



## III WINOTEC

III Workshop Internacional de  
Inovações Tecnológicas na Irrigação

II Conferência Sobre Recursos Hídricos  
do Semiárido Brasileiro

# MANEJO AUTOMATIZADO DA IRRIGAÇÃO

ADUNIAS DOS SANTOS TEIXEIRA

[adunias@ufc.br](mailto:adunias@ufc.br)

# INTRODUÇÃO

# AUTOMAÇÃO: CONCEITOS

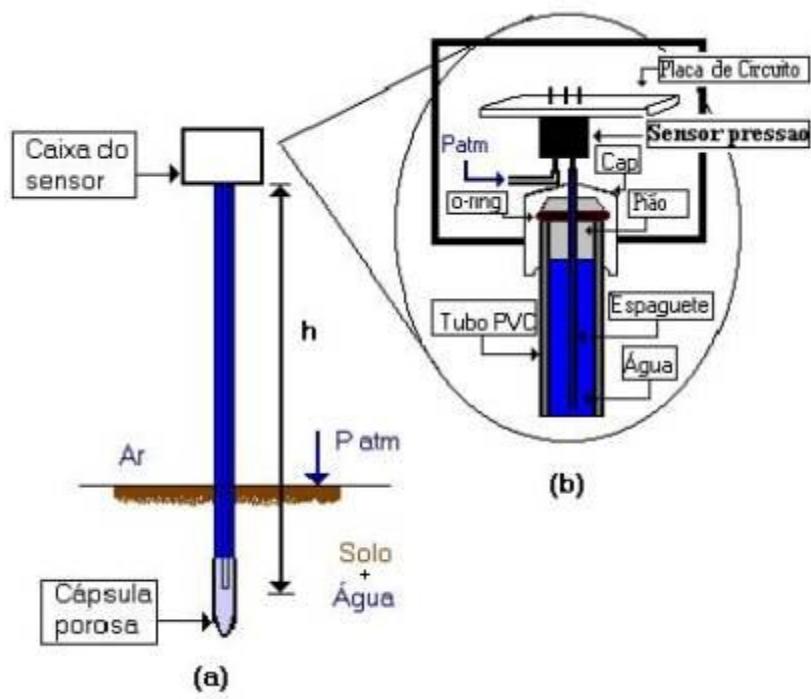
- SENSORES
- ATUADORES
- CONTROLE
  - MALHA ABERTA
  - MALHA FECHADA
    - ALGORITMOS DE CONTROLE

# SENSORES

- TENSIÔMETRO
- CAPACITIVOS

# TENSIÔMETROS

- TENSIÔMETRO ELETRÔNICO PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO:



$$\begin{aligned}
 P_2 &= P_{atm} + \gamma_{H_2O} h + \psi_m \\
 \Delta P &= P_2 - P_1 \\
 P_1 &= P_{atm} \\
 \Delta P &= +\gamma_{H_2O} h + \psi_m \\
 \Delta P &= \text{offset de pressão;} \\
 \psi_m &= \text{offset de pressão} - \gamma_{H_2O} h
 \end{aligned}$$

# SENSOR CAPACITIVO

Considerando um capacitor de placas paralelas e planas, obtem-se a capacidade pela Equação apresentada abaixo.

$$C = \xi * \frac{ab}{d}$$

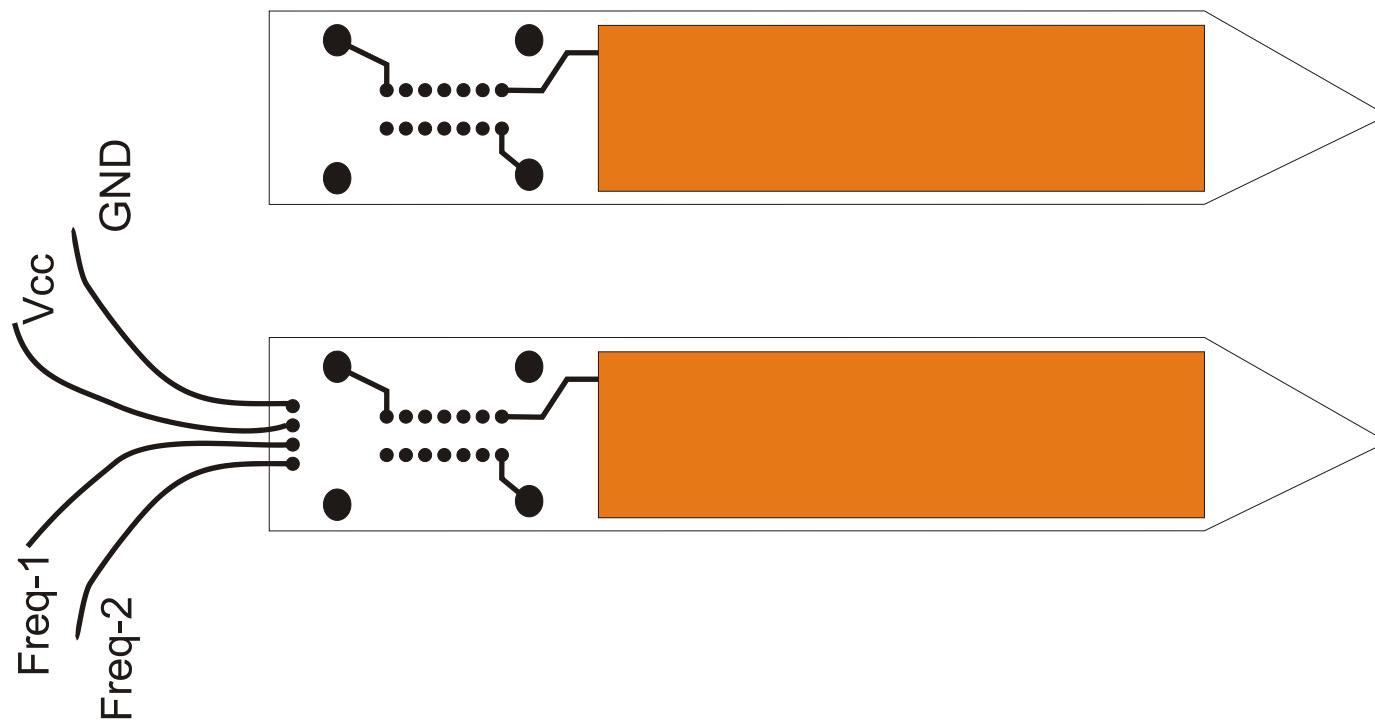
Sendo ab, a área das placas; d, a distância que as separam e  $\xi$ , a permissividade do meio.

# SENSOR CAPACITIVO

**Tabela 1** - Permissividade relativa de alguns constituintes do solo

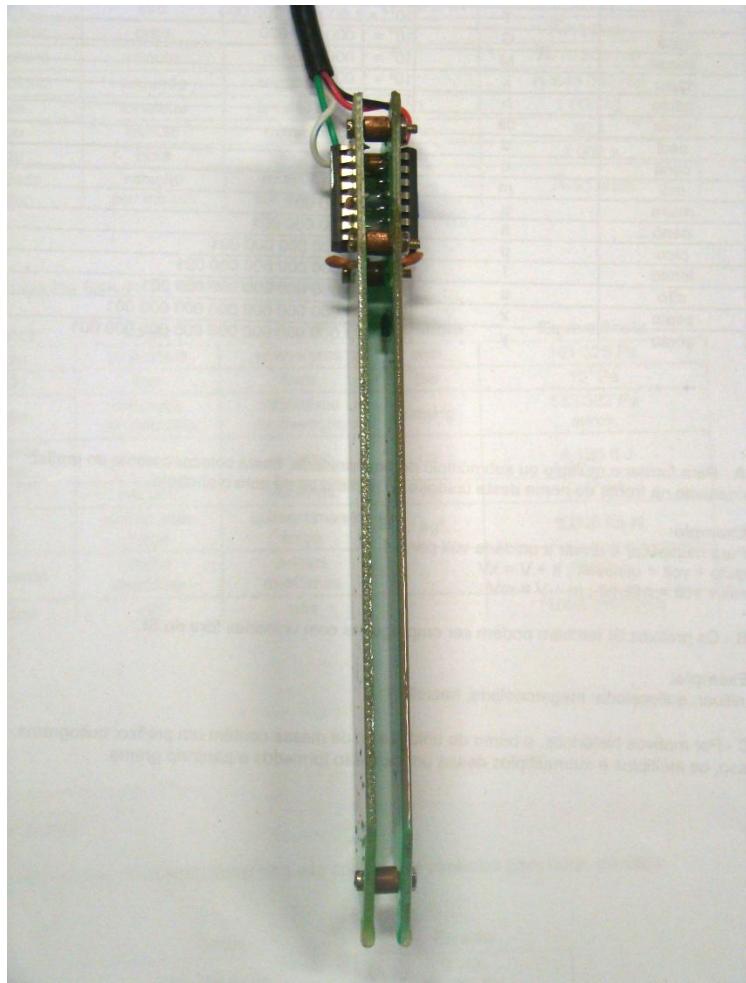
<b>Material</b>	<b>Permissividade Relativa</b>
Ar	1
Água (20°C)	80
Gelo (-3°C)	3
Basalto	12
Granito	7-9
Silte seco	3,5
Areia seca	2,5

# SENSOR CAPACITIVO

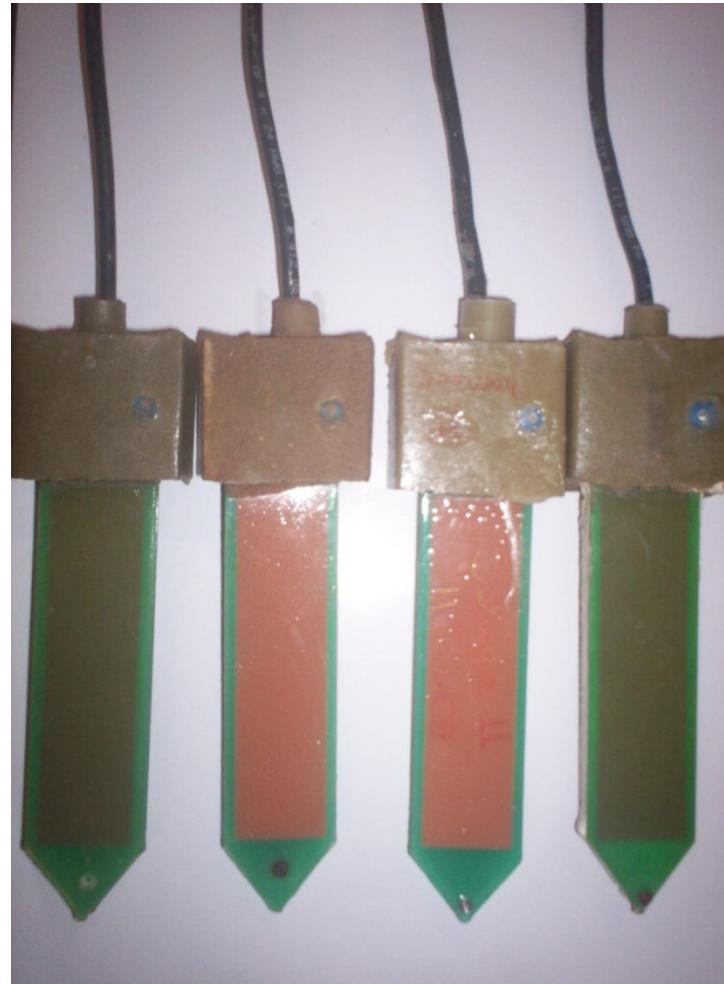


**Figura 1 –** Esboço do Sensor capacitivo.

# SENSORES CAPACITIVOS



**Figura 2** – Sensor Capacitivo.



**Figura 3** – Sensores capacitivos encapsulados e prontos para instalação.



**Figura 4** – Sensor retirado do solo.

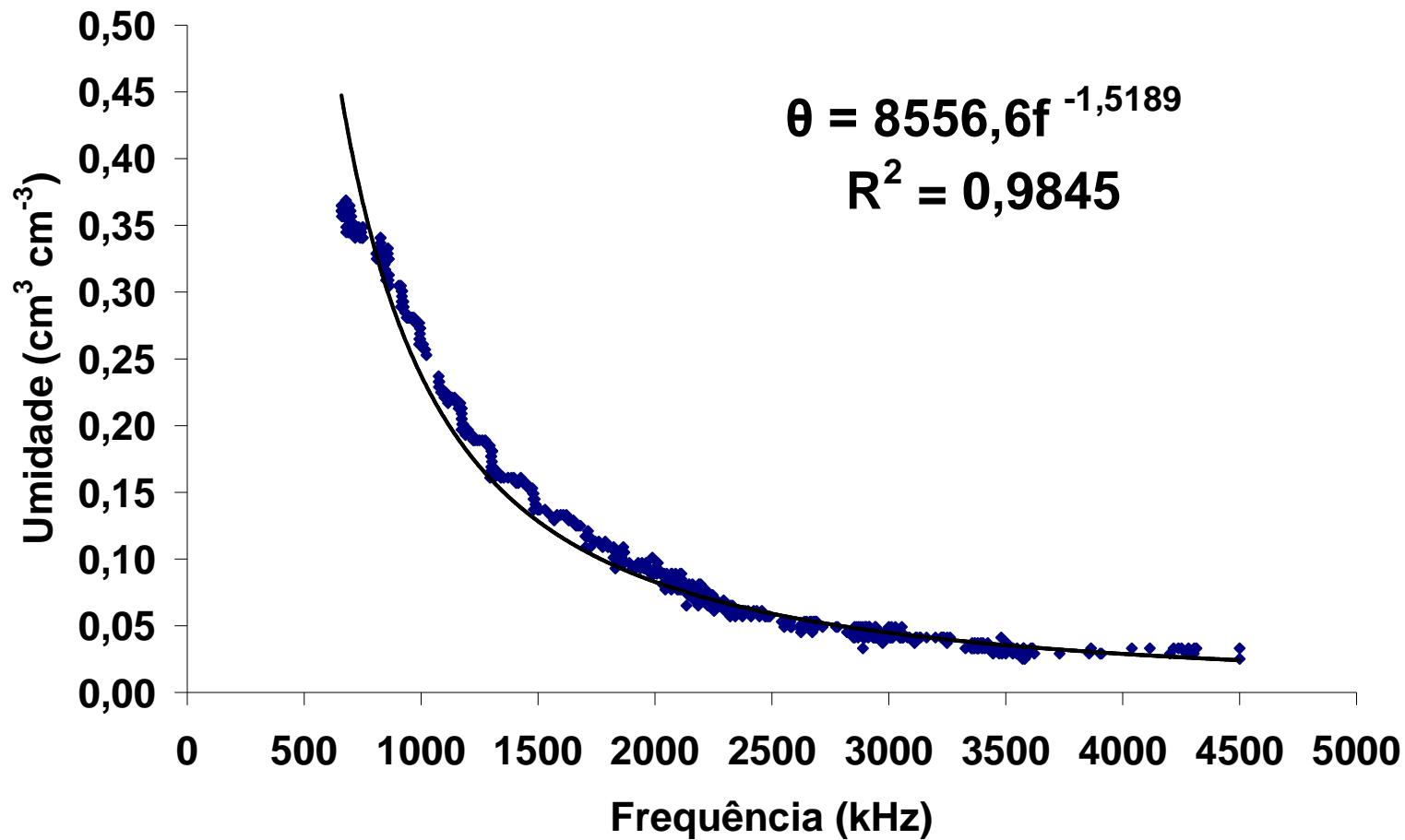


**Figura 5** – Sensores preenchidos com solo.



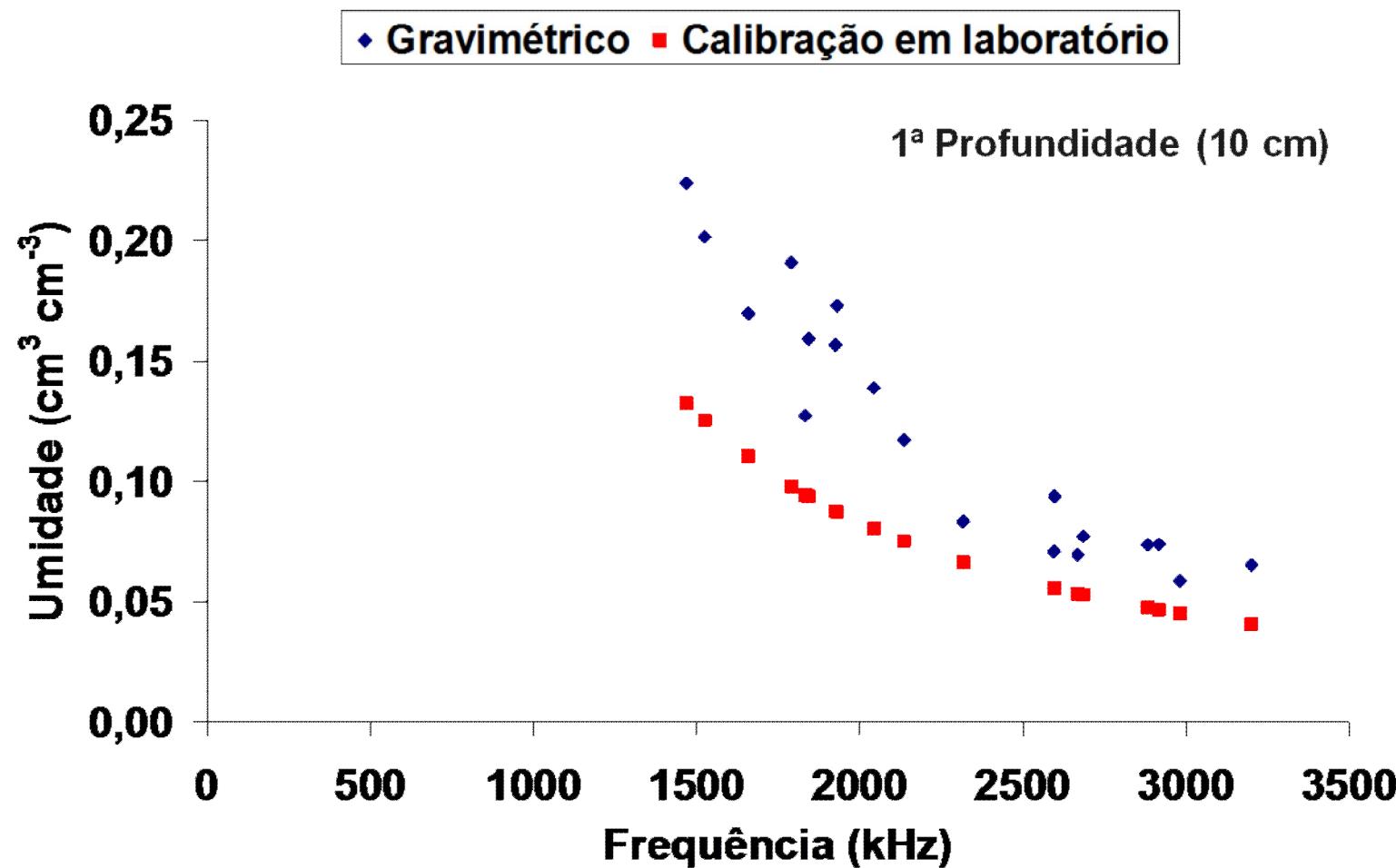
**Figura 6** – Sensores instalados no solo a duas profundidades.

# Calibração em laboratório



**Figura 7** – Dispersão, em tempo real, dos dados do teor de água do solo versus respostas dos sensores TOPDEA a 10 cm de profundidade (Cruz, 2009).

# Validação da calibração em campo



**Figura 8** – Dispersão dos valores reais e estimados da umidade do solo com a resposta dos sensores TOPDEA a 10 cm de profundidade (Cruz, 2009).

# ATUADORES

- VÁLVULAS
  - SOLENÓIDE - AC (24 VOLTS)
  - SOLENÓIDE – DC – LATCH (9 VOLTS)
- BOMBAS
  - CONTROLE ON/OFF
  - INVERSOR DE FREQUÊNCIA

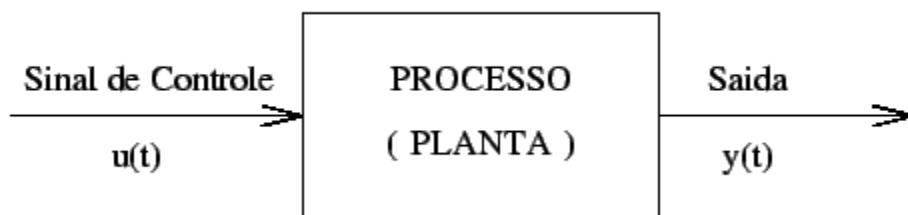
# VARIÁVEL A CONTROLAR

- TEMPO DE  
IRRIGAÇÃO/DESLIGAMENTO: TIMER
- UMIDADE DO SOLO/TENSÃO DE ÁGUA  
NO SOLO

# CONTROLE

## • MALHA ABERTA

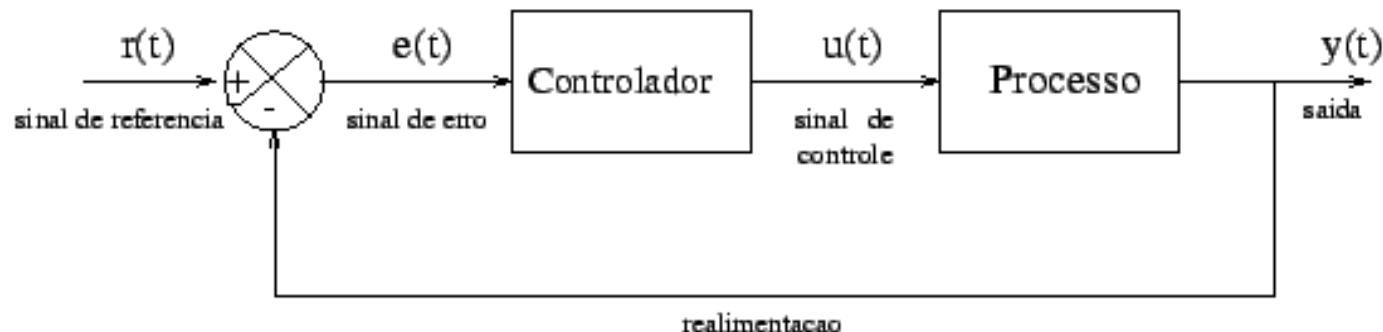
- O controle em malha aberta consiste em aplicar um sinal de controle pré-determinado, esperando-se que ao final de um determinado tempo a variável controlada atinja um determinado valor ou apresente um determinado comportamento. Neste tipo de sistema de controle não são utilizadas informações sobre evolução do processo para a determinar o sinal de controle a ser aplicado em um determinado instante. Mais especificamente, o sinal de controle não é calculado a partir de uma medição do sinal de saída.



# CONTROLE

## • MALHA FECHADA

- No controle em malha fechada, informações sobre como a saída de controle está evoluindo são utilizadas para determinar o sinal de controle que deve ser aplicado ao processo em um instante específico. Isto é feito a partir de uma *realimentação* da saída para a entrada. Em geral, a fim de tornar o sistema mais preciso e de fazer com que ele reaja a perturbações externas, o sinal de saída é comparado com um sinal de referência (chamado no jargão industrial de *set-point*) e o desvio (erro) entre estes dois sinais é utilizado para determinar o sinal de controle que deve efetivamente ser aplicado ao processo. Assim, o sinal de controle é determinado de forma a corrigir este desvio entre a saída e o sinal de referência. O dispositivo que utiliza o sinal de erro para determinar ou calcular o sinal de controle a ser aplicado à planta é chamado de *controlador* ou *compensador*.



# ALGORITMOS DE CONTROLE

- BALANÇO HÍDRICO NO SOLO
- LÓGICA DIFUSA
- REDE NEURAL ARTIFICIAL

# APLICAÇÃO

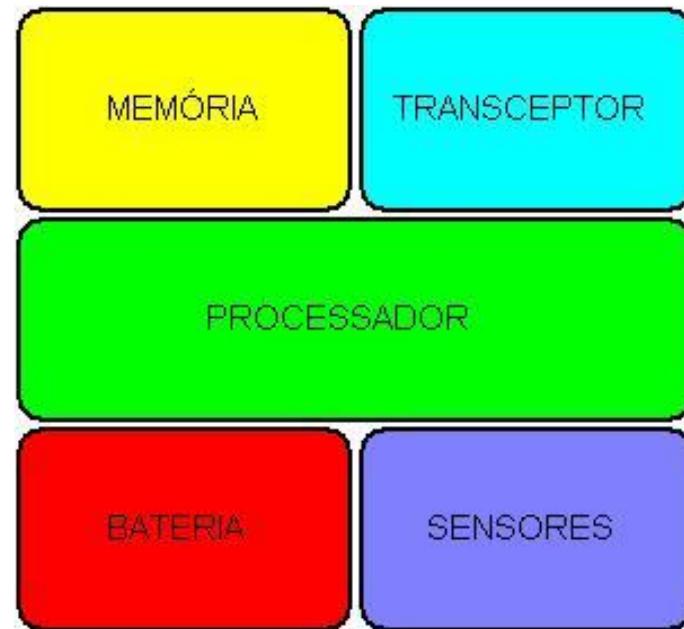
- MALHA FECHADA COM FIOS:
  - CANAFISTOLA, Francisco José Firmino ; TEIXEIRA, A. S. et al. Controle de malha fechada para irrigação de precisão. ITEM. Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, v. 67, p. 82-85, 2005.

# APLICAÇÃO

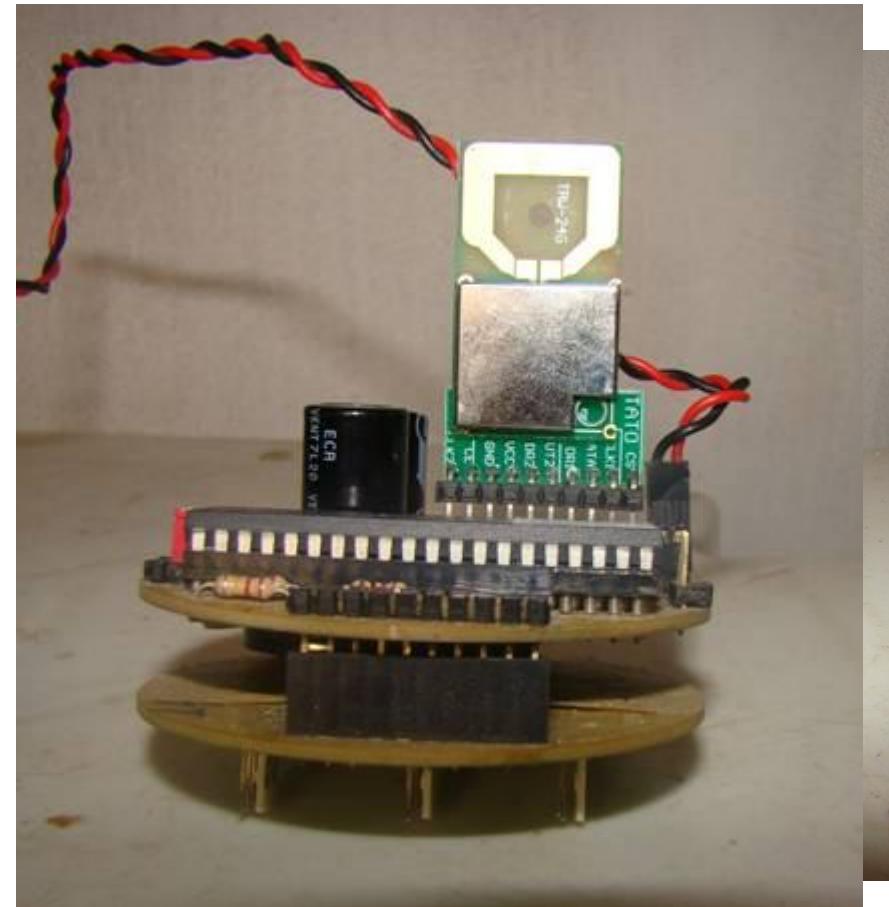
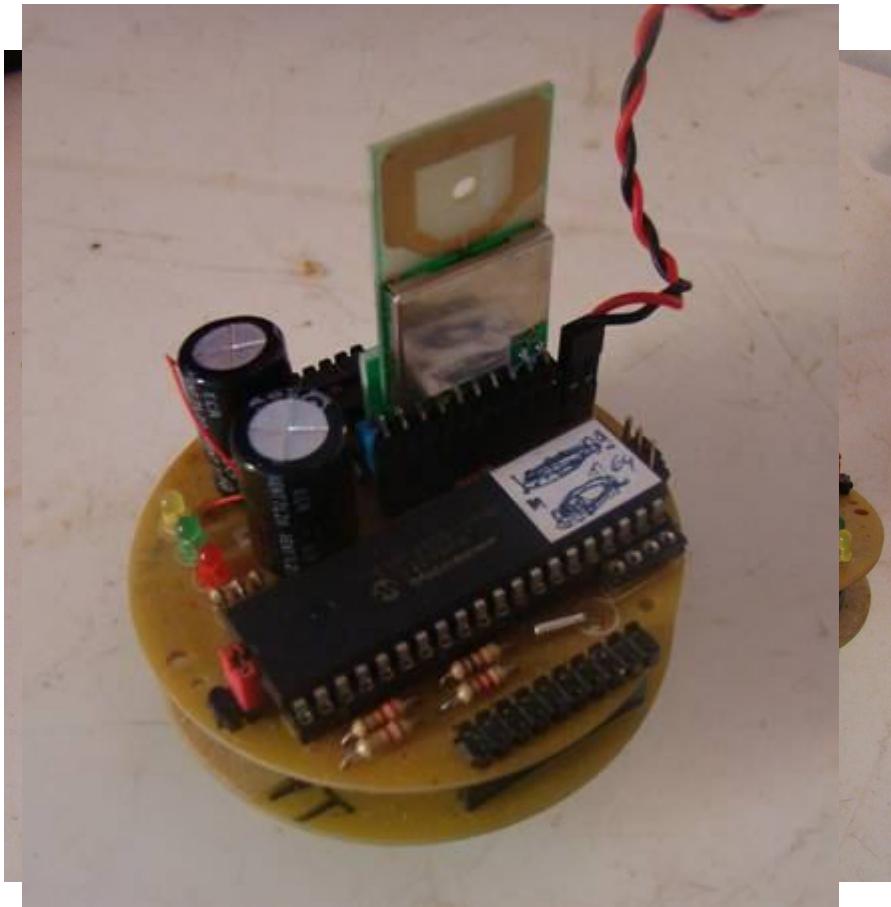
- REDE DE SENsoRES SEM FIO

# Rede de Sensores Sem Fio:

- Módulo mestre;
- Módulo válvula;
- Módulo bomba;
- Módulo multihop;
- Modulo sensor
  - Transceptor;
  - Memória;
  - Processador;
  - Bateria;
  - Sensor de umidade

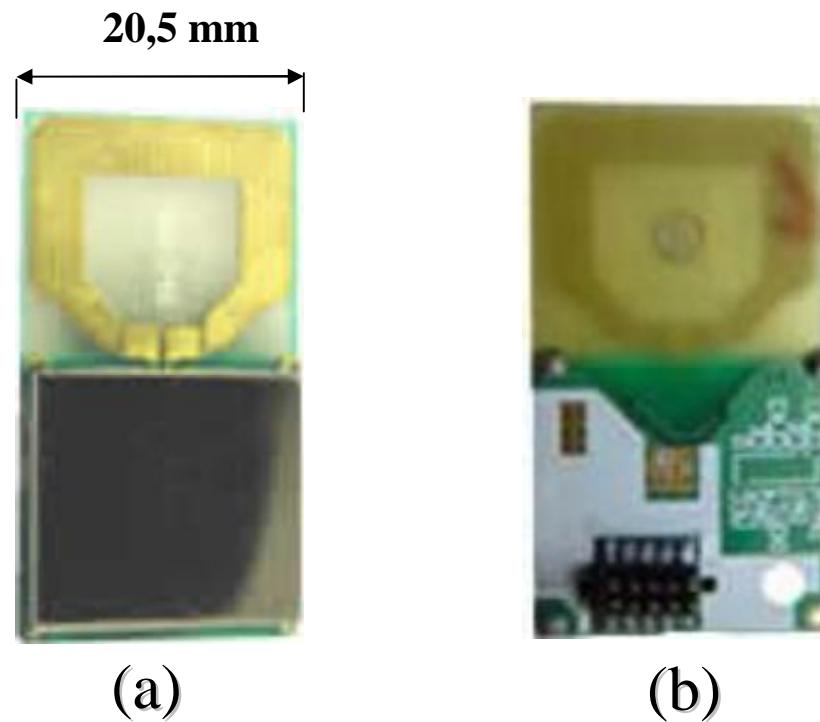


## ➤ Rádio sensor com bateria de 12 volts

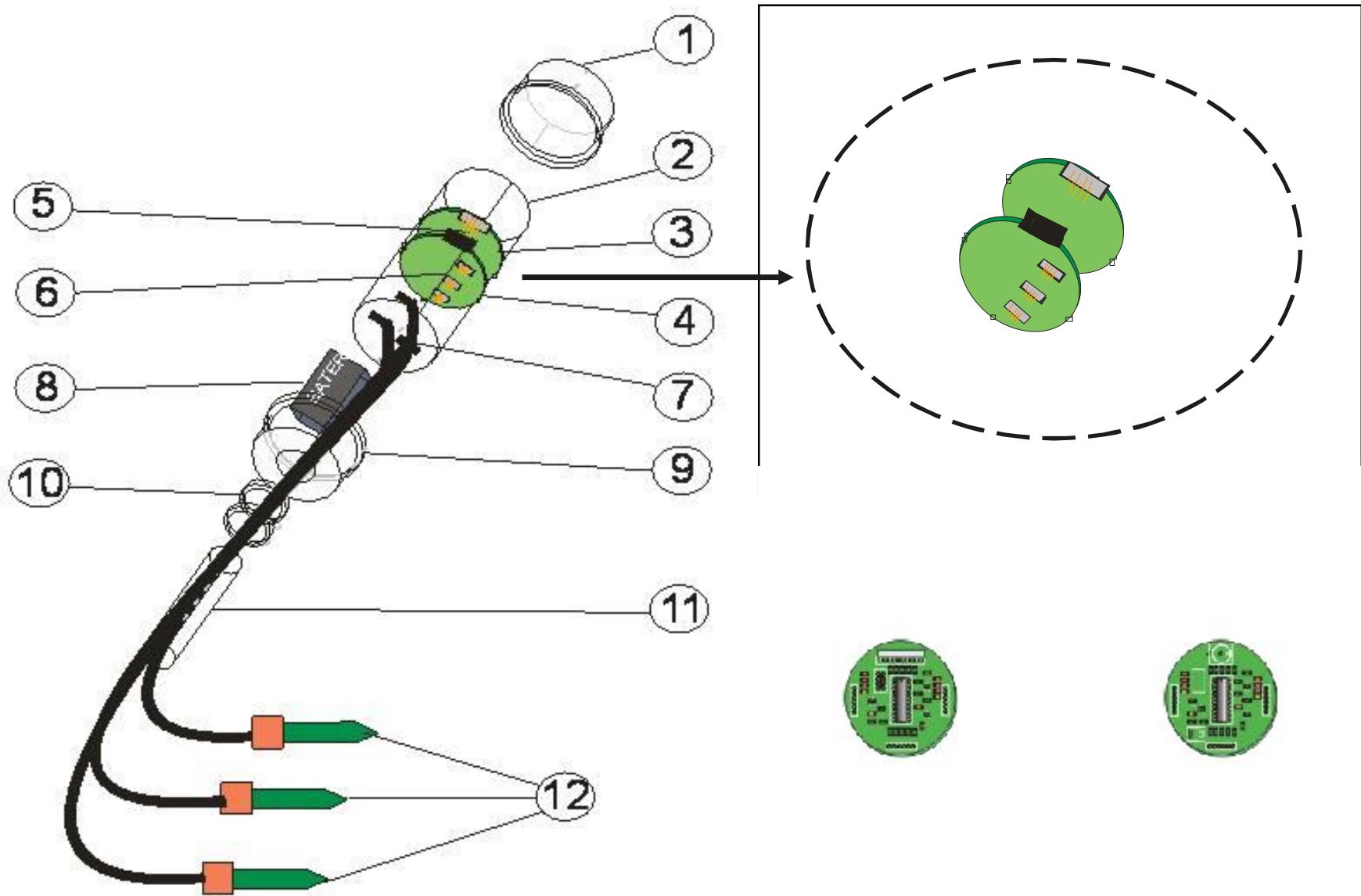


**Figura 10—Rádio sensor montado e conectado a bateria.**

➤ Transceptor



**Figura 11 – Transceptor da Laipac, modelo TRF 2.4 GHz vista de frente (a) e vista do conector (b).**



**Figura 12 – Desenho esquemático do módulo sensor.**



**Figura 13** - Painel solar instalado no campo.



**Figura 14** - Circuito para regular a passagem de tensão do painel solar para a bateria.

# MÓDULO VÁLVULAS

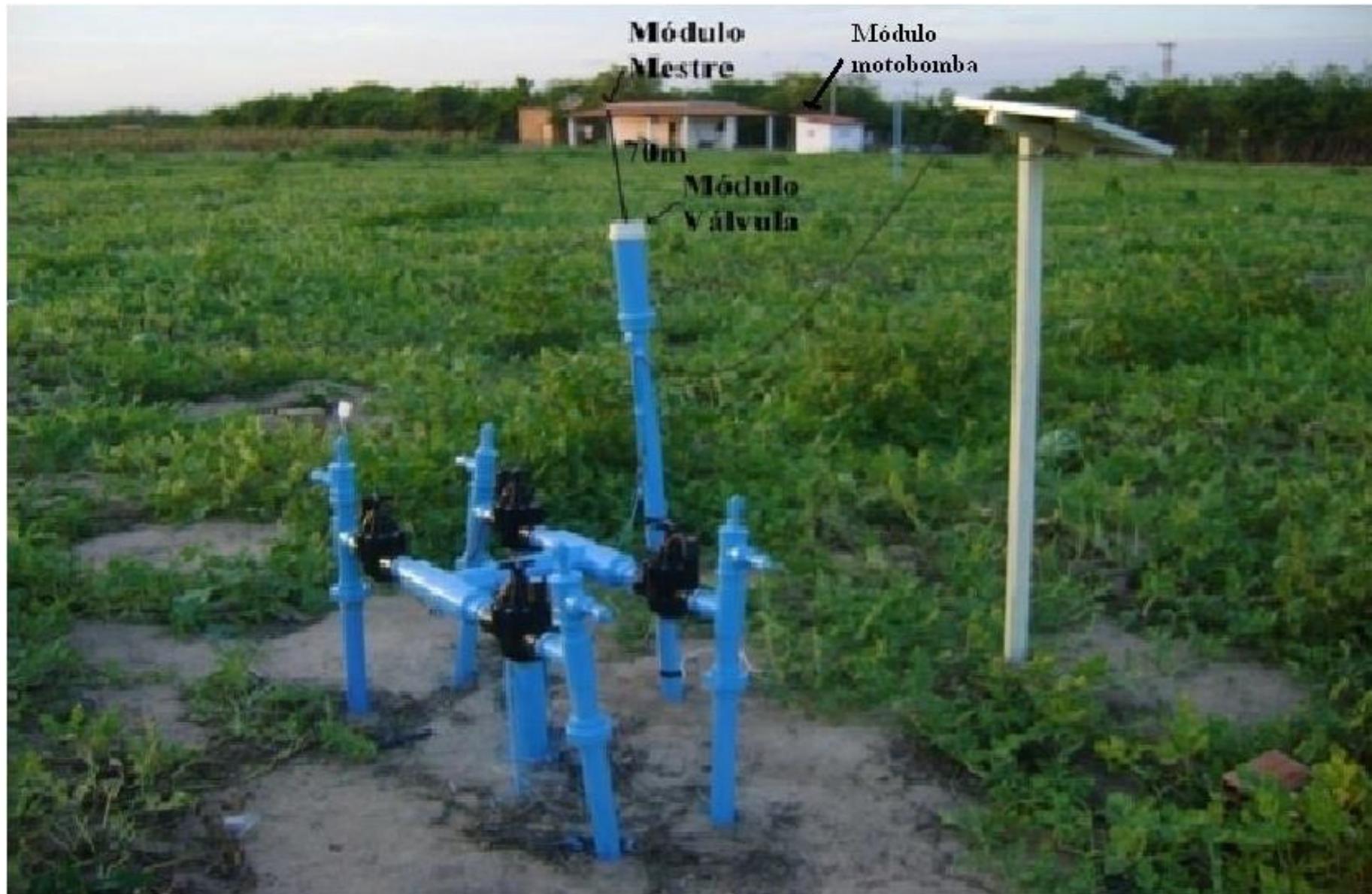
- Acionamento automático das válvulas



**Figura 15** – Placa inferior de acionamento das válvulas



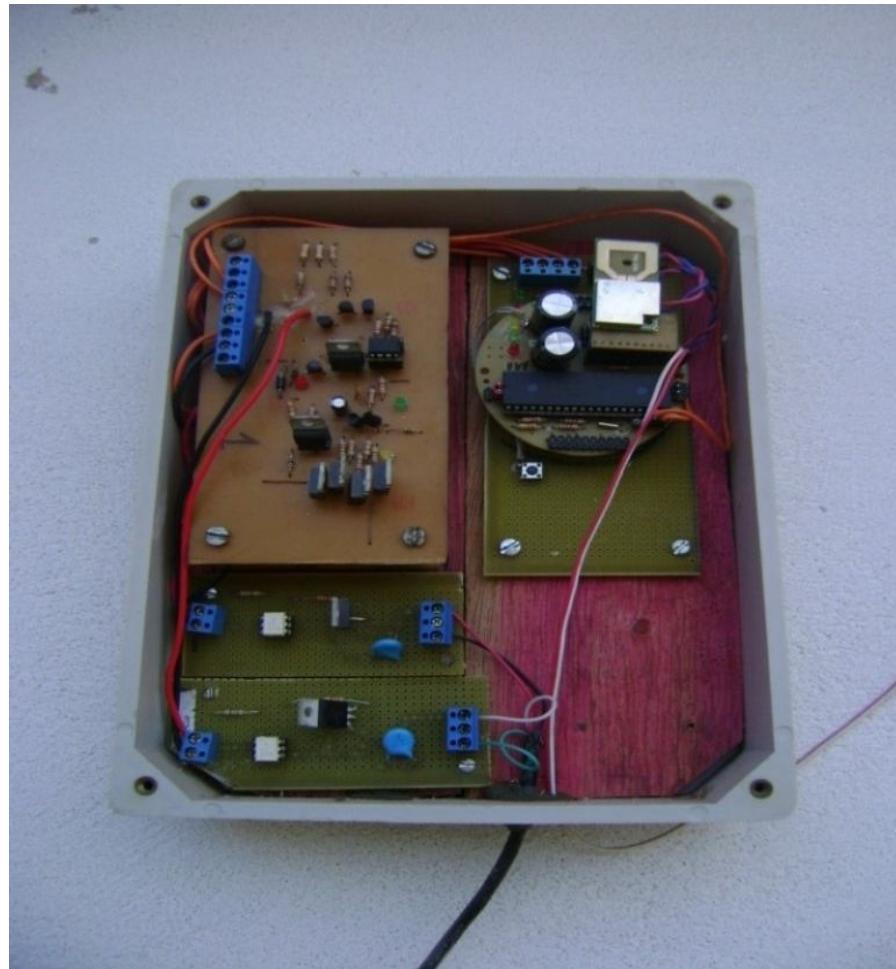
**Figura 16** – Vista superior da placa base de acionamento das válvulas



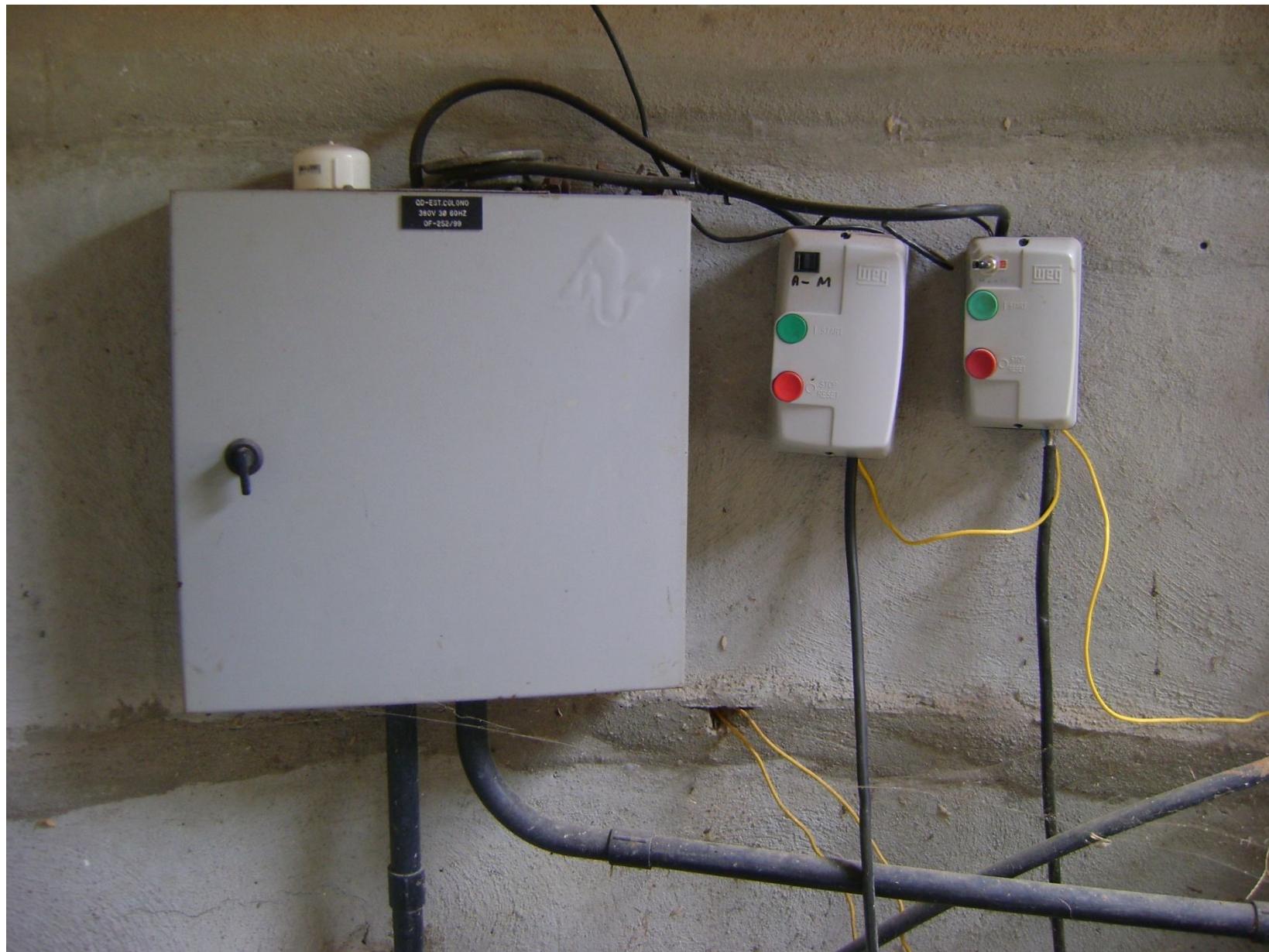
**Figura 17 - Módulo de acionamento das válvulas e módulo mestre**

# MÓDULO BOMBAS

- Acionamento automático da bomba



**Figura 18** - Placa de açãoamento do conjunto motobomba.





**Figura 19 – Módulos multihops instalados acima da plantação de milho.**



**Figura 20** – Módulo mestre



**Figura 21** – Módulo instalado na estação base

## ➤ Módulo Mestre

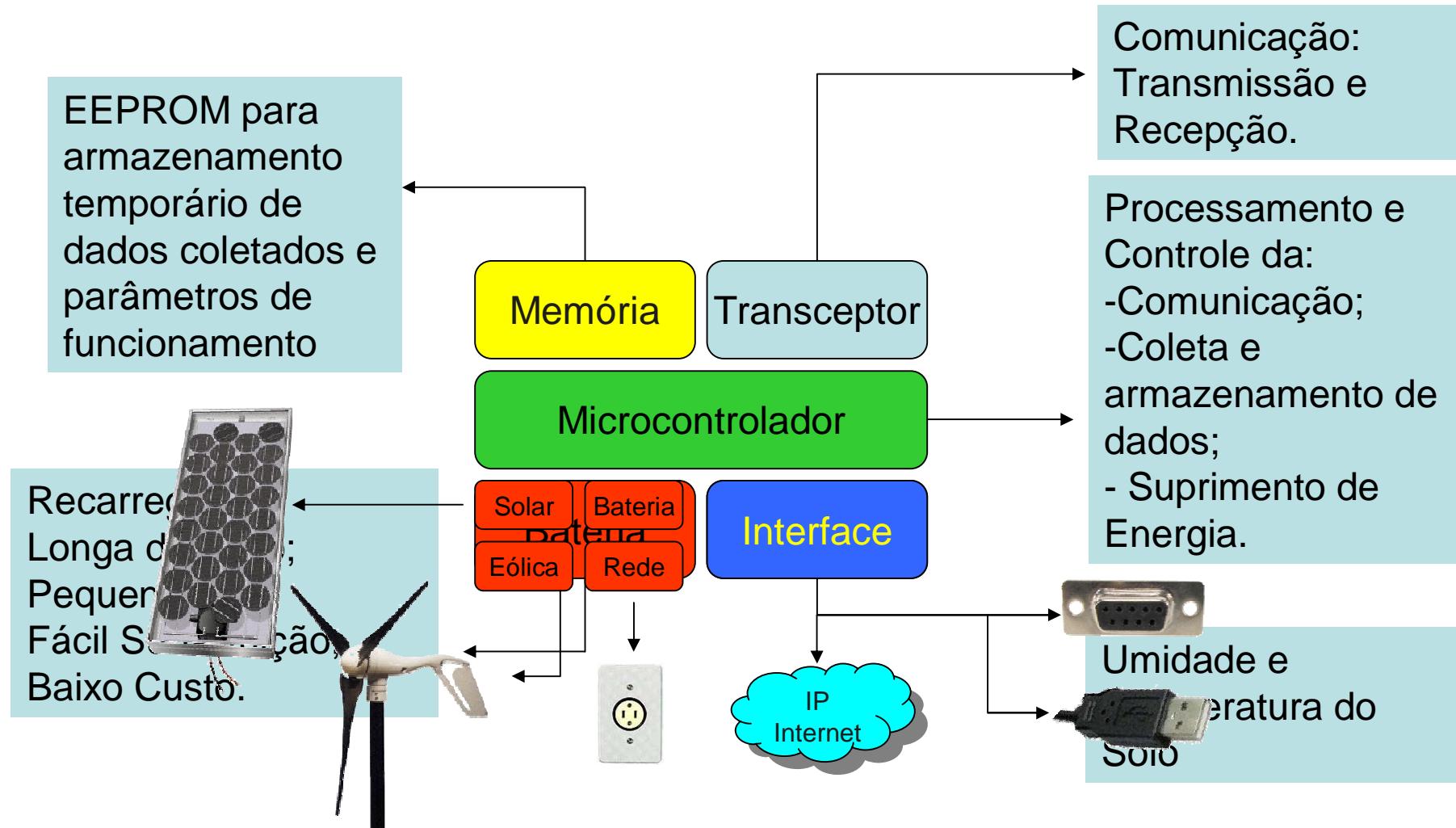
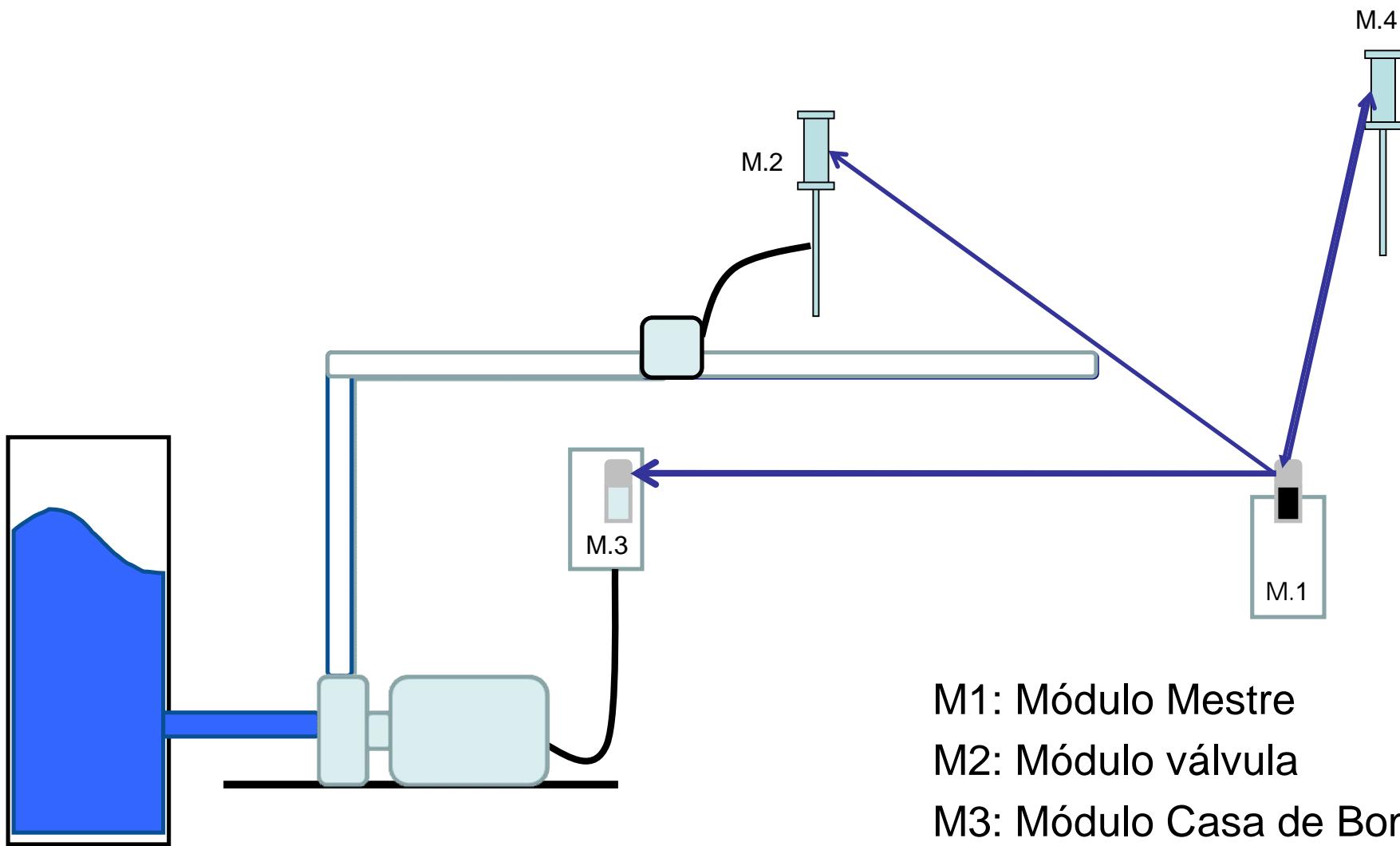
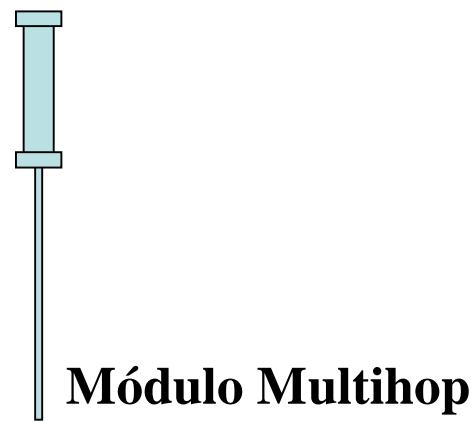
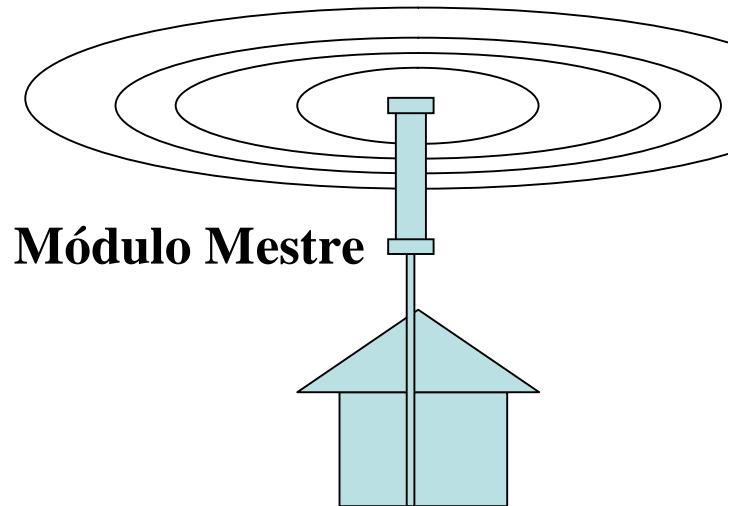
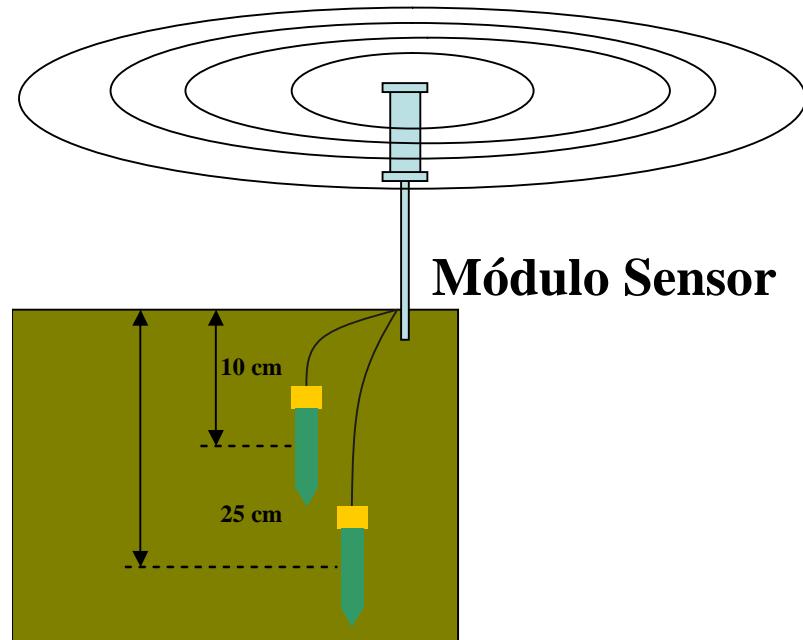


Figura 22 – Componentes do módulo sensor.



➤Figura 23 – Esquema de funcionamento do sistema automático.

## ➤ Topologia de comunicação



**Figura 24 – Esquema de Comunicação da RSSF no campo.**

➤ Topologia de comunicação

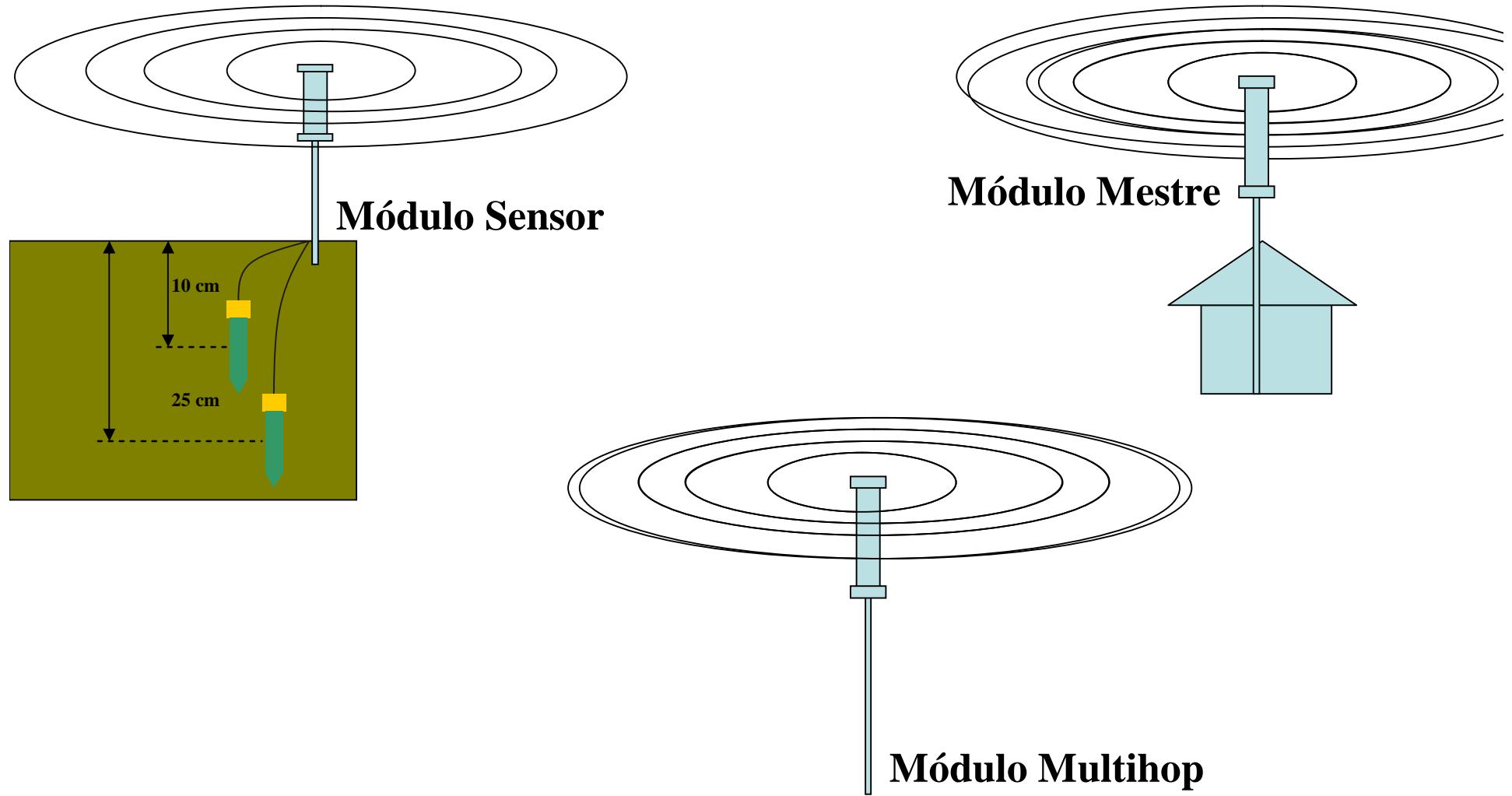
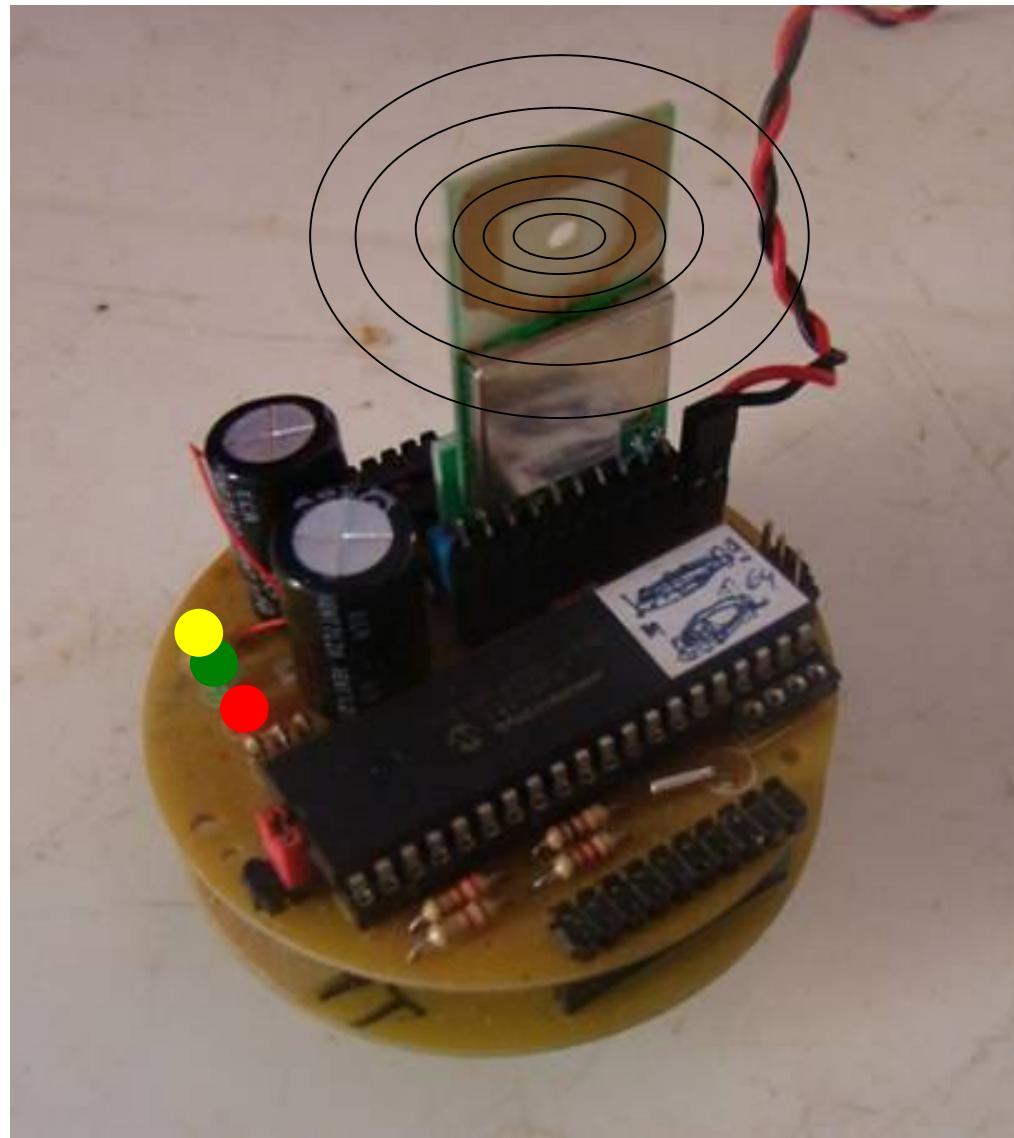


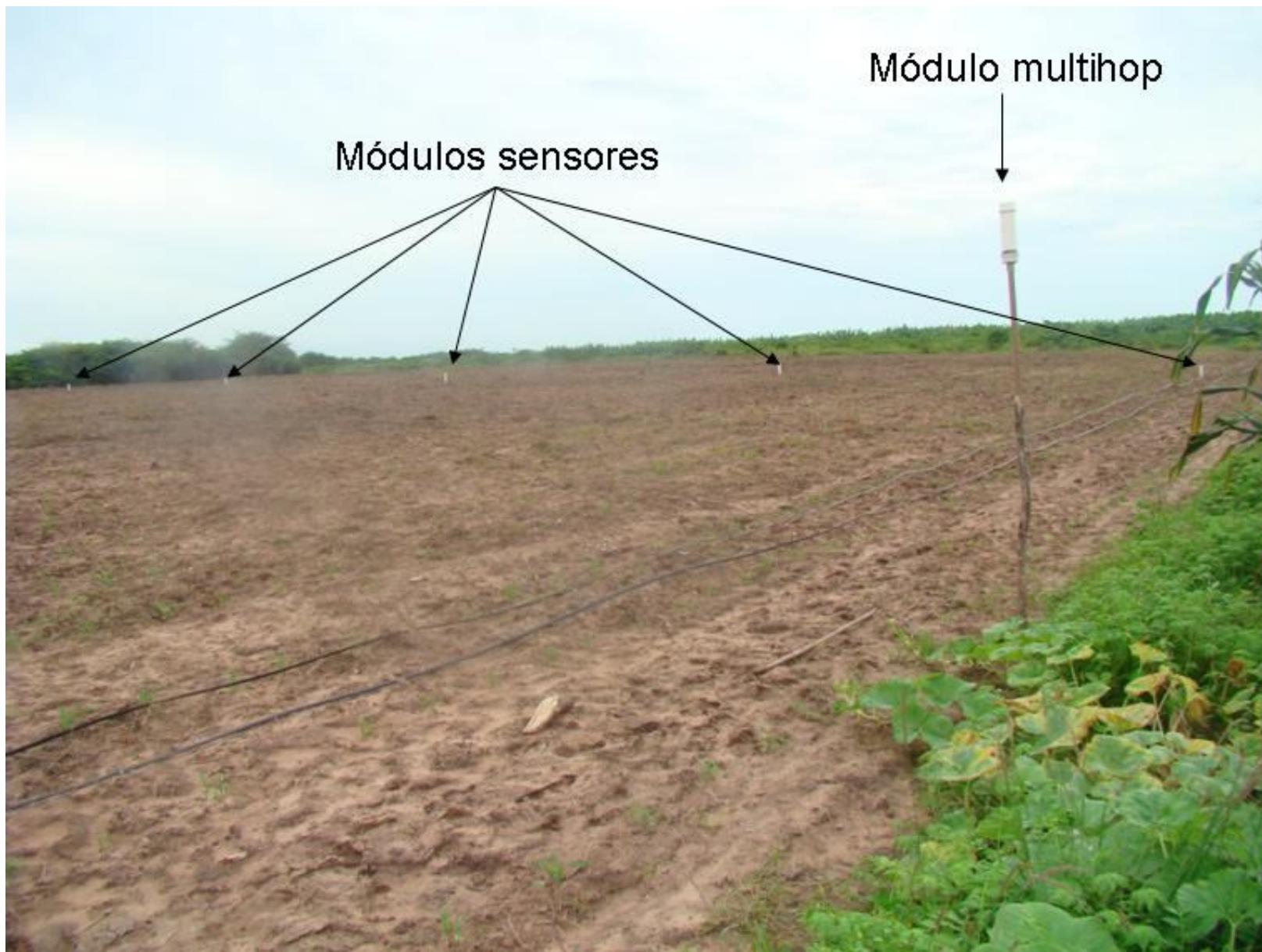
Figura 24 – Esquema de Comunicação da RSSF no campo.



**Figura 25 – Interface de controle e aquisição dos dados.**



**Figura 26 – Rádio sensor.**



**Figura 27 – Módulos sensores instalados na área de milho com 15 DAP.**

# Processo de comunicação

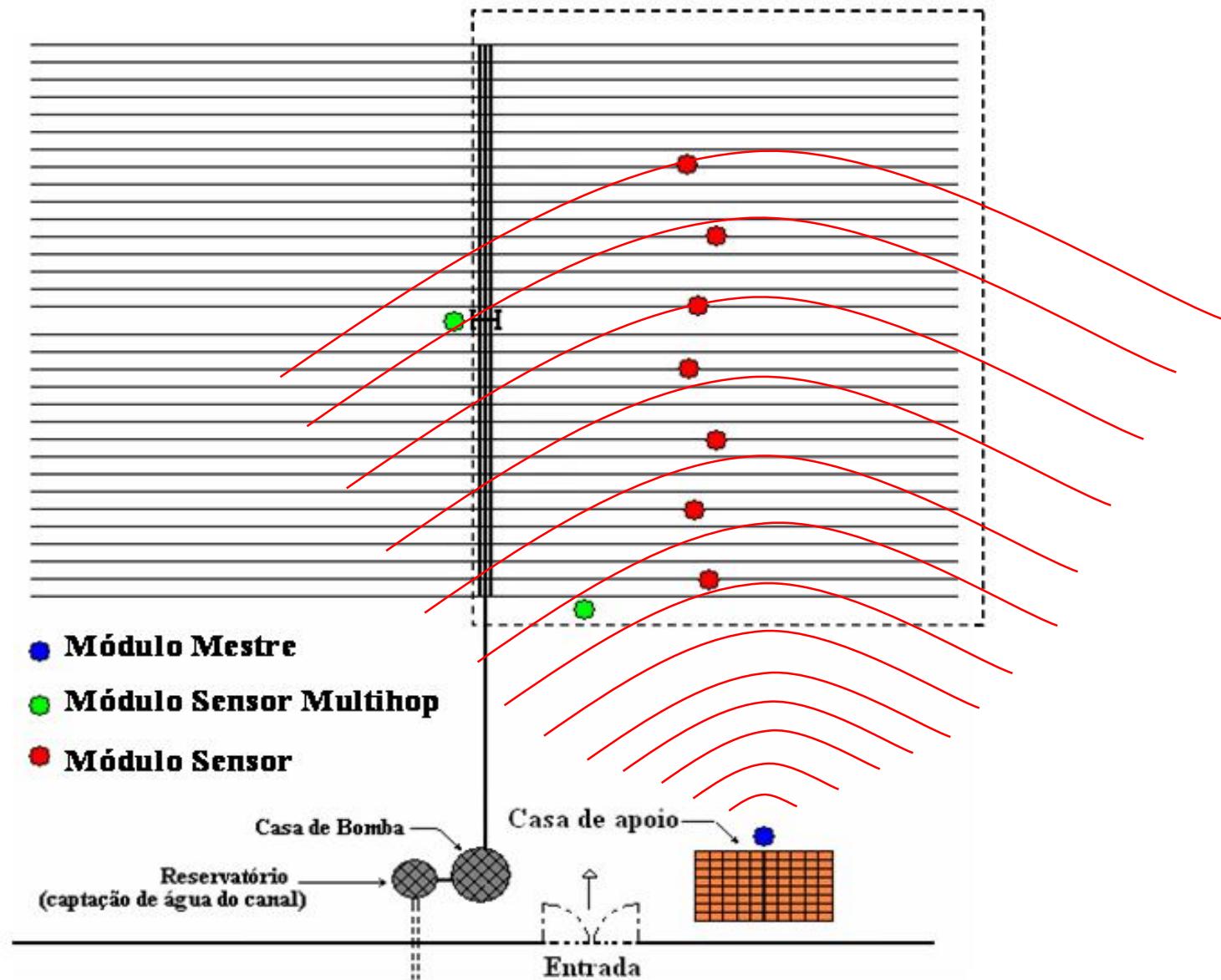
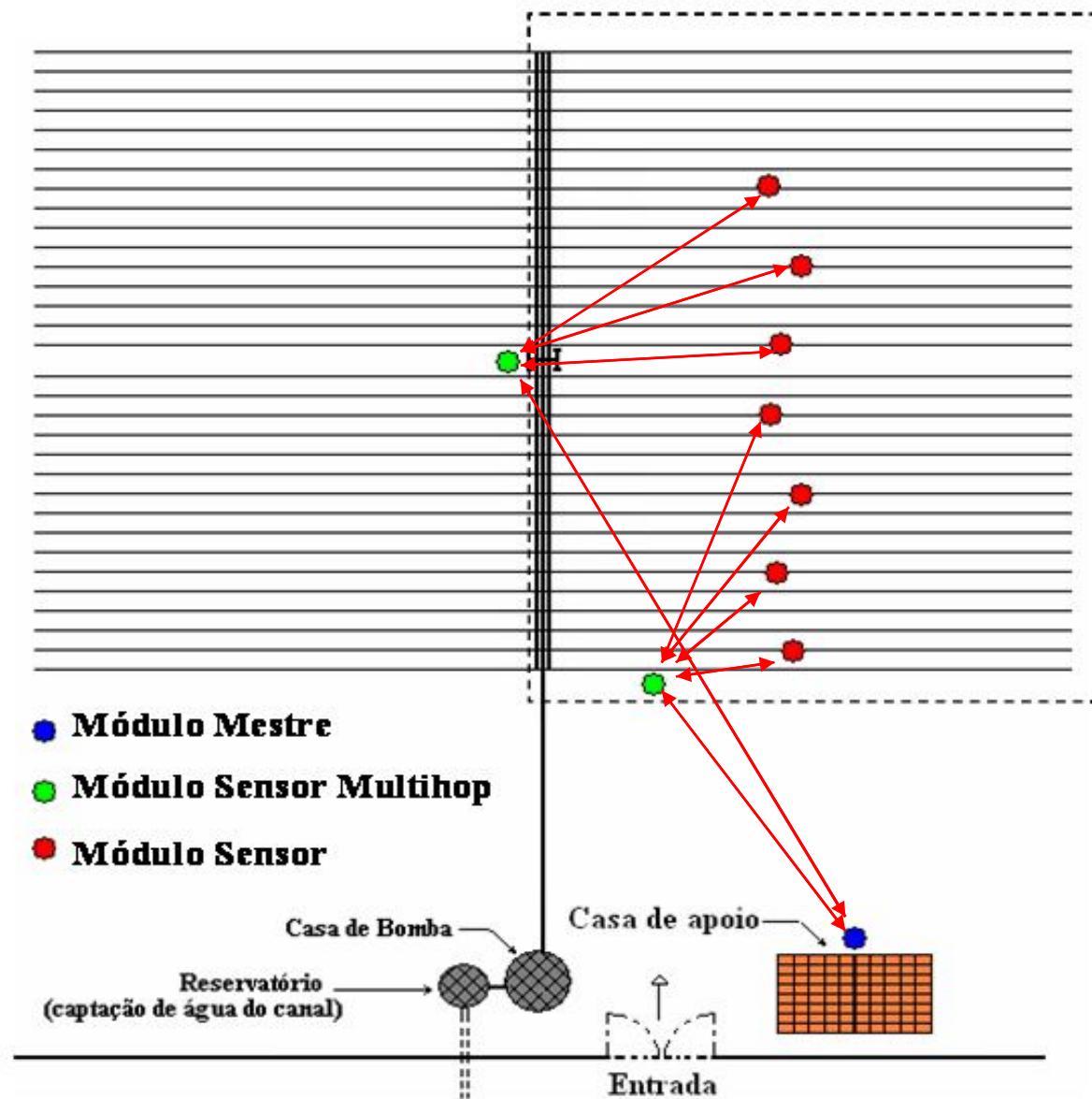
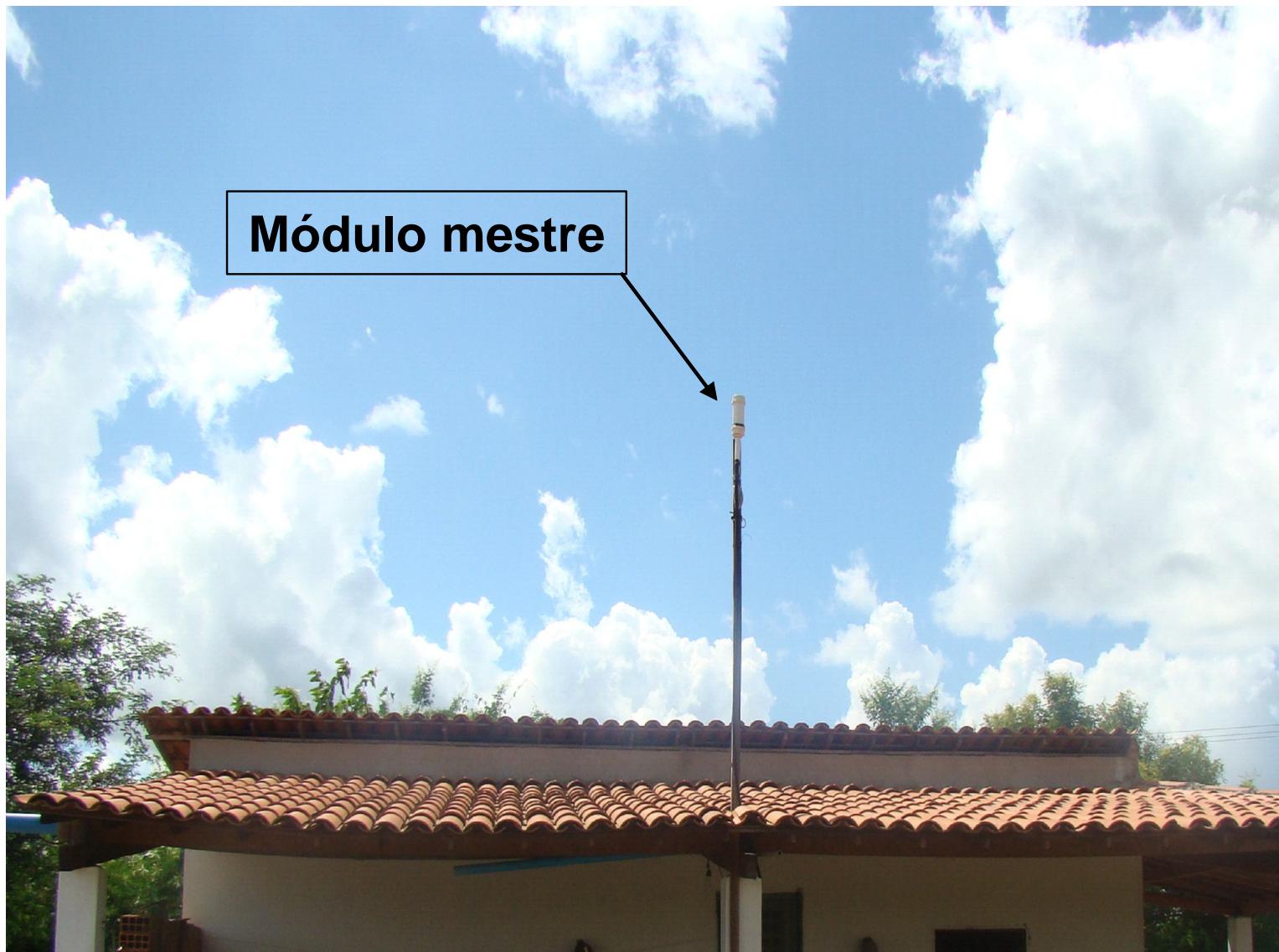


Figura 28 – Esquema de comunicação no campo.



**Figura 29 – Esquema de comunicação no campo.**



**Figura 30 – Módulo mestre de coleta de dados**



**Figura 31 – Módulos sensores instalados no campo.**



**Figura 31** – Módulos sensores instalados no campo.

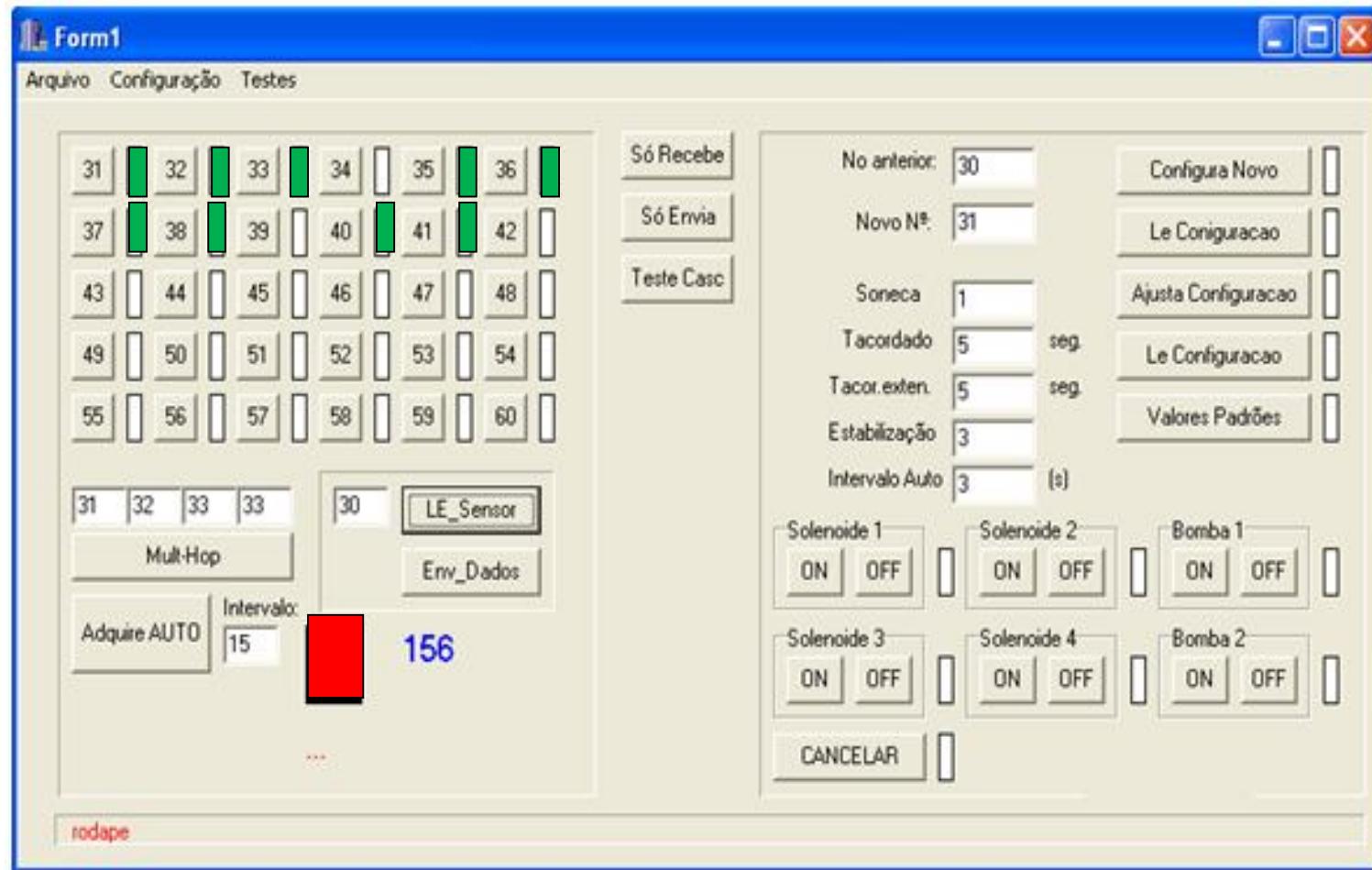


**Figura 32** - Módulos sensores instalados no campo e módulo mestre na estação base

# INTERFACE

# INTERFACE CLÁSSICA

➤ Interface de controle e aquisição de dados



**Figura 33-** Tela principal da interface

021209 - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

[10:08:24 23/11/2009]	[09:55:27 23/11/2009]	5 36	100	5 0 5 0 5 0 FA= 2127	FB= 844	FC= 731	BAT=12.02 TEMP= 23.3
[10:08:24 23/11/2009]	[09:55:32 23/11/2009]	5 37	100	5 0 5 0 5 0 FA= 1832	FB= 771	FC= 803	BAT=12.02 TEMP= 18.7
[10:08:24 23/11/2009]	[09:55:24 23/11/2009]	5 42	100	5 0 5 0 5 0 FA= 1068	FB= 756	FC= 623	BAT=12.02 TEMP= 24.9
[10:08:29 23/11/2009]	[09:55:28 23/11/2009]	5 40	100	5 0 5 0 5 0 FA= 4039	FB= 671	FC= 921	BAT=12.02 TEMP= 21.8
[10:08:31 23/11/2009]	[10:08:28 23/11/2009]	5 32	100	5 0 5 0 5 0 FA= 1375	FB= 661	FC= 594	BAT=12.02 TEMP= 20.2
[10:08:31 23/11/2009]	[10:08:29 23/11/2009]	5 39	100	5 0 5 0 5 0 FA= 855	FB= 660	FC= 506	BAT=12.02 TEMP= 18.7
[10:08:36 23/11/2009]	[10:08:32 23/11/2009]	5 36	100	5 0 5 0 5 0 FA= 2127	FB= 844	FC= 729	BAT=12.02 TEMP= 23.3
[10:08:38 23/11/2009]	[10:08:35 23/11/2009]	5 31	100	5 0 5 0 5 0 FA= 1373	FB= 951	FC= 588	BAT=12.02 TEMP= 24.9
[10:08:38 23/11/2009]	[10:08:28 23/11/2009]	5 33	100	5 0 5 0 5 0 FA= 2941	FB= 661	FC= 525	BAT=12.02 TEMP= 24.9
[10:08:38 23/11/2009]	[10:08:32 23/11/2009]	5 36	100	5 0 5 0 5 0 FA= 2127	FB= 844	FC= 729	BAT=12.02 TEMP= 23.3
[10:08:38 23/11/2009]	[10:08:31 23/11/2009]	5 37	100	5 0 5 0 5 0 FA= 1832	FB= 754	FC= 803	BAT=12.02 TEMP= 20.2
[10:08:39 23/11/2009]	[10:08:36 23/11/2009]	5 40	100	5 0 5 0 5 0 FA= 4039	FB= 681	FC= 920	BAT=12.02 TEMP= 21.8
[10:08:39 23/11/2009]	[10:08:31 23/11/2009]	5 42	100	5 0 5 0 5 0 FA= 1068	FB= 727	FC= 360	BAT=12.02 TEMP= 24.9
[10:08:41 23/11/2009]	[10:08:32 23/11/2009]	5 36	100	5 0 5 0 5 0 FA= 2127	FB= 844	FC= 729	BAT=12.02 TEMP= 23.3
[10:08:41 23/11/2009]	[10:08:36 23/11/2009]	5 40	100	5 0 5 0 5 0 FA= 4039	FB= 681	FC= 920	BAT=12.02 TEMP= 21.8
[10:08:45 23/11/2009]	[10:08:39 23/11/2009]	5 32	100	5 0 5 0 5 0 FA= 1375	FB= 661	FC= 591	BAT=12.02 TEMP= 18.7
[10:08:48 23/11/2009]	[10:08:46 23/11/2009]	5 31	100	5 0 5 0 5 0 FA= 1373	FB= 950	FC= 584	BAT=12.02 TEMP= 24.9
[10:08:48 23/11/2009]	[10:08:45 23/11/2009]	5 37	100	5 0 5 0 5 0 FA= 1832	FB= 754	FC= 803	BAT=12.02 TEMP= 20.2

Figura 34 – Interface de aquisição dos dados.

Calculo\_lamina\_Mário [Modo de Compatibilidade] - Microsoft Excel

Área de Trans...

Início Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibição

Fonte Alinhamento Número Estilo Células Edição

A148 6/12/209

Fator= 2.56 qEmissor= 1.49 L/h

L= 150 mm EI= 0.9

Módulo sensor

122 5/12/209 7:00 123 5/12/209 9:00 124 5/12/209 11:00 125 5/12/209 13:00 126 5/12/209 15:00 127 5/12/209 9:00 128 5/12/209 11:00 129 5/12/209 13:00 130 5/12/209 15:00 131 5/12/209 8:00 132 5/12/209 12:00 133 5/12/209 16:00 134 5/12/209 8:00 135 5/12/209 12:00 #

18.296 T1  
19.882 T1  
5.5027 T1  
10.238 T1  
6.4401 T1  
14.09 T2  
6.7839 T2  
5.7387 T2  
7.1319 T2  
19.535 T3  
17.02 T3  
13.556 T3  
21.575 T4  
16.834 T4

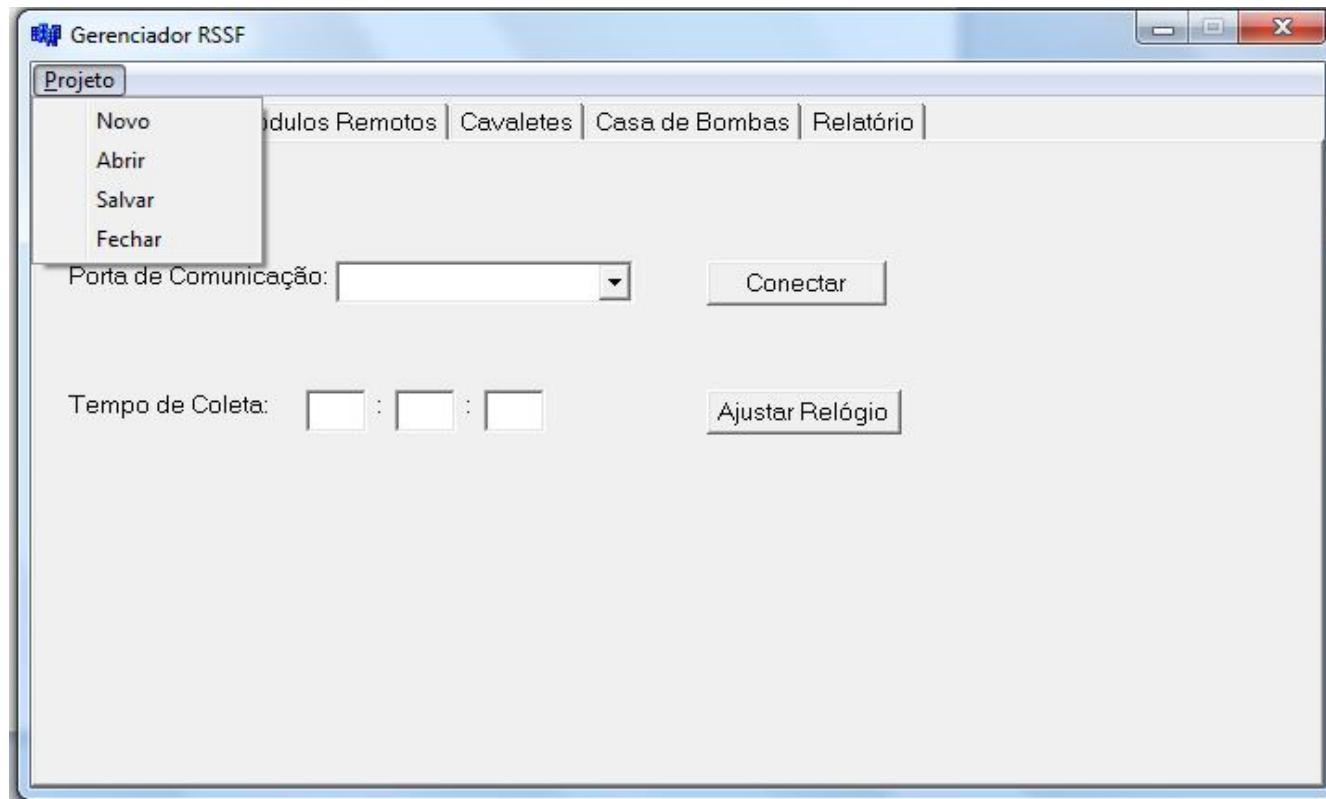
Sensor de 15 cm Sensor de 25 cm

Pronto 100%

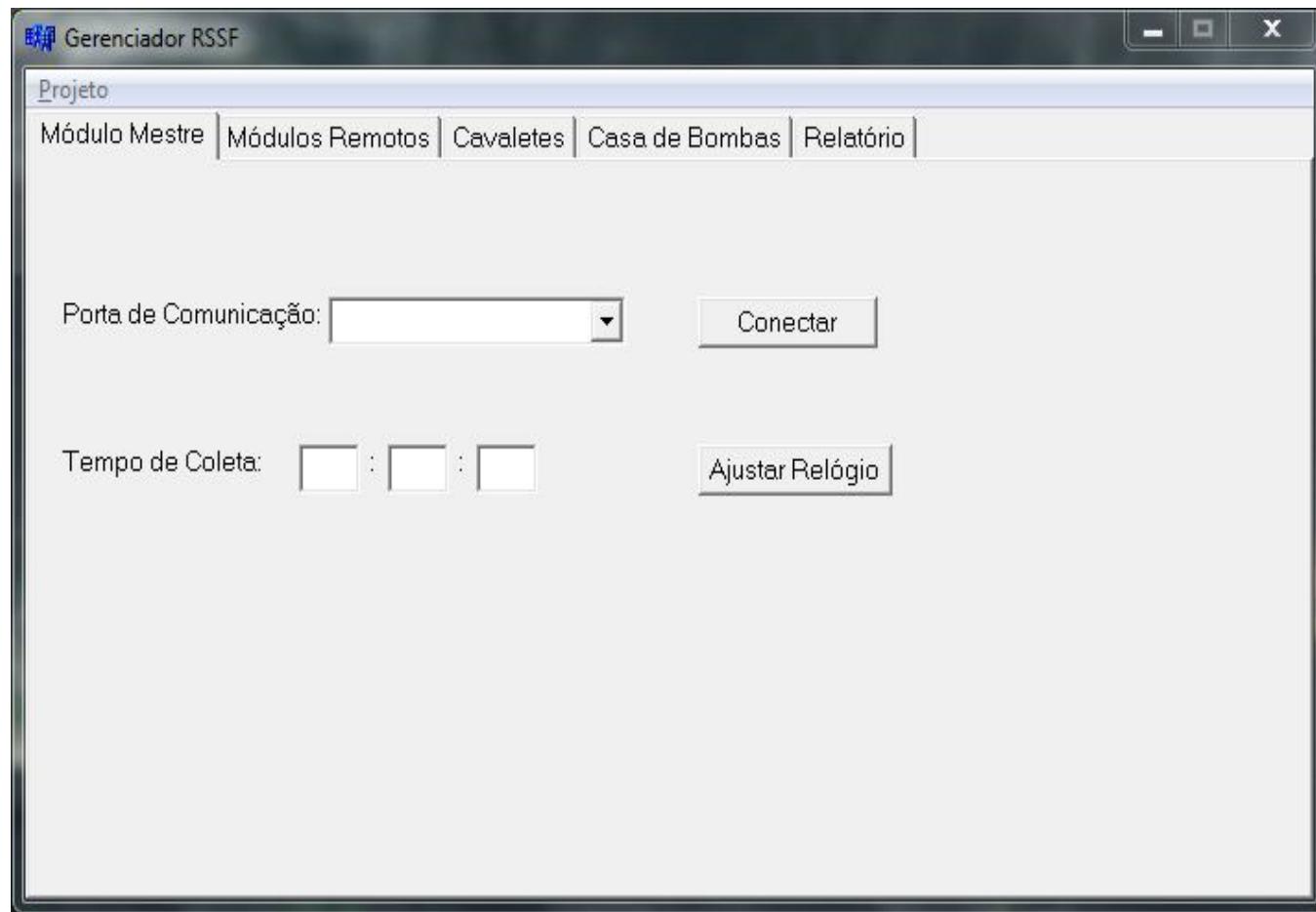
Figura 35 – Planilha de cálculo da irrigação.

# INTERFACE PARA AUTOMAÇÃO

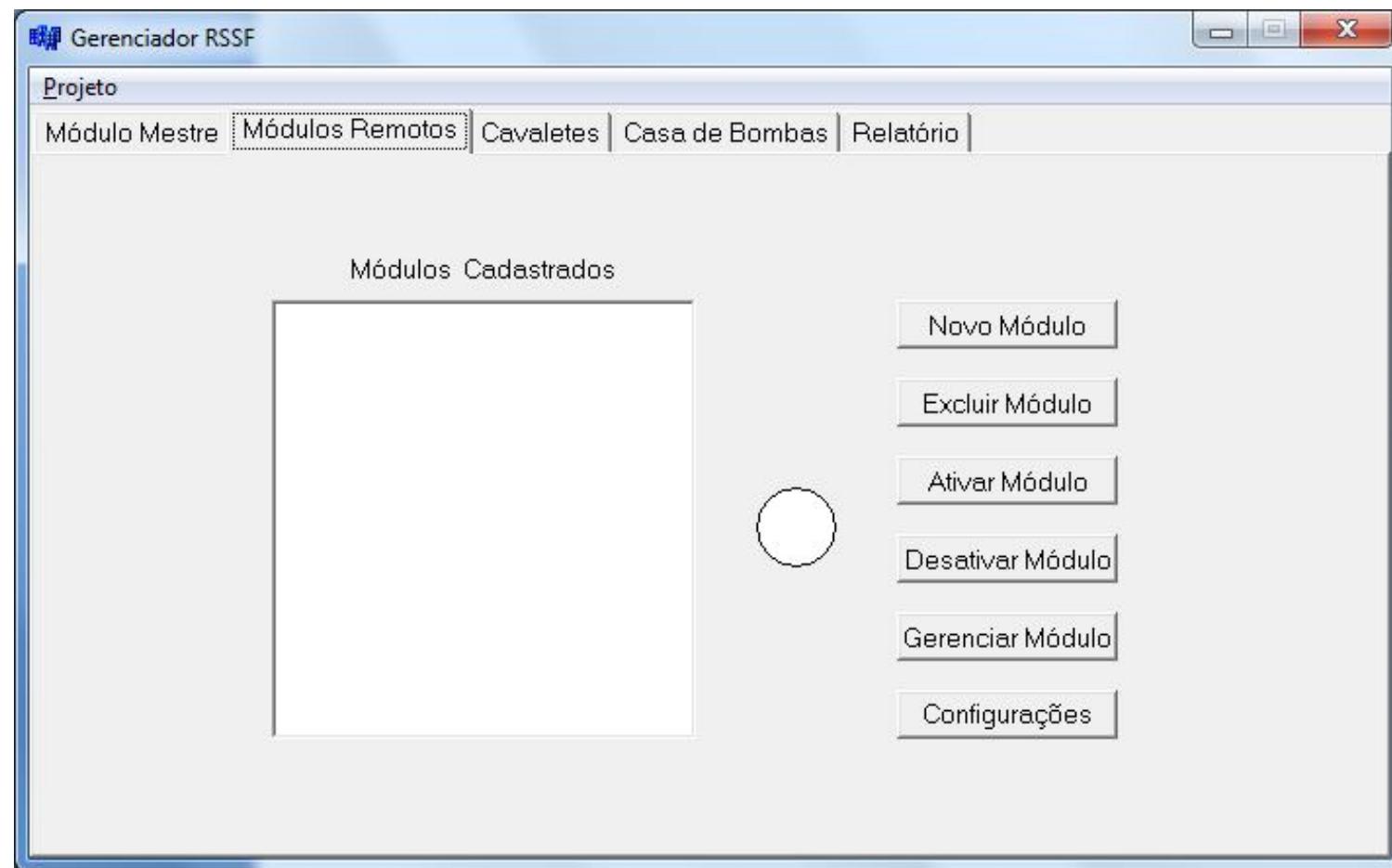
# Formulário Um - Gerenciador RSSF



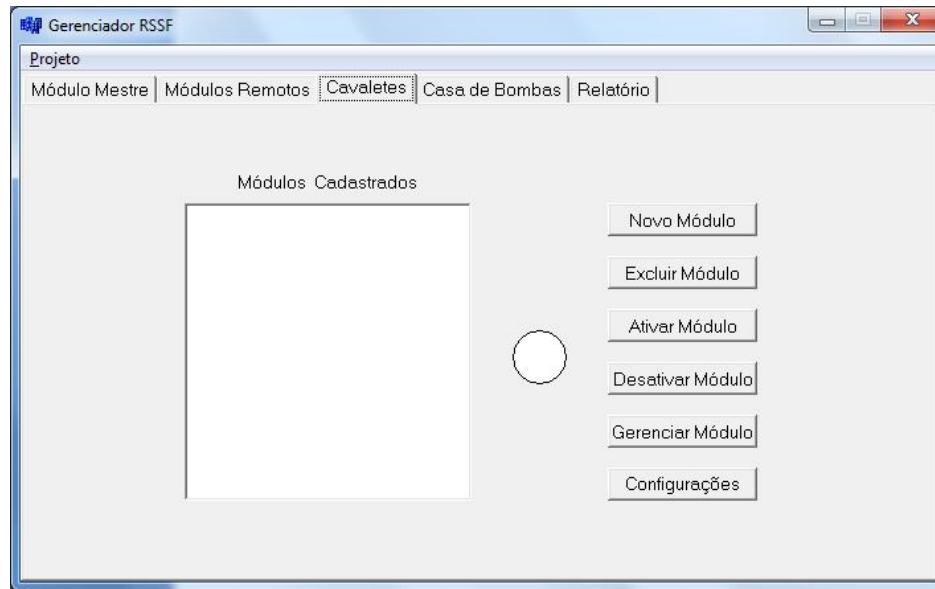
**Figura 6.** Seleção do menu principal projeto.



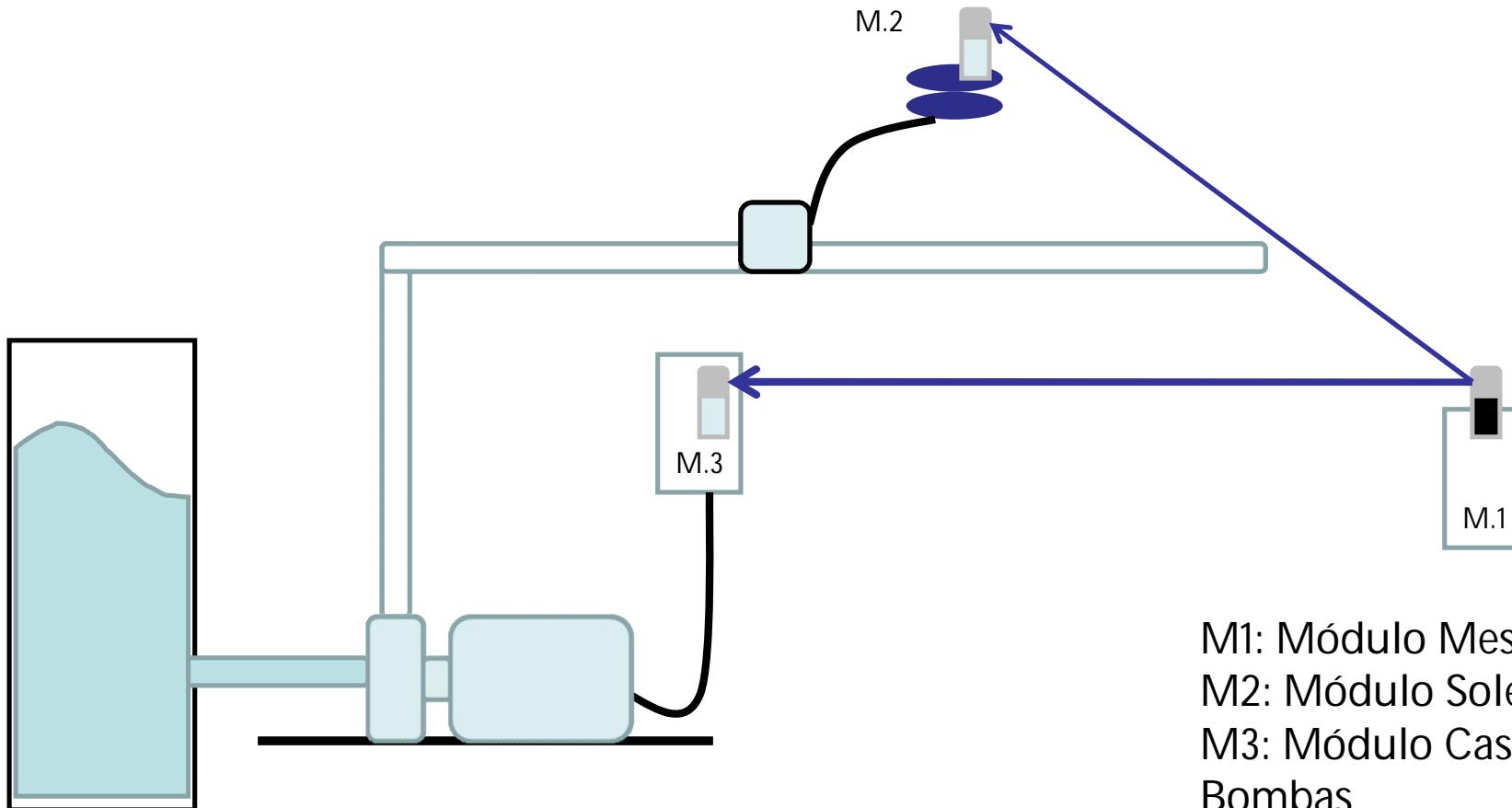
**Figura 7.** Páginas de controles do Formulário Um-Gerenciador RSSF.



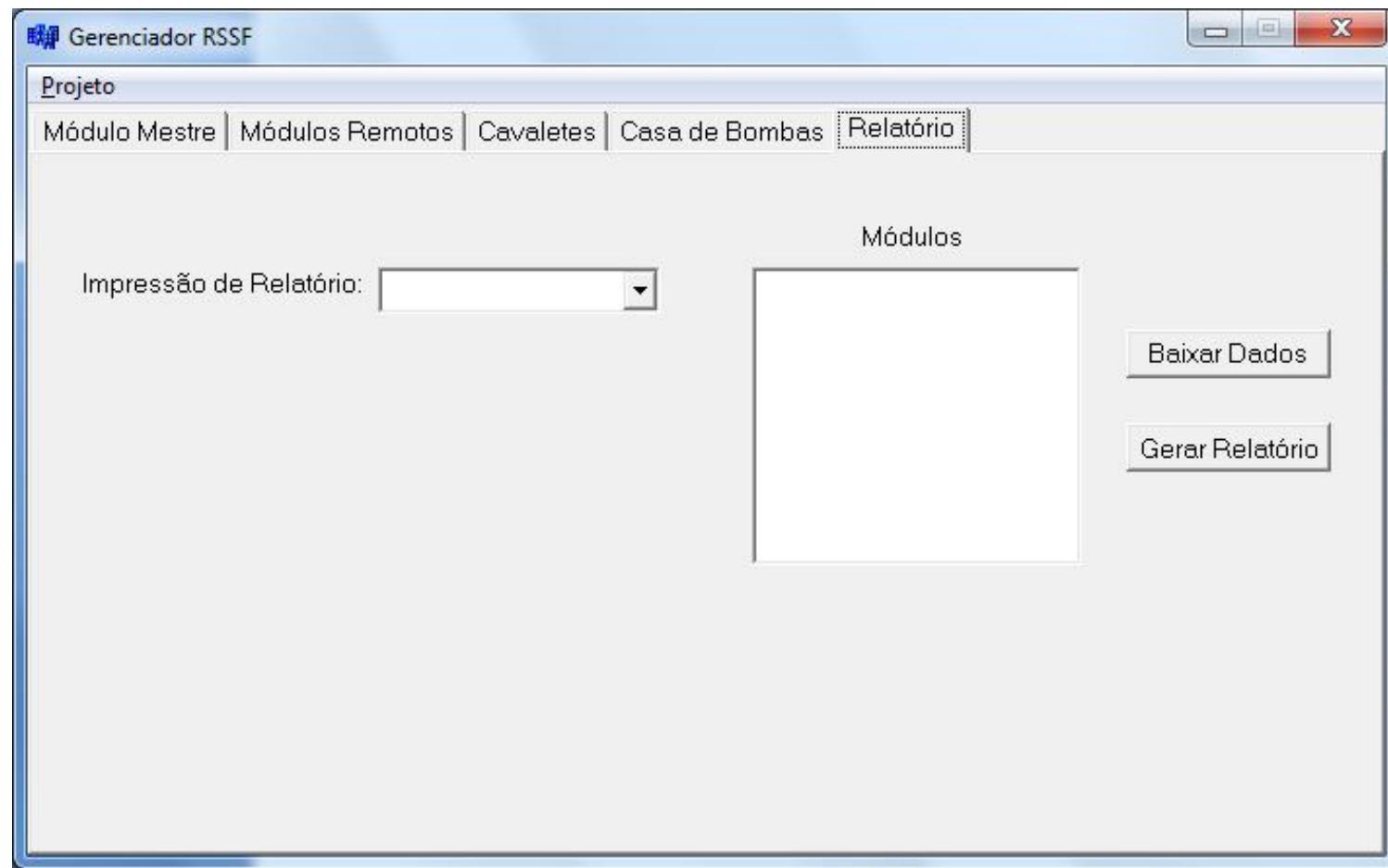
**Figura 8.** Página de controle dos módulos remotos.



**Figura 8.** Página de controle dos módulos cavaletes e casas de bombas.

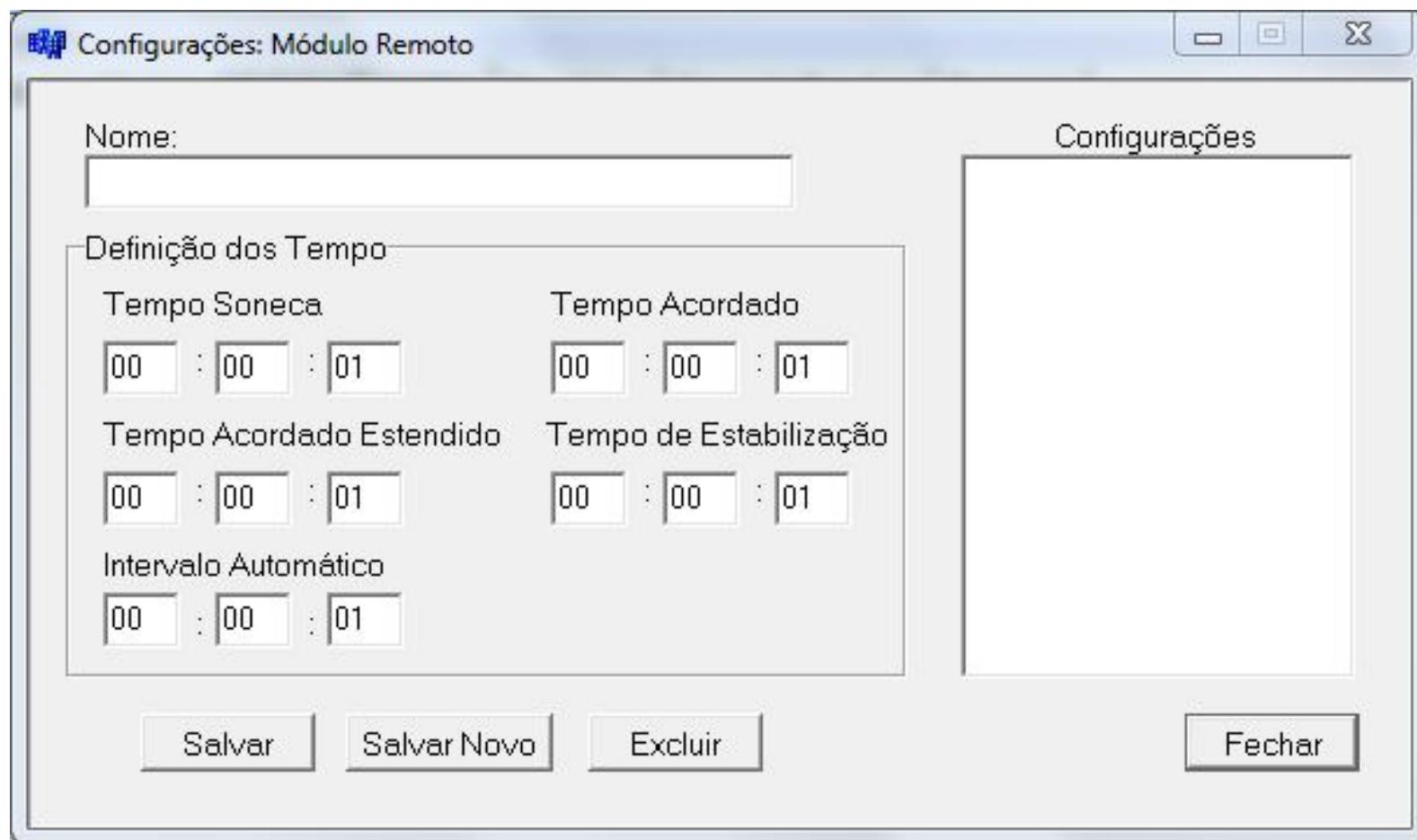


**Figura 9.** Esquema de funcionamento da bomba hidráulica e da solenóide.

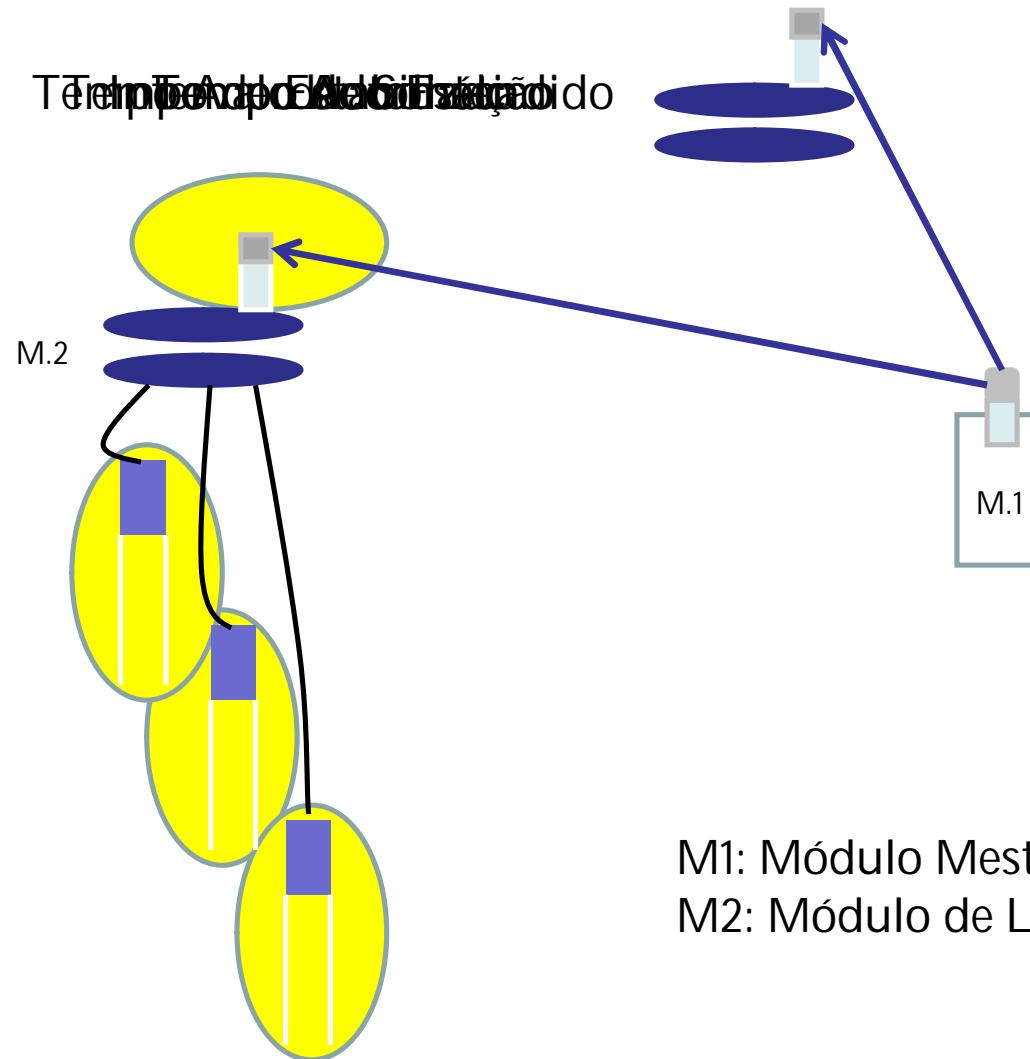


**Figura 10.** Página de controle para a confecção de relatórios.

# Formulário Dois - Configurações: Módulo Remoto.



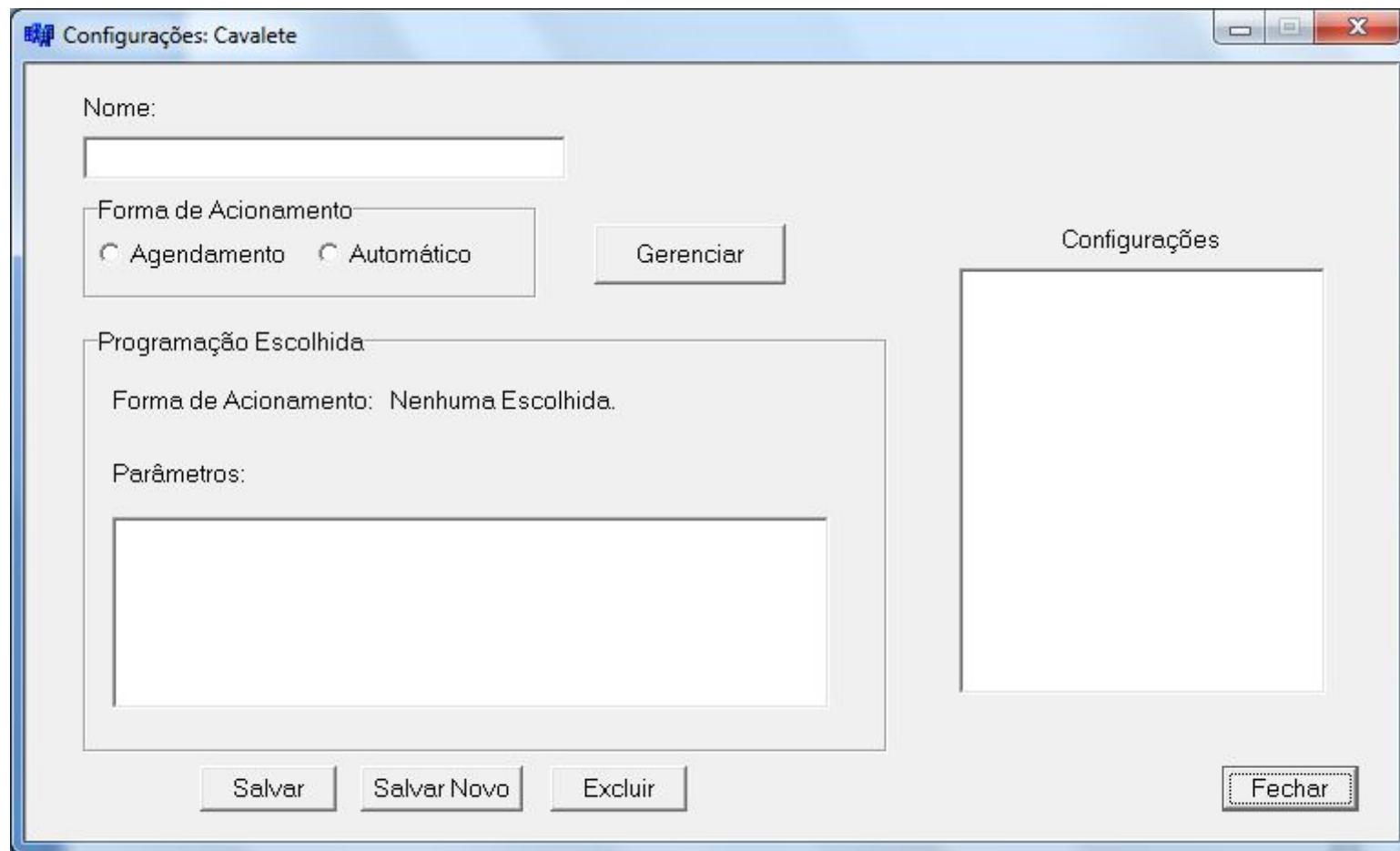
**Figura 11.** Formulário de configuração dos módulos remotos.



M1: Módulo Mestre  
M2: Módulo de Leitura.

**Figura 12.** Esquema de funcionamento da bomba hidráulica e da solenóide.

# Formulário Três - Configurações: Cavalete



**Figura 36** - Formulário de configuração dos módulos cavaletes (Rocha Neto, 2009).

# Formulário Quatro - Gerenciamento Agendado

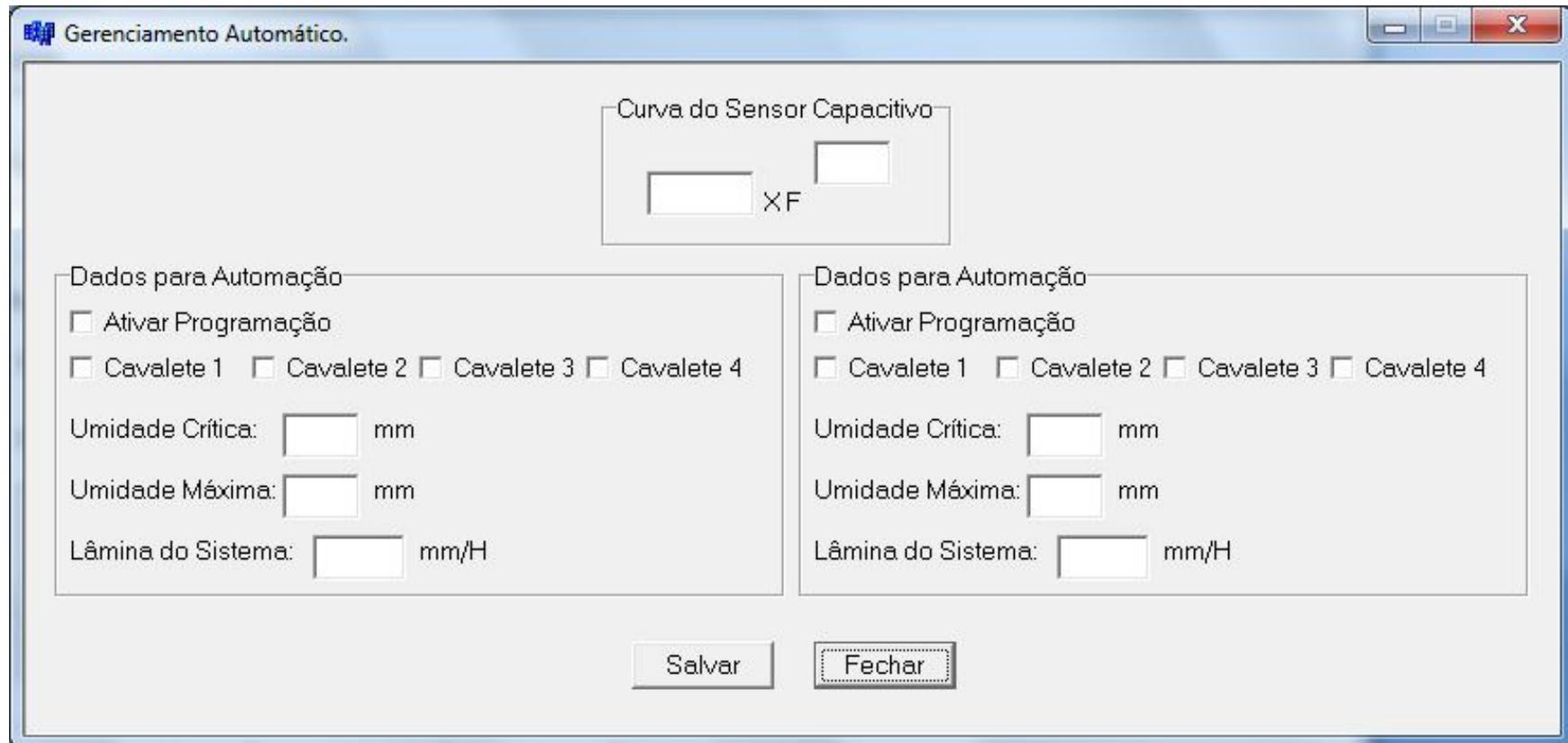
Gerenciamento Agendado.

Domingo | Segunda | Terça | Quarta | Quinta | Sexta | Sábado |

<p>Horário</p> <p><input type="checkbox"/> Ativar Horário</p> <p><input type="checkbox"/> Cavalete 1   <input type="checkbox"/> Cavalete 2</p> <p><input type="checkbox"/> Cavalete 3   <input type="checkbox"/> Cavalete 4</p> <p>Horário: <input type="text"/> : <input type="text"/> : <input type="text"/></p> <p>Tempo: <input type="text"/> : <input type="text"/> : <input type="text"/></p>	<p>Horário</p> <p><input type="checkbox"/> Ativar Horário</p> <p><input type="checkbox"/> Cavalete 1   <input type="checkbox"/> Cavalete 2</p> <p><input type="checkbox"/> Cavalete 3   <input type="checkbox"/> Cavalete 4</p> <p>Horário: <input type="text"/> : <input type="text"/> : <input type="text"/></p> <p>Tempo: <input type="text"/> : <input type="text"/> : <input type="text"/></p>	<p>Horário</p> <p><input type="checkbox"/> Ativar Horário</p> <p><input type="checkbox"/> Cavalete 1   <input type="checkbox"/> Cavalete 2</p> <p><input type="checkbox"/> Cavalete 3   <input type="checkbox"/> Cavalete 4</p> <p>Horário: <input type="text"/> : <input type="text"/> : <input type="text"/></p> <p>Tempo: <input type="text"/> : <input type="text"/> : <input type="text"/></p>	<p>Horário</p> <p><input type="checkbox"/> Ativar Horário</p> <p><input type="checkbox"/> Cavalete 1   <input type="checkbox"/> Cavalete 2</p> <p><input type="checkbox"/> Cavalete 3   <input type="checkbox"/> Cavalete 4</p> <p>Horário: <input type="text"/> : <input type="text"/> : <input type="text"/></p> <p>Tempo: <input type="text"/> : <input type="text"/> : <input type="text"/></p>	<p>Horário</p> <p><input type="checkbox"/> Ativar Horário</p> <p><input type="checkbox"/> Cavalete 1   <input type="checkbox"/> Cavalete 2</p> <p><input type="checkbox"/> Cavalete 3   <input type="checkbox"/> Cavalete 4</p> <p>Horário: <input type="text"/> : <input type="text"/> : <input type="text"/></p> <p>Tempo: <input type="text"/> : <input type="text"/> : <input type="text"/></p>	<p>Horário</p> <p><input type="checkbox"/> Ativar Horário</p> <p><input type="checkbox"/> Cavalete 1   <input type="checkbox"/> Cavalete 2</p> <p><input type="checkbox"/> Cavalete 3   <input type="checkbox"/> Cavalete 4</p> <p>Horário: <input type="text"/> : <input type="text"/> : <input type="text"/></p> <p>Tempo: <input type="text"/> : <input type="text"/> : <input type="text"/></p>
---	---	---	---	---	---

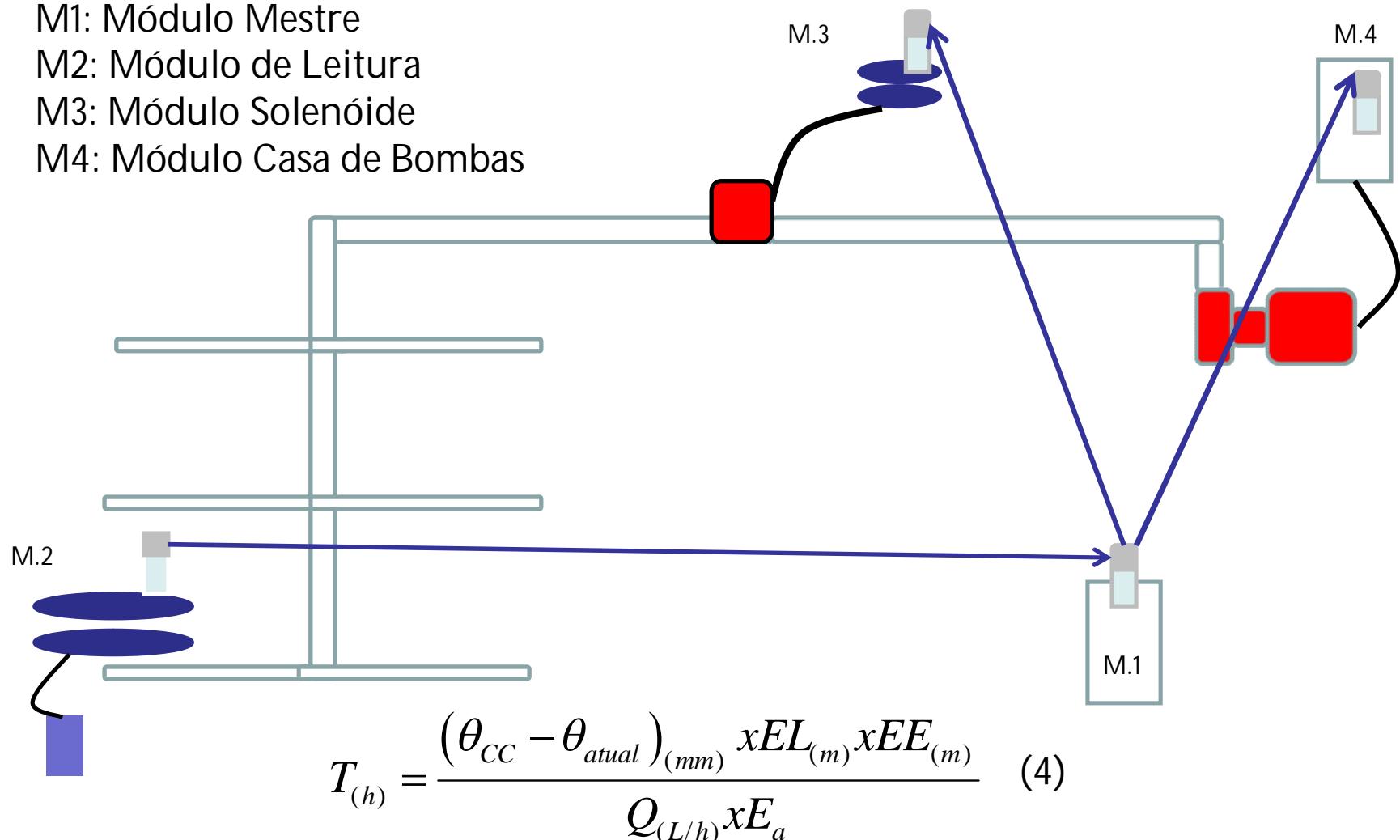
Figura 37. Tela para agendamento dos períodos de acionamento dos cavaletes.

# Formulário Cinco - Gerenciamento Automático



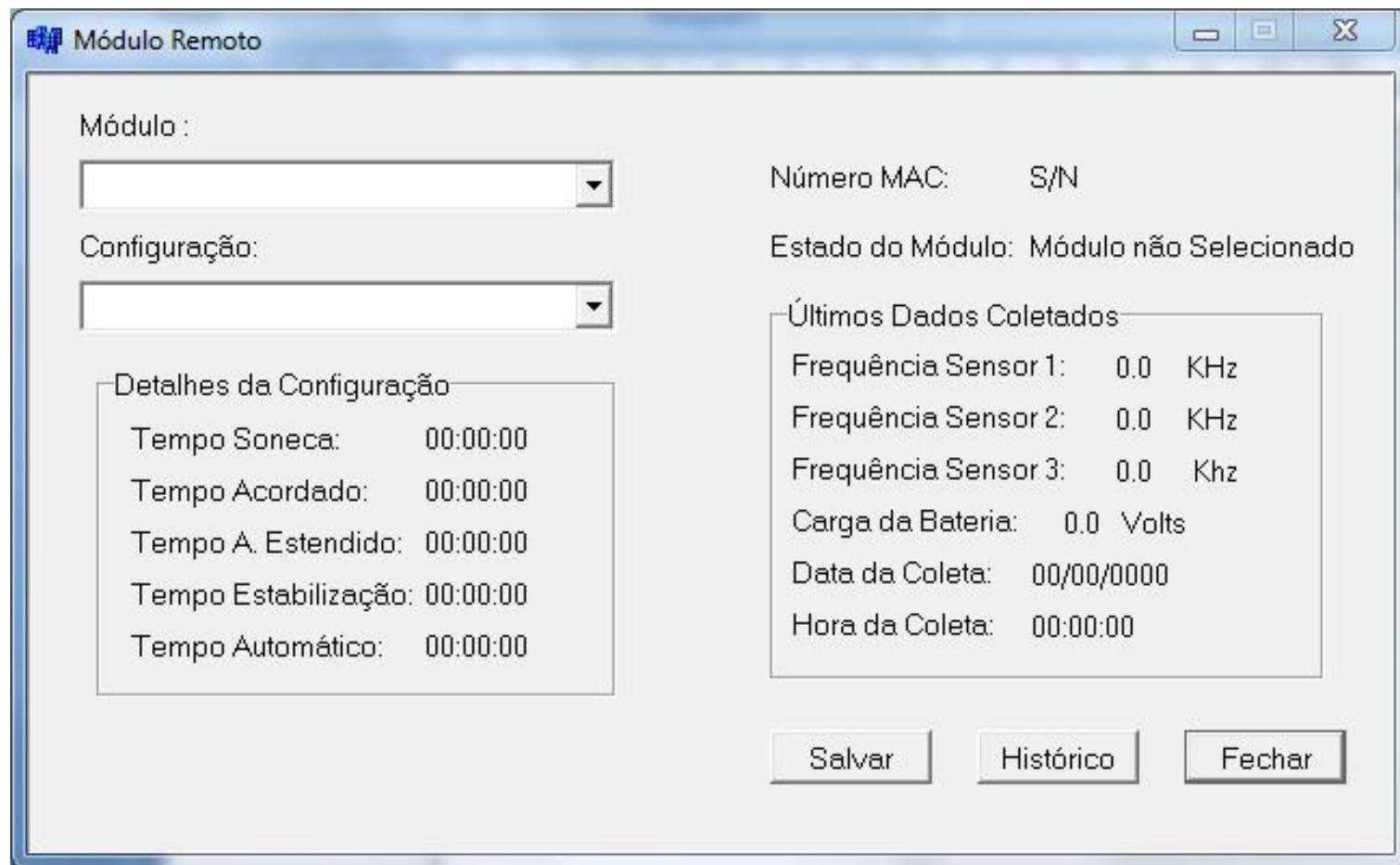
**Figura 38.** Tela de parâmetros para o cálculo da lâmina de irrigação.

M1: Módulo Mestre  
 M2: Módulo de Leitura  
 M3: Módulo Solenóide  
 M4: Módulo Casa de Bombas



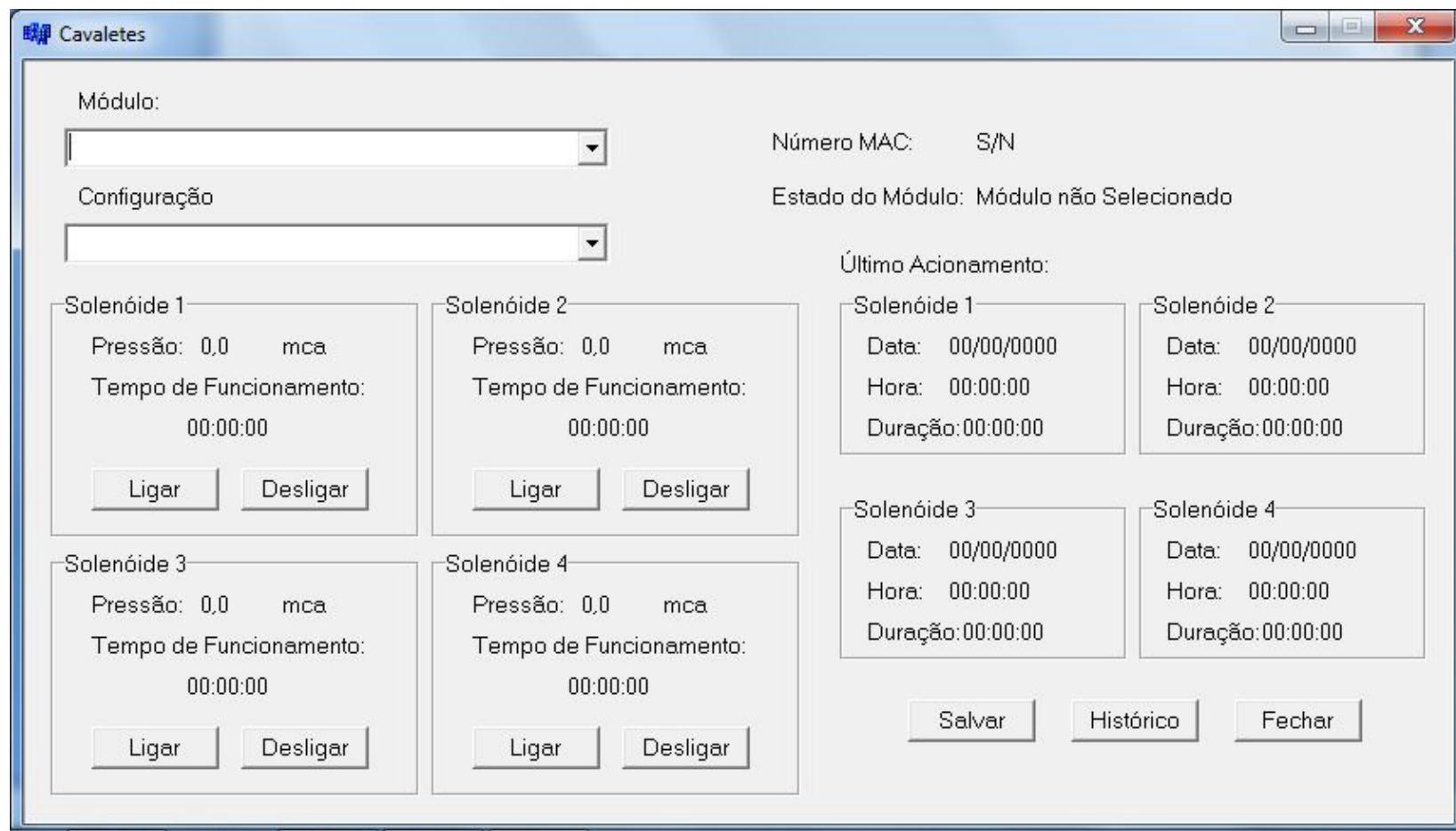
**Figura 39.** Esquema de funcionamento da bomba hidráulica e da solenóide.

# Formulário Seis - Módulo Remoto



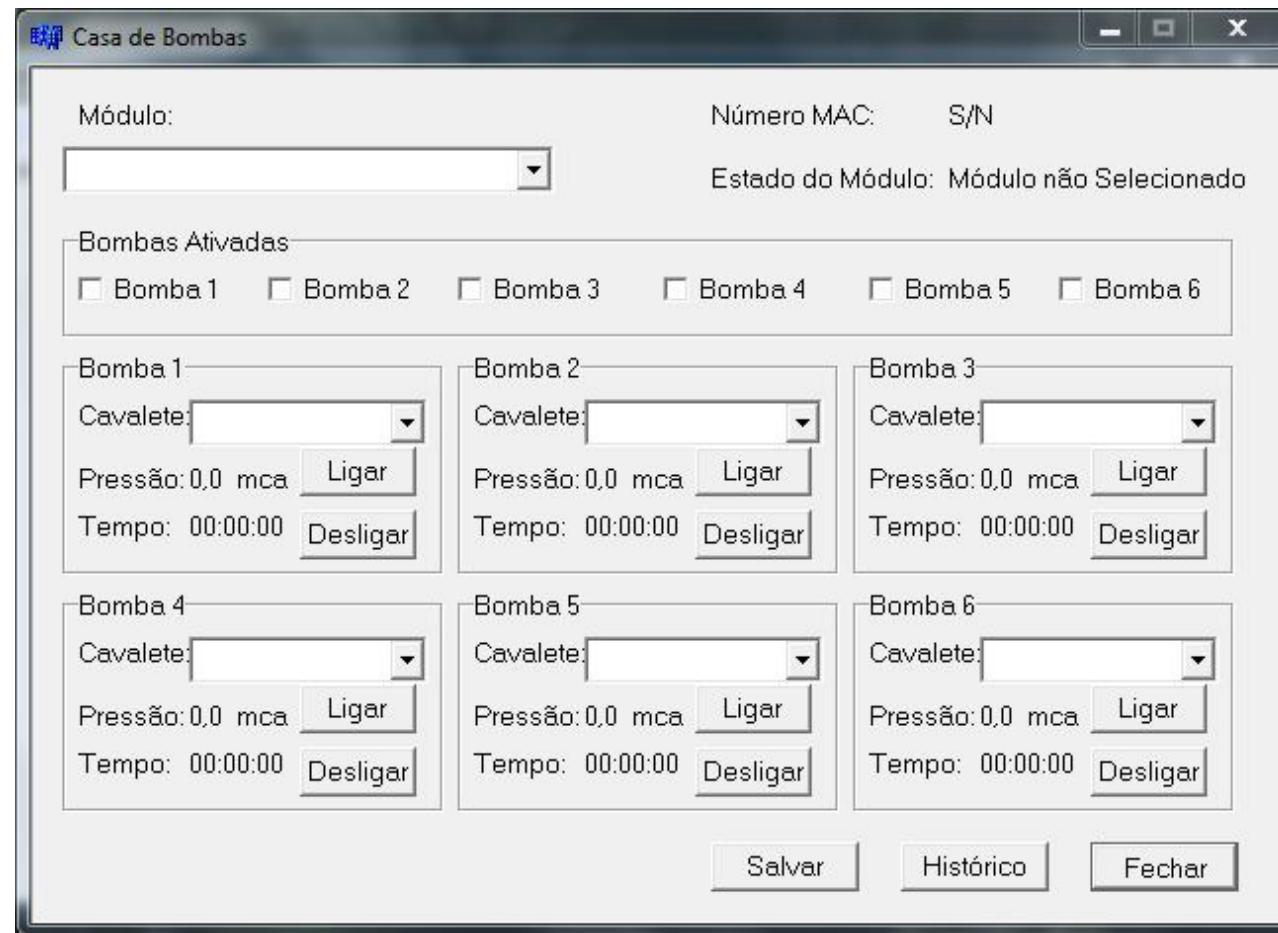
**Figura 40.** Gerenciamento dos módulos remotos.

# Formulário Sete – Cavaletes



**Figura 41.** Gerenciamento dos módulos cavaletes.

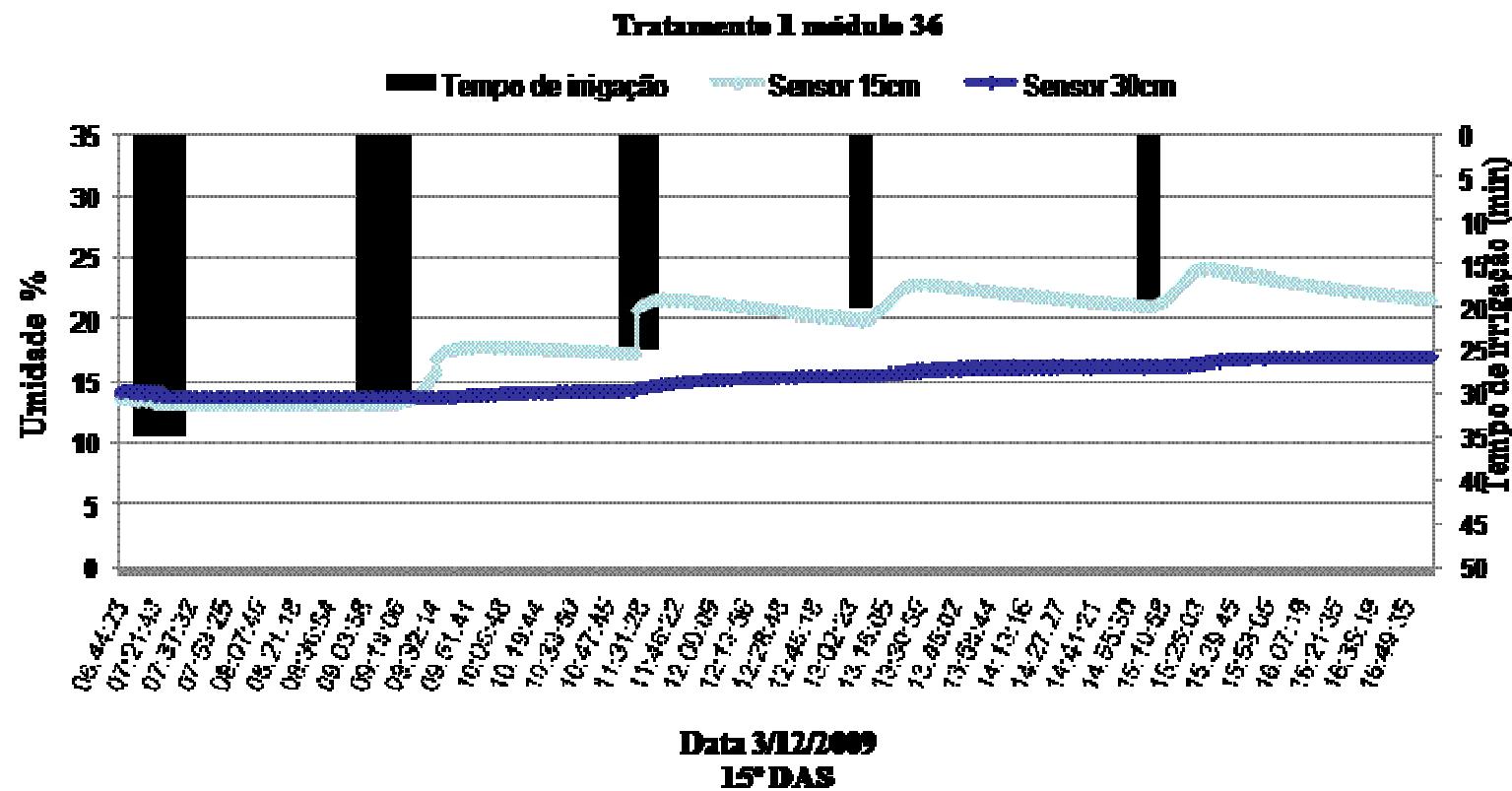
# Formulário Oito - Casa de Bombas



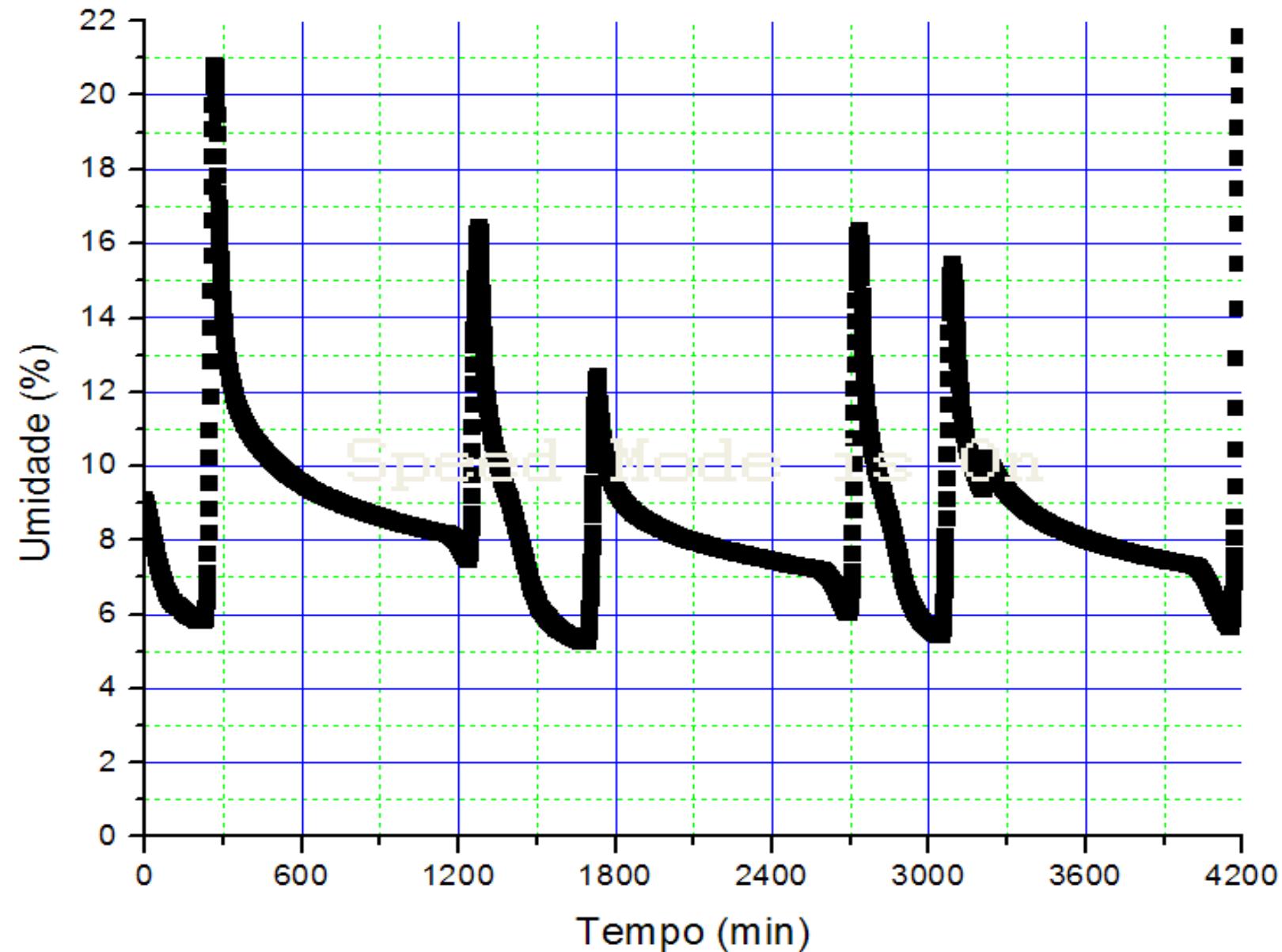
**Figura 42.** Gerenciamento dos módulos cavaletes.

# EXEMPLO DE DADOS

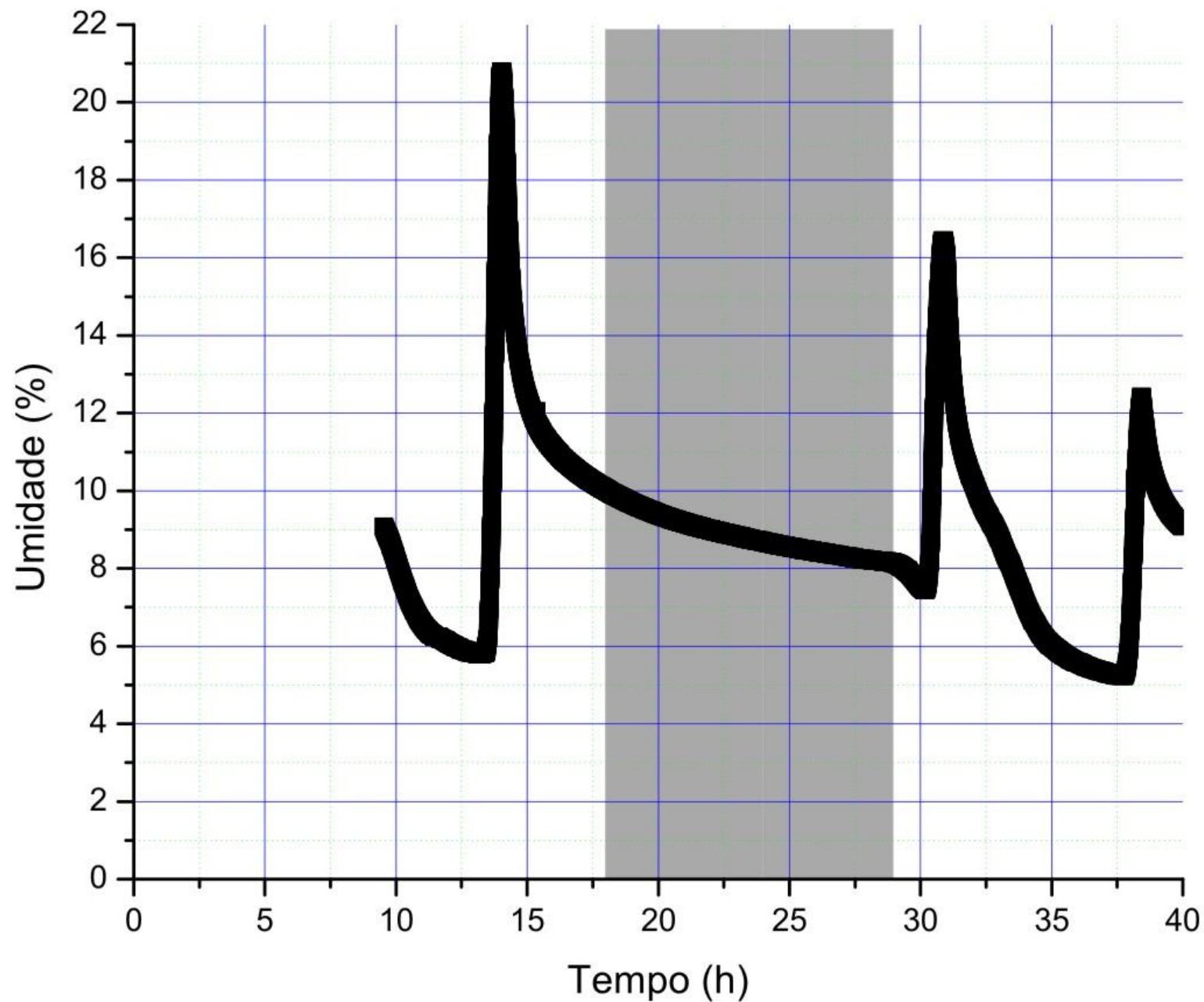
➤ Monitoramento da umidade através da RSSF



**Figura 43** – Variação da umidade volumétrica do solo ao longo do dia pelo módulo 36 durante o manejo (Rebouças, 2010).



**Figura 44.** Monitoramento da umidade na camada de 0 a 15cm do solo (Oliveira, 2008).



**Figura 45.** Variação na umidade do solo em função do tempo.

Obrigado !