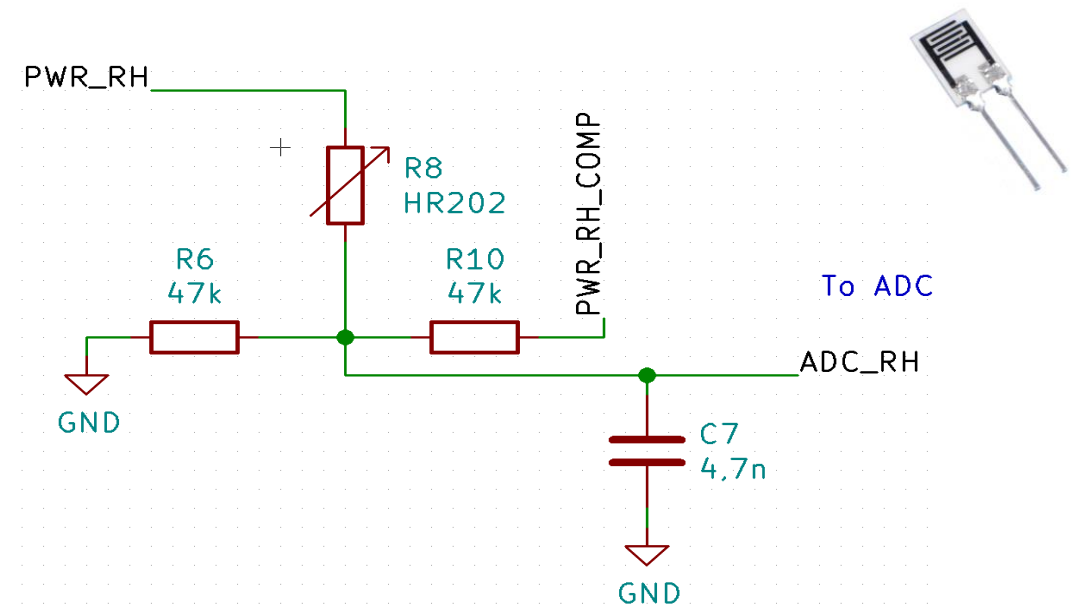
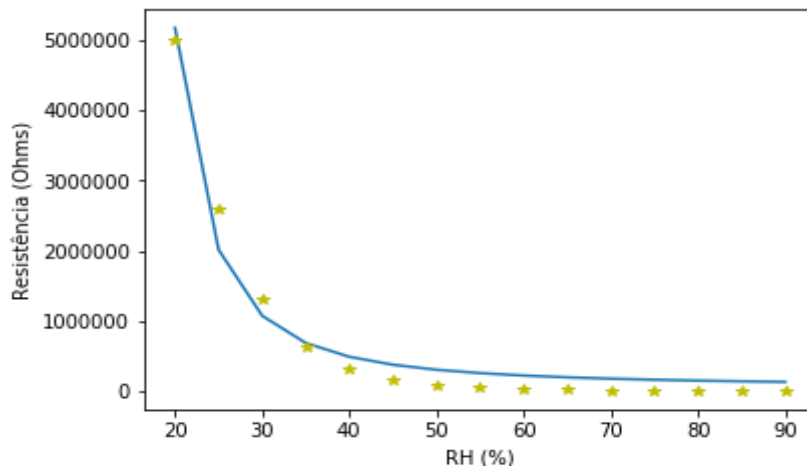
# 5. Desenvolvimento – Sensor de umidade do ar

## HR202

Sensor de umidade do ar, varia sua resistência de acordo com a umidade do ar. Necessária a aplicação de uma tensão alternada.

Datasheet fornece uma tabela com valores de resistência relacionados com RH.

Não depende de Vcc

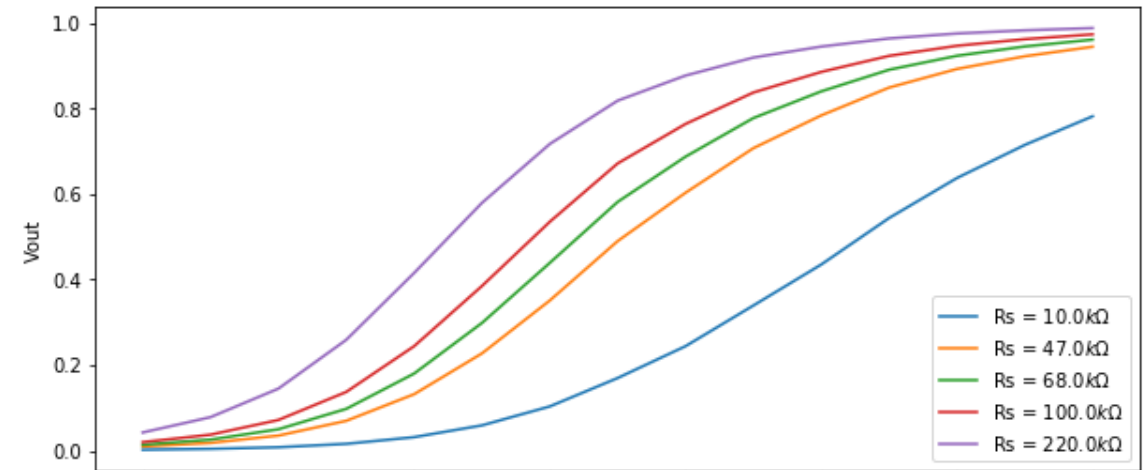
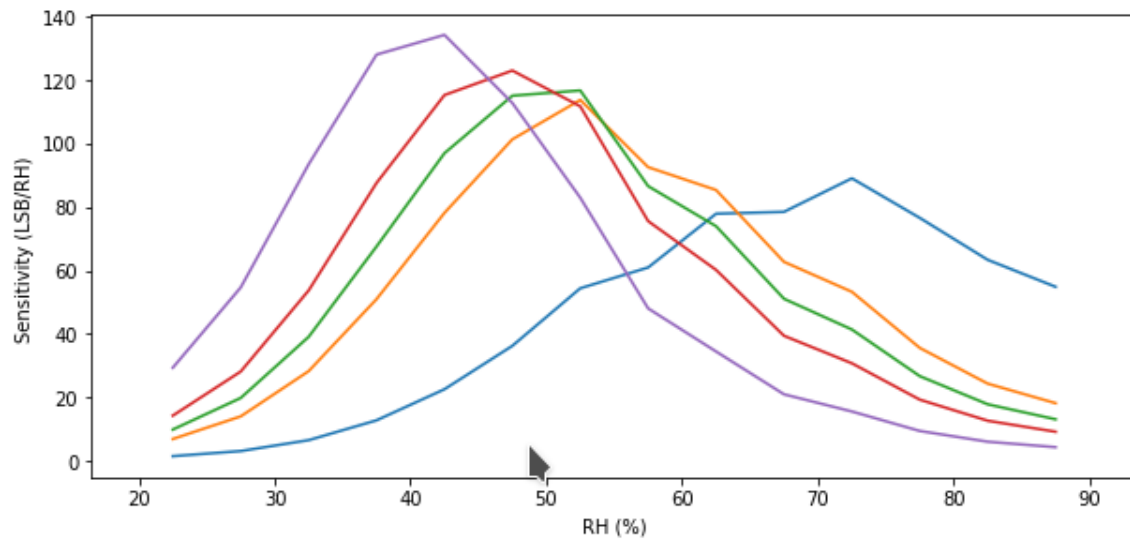


Resistor de linearização escolhido pelo método de inflexão.

$$R_s = 39k$$

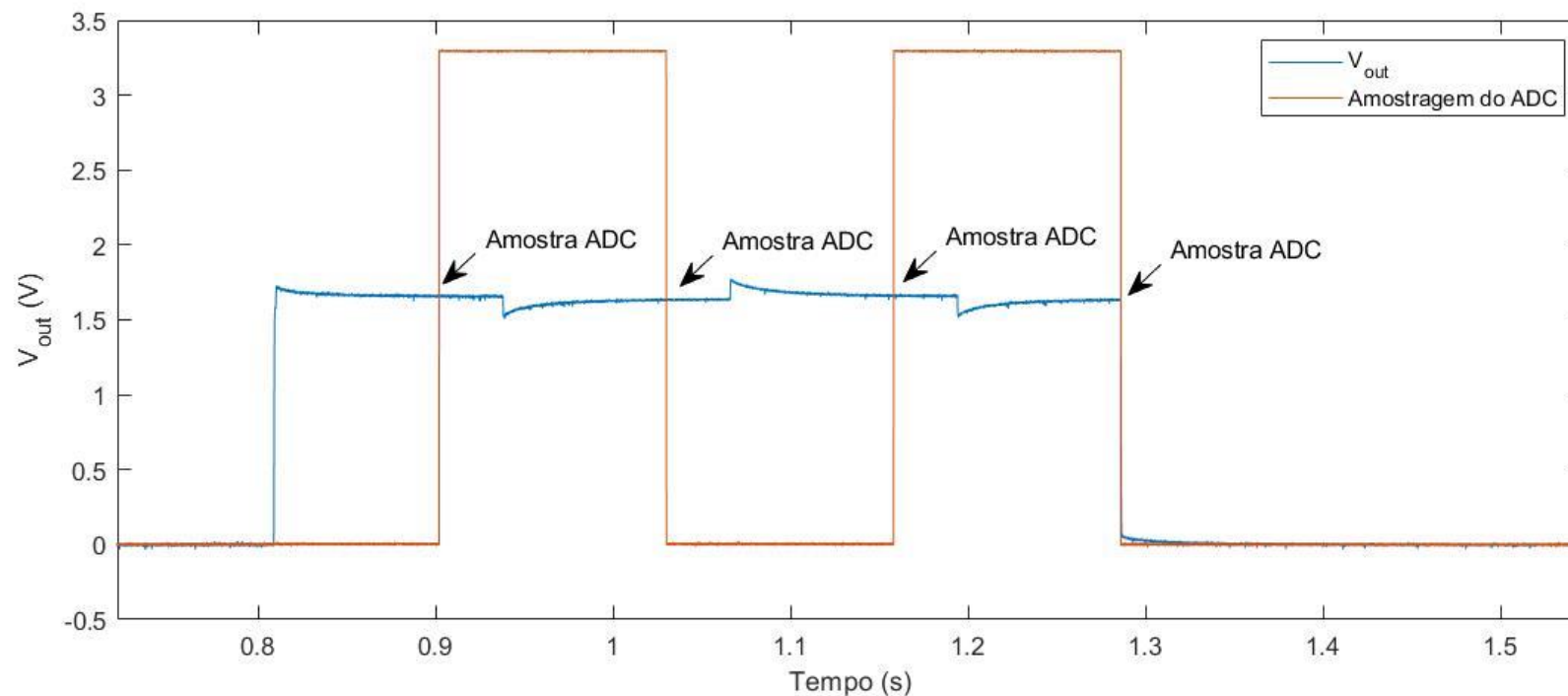
$$R_{HR202} = R_0 \cdot \exp\left(\frac{\beta}{RH} - \frac{\beta}{RH_0}\right)$$

## 5. Desenvolvimento – Sensor de umidade do ar

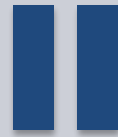


# 5. Desenvolvimento – Sensor de umidade do ar

- Sincronização da onda quadrada com o ADC por meio de timers.
- Efeito capacitivo do sensor.



## 5. Desenvolvimento– Sensor de umidade do solo



Sensores capacitivos são eficientes para medir a quantidade de água em diferentes materiais, uma vez que a água tem uma permissividade elétrica muito superior à outros objetos. (DEAN et al, 2012)



Além de medir a umidade do solo, sensores capacitivos podem medir:

Umidade em grãos, papel

Deteção de chuva

Sensor de proximidade

Botões capacitivos

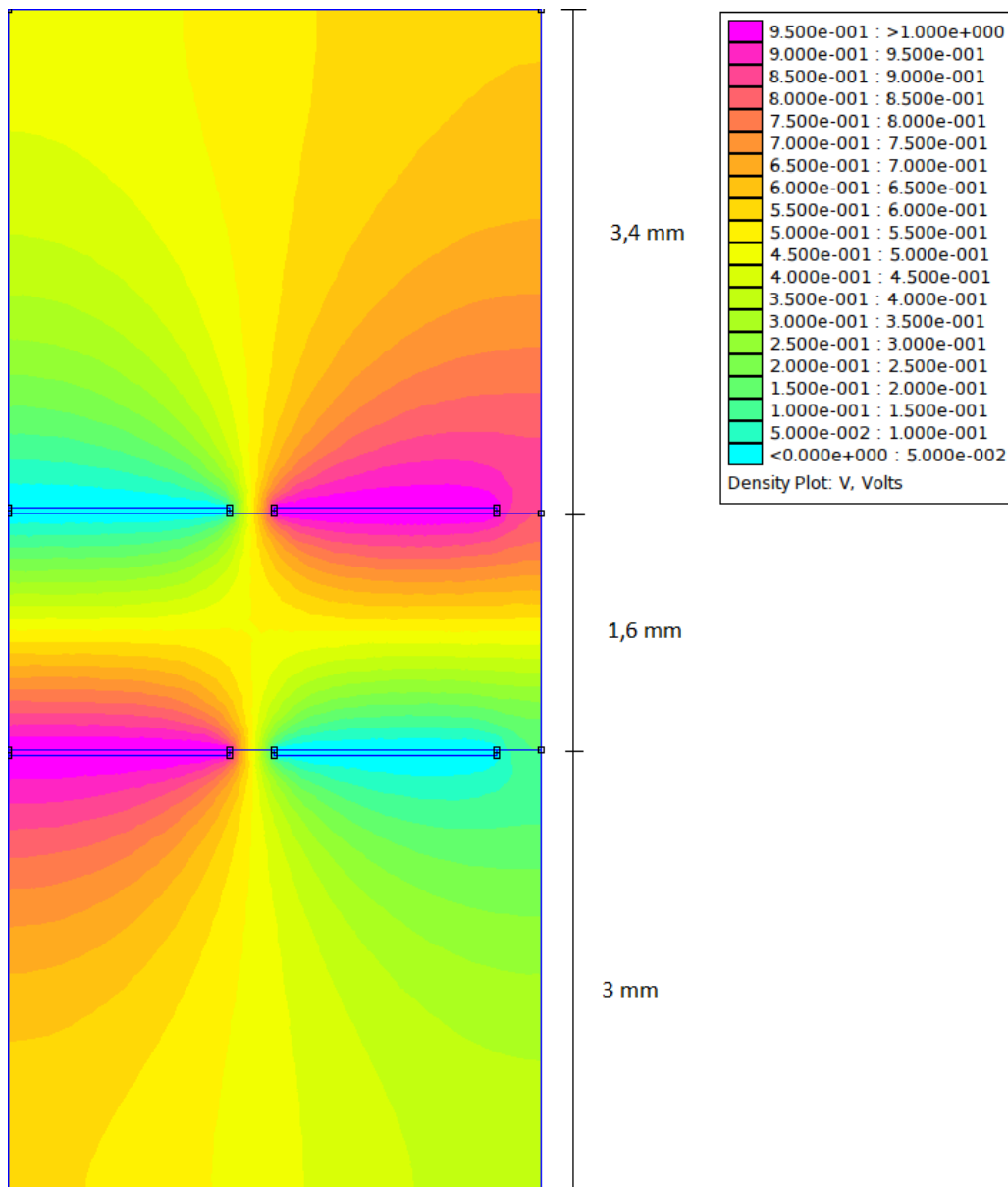


Outras maneiras de medir a umidade do solo incluem:

Propagação de ondas sísmicas

Sonda de neutros ou raios gama

Reflectometria no domínio do tempo (TDR)



## 5. Desenvolvimento— Sensor de umidade do solo

Desenvolvimento de um sensor capacitivo integrado na PCB.

Para obter a geometria do sensor, foi simulada a geometria no software FEMM.

Devido a uma boa capacitância e uma boa penetração no solo, foram escolhidos

$$W = 1,5 \text{ mm}$$

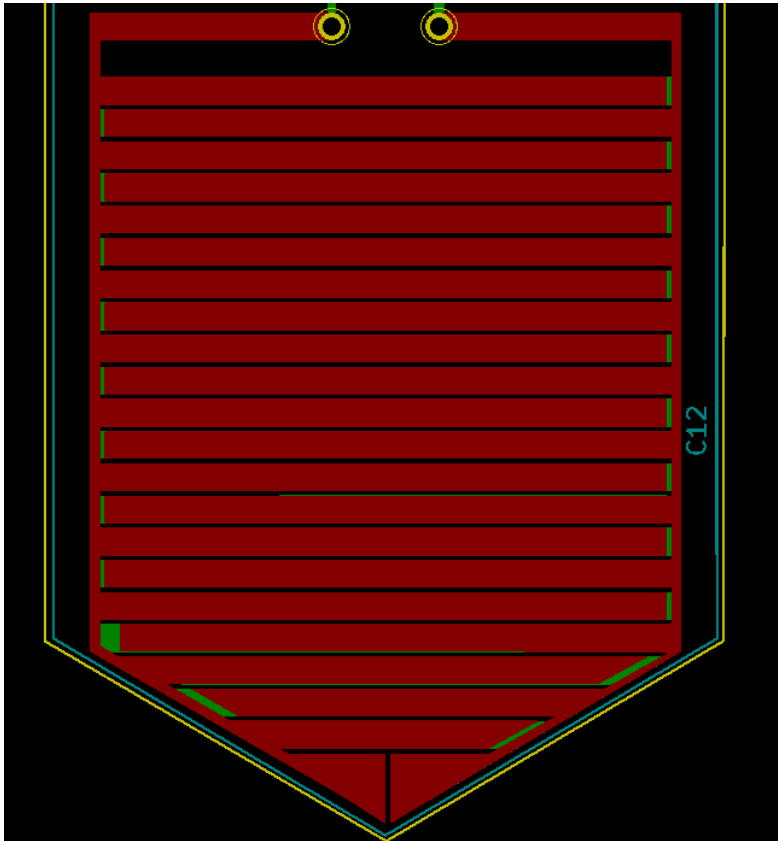
$$D = 0,3 \text{ mm}$$

A capacitância varia entre 57 e 740 pF.

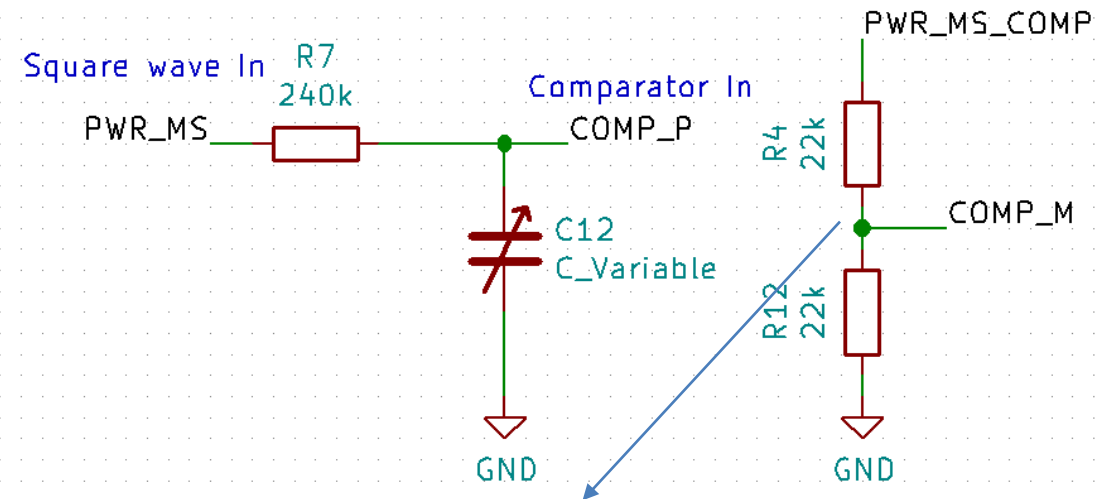
(MIZUGUCHI, 2015)

# 5. Desenvolvimento– Sensor de umidade do solo

- Desenvolvimento do sensor no KiCAD

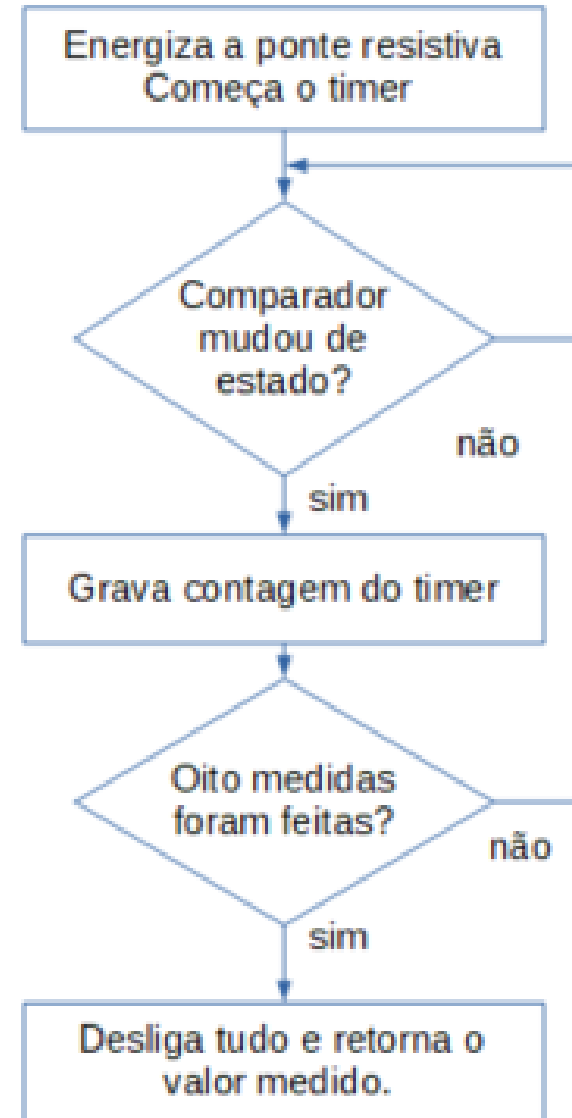


Soil moisture sensor



Mesmo valor da constante RC, tanto na subida quando na descida.

## 5. Desenvolvimento – Sensor de umidade do solo





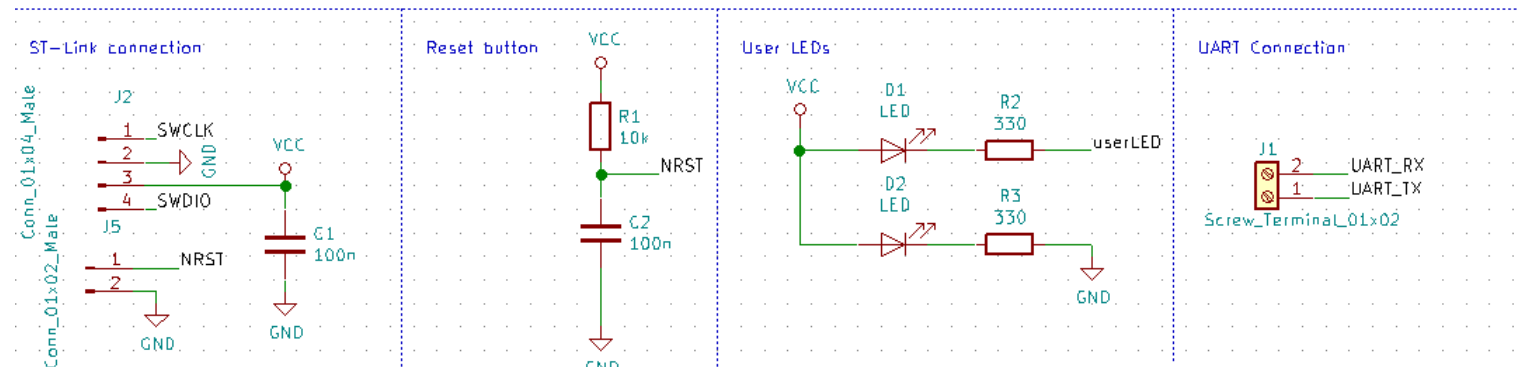
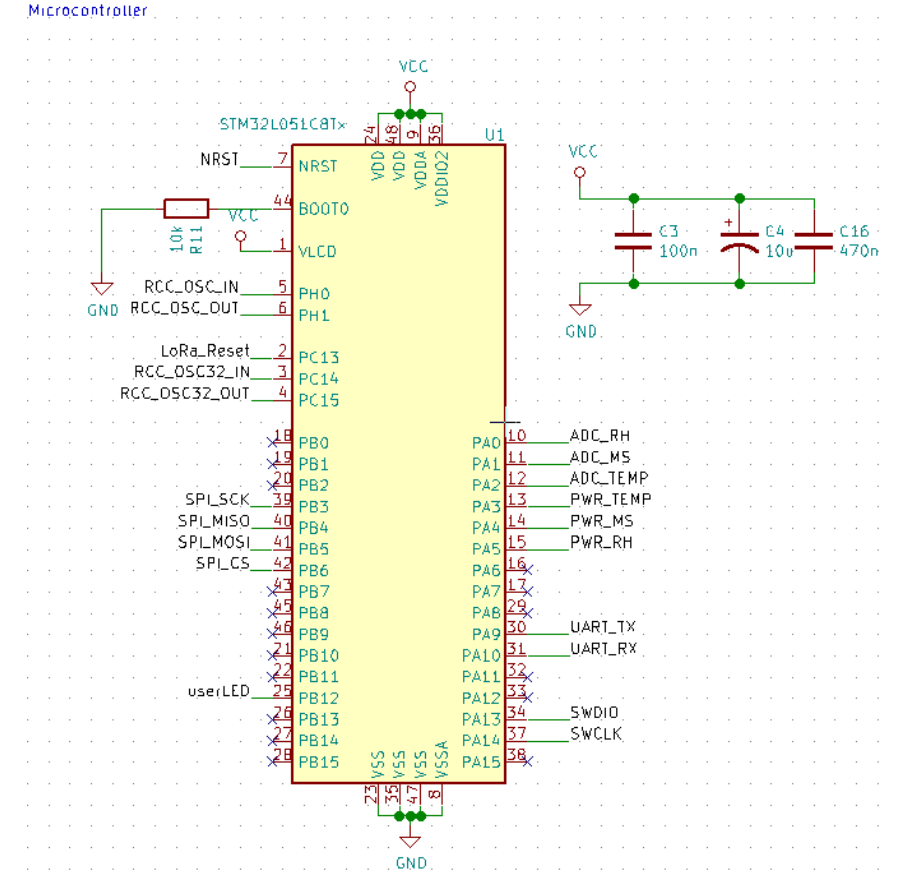
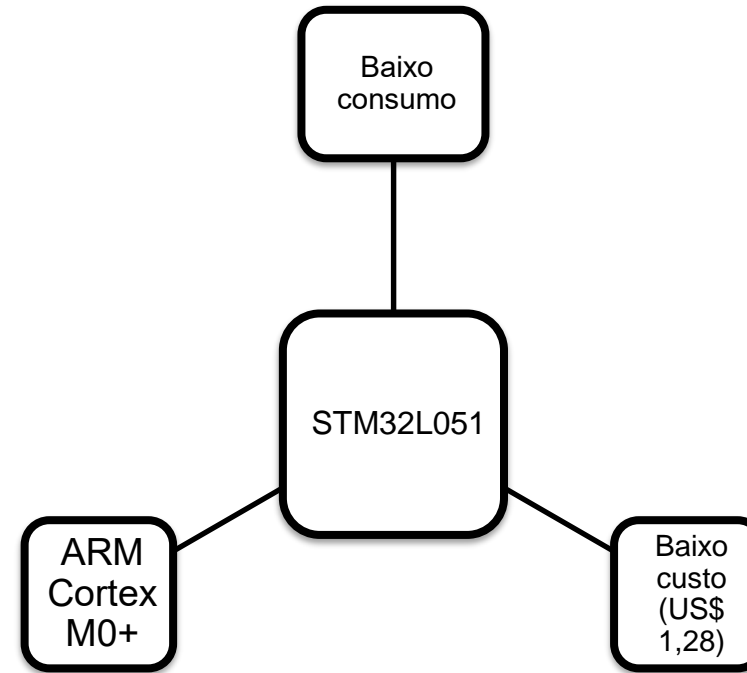
## 5. Desenvolvimento – Bateria

Foram escolhidas duas pilhas alcalinas AA como bateria para o projeto.

Faixa de tensão adequada para maior vida útil do sistema (3V – 2V).

Não necessita de um circuito de condicionamento.

# 5. Desenvolvimento – MCU



# 5. Desenvolvimento – MCU – Low power

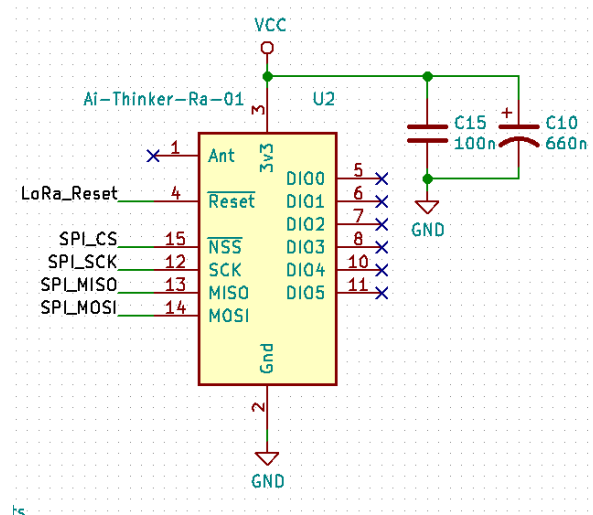
O microcontrolador STM32L051 possui 5 modos low power:

	LPRun	Sleep	LPSleep	Stop	Standby
Performance	1	2	3	4	5
Power Consumption	4	5	3	2	1
Wake-up Sources	1	2	3	4	5
Wake-up Time	2	1	4	3	5

O modo escolhido foi *Stop*, o MCU consome 320 uA quando está neste modo. Um RTC é utilizado para tirar o MCU do modo stop a cada hora.

Estado	Corrente (mA)	Tempo
Transmitindo	70	900 ms
Stop	0,320	1 h

Com duas pilhas AA Alcalinas de 4000 mAh, o dispositivo fica funcionando por 1 ano e 4 meses.

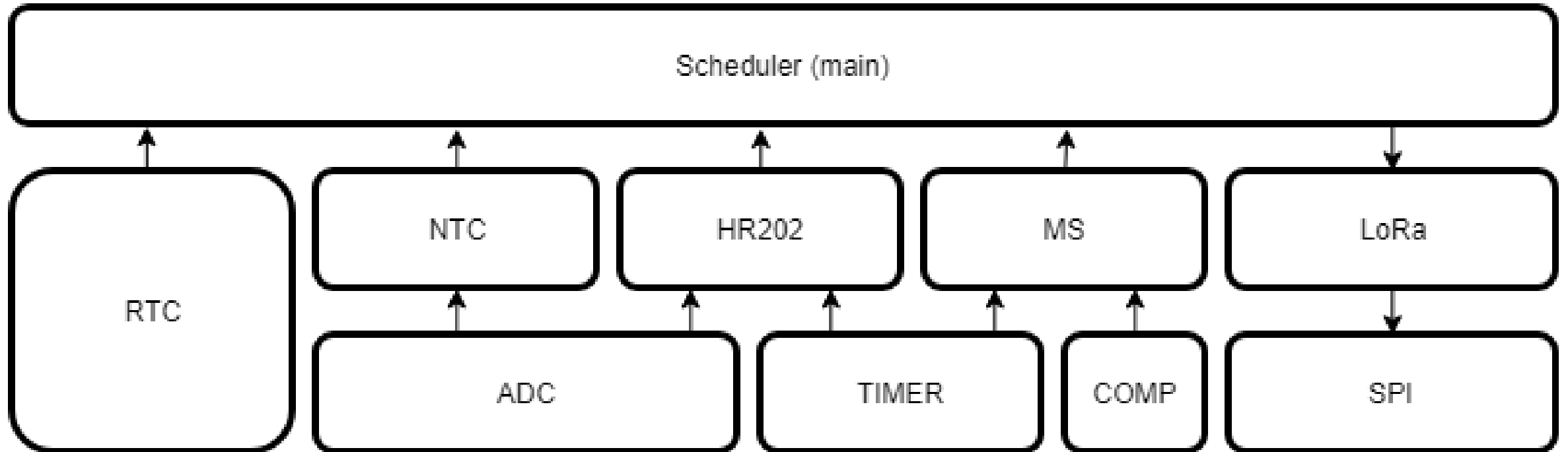


## 5. Desenvolvimento – LoRa

LoRa	Ra-01 (Baseado no chip SX1278)
<p>Rede de baixo consumo</p> <p>Longo alcance</p> <p>Baixa taxa de transmissão</p> <p>Feito para dispositivos IoT</p>	<p>Interface por SPI</p> <p>Baixo custo (US\$ 3,65)</p> <p>433 MHz</p>

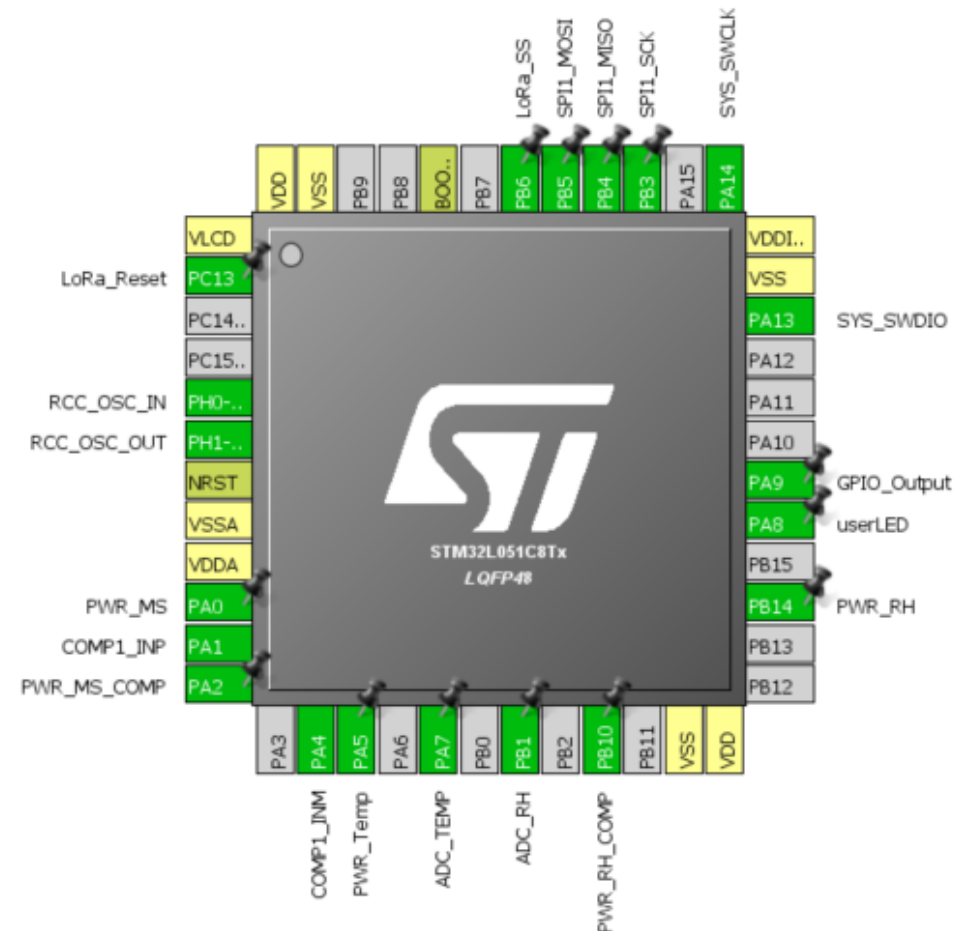
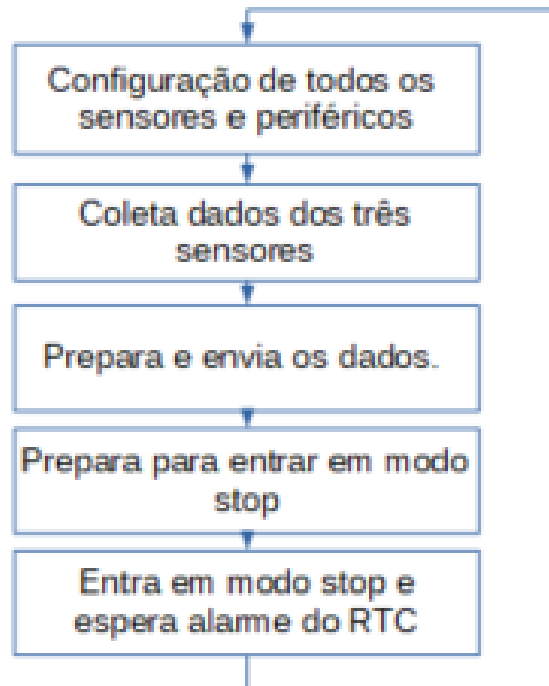
# 5. Desenvolvimento – Firmware

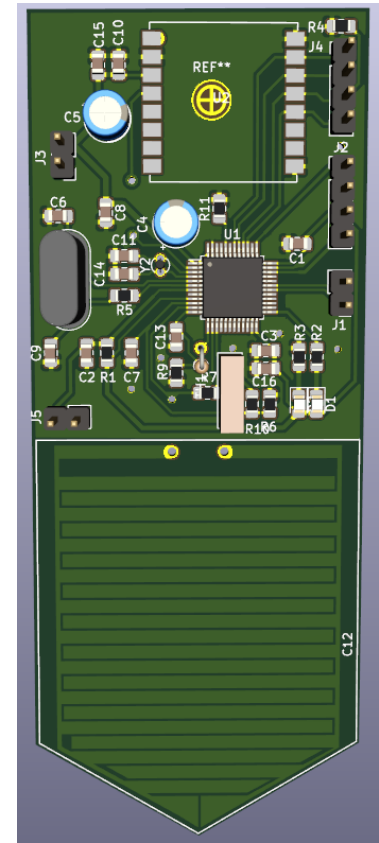
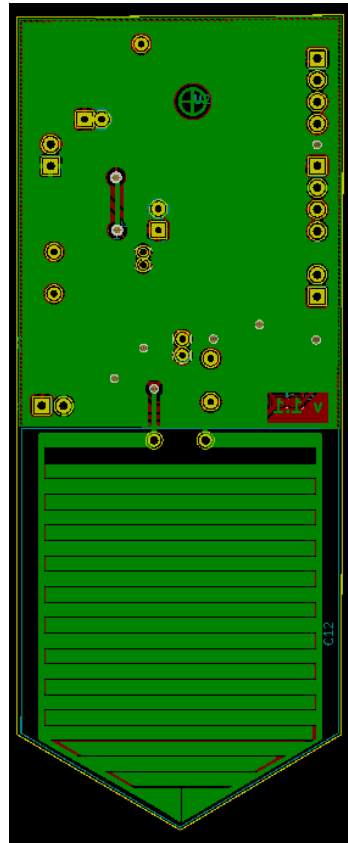
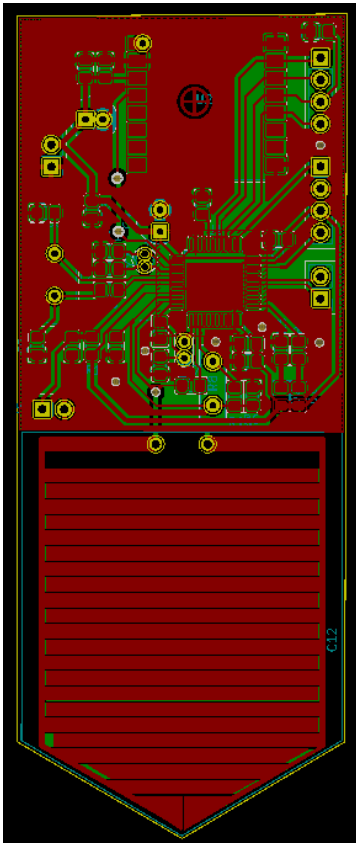
---



# 5. Desenvolvimento – MCU

Desenvolvimento do projeto com a IDE Atollic TrueSTUDIO e STM32CubeMX.





## 5. Desenvolvimento – PCB

Desenvolvido com o software Kicad

## 5. Desenvolvimento – Gateway



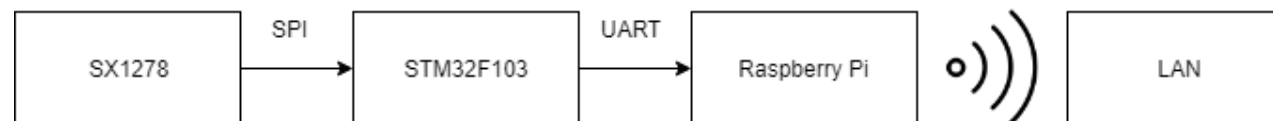
Processamento dos dados brutos dos sensores em Python no Raspberry Pi.



Raspberry Pi disponibiliza os dados na LAN via um banco de dados SQLite.



Desenvolvimento de um servidor HTTP (Apache) e utilização do PHPLiteAdmin como interface web para o banco de dados.






## 5. Desenvolvimento – Banco de dados

Duas tabelas foram criadas:  
Uma com os valores brutos  
enviados pelos sensores e  
uma com os valores  
processados.

Isto facilita a detecção de  
anomalias nas medidas.

As seguintes colunas são  
utilizadas



Column #	Field	Type
0	id	INTEGER
1	currentdate	DATE
2	temperature	NUMERIC
3	air_humidity	NUMERIC
4	soil_humidity	NUMERIC
5	msg_nb	NUMERIC
6	devid	NUMERIC

## 6. Resultados - Sensor de temperatura - Calibração

Aquisição da resistência do sensor em certas situações:

T (C)	T (K)	R (Ohms)	B (K)
0	273.15	31570	3931.763209
19	292.15	12380	4073.918627
82.1	355.25	1040	4033.914752
		<b>Média</b>	<b>4013.198863</b>

$$B = \frac{\ln(R_{T1}/R_{T2})}{1/T_1 - 1/T_2} \quad (\text{AMETHERM})$$

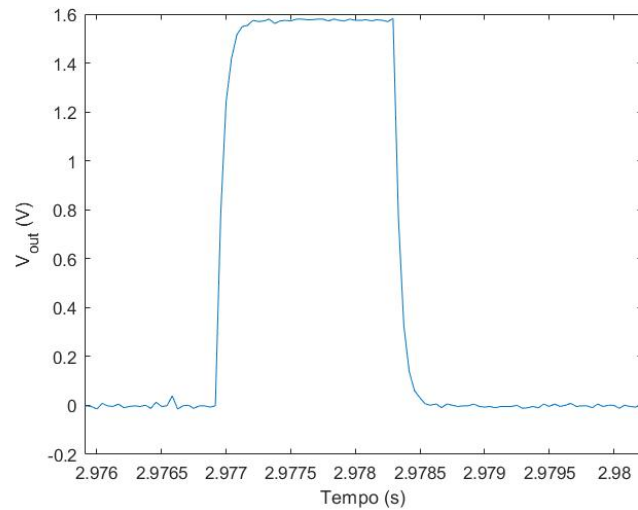
Para tratar o sinal na gateway, é utilizada a curva polinomial, a equação fica:

$$T = a_3 \cdot V_o^3 + a_2 \cdot V_o^2 + a_1 \cdot V_o + a_0$$

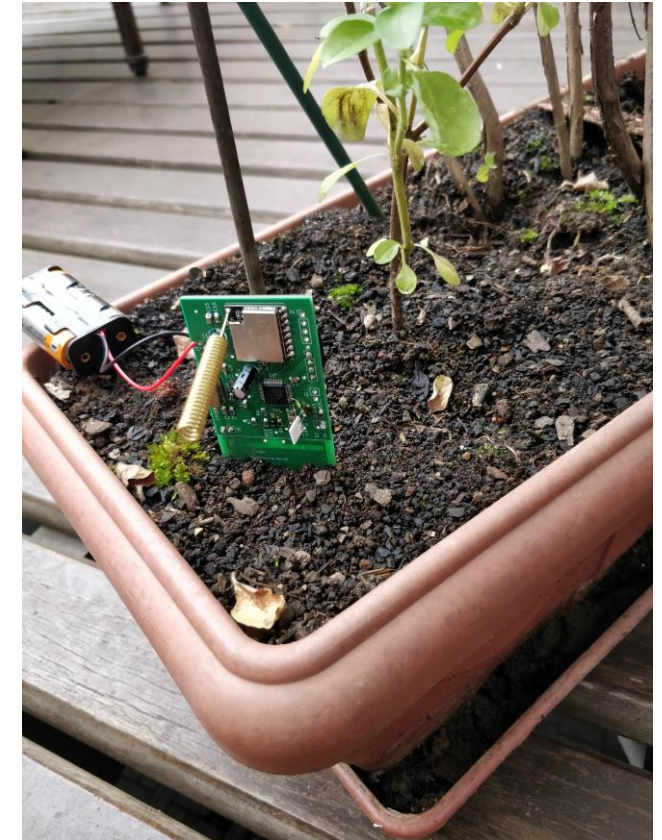
$$\mathbf{a} = [161,36 \quad -211,11 \quad 177,89 \quad -31.21]$$

Erro em cada ponto de medida, usando o polinômio de ordem 3.

T (C)	Erro (C)
0	1,65
19	0,52
82.1	-5,47



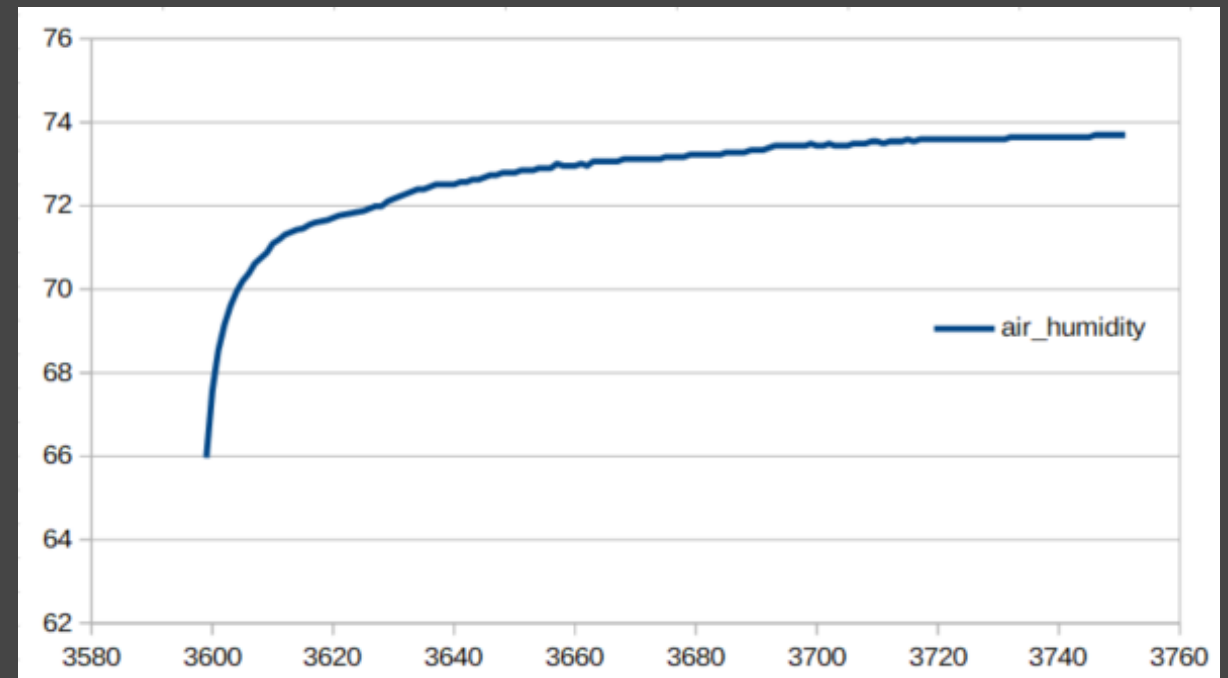
id	currentdate	ROUND(temperature,2)
1616	2018-12-03 08:39:38	18.12
1562	2018-12-03 07:44:31	18.32
1507	2018-12-03 06:49:24	18.37
1453	2018-12-03 05:54:17	18.76
1399	2018-12-03 04:59:11	19.3
1345	2018-12-03 04:04:06	19.54
1291	2018-12-03 03:09:03	19.64
1237	2018-12-03 02:13:59	19.64
1148	2018-12-03 00:23:48	18.69



## 6. Resultados - Sensor de temperatura

## 6. Resultados – Sensor de umidade do ar Calibração

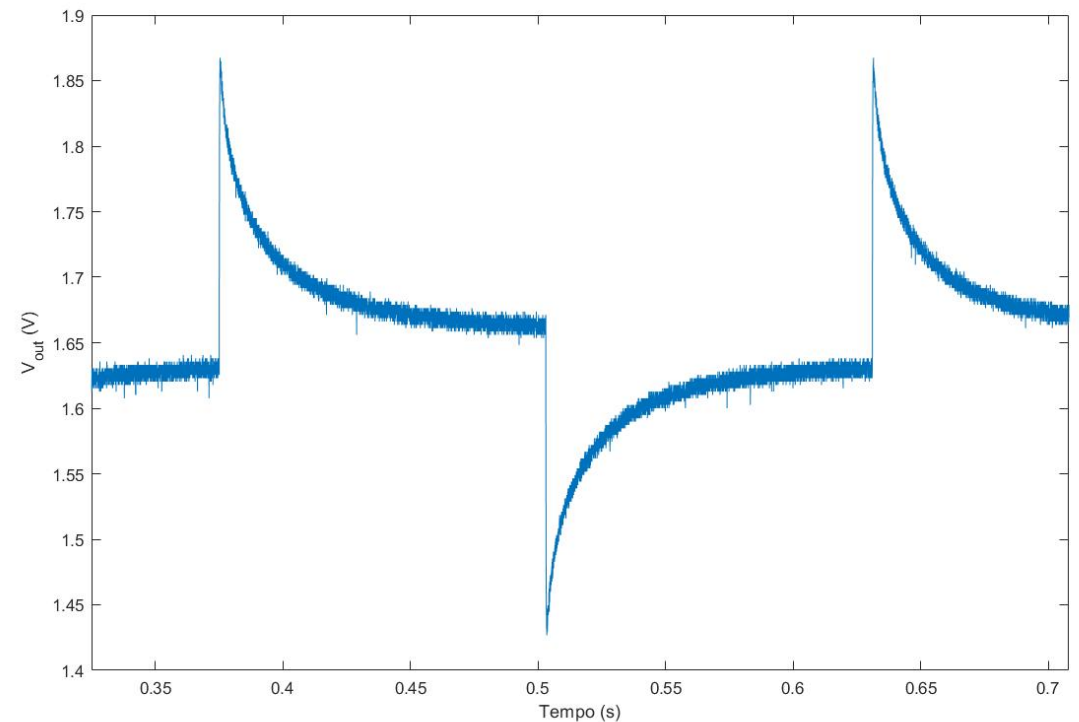
- Uma solução saturada de cloreto de sódio em água em um recipiente selado gera uma umidade relativa do ar de 75%.
- Calibração feita com outro sensor de umidade do ar, para obter outros pontos.



## 6. Resultados – Sensor de umidade do ar

---

Como este sensor depende da temperatura e da resistência, é feita uma interpolação linear no gateway para a resistência e usada a temperatura mais próxima das da tabela.



# 6. Resultados – Umidade do solo Calibração

---

## Teste do sensor com capacitores conhecidos

Capacitor	Count	C (F)
Aberto	0	0
2,2p	2	1,50E-12
5p	5	3,76E-12
15p	20	1,50E-11
220p	293	2,20E-10
470p	629	4,73E-10
1 n	1342	1,01E-09
10 n	12945	9,73E-09

# 6. Resultados – Umidade do solo Calibração

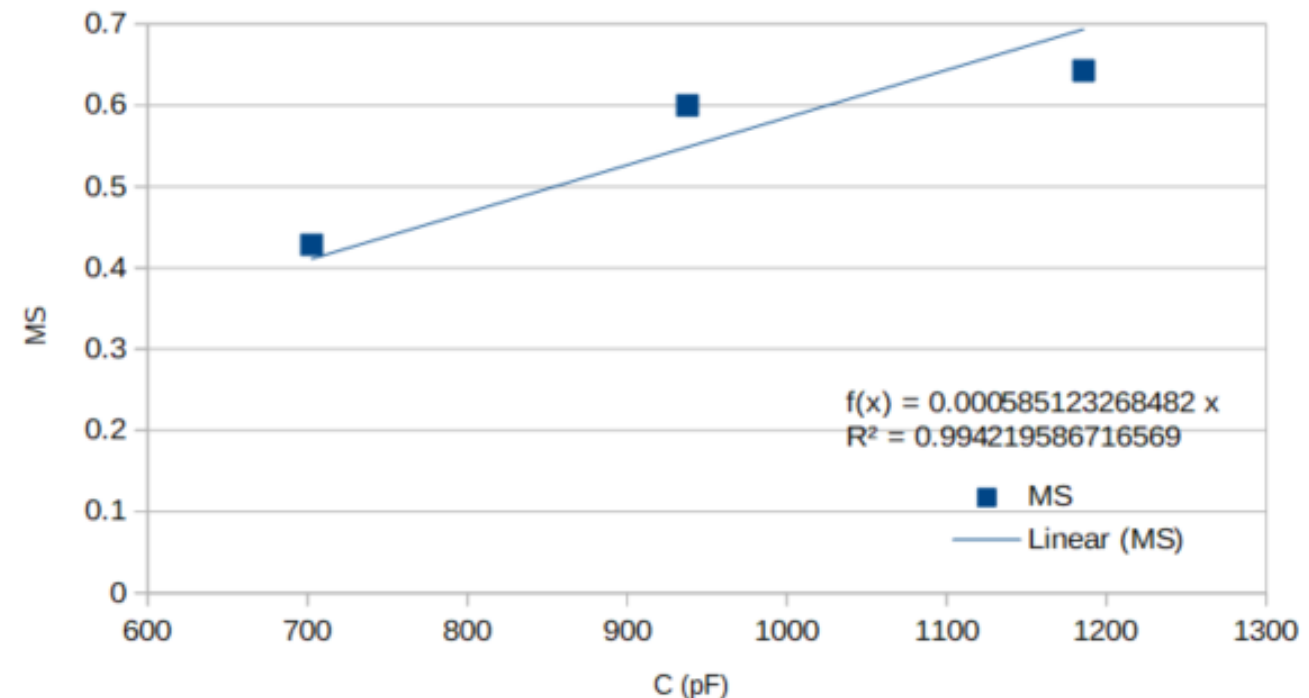
## Método gravimétrico

- 1) Pesar as amostras do solo.
- 2) Colocar amostras em uma estufa por 24-48h em uma temperatura entre 95 C e 105 C.
- 3) Pesar as amostras novamente.

Com estas informações basta usar a equação ao lado:

Amostra	T1	T2	T3	Água
Mr (g)	4	5	6	
Mm (g)	24	29	29	
Ms (g)	18	20	20	
Cont	935	1248	1578	2313
C (pF)	702.5624288	937.7517766	1185.714987	1737.996682
MS	0.428571429	0.6	0.642857143	

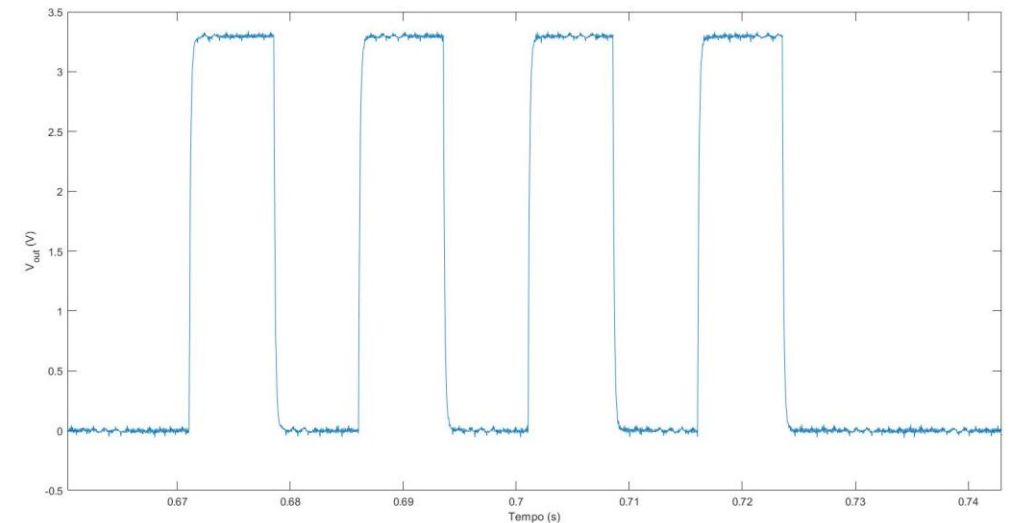
$$MS = \frac{M_m - M_s}{M_s - M_r}$$



# 6. Resultados – Umidade do solo

---

id	currentdate	temperature	air_humidity	soil_humidity	msg_nb	devid
272	2018-11-26 14:51:19	22.2460368416555	48.571972098922	3.70737845405529	141	1
273	2018-11-26 14:52:21	22.5182692271649	45.9025336404413	3.70737845405529	142	1
274	2018-11-26 14:53:23	21.8260650306011	48.2450657894737	18.3597499630832	143	1
275	2018-11-26 14:54:25	22.2213078623169	48.4502617801047	11.9728187924811	128	1

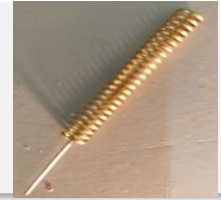




## 6. Resultados – LoRa



Alcance: 1,4 km



Spreading factor: 12



Consumo de energia: 70 mA @ 3V por  
0,9 s



Payload: 10 bytes

Sensor	Tamanho do dado (bits)
NTC	12
MS	16
HR202	24
Número da mensagem	14
Número do sensor	10
<b>Total</b>	<b>76</b>

# 6. Resultados – Gateway

phpLiteAdmin v1.9.7.1

[Documentation](#) | [License](#) | [Project Site](#)

Change Database

[r] [Sensors](#) [↓]

Sensors

[Table] [sensorbrutes](#)

[Table] [sensorvals](#)

Logout

Sensors → sensorbrutes

Browse

Structure

SQL

Search

Insert

Export

Import

Rename

Empty

Drop

Show :

30

row(s) starting from record #

30

as a

Table ▼

→

→→

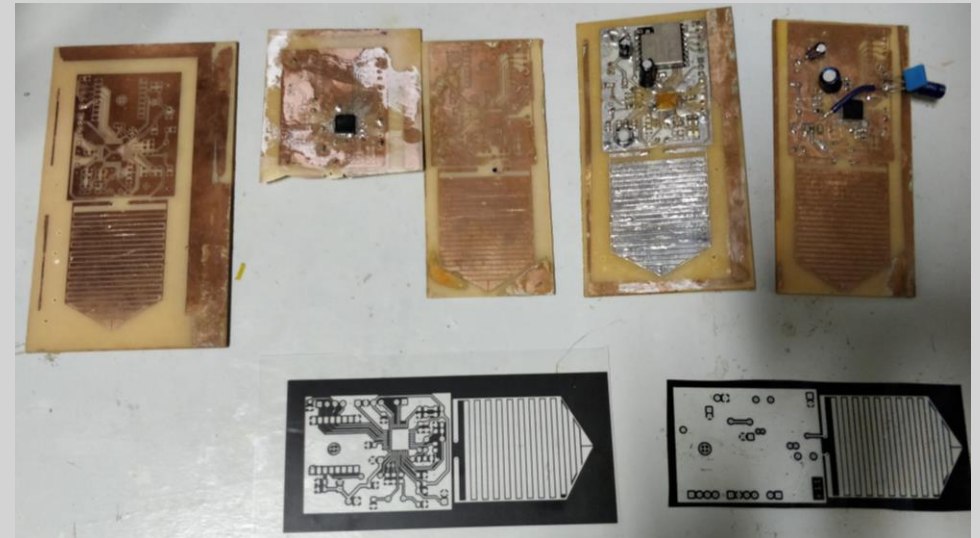
Showing rows 0 - 29, Total: 2914 (Query took 0.0004 sec)

SELECT \* FROM "sensorbrutes" ORDER BY "id" DESC LIMIT 0, 30

← T →		id ↓	currentdate	temperature	air_humidity	soil_humidity	msg_nb	devid	
<input type="checkbox"/>	Edit	Delete	3133	2018-12-04 00:18:13	2028	35	30147	0	2
<input type="checkbox"/>	Edit	Delete	3132	2018-12-04 00:17:53	1926	-328	30013	1972	1
<input type="checkbox"/>	Edit	Delete	3131	2018-12-04 00:16:59	2074	106	30305	0	2
<input type="checkbox"/>	Edit	Delete	3130	2018-12-04 00:16:51	1926	-329	30013	1971	1
<input type="checkbox"/>	Edit	Delete	3129	2018-12-04 00:16:31	2024	42	30056	507	2

## 6. Resultados – Fabricação PCB

- Feito pelo método fotossensível
- Trilhas e espaçamentos de até 0,25 mm



## 6. Resultados – Preço

Componente	Preço (USD)
NTC	0,10
HR202	0,52
MCU	2,71
LoRa	2,52
PCB	0,80
Total (USD)	6,65
Total (BRL)	24,90

# 7. Melhorias

Equação de Steinhart-Hart para calibração do NTC.

Melhorar calibração do sensor de umidade do ar.

Utilizar uma interpolação por splines (ou bilinear) para melhorar os dados do sensor de umidade do ar, tanto da temperatura quanto da resistência.

Mudança da antena do gateway para aumentar o alcance.

Diminuir mais o consumo do MCU em modo de economia de energia.

Adicionar outros sensores, como de pH e nutrientes.

Escrever um software que permita visualizar os valores em um mapa.

## 8. Conclusão

### **Lado Dispositivo:**

- Desenvolvimento de um dispositivo capaz de medir grandezas importantes para a agricultura.
- Integrado em uma só PCB.
- Custo baixo.
- Alta vida da bateria.
- Longo alcance

### **Lado Gateway:**

- Desenvolvimento de um gateway capaz de tratar os dados recebidos de vários dispositivos.
- Armazenamento das informações em um banco de dados SQLite
- Disponibilizar o acesso ao banco de dados na rede local, com interface web PHPLiteAdmin

## 8. Conclusão



Solução de baixo custo ( R\$ 25 )



Alcance de 1,4 km



Autonomia de um ano e quatro meses.



Relevante para a realidade brasileira



Gateway desenvolvido com o processamento dos sinais e armazenamento num banco de dados SQLite.

## 9. Bibliografia

LIMA, J. NASA confirma dados da Embrapa sobre área plantada no Brasil. EMBRAPA. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/30972114/nasa-confirma-dados-da-embrapa-sobre-area-plantada-no-brasil>>. Acesso em: 03/10/2018.

EMBRAPA. Soja em números (safra 2017/2018) . EMBRAPA .2018 .Disponível em: <<https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 03/10/2018.

FONTES, H. Agricultura 4.0 conecta o campo. 2017. Disponível em: <<https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2017/09/21/agricultura-40-conecta-o-campo>>. Acesso em: 03/10/2018.

PAPP, A. Agricultura de precisão ganha espaço no país 2014. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/economia/agricultura-de-precisao-ganha-espaco-no-pais/>>. Acesso em: 03/10/2018.

MIZUGUCHI J. et al. Fringing Field Capacitive Sensor for Measuring Soil Water Content: Design, Manufacture, and Testing, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 64, no. 1, pp. 212-220, Jan. 2015. doi: 10.1109/TIM.2014

DEAN, R. N. et al. A capacitive fringing field sensor design for moisture measurement based on printed circuit board technology. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, v. 61, n. 4, p. 1105–1112, April 2012.

CASALS, L. et al. Modeling the Energy Performance of LoRaWAN. Sensors (2017).

AMETHERM. NTC Thermistor Beta. Disponível em <<https://www.ametherm.com/thermistor/ntc-thermistor-beta>>. Acesso em 01/12/2018



Obrigado pela atenção.