

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA  
DE CONTROLE AUTOMÁTICO PARA  
SIMULADOR DE CHUVAS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**César Gabriel dos Santos**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2015**



# **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO PARA SIMULADOR DE CHUVA**

**César Gabriel dos Santos**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

**Orientador: Prof. Dr. Leonardo Nabaes Romano,**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Santos, César Gabriel dos  
Desenvolvimento de um sistema de controle automático para simulador de chuvas / César Gabriel dos Santos.- 2015.  
142 p.; 30cm

Orientador: Leonardo Nabaes Romano  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2015

1. Automação de processos 2. Microcontroladores 3. Chuva simulada I. Romano, Leonardo Nabaes II. Título.

---

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a César Gabriel dos Santos. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser realizada com autorização por escrito do autor.

E-mail: cesarhz@hotmail.com

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE  
AUTOMÁTICO PARA SIMULADOR DE CHUVAS**

elaborada por  
**César Gabriel dos Santos**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Agrícola

**Comissão Examinadora:**

---

**Leonardo Nabaes Romano, Prof. Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Arno Udo Dallmeyer, Prof. Dr. (UFSM)**

---

**Antonio Carlos Valdiero, Prof. Dr. (UNIJUI)**

Santa Maria, 02 de março de 2015



À DEUS

Aos meus pais Graciolino e Devanir dos Santos

À minha irmã Bruna Karine dos Santos

À companheira Ana Eloisa Sipp



## **AGRADECIMENTOS**

Expresso especialmente a minha gratidão a:

- Meu orientador Prof. Leonardo Nabaes Romano, pelas horas dedicadas na orientação da dissertação e ensinamentos sobre projeto. Por ter acreditado no meu potencial e motivando em seguir os estudos em projetos.

- Meu colega e amigo Saul Azzolin Bonaldo, pela ajuda e esforço dedicado nos momentos difíceis do desenvolvimento do projeto.

- Ao Prof. Antônio Carlos Valdiero na disposição em avaliar a dissertação.

- Ao Prof. Arno Udo Dallmeyer pelos ensinamentos sobre máquinas agrícolas.

- Aos professores do PPGA José Fernando Schlosser e Ricardo Silveiro Balardin, pelo conhecimento repassado nas disciplinas cursadas.

- Aos professores Jean Paolo Gomes Minella e Jerson Vanderlei Carús Guedes pelas valiosas contribuições no projeto.

- Aos professores Inácio da Fontoura Limberger e Miguel Neves Camargo pela amizade e acolhimento na Universidade Federal de Santa Maria.

- Aos colegas do laboratório LPST (Laboratório de Projeto de Sistemas Técnicos), especialmente André Kinalski Bender, José Carlos Lorentz Aita, Paulo Henrique Zen Messerschmidt, Marcelo Pastoriza Tasch, Gilmar Fernando Vogel, Igor Feldmann, Natália Madalena Boelter, Giuliani Facco, Miguel Antonello, Júnior da Silva, Willian Belinazzo e Josiel Leão Rodrigues.

- Ao amigos do Laboratório de Agrotecnologia (AGROTEC) pela disponibilização de materiais que foram importantes no desenvolvimento do projeto.

- Luciana Nunes de Oliveira, secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) pela assistência nos assuntos institucionais.

- Ao CTISM/UFSM pelo espaço disponibilizado para a realização dos experimentos.

- A todos que de alguma forma tornaram possível a conclusão do projeto.



***“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”.***

*Albert Einstein*



## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria

### **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO PARA SIMULADOR DE CHUVAS**

AUTOR: CÉSAR GABRIEL DOS SANTOS  
ORIENTADOR: PROF. DR. LEONARDO NABAES ROMANO,  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 02 de março de 2015.

Na década de 1930, nos Estados Unidos, Borst e WoodBurn desenvolveram um simulador de chuva para realizar estudos sobre o comportamento do escoamento superficial da água. Ao longo do tempo foi desenvolvido um grande número de simuladores de chuva para controlar e reproduzir as características da chuva natural. A partir da década de 1990 a eletrônica passou a atuar de forma mais efetiva em máquinas e equipamentos agrícolas, possibilitando melhores condições de controle e automação nos processos. Neste contexto, o objetivo desta dissertação é apresentar a concepção de um sistema técnico automatizado para o controle do processo de geração de chuva. O sistema desenvolvido realiza medições de pressão, temperatura e vazão da água no sistema, registrando os dados na forma de relatório. A concepção utiliza microcontrolador montado no kit de desenvolvimento CUSCOPIC e a programação do software foi realizada em linguagem C. O sistema foi submetido a três experimentos, uniformidade de distribuição da chuva com um bico, uniformidade de distribuição da chuva com dois bicos e medição da energia cinética do bico. O resultado dos experimentos possibilitou verificar que o bico recomendado pelo fabricante apresenta precisão do número de gotas na mesma faixa de diâmetro, porém a energia cinética nos dois cenários experimentados corresponde a 13,09% e 2,3% da chuva natural, não sendo recomendado o seu uso. A utilização da concepção contribuiu para a geração de chuva simulada com maior estabilidade da pressão e da vazão da água no sistema. Os relatórios gerados pelo protótipo possibilitam registrar e rastrear os parâmetros utilizados em cada experimento.

**Palavras-chave:** Automação de processos. Microcontroladores. Chuva simulada.



# **ABSTRACT**

Master's Dissertation  
Graduate Program in Agricultural Engineering  
Federal University of Santa Maria

## **DEVELOPMENT OF A RAIN SIMULATOR VIA AUTOMATIC CONTROL**

AUTHOR: CÉSAR GABRIEL DOS SANTOS  
ADVISOR: PROF. DR. LEONARDO NABAES ROMANO,  
Date and place of the presentation: Santa Maria, 02<sup>th</sup> March, 2015.

In the 1930's, in the United States, Borst and Woodburn developed a rain simulator to conduct studies on the behavior of water runoff. Over time a lot of rain simulators were developed to control and reproduce the characteristics of natural rain. From the 1990's, electronic technology started to act more effectively in agricultural machinery and equipment, enabling for better control and process automation. In this scenario, the objective of this dissertation is to present a conception of an automated technical system to control the rain process. The proposed system is able to measure pressure, temperature, water flow in the system and record the data. The system has a microcontroller mounted on the CUSCOPIC kit. Also, the software programming was done in C language. The system was submitted to three experiments: the uniformity of rain distribution with one nozzle, the uniformity of rain distribution with two nozzles and the measurement of kinetic energy at the nozzle. The result of the experiments made it possible to verify that the nozzle, recommended by the manufacturer, was accurate for the number of drops at the same range of the diameter. However, the kinetic energy in both scenarios corresponded to 13.09% and 2.3% of natural rain so, it was not recommended for their use. The use of the concept contributed to the generation of simulated rain with more stability of the pressure and flow of water in the system. Reports generated by the prototype enable recording and tracing the parameters used in each experiment.

**Key words:** Process automation. Microcontrollers. Simulated rain.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Simulador de chuva modelo Meyer & McCune de 1958.....	34
Figura 2 –	Simulador de chuva modelo Swanson de 1965.....	35
Figura 3 –	Esquema do simulador de chuva desenvolvido por Pall et al. 1983 .....	35
Figura 4 –	Simulador de chuva desenvolvido por Alves Sobrinho em 1997 .....	36
Figura 5 –	Simulador de chuva automatizado com o uso de microcomputador.....	36
Figura 6 –	a) Arquitetura centralizada. b) Arquitetura distribuída .....	39
Figura 7 –	Sistema genérico de um microprocessador .....	40
Figura 8 –	Diagrama de blocos de um microprocessador .....	41
Figura 9 –	Diagrama de pinos do microcontrolador PIC18F4520 .....	41
Figura 10 –	Componentes de um microcontrolador .....	42
Figura 11 –	Processo, macrofase, fase e saídas de referência para o PDMA .....	45
Figura 12 –	Modelo da utilização do diagrama de Mudge .....	45
Figura 13 –	Etapas de trabalho da fase de concepção .....	47
Figura 14 –	Fluxo de atividades para o desenvolvimento do projeto .....	48
Figura 15 –	Fluxograma da fase de projeto informacional.....	49
Figura 16 –	Simbologia utilizada para elaboração do diagrama de blocos .....	50
Figura 17 –	Esquema básico para programação de microcontroladores .....	51
Figura 18 –	Interface de programação do software MikroC PRO.....	51
Figura 19 –	Interface de comunicação serial .....	52
Figura 20 –	Circuito CUSCOPIC .....	52
Figura 21 –	Esquema do leiaute para aferição do sensor de vazão com a bomba.....	53
Figura 22 –	a) Bico FullJet FL-15VS. b) Padrão de pulverização cone cheio .....	54
Figura 23 –	Esquema de montagem dos pluviômetros no eixo “x” .....	54
Figura 24 –	Esquema de montagem do primeiro experimento.....	55
Figura 25 –	Esquema de montagem do segundo experimento .....	56
Figura 26 –	Esquema de montagem do terceiro experimento .....	57
Figura 27 –	Esquema do leiaute para aferição do sensor de vazão com a bomba.....	58
Figura 28 –	Diagrama de Mudge para hierarquização dos requisitos dos clientes.....	63
Figura 29 –	Casa da Qualidade (QFD) .....	65
Figura 30 –	Integração ente as especificações de projeto e o sistema de controle .....	67
Figura 31 –	Diagrama de blocos com o fluxo de informação do controle .....	69
Figura 32 –	Definições variáveis globais para o mostrador digital .....	71
Figura 33 –	Função menu inicial .....	72
Figura 34 –	Função responsável pela configuração da parcela .....	72
Figura 35 –	Função para configuração do tempo .....	73
Figura 36 –	Função para configuração do volume de chuva simulada.....	74
Figura 37 –	Função enviar dados para um microcomputador .....	74
Figura 38 –	Função enviar dados para um microcomputador .....	75
Figura 39 –	Mostrador digital 16x4 .....	76
Figura 40 –	Componentes utilizados na montagem do protótipo CUSCOPIC .....	77

Figura 41 – Layout da montagem dos componentes no sistema controlador .....	78
Figura 42 – Protótipo utilizado nos experimentos .....	79
Figura 43 – Leiaute do experimento para verificar o perfil de distribuição e uniformidade de um bico.....	81
Figura 44 – Perfil de distribuição das seis repetições no tempo de 15 minutos.....	83
Figura 45 – Perfil de distribuição das seis repetições no tempo de 30 minutos.....	85
Figura 46 – Leiaute do experimento para verificar o perfil de distribuição e uniformidade com dois bicos .....	86
Figura 47 – Perfil da distribuição da chuva simulada das nove repetições.....	89
Figura 48 – Leiaute do experimento para verificar a energia cinética da chuva simulada ....	90
Figura 49 – Diâmetro (mm) e velocidade (m s-1) das gotas de chuva para o primeiro cenário.....	91
Figura 50 – Diâmetro (mm) e velocidade (m s-1) das gotas de chuva para o segundo cenário.....	91
Figura 51 – Modelo de relatório gerado pelo sistema controlador .....	94

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Simbologia de diagrama de blocos.....	43
Quadro 2 – Quadro resumo dos materiais utilizados para construção do protótipo .....	59
Quadro 3 – Tradução dos requisitos dos clientes em requisitos de projeto .....	62
Quadro 4 – Especificações de projeto do sistema proposto .....	66
Quadro 5 – Perfil de distribuição da chuva simulada das seis repetições com 15 minutos ...	82
Quadro 6 – Perfil de distribuição da chuva simulada das seis repetições com 30 minutos ...	84
Quadro 7 – Perfil de distribuição da chuva simulada das nove repetições com 30 minutos .	88



## LISTA DE APÊNDICE

Apêndice A – Programação em linguagem C do sistema controlador.....	107
Apêndice B – Relatório do experimento I – Repetição 1. ....	117
Apêndice C – Relatório do experimento I – Repetição 2. ....	118
Apêndice D – Relatório do experimento I – Repetição 3 .....	119
Apêndice E – Relatório do experimento I – Repetição 4. ....	120
Apêndice F – Relatório do experimento I – Repetição 5. ....	121
Apêndice G – Relatório do experimento I – Repetição 6. ....	122
Apêndice H – Relatório do experimento II – Repetição 1.....	123
Apêndice I – Relatório do experimento II – Repetição 2.....	124
Apêndice J – Relatório do experimento II – Repetição 3.....	125
Apêndice K – Relatório do experimento II – Repetição 4.....	126
Apêndice L – Relatório do experimento II – Repetição 5.....	127
Apêndice M – Relatório do experimento II – Repetição 6.....	128
Apêndice N – Relatório do experimento II – Repetição 7.....	129
Apêndice O – Relatório do experimento II – Repetição 8.....	130
Apêndice P – Relatório do experimento II – Repetição 9.....	131
Apêndice Q – Relatório do experimento III – Repetição 1.....	132
Apêndice R – Relatório do experimento III – Repetição 2.....	133



## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo A – Características técnicas do bico FullJet 15-VS .....	137
Anexo B – Características técnicas da bomba de diafragma.....	138
Anexo C – Características técnicas do disdrômetro OTT. ....	139
Anexo D – Características técnicas do sensor de vazão de fluído.....	140
Anexo E – Características técnicas do sensor de pressão. ....	141
Anexo F – Características técnicas do sensor de temperatura. ....	142



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>1.1</b>	<b>Questão de pesquisa.....</b>	<b>27</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>27</b>
1.2.1	Objetivo geral .....	27
1.2.2	Objetivo específico .....	27
<b>1.3</b>	<b>Justificativa .....</b>	<b>28</b>
<b>1.4</b>	<b>Estrutura da Dissertação .....</b>	<b>29</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>31</b>
<b>2.1</b>	<b>Ensaio com simuladores de chuva .....</b>	<b>31</b>
2.1.1	Erosão hídrica .....	31
2.1.2	Escoamento superficial .....	32
2.1.3	Persistência de produtos fitossanitários .....	33
<b>2.2</b>	<b>Simuladores de chuva.....</b>	<b>34</b>
<b>2.3</b>	<b>Sistemas eletrônicos em automação .....</b>	<b>37</b>
2.3.1	Microprocessadores .....	39
2.3.2	Microcontroladores .....	41
2.3.3	Linguagens de programação para microcontroladores .....	42
<b>2.4</b>	<b>Processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas .....</b>	<b>44</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>47</b>
<b>3.1</b>	<b>Metodologia .....</b>	<b>47</b>
<b>3.2</b>	<b>Material .....</b>	<b>58</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>61</b>
<b>4.1</b>	<b>Fase de informação .....</b>	<b>61</b>
<b>4.2</b>	<b>Fase de definição .....</b>	<b>67</b>
<b>4.3</b>	<b>Fase de criação .....</b>	<b>71</b>
4.3.1	Programação do software do sistema de controle.....	71
4.3.2	Montagem do protótipo .....	75
<b>4.4</b>	<b>Fase de avaliação.....</b>	<b>79</b>
4.4.1	Verificação do perfil de distribuição e uniformidade de um bico .....	80
4.4.2	Verificação do perfil de distribuição e uniformidade com dois bicos .....	85
4.4.3	Verificação da energia cinética gerada pelo bico utilizado .....	89
<b>4.5</b>	<b>Fase de decisão .....</b>	<b>92</b>
4.5.1	Aferição do sensor de vazão .....	92
4.5.2	Verificação do funcionamento.....	93
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>95</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>97</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>105</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>135</b>



# 1 INTRODUÇÃO

No Brasil as condições climáticas e ambientais favorecem às práticas agrícolas em grande parte do território. Segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2014) a importância da agricultura no produto interno bruto de 2014 foi de 23,3%, correspondendo a R\$ 1,13 trilhões de reais.

A estimativa da área plantada na safra 2013/14 corresponde a 56,85 milhões de hectares, um aumento de 6,1% em relação 2012/13. As culturas de maior destaque são: soja, com um aumento de 8,7%; trigo, com 20,7%; feijão levando em consideração todas as variedades teve um crescimento de 8,4% e algodão, com 25,4%. A cultura que teve um decréscimo na área plantada foi o milho, apresentando uma redução de 0,4% (CONAB, 2014).

Em muitos países a água consumida na agricultura pode atingir 70% da água disponível em seu território (TUNDISI, 2008). A água é de fundamental importância no ciclo de desenvolvimento da cultura, na cultura da soja a água constitui aproximadamente 90% do peso da planta, atuando em todos os processos fisiológicos e bioquímicos e também na regulação térmica da planta. A necessidade de água na cultura aumenta com o seu desenvolvimento, atingindo o ápice durante a floração-enchimento de grãos (EMBRAPA, 2014).

Com o aumento da área cultivada no Brasil e a importância da água no ciclo de vida das culturas, estudos sobre erosão hídrica, escoamento superficial e a influência das chuvas sobre aplicações de produtos fitossanitários são importantes.

A erosão hídrica é um problema que assola a agricultura, degrada os recursos naturais e compromete a capacidade produtiva dos solos. É um processo de desprendimento e arraste das partículas do solo pela água, sendo uma das principais causas de deterioração acelerada das terras utilizadas para agricultura (OLIVEIRA et al. 2005). As perdas de material orgânico ocorrido pelo processo erosivo tendem a elevar os custos de produção devido a necessidade da utilização de insumos corretivos. Os estudos realizados sobre erosão hídrica têm o objetivo de avaliar as perdas de solo e água e caracterização dos tipos de solo do ponto de vista erosivo.

A água é o agente que acelera a ocorrência da erosão do solo, agindo para separar as partículas e os agregados do solo, é o principal meio de contaminação de mananciais de água

superficial devido ao transporte de sedimento e de produtos químicos. O transporte de material sólido pode ter impacto ao longo do tempo sobre os recursos hídricos. Os estudos realizados para determinar o escoamento superficial têm o objetivo de determinar as perdas de material sob diferentes padrões de chuva e estudar a importância da cobertura vegetal em diferentes tipos de solo.

A ocorrência de chuvas após uma aplicação de um produto fitossanitário pode resultar em perdas de eficiência e contaminação de mananciais. Os estudos realizados sobre persistência de produtos fitossanitários têm o objetivo de estudar a influência das chuvas em vários momentos após a aplicação, os resultados auxiliam no desenvolvimento de novos produtos.

Na realização dos estudos são utilizados equipamentos denominados de simuladores de chuva, que aplicam a água por aspersão, com a possibilidade de controlar a intensidade da precipitação, o tamanho e a velocidade de impacto das gotas sobre a parcela do solo em estudo (MONTEBELLER, 2001).

Os simuladores de chuva contribuem para a pesquisa e estudos do comportamento do solo, erosão hídrica e persistência de produtos fitossanitários. Cada um dos estudos apresenta características especiais, o que torna o projeto de um simulador de chuva complexo. Desta forma, muitos dos simuladores de chuva existentes foram desenvolvidos para atender a determinadas necessidades o que restringe a sua aplicação a área da parcela ou intensidades máximas de chuvas a serem simuladas.

Com o avanço da eletrônica na década de 1990 a utilização da eletrônica embarcada em máquinas agrícolas cresceu. De acordo com Antuniassi e Boller (2011) o emprego de equipamento eletrônicos como controladores tem proporcionado uma revolução em termos de gerenciamento de dados e controle operacional, embora por outro lado os custos tendem a aumentar.

O sucesso da automação em máquinas e equipamentos é citada por Ribeiro (2011) como sendo a utilização da eletrônica microprocessada, onde é possível utilizar sistemas programáveis. Devido ao programa ser armazenado em um chip de memória a atualização do programa ou alteração de uma simples linha na programação é realizada rapidamente, reduzindo custo e aumentando a produtividade.

A constante evolução tecnológica e desenvolvimento de novos sistemas técnicos permite desenvolver sistemas voltados para melhorar os processos produtivos e pesquisa.

Segundo Santos et al. (2014), os modelos de simuladores de chuva foram desenvolvidos para atender necessidades específicas de cada ensaio ou teste, há concepções

que apresentam maior nível de automação e controle, apresentando eletroválvulas, controladores programáveis, comunicação com computador que permite um maior número de repetições da chuva com a mesma característica, desta forma os resultados tendem a ser mais confiáveis. Esses modelos são principalmente utilizados em laboratório, e os modelos que apresentam sistemas de automação e controle que podem ser utilizados em campo tendem a ser mais complexos na montagem e preparação do simulador de chuva para realizar os estudos.

## **1.1 Questão de pesquisa**

Em uma abordagem de Engenharia, um problema origina-se de necessidades práticas, muitas vezes influenciados por fatores econômicos. As necessidades motivam uma ação tecnológica de tal forma que o conhecimento do estado da arte resulte em uma proposição de uma concepção ao ser analisado tecnicamente e economicamente (BAZZO & PEREIRA, 1996).

Desta forma, a questão de pesquisa do trabalho é:

*Como é possível controlar o processo de geração de chuva simulada em ensaios de persistência de produtos fitossanitários, erosão hídrica e escoamento superficial da água?*

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Desenvolver a concepção de um sistema técnico automatizado para o controle do processo de geração de chuva em experimentos de laboratório.

### **1.2.2 Objetivo específico**

Os objetivos específicos são tarefas parciais que contribuem para o alcance do objetivo geral do projeto, são eles:

- Estudo dos tipos de ensaio com simulador de chuva para definir as características do sistema de proposto;
- Desenvolvimento da lógica de programação e montagem do protótipo;
- Verificação experimental do sistema de controle para calibração do sensor de vazão;
- Desenvolvimento de uma sistemática de experimentos de laboratório para verificação do funcionamento do sistema de controle de chuva;
- Verificação do funcionamento do sistema de controle de chuva.

### **1.3 Justificativa**

No Brasil os simuladores de chuva são utilizados principalmente para experimentos de erosão hídrica, escoamento superficial e persistência de agrotóxicos, os modelos foram desenvolvidos principalmente entre as décadas de 1960 e 1970, pesquisadores tem trabalhado na renovação desses equipamentos, novos modelos foram projetados para atender a necessidades específicas de região ou tipo de estudo. A utilizados dos simuladores de chuva possibilita coletar resultados em um menor espaço de tempo, que se comparado com a utilização da chuva natural, também apresentam a possibilidade de realizar inúmeras chuvas com as mesmas características de intensidade e tamanho de gota.

Alguns dos modelos mais atuais de simuladores de chuva foram projetados com a utilização de componentes eletrônicos, porém são modelos utilizados principalmente em laboratório e as parcelas tendem a ser menores, geralmente entre 0,5 m<sup>2</sup> e 1 m<sup>2</sup>.

A utilização da eletrônica embarcada tem auxiliado no desenvolvimento de pesquisas. Os circuitos eletrônicos são programados para executar a operação sem interferência humana, com a possibilidade de gerar relatórios coletando os parâmetros utilizados para gerar a chuva e os dados podem ser salvos em cartões de memória ou exportados para um computador.

A utilização de microcontroladores em um projeto de sistema de controle e automação se justifica pela flexibilidade da programação, pois o software pode ser facilmente alterado, apresentando periféricos internos que aumentam o campo de aplicação, baixo consumo de energia, menor tamanho e peso, fácil integração entre os sensores, características que tornam os microcontroladores a solução escolhida no desenvolvimento do trabalho.

## 1.4 Estrutura da Dissertação

O trabalho está estruturado em cinco capítulos, sendo:

No capítulo 1 são apresentados o tema, contexto e foco do trabalho, os objetivos gerais e específicos e a questão de pesquisa.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica, no primeiro momento são abordados os experimentos (erosão hídrica, escoamento superficial e persistência de produtos fitossanitários), as principais características de cada ensaio. Em um segundo momento, são estudados os principais modelos de simuladores de chuva, suas características e especificações técnicas de cada modelo. Finalizando com uma revisão sobre as tecnologias eletrônicas, sistemas de arquiteturas e diferenças entre microprocessadores e microcontroladores.

No capítulo 3 é feita a descrição dos materiais e métodos. O projeto do sistema de controle foi estruturado em cinco fases, informação (necessidades dos clientes, requisitos de projeto, especificações de projeto), definição (diagrama de blocos do sistema eletrônico), criação (programação do software do sistema proposto, e construção do protótipo). A fase de avaliação foi dividida em duas etapas, na primeira foi realizada a calibração do sensor de vazão com a bomba e na segunda etapa foram realizados testes de funcionamento, na fase de avaliação também foi proposto uma sistemática de experimentos em laboratório utilizando o sistema de controle. A fase de decisão apresenta as conclusões do trabalho. Cada fase apresenta entrada e saída de informação, convergindo para o atendimento dos objetivos específicos e geral.

No capítulo 4 são apresentados os resultados e discussões. É apresentado o desenvolvimento das cinco fases apresentadas no capítulo 3, desde as necessidades dos clientes até a construção do sistema controlador protótipo e a realização de experimentos utilizando a sistemática de experimentos em laboratório proposto.

Finalizando a dissertação no capítulo 5 são descritas as conclusões do projeto, verificando o atendimento do objetivo geral e específicos.



## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Na revisão bibliográfica são apresentados os ensaios com simuladores de chuva, os modelos de simuladores de chuva e suas características e os sistemas eletrônicos em automação.

### **2.1 Ensaios com simuladores de chuva**

Os simuladores de chuvas são utilizados para pesquisa e estudos principalmente na avaliação de perdas de solo, água e nutrientes por meio da erosão hídrica, infiltração de água e lixiviação de compostos ou metais em solos (RIBEIRO et al., 2000).

#### **2.1.1 Erosão hídrica**

A erosão do solo corresponde ao processo de desprendimento e arraste das partículas do solo pela água e pelo vento, as chuvas, infiltração, topografia do terreno são fatores que influenciam na magnitude do processo erosivo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005). Ao ano aproximadamente  $190 \times 10^9$  t de sedimentos são transportados pelo processo erosivo do solo, 10% do total vão parar nos oceanos (LAL, 1995).

As perdas de material orgânico devido a erosão tendem a elevar os custos de produção devido a necessidade da utilização de insumos corretivos (PRUSKI, 2006). É importante conhecer o comportamento dos solos submetidos a ação de diferentes precipitações devido a chuva ser o principal fator de influência no processo de (CARVALHO et al. 2005). Flanagan et al. (1988) destaca a importância da caracterização das perdas de solo utilizando simuladores de chuvas, uma vez que as características de solo mudam em cada região.

Para avaliar perdas de solo e água Carvalho et al. (2002), utilizou um simulador de chuva que simulava diferentes valores de energia cinética. A influência da cobertura do solo

no processo de erosão foi avaliada por Oliveira (2007) utilizando um simulador de chuva que simula diferentes precipitações.

Estudos realizados em diferentes momentos da cultura do milho foram realizados por Volk & Cogo (2014) para verificar a influência de diferentes métodos de preparo do solo e semeadura, a avaliação das perdas de solo e água foi realizada com chuva simulada, com intensidades de 64 mm.h<sup>-1</sup> durante 120 min em parcelas de 3,5 m x 11 m. O sistema gerador de chuva é um modelo similar ao desenvolvido por Swanson em 1965 (Swanson, 1965), constituído por braços rotativos e gotas de chuva geradas por meio de bicos de aspersores. A taxa de descarga da enxurrada foi obtida diretamente com o auxílio de uma proveta graduada e um cronômetro, sendo coletado desde o começo do teste até o final. A taxa de sedimentos foi medida por meio da secagem de amostras em estufa a uma temperatura de 60°C.

### 2.1.2 escoamento superficial

Nos estudos de escoamento superficial os simuladores de chuva são utilizados para avaliar as perdas de solo e água. São vários os fatores relacionados com o processo de escoamento superficial, quanto maior a porcentagem de cobertura vegetal maior é a taxa de infiltração de água no solo, e conseqüentemente menores serão as perdas por escoamento superficial. Além desses fatores, a inclinação do terreno atua no processo de perdas de solo e água, quanto maior a inclinação do terreno maior é a velocidade de escoamento superficial, de tal forma que a taxa de infiltração da água no solo será menor (PRUSKI et al. 2003).

Um simulador de chuva do tipo estacionário com múltiplos bicos oscilantes foi utilizado por Spohr et al. (2009) para estudar o escoamento superficial do solo, os bicos foram instalados a 2,45 metros acima da superfície do solo com uma pressão de 41,4 kPa (0,414 bar). Foram determinados dois cenários com seis repetições, o primeiro cenário simulava chuva de 30, 60 e 120 mm.h<sup>-1</sup>, e o segundo cenário simulava chuvas no mesmo local 24 horas após a execução do primeiro cenário. O experimento foi realizado em seis parcelas delimitadas por chapas metálicas com dimensões de 1,0 x 0,5 m (0,5 m<sup>2</sup>), o solo apresentava uma inclinação para que houvesse um escoamento da água, sendo coletada e determinado o escoamento superficial.

Um modelo de simulador de chuva portátil foi utilizado por Carvalho et al. (2012) para determinar as perdas de água e solo sob diferentes padrões, equipado com bicos e

calibrado para simular chuvas com as características similar a chuva natural. O experimento foi realizado em quatro parcelas de 0,80 m<sup>2</sup> com cinco repetições, primeiramente foi realizado uma chuva de 15 a 20 mm.h-1 para uniformizar a umidade do solo, em seguida foram aplicadas chuvas de 30 mm.h-1 para representar a lâmina média das chuvas ocorridas na região do experimento, posteriormente foram simuladas chuvas de 110 mm.h-1 representando padrões avançados de chuva.

### 2.1.3 Persistência de produtos fitossanitários

As precipitações pluviométricas ocorridas após a aplicação de um determinado produto fitossanitário podem comprometer o desempenho na fase de pós-emergência (BEHRENS & ELAKKAD, 1981).

Um simulador de chuva que simula intensidades de até 19 mm.h-1 foi utilizado por Pedrinho et al. (2002) para estudar a influência das chuvas simuladas em vários momentos após a aplicação de herbicidas, o estudo foi realizado no inverno e no verão do mesmo ano. Por apresentar uma absorção relativamente lenta os herbicidas em estudo não são recomendados em períodos chuvosos. O experimento foi realizado em parcelas de 3,0 m x 3,5 m e 3,0 m x 4,0 m, sendo definidos cenários para a aplicação dos herbicidas e várias faixas de tempo após sua aplicação para aplicar a chuva simulada.

A influência da chuva simulada após a aplicação de herbicidas em pós-emergência foi estudada por Bastiani et al. (2000) para verificar o controle de plantas daninhas (exponthânes) na cultura do milho. Foi aplicada chuva com intensidade de 60 mm.h-1 nos tempos 0, 15, 30, 60 e 120 min. O sistema gerador de chuva simulada é composto por dois bicos aspersores montados em uma estrutura metálica regulável que é posicionado sobre a mesa onde estão dispostos os vasos com as amostras.

A eficiência do Glyphosate no controle de plantas exponthâneas, como a *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Pistia stratiotes* (alface-d'água) foi verificado por Souza et al. (2011) que utilizou um simulador de chuva estacionário com uma intensidade de 12 mm durante 5 min, as plantas daninhas foram mantidas em vasos plásticos com 15 cm x 15 cm x 15 cm.

## 2.2 Simuladores de chuva

Os primeiros simuladores de chuva foram desenvolvidos a partir de 1930 nos Estados Unidos com a finalidade de realizar estudos e testes sobre o comportamento da erosão de solos, infiltração da água e a influência da chuva sobre a aplicação de produtos fitossanitários. A falta de dados sobre as características de energia cinética da gota, tamanho e o impacto sobre a superfície do solo limitou os estudos em comparação da intensidade e uniformidade da chuva simulada com a chuva natural (ALVES SOBRINHO, 1997).

Diferentes modelos de simuladores de chuva foram desenvolvidos a partir de 1930, são destaque os modelos desenvolvidos por Meyer & McCune de 1958 (Figura 1) e o modelo mais utilizado atualmente proposto por Swanson em 1965 (Figura 2).

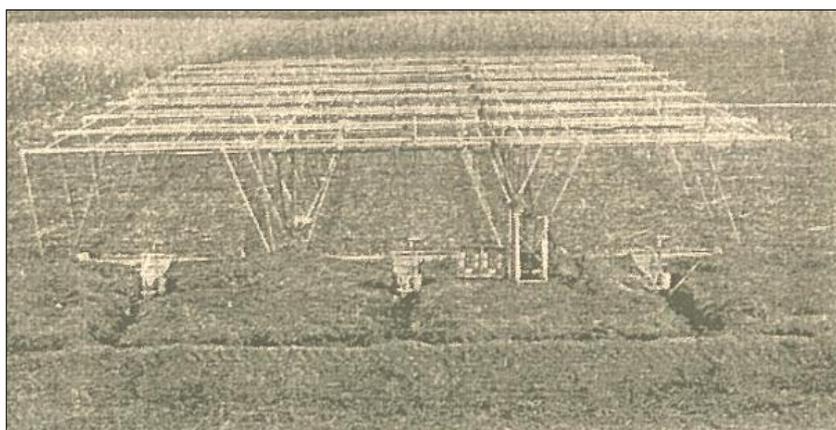


Figura 1 – Simulador de chuva modelo Meyer & McCune de 1958

Fonte: Meyer & McCune (1958).

O modelo de Meyer & McCune em 1958 foi desenvolvido para realizar estudos sobre o escoamento superficial da água em parcelas experimentais, o modelo era constituído por bicos aspersores modelo Veejet 80.100 e tinha a possibilidade de ser transportado até o local dos ensaios. Por apresentar uma grande estrutura necessitava uma maior mão-de-obra para montagem, gerando um maior tempo no processo de preparação do simulador de chuva.

Já o modelo de Swanson de 1965 (Figura 2) apresentava uma maior mobilidade, com um projeto mais simples apresentava braços rotativos onde os bicos aspersores eram fixados. O sistema de bombeamento requiritava uma fonte de alimentação próxima do local dos ensaios, como lago, açude ou reboque com tanque auxiliar.



Figura 2 – Simulador de chuva modelo Swanson de 1965

Fonte: Swanson (1965).

Em 1983 Pall et al. (1983) desenvolveram um sistema gerador de chuva simulada para os estudos com erosão do solo. Apresentava um disco rotativo com abertura variável o que possibilitava uma grande capacidade de variação de intensidade, um sistema compacto para utilização em laboratório (Figura 3).

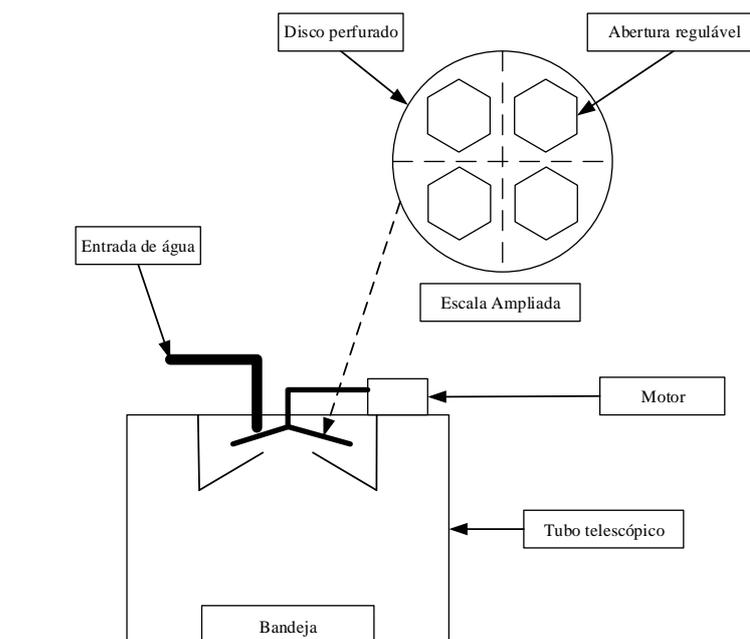


Figura 3 – Esquema do simulador de chuva desenvolvido por Pall et al. 1983

Fonte: Adaptado Pall et al. (1983).

Alves Sobrinho (1997), desenvolveu um infiltrômetro de aspersão portátil (Figura 4), sua estrutura foi construída com tubos galvanizados, o sistema de acionamento é composto por um motor elétrico de 0,5 cv. Para controlar a intensidade das precipitações o sistema é composto por um dispositivo interceptor de água, e uma bomba centrífuga realiza o recalque de um reservatório de 200 litros. Com essas características o simulador aplica chuva simulada

em parcelas de 0,70 m<sup>2</sup> e com energia cinética acima de 90% da chuva natural para intensidades de precipitações de até 100 mm.h-1.



Figura 4 – Simulador de chuva desenvolvido por Alves Sobrinho em 1997

Fonte: Alves Sobrinho (1997).

Norton e Savabi (2010) utilizaram em seus experimentos um simulador de chuva que apresentava uma programação que era executada em um microcomputador, um arquivo era importado no sistema com a intensidade e tempo e o sinal é enviado por meio de uma porta paralela até um solenoide que executava a operação (Figura 5).

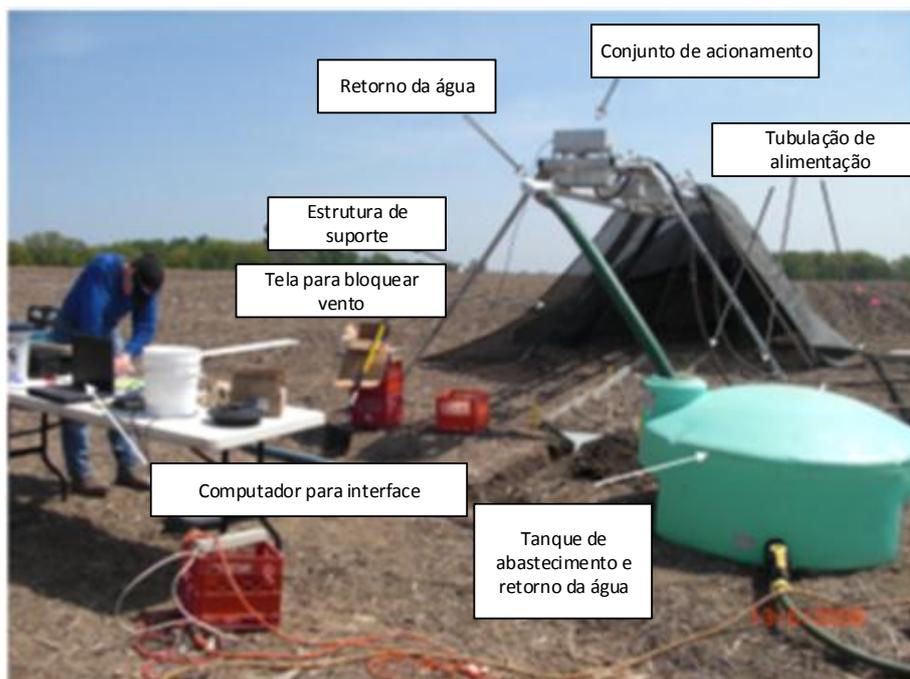


Figura 5 – Simulador de chuva automatizado com o uso de microcomputador

Fonte: Adaptado Norton e Savabi (2010).

Os modelos que apresentam um maior nível de automação e controle do processo de geração de chuva simulada são concepções utilizadas principalmente em laboratórios, por necessitar de uma maior estrutura física de montagem e alimentação de energia (SANTOS et al. 2014).

### **2.3 Sistemas eletrônicos em automação**

Na agricultura, os sistemas eletrônicos e automáticos estão presentes na agricultura de precisão, sendo um conjunto de tecnologias e processos para otimização da produção agrícola (MOLIN, 2001).

A constante evolução das áreas de microeletrônica, sensores, computadores, telecomunicações, possibilita que uma determinada prática ou tecnologia que era considerada inviável tecnicamente e economicamente seja viável com o resultado da pesquisa e aperfeiçoamento. Com a constante inovação tecnológica observa-se uma crescente demanda por profissionais qualificados para operar instrumento complexos. No Brasil os especialistas são escassos, precisando atuar de forma otimizada evitando o desperdício de tempo em operações repetitivas no campo. Desta forma, a automação dos processos e o uso de sistemas autônomos para coleta e armazenamento de dados é uma alternativa para atender a otimização dos recursos humanos (TABILE et al. 2011).

Segundo Antuniassi e Boller (2011) com o avanço da eletrônica na década de 1990 a utilização da eletrônica embarcada em máquinas agrícolas cresceu, a utilização de equipamentos eletrônicos como controladores tem proporcionado uma revolução em termos de gerenciamento de dados e controle operacional, porém os custos tendem a aumentar.

A utilização de sistemas eletrônicos, atuadores e sensores proporciona a automação de tarefas. Segundo Ribeiro (2011) a automação é a passagem do trabalho realizado pelo ser humano ou animal por um sistema técnico mecanizado com a capacidade de realizar as mesmas tarefas e atividades com o controle de processos e a mínima interferência humana. Complementado o conceito de automação Bayer et al. (2011) define automação como a tecnologia que se ocupa da utilização dos sistemas mecânicos, eletroeletrônicos e computacionais na operação e controle da produção.

O sucesso da automação em máquinas e equipamentos está relacionada com a utilização da eletrônica microprocessada, onde é possível utilizar sistemas programáveis. O

programa é armazenado em um chip de memória que desta forma qualquer alteração na programação pode ser realizada de forma rápida, reduzindo custo e aumentando a produtividade (RIBEIRO, 2011).

Há muitos anos a agricultura vem utilizando sistemas eletrônicos no controle de várias funções, por meio do termo agricultura de precisão, Guimarães (2007) destaca cada vez mais a busca na redução do consumo de insumos e o aumento da produtividade.

A agricultura de precisão busca melhorar a eficiência dos processos agrícolas. Para isso, é importante o domínio dos mais diversos dados, que são adquiridos por sistemas eletroeletrônicos interligados, onde cada sistema é responsável por realizar uma função clara e bem definida. A interligação entre os sistemas é conhecida por protocolos de comunicação, para a agricultura existem requisitos mínimos, sendo: trabalhar em ambientes móveis; ser resistente a situações nocivas; ter menor número de cabos de interligação; menor manutenção; menor tempo para conexão dos equipamentos; ser imune a interferências eletromagnéticas; garantir velocidade de transmissão dos dados e permitir interoperabilidade entre equipamentos de diferentes marcas (GUIMARÃES, 2007).

Para garantir a intercambiabilidade entre as marcas de máquinas e equipamentos agrícolas existem os protocolos de comunicação em rede, tendo destaque na agricultura os protocolos SAE J1939, DIN 9684 (LBS) e ISO 11783, que foram desenvolvidos considerando o padrão CAN Bus<sup>1</sup> (barramento Controller Area Network), desenvolvido pela empresa alemã Robert BOSCH. O CAN funciona com o sincronismo entre os módulos e as mensagens são enviadas ao barramento em intervalos de tempo conhecidos. Atualmente, o protocolo mais indicado para a agricultura é o ISO 11783 (GUIMARÃES, 2007).

Os problemas e necessidades dos sistemas agrícolas atuais estão na robustez mecânica e elétrica. Desta forma, o controlador deve permitir rápida montagem e desmontagem da máquina/implemento, também é recomendado que os componentes possam ser substituídos por peças de diferentes fornecedores (GUIMARÃES, 2007).

No processo de automação e controle de um simulador de chuva é necessário definir a arquitetura do sistema eletrônico. Segundo Guimarães (2007), arquitetura eletrônica ou elétrica são as formas como os diversos sistemas de controle são implementados e como ele estão interconectados, sendo classificados em:

---

<sup>1</sup> Em tradução livre, a palavra BUS significa ônibus. Em sistemas eletrônicos, significa a capacidade de transportar/enviar grande quantidade de informação ao mesmo tempo.

- Arquitetura Centralizada: São os sistemas técnicos que apresentam uma única unidade de controle eletrônico (ECU), que recebe os sinais de entrada, realiza o processamento dos dados e envia os sinais para os atuadores (Figura 6a).
- Arquitetura Distribuída: São sistemas técnicos que apresentam mais de uma ECU interligada, cada uma é responsável por realizar uma função (Figura 6b).

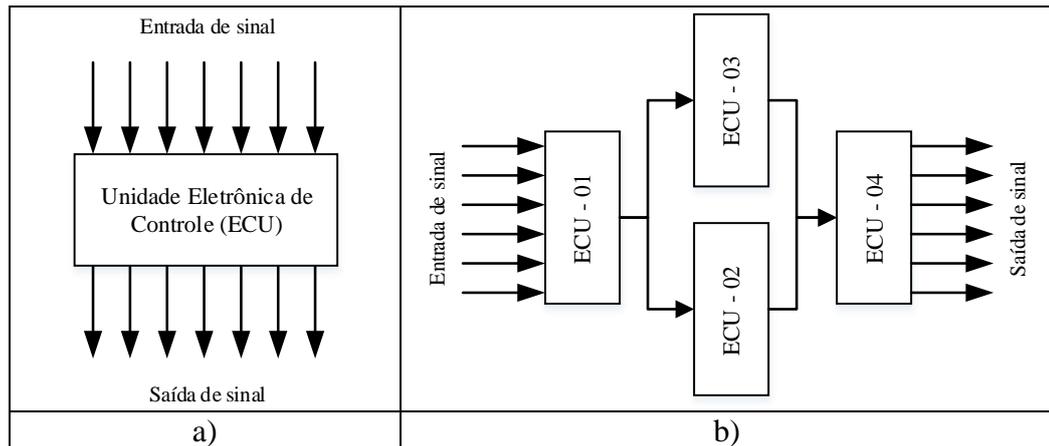


Figura 6 – a) Arquitetura centralizada. b) Arquitetura distribuída

Fonte: Adaptado Guimarães (2007).

Para o desenvolvimento de um sistema eletrônico devem ser considerados os seguintes fatores para definição do tipo de arquitetura:

- Quantidade de variáveis de entrada e saída;
- Presença de componentes de medição e atuação;
- Robustez mecânica;
- Tempo para implementação da arquitetura e construção do protótipo;
- Custo do sistema final.

### 2.3.1 Microprocessadores

Um microprocessador é um circuito integrado em larga escala (VLSI), que contém a maioria dos componentes lógicos digitais, geralmente são associados a um computador digital. O principal componente de um microcomputador é o microprocessador, é um circuito

programável e sua programação pode ser facilmente alterada para atender novas demandas de aplicação (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 2006).

O microprocessador executa várias funções (instruções) bem definidas. A cada instante o microprocessador executa uma instrução específica, quando é criada uma série de instruções, recebe o nome de tarefa, o conjunto de tarefas que o microprocessador é responsável por realizar, é denominado de programa (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 2006). Porém o microprocessador depende de uma série de componentes para o seu funcionamento, com isso o microprocessador apresenta uma série de portas de entrada e saída por onde o sinal de informação é transmitido (Figura 7).

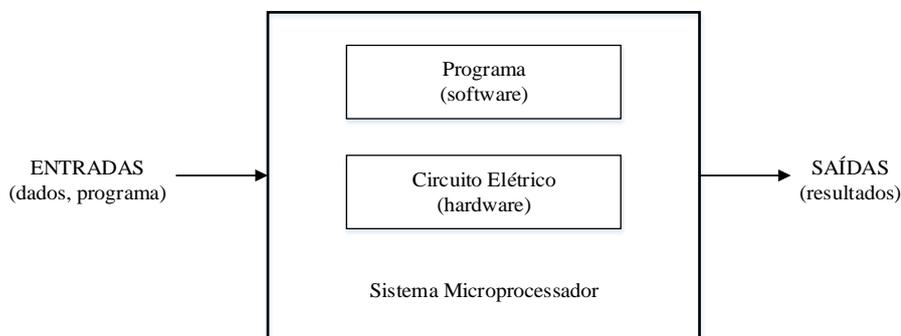


Figura 7 – Sistema genérico de um microprocessador

Fonte: Adaptado Ministério do Trabalho e Emprego (2006).

Um sistema microprocessado, segundo Guimarães (2007) apresenta: microprocessador; memória ROM (memória de leitura); memória RAM (memória de processamento) e periféricos que são (circuitos que proporcionam flexibilidade ao microcontrolador para realizar controle de dispositivos e são conectados ao sistema) e barramento (Figura 8).

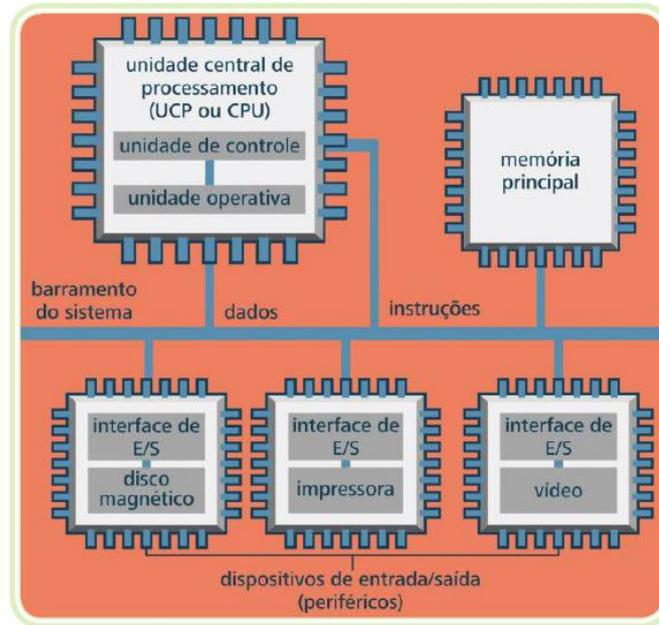


Figura 8 – Diagrama de blocos de um microprocessador

Fonte: Bonaldo (2009).

### 2.3.2 Microcontroladores

Os microcontroladores apresentam características especiais, em um único chip apresentam um sistema microprocessado (TANENBAUM, 2007), tornando a implementação em circuitos dedicados, principalmente em circuitos de eletrônica embarcada, mais simples e rápida. Na Figura 9 é apresentado um exemplo do diagrama da posição dos pinos do microcontrolador PIC18F4520.

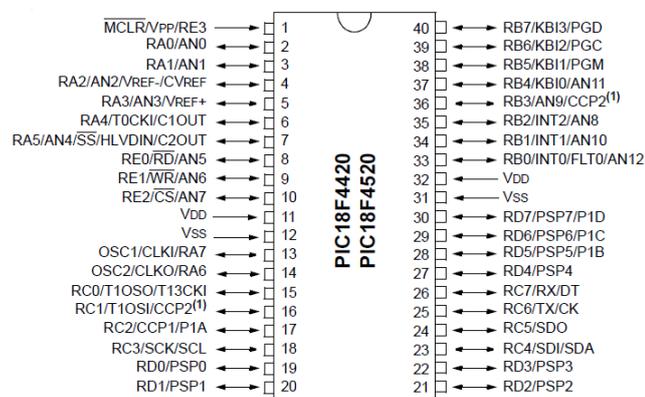


Figura 9 – Diagrama de pinos do microcontrolador PIC18F4520

Fonte: Microship (2009).

Estão integrados aos microcontroladores (Figura 10) a memória de armazenamento, memória RAM, o microprocessador, conversor analógico/digital, e alguns microprocessadores apresentam outros recursos internos, por exemplo, temporizadores, contadores e gerador de modulação por largura de pulso (PWM) (CORTELETTI, 2007).

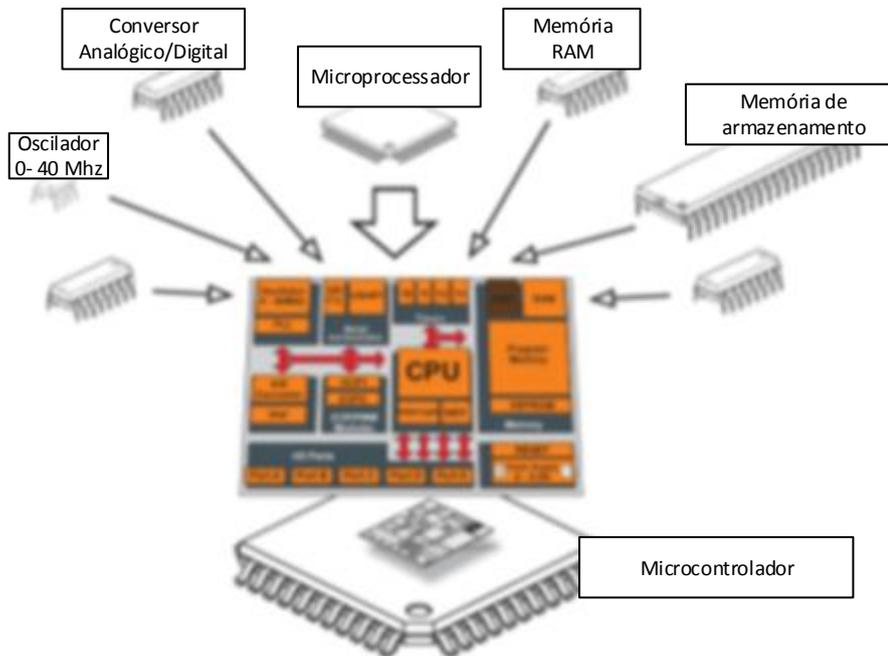


Figura 10 – Componentes de um microcontrolador

Fonte: Adaptado Verle (2009).

Por apresentar os componentes integrados, os microcontroladores não precisam de componentes externos, por exemplo memória RAM ou memória de armazenamento para o projeto de automação e controle de um simulador de chuva, com isso um microcontrolador representa economia de tempo e de espaço em um projeto de comando eletrônico (VERLE, 2009).

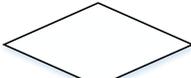
### 2.3.3 Linguagens de programação para microcontroladores

Os microcontroladores podem ser programados utilizando a linguagem conhecida como linguagem de montagem. Por ser uma linguagem considerada de baixo nível é altamente dependente do hardware e do controlador para qual ela foi programada. Tal situação levou a pesquisa de novas linguagens que proporcionam maior simplicidade de

programação com menores instruções e menos dependente do hardware e do controlador. Com isso surgiram as linguagens consideradas de alto nível como Fortran, Pascal, Basic, C e C++. Estas linguagens de alto nível buscam refletir melhor os processos humanos de resolução de problemas (PEREIRA, 2004).

Em microcontroladores a linguagem de alto nível mais utilizada atualmente é a linguagem C, é uma linguagem estruturada e permite uma melhor integração entre o programador e o software, também permite que um determinado problema possa ser dividido em partes menores para facilitar a resolução (VERLE, 2009).

Um algoritmo é uma sequência finita de passos que levam à execução de uma tarefa. As tarefas não podem ser redundantes nem subjetivas na sua programação, elas precisam ser claras e precisas. Para organizar as informações o diagrama de blocos é uma forma padronizada para representar os passos lógicos de um determinado processamento. São utilizados símbolos com significados específicos, conforme mostrado no Quadro 1 (MORAES, 2000).

Símbolo	Função
 TERMINAL	Indica o início ou fim de um processamento
 PROCESSAMENTO	Processamento em geral
 ENTRADA DE DADOS	Indica entrada de dados
 EXIBIR	Mostra informações ou resultados
 TOMADA DE DECISÃO	Indica uma decisão a ser tomada pelo operador ou automaticamente por meio da programação

Quadro 1 – Simbologia de diagrama de blocos

Fonte: Adaptado Moraes (2000).

## 2.4 Processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas

Um projeto de engenharia é uma atividade desenvolvida para o atendimento das necessidades humanas por meio de fatores tecnológicos. De uma forma geral Back (1983), apresenta dois tipos de projeto, por evolução e por inovação. Um projeto por evolução consiste na utilização das frequentes descobertas científicas e tecnológicas que permitem melhorar produtos existentes, esse tipo de projeto apresenta menores riscos de falhas devido ao conhecimento prévio de desempenho do produto, porém apresenta baixa competitividade no mercado para a empresa. Um projeto por inovação consiste em aplicar uma descoberta científica para desenvolver um novo conjunto de conhecimento técnicos para realizar um projeto com base em ideias anteriormente não experimentadas, os resultados não são conhecidos, os riscos são grandes, porém proporciona desenvolver um produto inovador e vantagem competitiva para as empresas.

O termo produto refere-se a um objeto produzido industrialmente com características e funções bem definidas para atender as necessidades e expectativas das pessoas ou organizações. O produto é um conjunto de atributos básicos tais como: aparência, forma, cor, função, imagem, material, embalagem, marca, serviços pós-venda e garantias. Desta forma o conceito de desenvolvimento integrado de produto é o processo de transformação de informações necessárias para a identificação da demanda, produção e o uso do produto pelo cliente (BACK et al. 2008).

O modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas (MR-PDMA) foi desenvolvido por Romano (2013). A Figura 11 apresenta a decomposição do processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas em três macrofases: Planejamento, corresponde ao planejamento do produto e apresenta como saída a elaboração do plano de projeto do produto; Projetação, é decomposto em quatro fases, informacional, conceitual, preliminar e detalhado, cada fase apresenta resultados claros e bem definidos para o projeto; e Implementação, é decomposto em três fases, preparação para a produção, lançamento e validação (ROMANO, 2013).

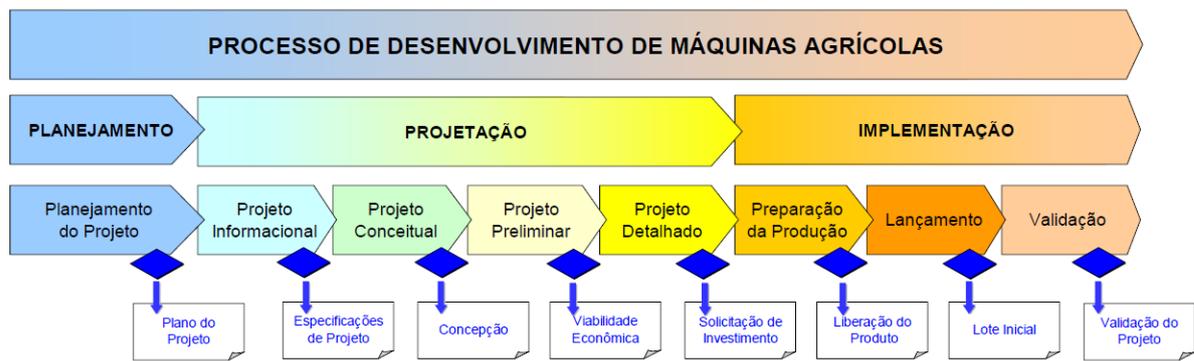


Figura 11 – Processo, macrofase, fase e saídas de referência para o PDMA

Fonte: Romano (2013).

Do ponto de vista do projeto, a etapa mais crítica do processo é a coleta das necessidades dos clientes, as necessidades dos clientes são a voz do cliente e devem ser atendidas com prioridade. Desta forma, as necessidades do cliente são as palavras que expressam a vontade, expectativas e desejos do consumidor sendo expressa em linguagem popular sem padronização de termos e classificações (BACK et al. 2008).

Com a informação das necessidades dos clientes é aplicado o diagrama de Mudge, com a finalidade de hierarquizar os requisitos segundo o grau de importância. Os mesmos são comparados aos pares e atribuído um fator peso em razão do grau da importância (PEREIRA FILHO, 1994). Os fatores peso utilizados para determinar o grau de importância pode variar de 1 a 5 ou conforme o grupo de projetos definir, sendo uma avaliação quantitativa da importância relativa. Na Figura 12 é apresentado um modelo da utilização do diagrama de Mudge para o projeto de postos de operações de tratores.

	Requisitos			Número de pontos	Importância (%)
	2	3	4		
1	1B <sup>(2)</sup>	1B	1A	11	70,00
	2	2C	2B	4	25,00
		3	3C	1	0,05
		4		0	0,00
Total			21	100,00	

<sup>(1)</sup>1 = órgãos de comandos distribuídos adequadamente; 2 = comodidade dos assentos; 3 = acessibilidade dos degraus projetados adequadamente; 4 = presença de espaços e movimentação interna adequados.

<sup>(2)</sup>A = 5, maior grau de importância; B = 3, médio grau de importância; C = 1, menor grau de importância.

Figura 12 – Modelo da utilização do diagrama de Mudge

Fonte: Adaptado Santos et al. (2008).

Os requisitos dos clientes são geralmente expressos em linguagem popular, esta precisa ser traduzida para termos técnicos, segundo Romano (2013) devem ser considerados diferentes atributos: funcionais, ergonômicos, segurança, confiabilidade modularidade, estéticos, legais, entre outros. Com a tradução, os requisitos de projeto são descritos em uma linguagem técnica e indicam como cada um dos requisitos dos clientes podem ser atendidos, segundo Fonseca (2000) os requisitos de projeto são os aspectos físicos e técnicos mensuráveis do produto.

Com a hierarquização dos requisitos dos clientes e os requisitos do projeto são estabelecidas as especificações de projeto, sendo utilizado o método do desdobramento da função qualidade, conhecido como QFD (Quality Function Deployment). O método foi desenvolvido durante a década de 1960 com a união dos trabalhos de Yoji Akao e Shigeru Muzino, devido a indústria automobilística japonesa ter a necessidade de uma ferramenta que garantisse a qualidade do produto desde a fase de projeto. O método ouve as exigências dos clientes e as traduz em características mensuráveis, o método de disseminou pelo mundo e chegou no Brasil na década de 1990 (CARNAVELLI et al. 2004).

O modelo conceitual do QFD realiza o desdobramento em quatro ênfases: qualidade; tecnologia; custos e confiabilidade. O desdobramento da qualidade tem por objetivo sistematizar o processo de engenharia simultânea do desenvolvimento do produto, permitindo relacionar os requisitos de clientes com os requisitos de projeto, resultando na sua transformação final em especificações de projeto (PEIXOTO et al. 1998).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Em material e métodos é apresentado a metodologia utilizada no desenvolvimento do projeto e os materiais utilizados na montagem do protótipo.

#### 3.1 Metodologia

As etapas de trabalho do sistema de controle e automação para um simulador de chuva seguiram o modelo proposto por Pahl et al. (2005). Conforme a Figura 13, foram utilizadas as fases de informação, definição, criação, avaliação e decisão com o objetivo de orientar o desenvolvimento do projeto.

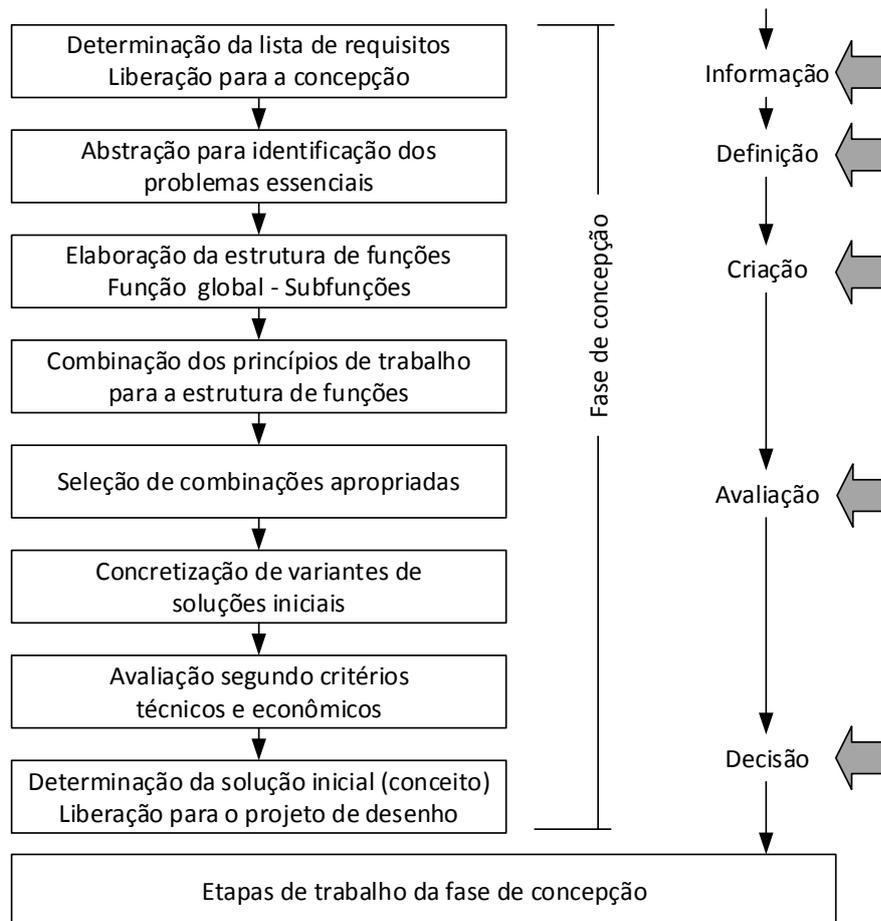


Figura 13 – Etapas de trabalho da fase de concepção

Fonte: Pahl et al. (2005).

O desenvolvimento do projeto seguiu as atividades apresentadas na Figura 14. Foi dividido em cinco etapas, informação, definição, criação, avaliação e conclusão. Na fase de informação foram realizadas as atividades de levantamento das necessidades dos clientes, requisitos de projeto, especificações de projeto.

Na fase de definição foi elaborado o diagrama de blocos do fluxo de informação que o sistema de controle deve seguir. Na fase de criação foi realizada a programação do software da placa de comando e a montagem do protótipo da concepção. A fase de avaliação é proposta uma sistemática para avaliação de diferentes bicos com relação ao perfil de distribuição e energia cinética. Na fase de decisão foi dividida em duas etapas, na etapa I foi realizada a calibração do sensor de vazão com a bomba utilizada para o recalque da água, na etapa II foi utilizado o protótipo do sistema de controle para simular condições de experimentos.

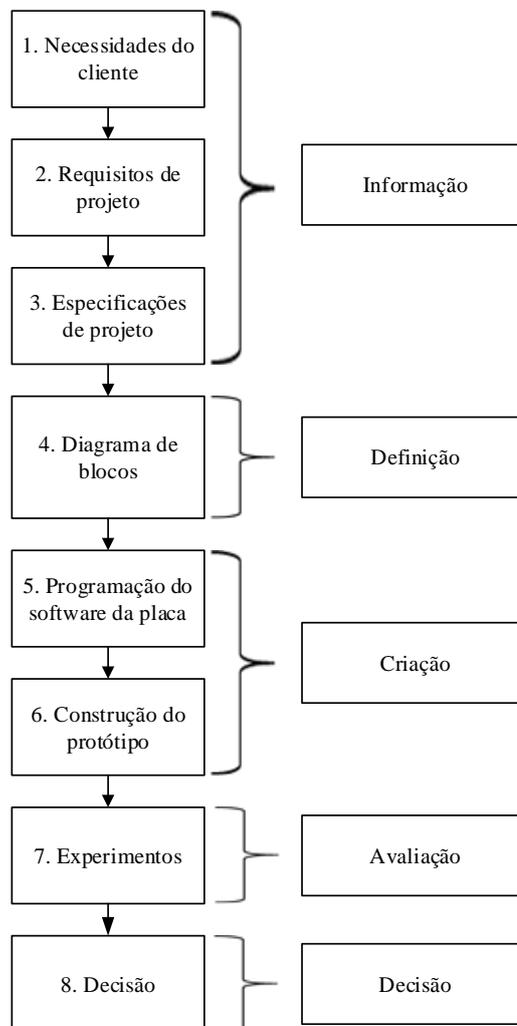


Figura 14 – Fluxo de atividades para o desenvolvimento do projeto

O MR-PDMA está presente no desenvolvimento do sistema de controle e automação para um simulador de chuva por meio das atividades da fase de projeto informacional onde foram realizadas as definições das necessidades dos clientes, requisitos dos clientes, requisitos de projeto até a definição das especificações de projeto, conforme apresentado na Figura 15.

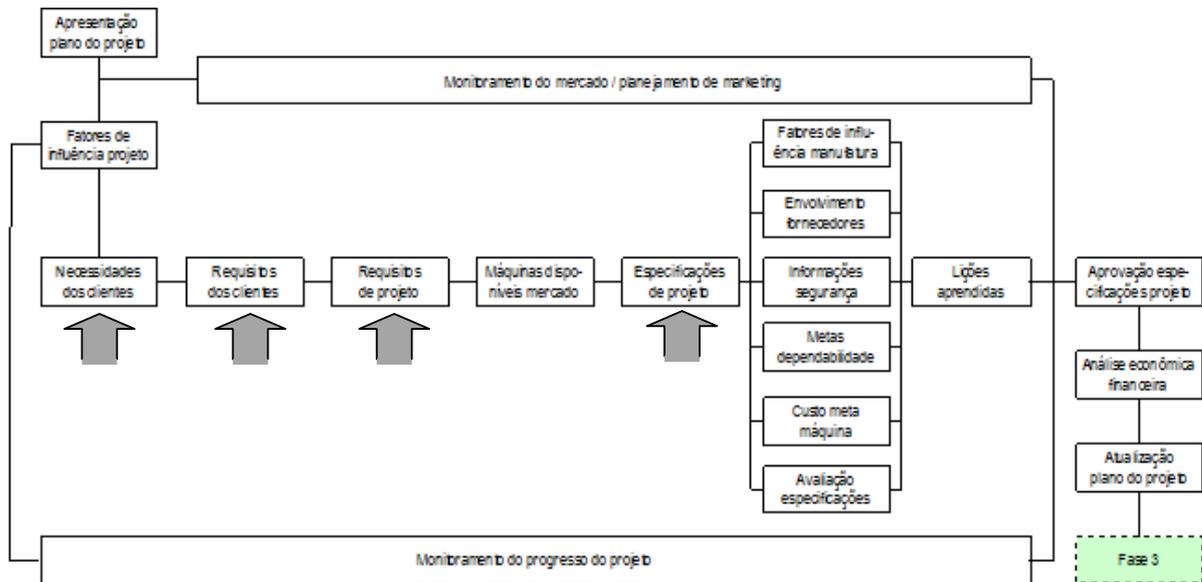


Figura 15 – Fluxograma da fase de projeto informacional

Fonte: Adaptado Romano (2013).

Na fase de informação os esforços foram orientados para a definição das especificações de projeto do sistema controlador. Segundo Romano (2013) para estabelecer as especificações de projeto, deve ser identificada as necessidades dos clientes que são transformados em requisitos de cliente e em seguida realizado o desdobramento para requisitos de projeto. As necessidades foram obtidas nos trabalhos de Rodrigues (2014) e Santos et al. (2014).

Com a definição dos requisitos dos clientes foi realizada a hierarquização utilizando o diagrama de Mudge, o método consiste em uma matriz de avaliação. No projeto foi atribuído um valor de importância de um pouco mais importante (A – peso 1), mediamente mais importante (B – peso 3) e muito mais importante (C – peso 5).

Para realizar a matriz QFD foi utilizado o software QFD-SACPRO desenvolvido pelo grupo de pesquisa do NEDIP/UFSC.

A partir das especificações de projeto foi definida uma arquitetura centralizada devido a simplicidade do hardware para implementação do protótipo e todos os dados de entrada ficam disponíveis na unidade eletrônica de controle.

Com a definição da arquitetura utilizada no sistema de controle foi elaborado o diagrama de blocos (Figura 16), que tem por objetivo orientar o fluxo do sistema de controle e automação. O diagrama de blocos foi realizado utilizando a simbologia para elaboração de diagramas, que consiste em figuras que representam o início, processamento de dados, sub processo, entrada manual de dado, tomada de decisão e fim. O diagrama de blocos é o documento utilizado para a realização da programação do sistema de controle.

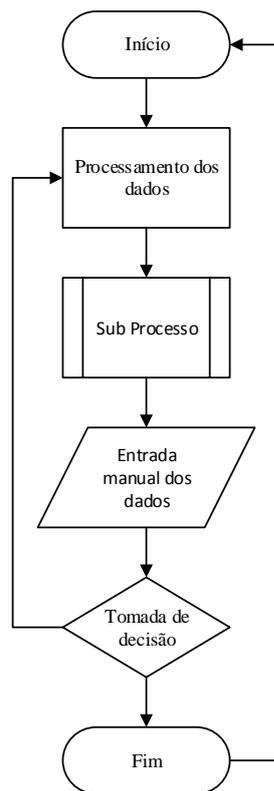


Figura 16 – Simbologia utilizada para elaboração do diagrama de blocos

A fase de criação utilizou como documento de entrada o fluxograma do sistema de controle (diagrama de blocos). A programação em linguagem C foi desenvolvida em um microcomputador (1) no ambiente MikroC PRO v. 6.0.0 (MIKROELEKTRONIKA, 2013), A programação foi transferida via cabo (2) para o kit ICD2 (MICROCHIP, 2005) (4) onde a programação foi gravada no microcontrolador (3) com o auxílio do software MPLAB v8.88 (MICROCHIP, 2012) (Figura 17).

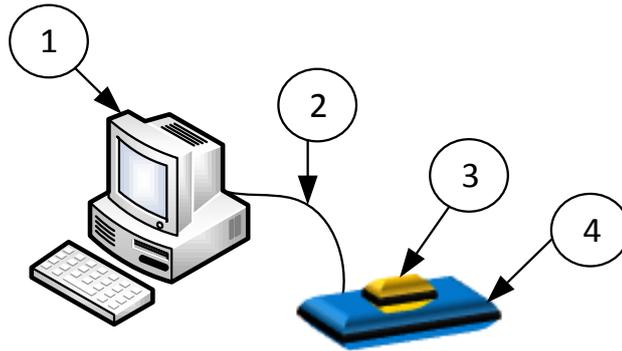


Figura 17 – Esquema básico para programação de microcontroladores

Fonte: Adaptado Ministério do Trabalho e Emprego (2006).

O software MikroC PRO (Figura 18) apresenta uma interface simples para facilitar a programação. O microcontrolador utilizado foi o PIC18F4520 fabricado pela Microchip e montado em um kit de desenvolvimento CUSCOPIC.

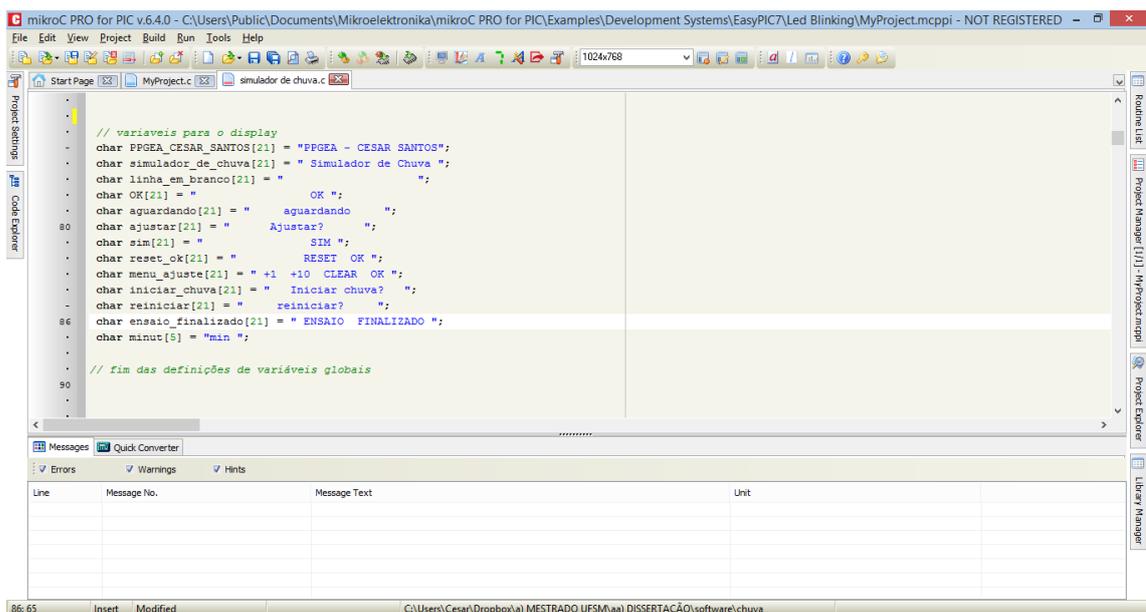


Figura 18 – Interface de programação do software MikroC PRO

Uma das vantagens dos microcontroladores é o armazenamento dos dados na sua memória interna, desta forma foi possível programar o sistema controlador para gerar relatórios com os dados característicos dos experimentos de parcela, tempo, vazão, temperatura e pressão que podem ser salvos utilizando o software MikroC PRO (Figura 19) ou outros programas com licença livre. No terminal de comunicação o usuário configura a porta de entrada de dados, e envia um sinal para estabelecer comunicação ente o sistema de

controle e o microcomputador, após os dados são enviados e podem ser salvos para registro dos dados utilizados em cada experimento.

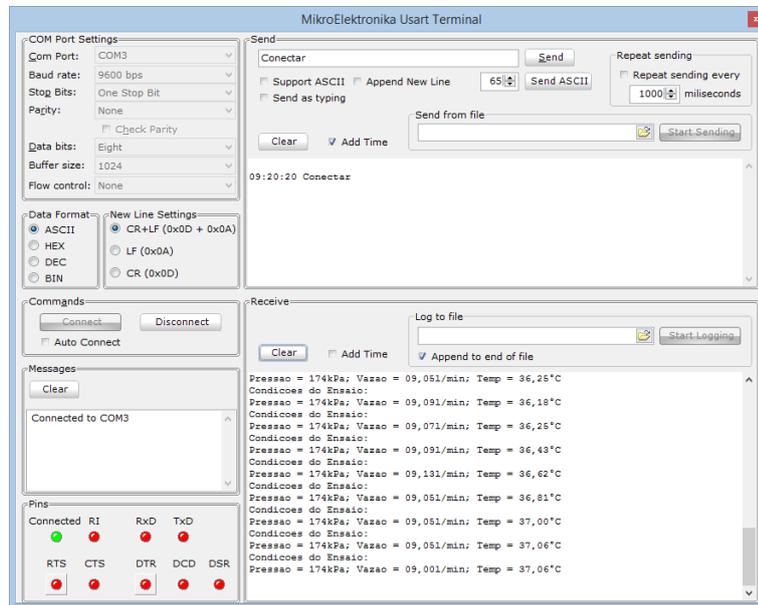


Figura 19 – Interface de comunicação serial

Na montagem do protótipo do sistema de controle, foi utilizada a plataforma CUSCOPIC (Figura 20), que é um projeto de um kit didático para ensino de microcontroladores desenvolvido pelo professor Daniel Corteletti do SENAI-Mecatrônica de Caxias do Sul-RS, sendo um hardware de livre utilização.

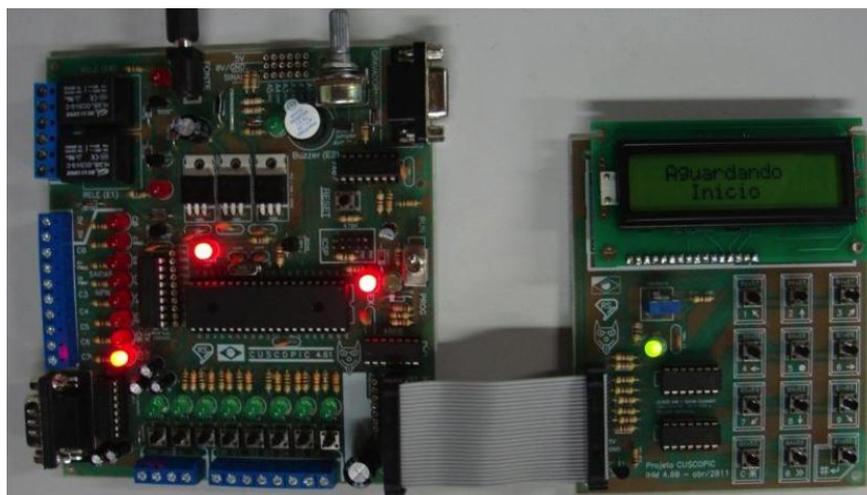


Figura 20 – Circuito CUSCOPIC

Com a plataforma CUSCOPIC foi utilizado um mostrador digital de 16x4 (16 colunas e 4 linhas) que é utilizado para programar os experimentos e permite acompanhar os parâmetros em tempo real.

A fase de avaliação corresponde a elaboração de uma sistemática para realização de experimentos em laboratório utilizando o sistema de controle. Tem como objetivo propor uma sistemática para experimentos em laboratório utilizando o protótipo do sistema de controle que permite verificar diferentes parâmetros utilizando o sistema proposto. A sistemática de experimentos consiste nas etapas apresentadas na Figura 21.

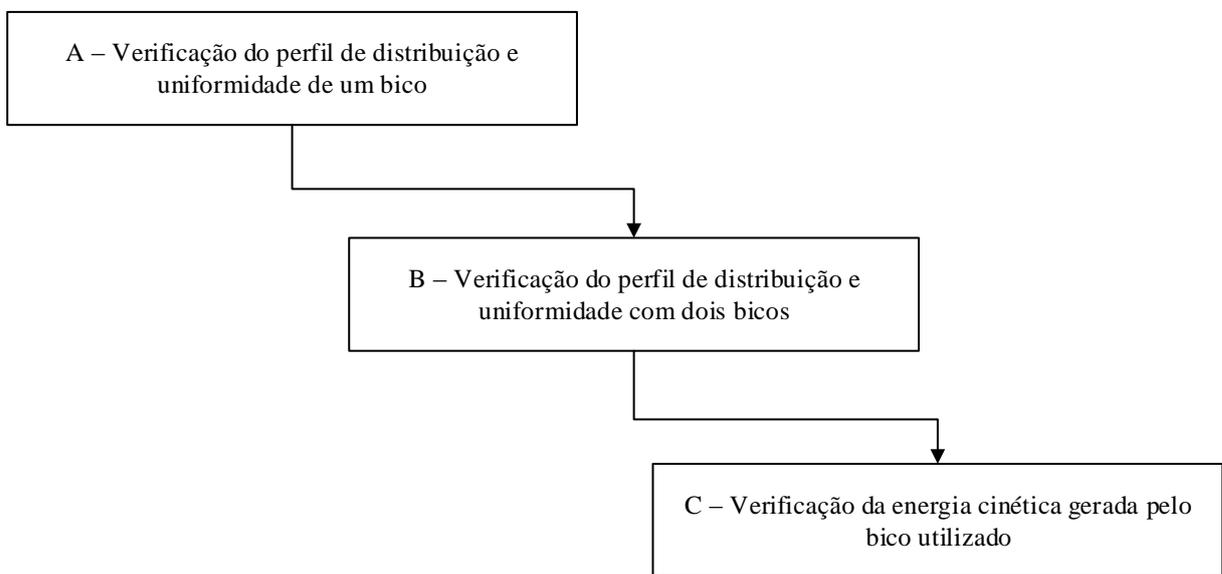


Figura 21 – Esquema do leiaute para aferição do sensor de vazão com a bomba

O sistema proposto foi montado em uma estrutura metálica com um comprimento total de 7 m entre pontas e uma altura de 1,8 m. Foi utilizado um reservatório com capacidade de 200 litros de água para alimentar o sistema. A sistemática é proposta para bicos com padrão de pulverização cone cheio.

Como modelo, foi utilizado o bico Fulljet FL-15VS<sup>2</sup> (Figura 22<sup>a</sup>) que é um bico que produz gotas de grande tamanho e é considerado um bico do tipo cone cheio (Figura 22<sup>b</sup>), formando uma circunferência no solo e aumentando a área de cobertura.

<sup>2</sup> As características técnicas do bico estão disponíveis no Anexo A.

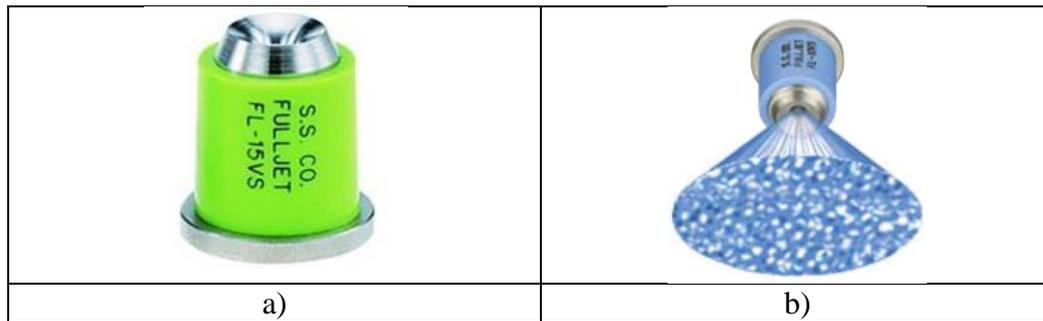
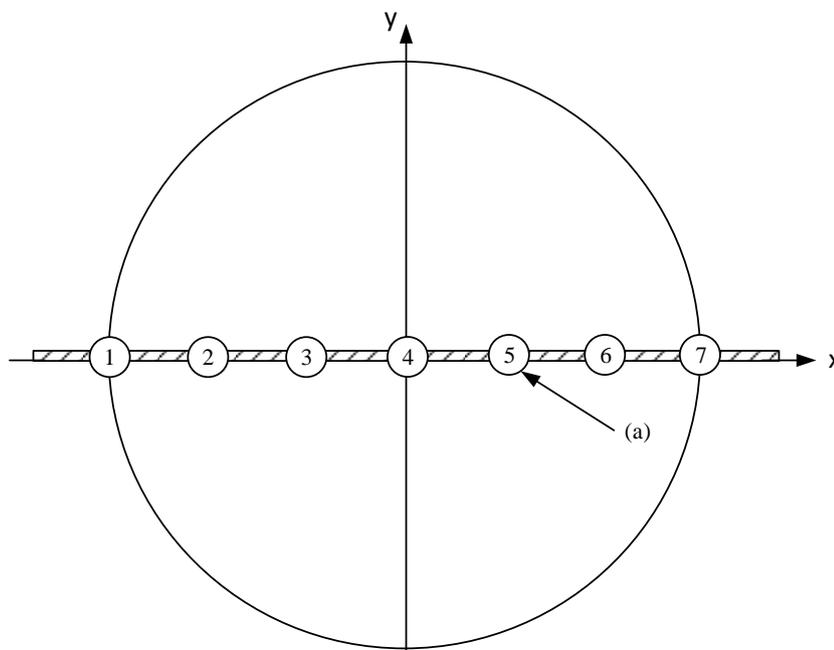


Figura 22 – a) Bico FullJet FL-15VS. b) Padrão de pulverização cone cheio

Fonte: Adaptado TEEJET (2014).

O bombeamento da água foi realizado utilizando uma bomba do tipo diafragma da marca SEAFLO (SFDP1-050-060-51<sup>3</sup>). A bomba tem capacidade máxima de 18,9 litros por minuto utilizando mangueiras e conexões de 12,7 mm, é alimentada com 12V de tensão, com isso o sistema controlador realiza o acionamento da bomba por pulso de sinal (PWM) tornando a tarefa de ligar/desligar a bomba automatizado e com controle de rotação da bomba, sendo possível variar vazão de água no sistema.

O bico utilizado como modelo tem padrão de cobertura cone cheio, desta forma os experimentos realizados consideram o eixo de coordenadas “x”, conforme Figura 23.



Legenda: (a) Pluviômetros

Figura 23 – Esquema de montagem dos pluviômetros no eixo “x”

<sup>3</sup> As características técnicas da bomba estão disponíveis no Anexo B.

O primeiro experimento tem o objetivo de verificar o perfil de distribuição da uniformidade da chuva simulada gerado pelo bico utilizado. Na Figura 24 é apresentado o esquema de montagem do sistema, foi simulado chuva com um bico (c) conectado a uma mangueira de 12,5 mm e fixada em um tubo metálico de 25,4 mm (d) e 3 m de comprimento posicionado a 1,8 m de altura em relação ao eixo de referência “x”. Foram montados sete pluviômetros (a) com capacidade para medir chuvas de 2 à 150 mm equidistantes 45 cm entre si na estrutura “b”.

Foram realizadas seis repetições de 30 minutos, a chuva simulada (e) foi coletada pelos pluviômetros, sendo realizado leitura dos valores nos tempos 15 e 30 minutos e anotadas em uma planilha eletrônica. Desta forma, foram elaborados gráficos com os perfis da distribuição da chuva simulada no eixo “x”.

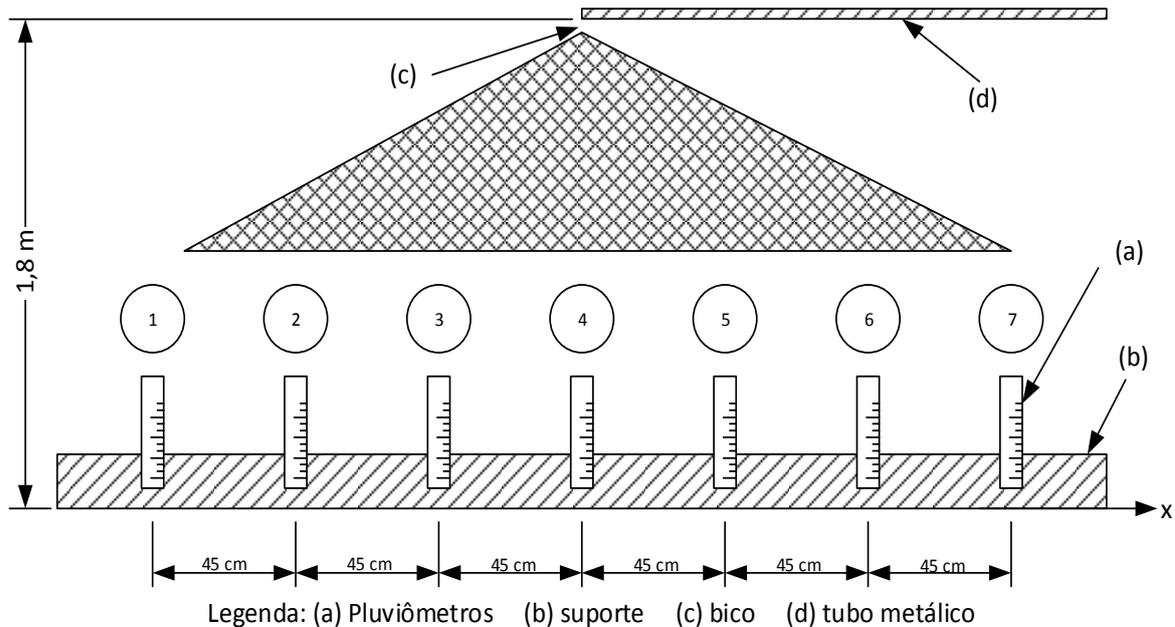
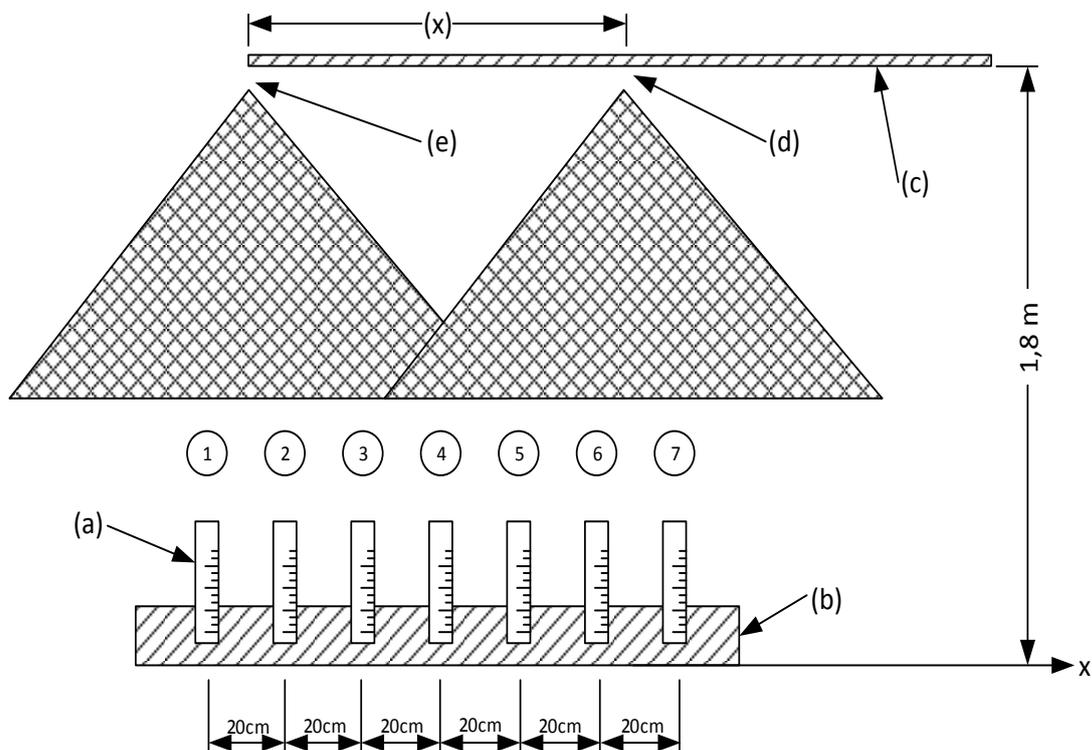


Figura 24 – Esquema de montagem do primeiro experimento

O segundo experimento corresponde a verificação do perfil de distribuição e uniformidade com dois bicos tem o objetivo verificar o perfil de distribuição da chuva simulada com diferentes espaçamentos de sobreposição. A Figura 25 apresenta o esquema do experimento, onde os dois bicos (d) e (e) são montados em um tubo de 25,4 mm (c). Foram utilizados sete pluviômetros (a) fixados em um suporte (b) equidistantes a 20 cm, os bicos foram posicionados a 1,8 m de altura em relação ao solo. As distancias entre os bicos vai depender do bico utilizado, para o bico adotado como modelo foi definido arbitrariamente os seguintes cenários:

- Três repetições para 1,3 metros de distância entre bicos;
- Três repetições para 1,5 metros de distância entre bicos e;
- Três repetições para 1,7 metros de distância entre bicos.



Legenda: (a) Pluviômetros (b) suporte (c) tubo metálico (d) bico 1 (e) bico 2

Figura 25 – Esquema de montagem do segundo experimento

As repetições foram realizadas com duração de 30 minutos, sendo coletado o volume de chuva simulada no final de cada repetição e realizada a leitura do volume de água coletado pelos pluviômetros, os valores foram anotados em uma planilha eletrônica, sendo elaborados gráficos dos perfis de distribuição para cada uma das nove repetições.

O terceiro experimento tem o objetivo de verificar a energia cinética da chuva simulada ( $J\ m^{-2}\ h^{-1}$ ) e o diâmetro das gotas (mm) utilizando um disdrômetro<sup>4</sup> modelo Parsivel<sup>5</sup> 2 da marca OTT<sup>6</sup>. O terceiro experimento considerou a utilização de dois bicos (c) e (d) e foi

<sup>4</sup> Instrumento de medição que tem a capacidade de medir a distribuição, tamanho, velocidade e energia cinética das gotas de chuva por meio de um feixe de luz que atua entre duas hastas medindo em uma área de 30x180mm.

<sup>5</sup> Parsivel (*Particle Size and Velocity*). Este modelo mede o tamanho da partícula e a velocidade de queda.

<sup>6</sup> Características técnicas no Anexo C.

utilizado o espaçamento entre bicos conforme determinado no segundo experimento. O distrômetro (a) foi posicionado entre os bicos e quando a chuva simulada passava pelo feixe de luz (b) ocorria o registro dos dados (Figura 26).

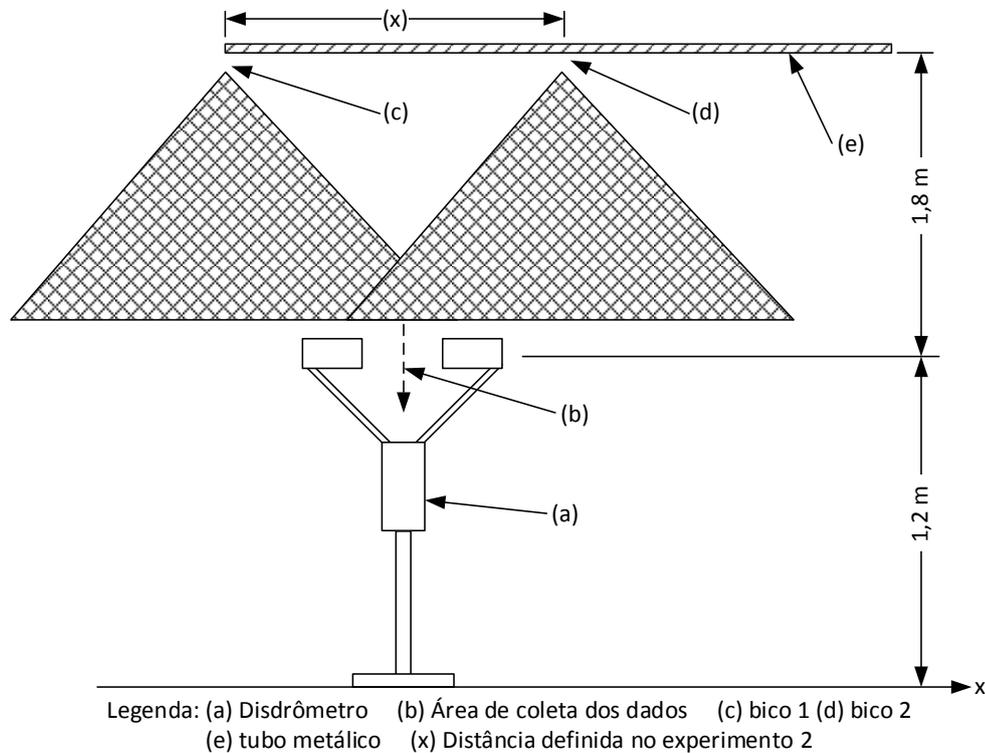


Figura 26 – Esquema de montagem do terceiro experimento

Foi realizado dois cenários com duração de 30 minutos, no primeiro foi utilizada a máxima intensidade de chuva ( $62 \text{ mm.h}^{-1}$ ) e no segundo cenário foi utilizada a menor intensidade ( $14 \text{ mm.h}^{-1}$ ) que o sistema proposto pode gerar. Os dados coletados pelo distrômetro são apresentados em forma de figuras relacionando a velocidade ( $\text{m.s}^{-1}$ ) com o diâmetro (mm) das gotas.

Na fase de decisão é realizado a verificação do protótipo do sistema de controle. Corresponde as atividades de aferição do sensor de vazão com a bomba utilizada para o recalque da água e a verificação do funcionamento do sistema de controle. A Figura 27 ilustra o esquema montado.

Para aferir o sensor de vazão (3) com a bomba (2) foi utilizado o protótipo do sistema de controle (7), com um reservatório com capacidade para 20 L (1). No sistema controlador foi programado 15 faixas de vazão, sendo de  $1 \text{ a } 15 \text{ L.min}^{-1}$  com um intervalo de  $1 \text{ L.min}^{-1}$ . O sistema controlador recebe a leitura do sensor de vazão (3) e exibe no mostrador digital. O volume de água foi coletado em um recipiente (5) e medido em uma proveta com capacidade

de 2 litros e com uma escala de 10 ml (6). Os dados foram inseridos em uma planilha eletrônica para comparar os valores registados pelo sensor com os valores medidos pela proveta graduada.

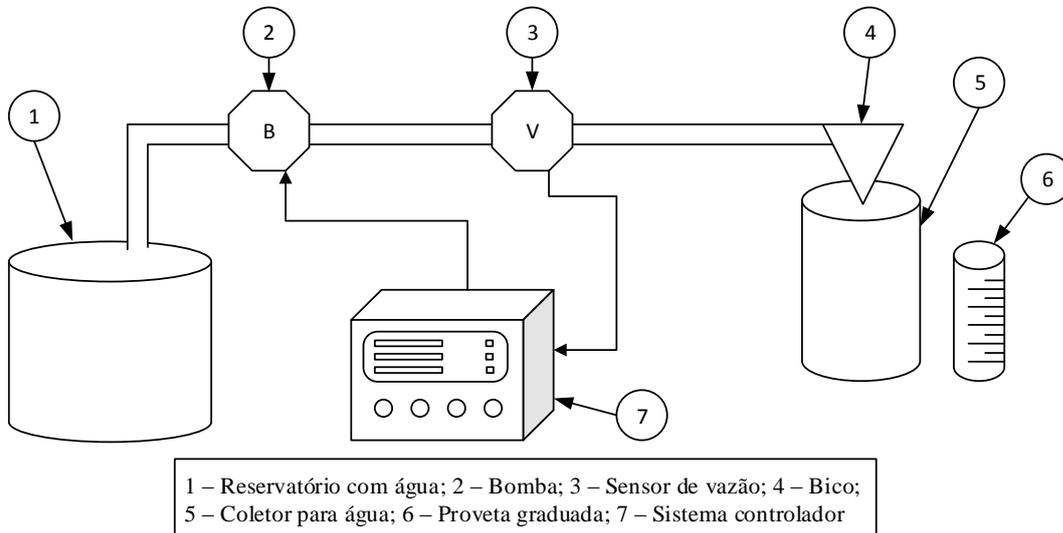


Figura 27 – Esquema do leiaute para aferição do sensor de vazão com a bomba

Na segunda atividade da verificação experimental do sistema de controle foram realizadas chuvas simuladas para verificar o funcionamento do protótipo. Sendo dividido em três etapas:

- Seis repetições com duração de 30 min;
- Nove repetições com duração de 30 min;
- Duas repetições com duração de 30 min.

### 3.2 Material

O Quadro 2 apresenta em resumo todos os softwares, hardwares e componentes utilizados na construção do protótipo do sistema de controle a automação do simulador de chuva.

Software de controle	<b>SOFTWARE</b>	<b>FABRICANTE</b>	<b>QUANTIDADE</b>
	QFD-SACPRO	NEDIP/UFSC	1
	Mikroc PRO	MikroElektronika	1
	Programador PicKit 2	Microchip	1
	Software PK2	Microchip	1
Protótipo	<b>HARDWARE</b>	<b>FABRICANTE</b>	<b>QUANTIDADE</b>
	Microcontrolador PIC18F4520	MicroChip	1
	Kit de desenvolvimento CUSCOPIK	CUSCOPIK	1
	Mostrador digital16x2	Winstar	1
Experimentos	<b>OUTROS</b>	<b>FABRICANTE</b>	<b>QUANTIDADE</b>
	Bicos FL-15VS	Fulljet	2
	Bomba diafragma SEAFLOW (SFDP1-050-060-51)	SEAFLOW	1
	Sensor de Pressão MPX4250Gp	Freescale Semiconductor	1
	Sensor de vazão YF-S201	SEA	1
	Sensor de temperatura DS 1822	Maxim Intefrated	1
	Mangueiras 12,5 mm	---	10 m

Quadro 2 – Quadro resumo dos materiais utilizados para construção do protótipo



## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

É apresentado o desenvolvimento do sistema de controle e automação para um simulador de chuva, iniciando na fase de informação onde é apresentada as necessidades dos clientes, requisitos de projeto e especificações de projeto. Na fase de definição é apresentado o diagrama de blocos, que consiste no fluxo de informação do sistema de controle e automação proposto. Na fase de criação foi desenvolvido a programação do software do sistema de controle do simulador de chuva. A fase de avaliação foi dividida em duas etapas, a primeira corresponde a verificação do sistema proposto, que consiste na calibração do sensor de vazão e na verificação do funcionamento do protótipo. Na segunda etapa é proposto uma sistemática de experimentos em laboratório utilizando o protótipo da concepção.

### **4.1 Fase de informação**

A fase Informação inicia com o levantamento dos requisitos dos clientes, para o sistema de controle e automação de um simulador de chuva são:

- Medir temperatura;
- Medir vazão da água;
- Medir pressão;
- Comunicação com microcomputador;
- Sistema controlador acionado com baixa tensão;
- Bomba de água acionada com baixa tensão;
- Fácil operação;
- Fácil manutenção;
- Fácil montagem;
- Baixo custo de manutenção;
- Registro dos experimentos;
- Fácil configuração.

Os requisitos dos clientes refletem a importância de conhecer os parâmetros envolvidos no processo de geração de chuva simulada, e também a necessidade de registrar os ensaios realizados. Existe a exigência de um produto que seja de fácil operação e manutenção assim como praticidade na montagem e baixo custo de manutenção.

Os requisitos dos clientes são geralmente expressos em linguagem popular, no desenvolvimento do projeto foi realizado a tradução dos requisitos dos clientes em requisitos de projeto, que indicam como cada um dos requisitos dos clientes podem ser atendidos. O Quadro 3 apresenta a tradução dos requisitos dos clientes para os requisitos de projeto.

<b>Requisitos dos Clientes</b>	<b>Requisitos de Projeto</b>
1- Medir temperatura	Temperatura (°C)
2- Medir vazão da água	Vazão (l/s)
3- Medir pressão	Pressão (kPa)
4- Comunicação com microcomputador	Interface via serial
5- Sistema controlador acionada com baixa tensão	Controlador acionado 12V (V)
6- Bomba de água acionada com baixa tensão	Bomba de água acionada 12V (V)
7- Fácil operação	Número de botões (n)
8- Fácil manutenção	Tempo para manutenção (h)
9- Fácil montagem	Cabos e conexões padrões/universal (%)
10- Baixo custo de manutenção	Componentes padronizados (%)
11- Rastreabilidade dos ensaios	Armazenamento dos dados (MB)
12- Fácil configuração	Número de entradas de dados (n)

Quadro 3 – Tradução dos requisitos dos clientes em requisitos de projeto

O diagrama de Mudge (Figura 26) foi realizado para hierarquizar os requisitos dos clientes, direcionando os esforços para o atendimento dos requisitos que apresentam maior grau de importância.

DIAGRAMA MUDGE													
Requisitos dos Clientes													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	SOMA	%
1	2C	3C	4A	5A	6B	7B	1B	1B	1B	1C	12C	14	7,11
	2	3A	2B	2B	6A	7A	2B	2B	2B	2C	2C	30	15,23
		3	3C	3C	6A	7A	3C	3C	3C	3C	3A	37	18,78
			4	5A	6A	4B	4B	4C	4B	11B	12A	15	7,61
				5	5A	7B	5B	5C	10A	11A	12A	11	5,58
					6	6B	6B	6C	6B	11A	6B	20	10,15
						7	7B	7B	7C	11C	7A	20	10,15
							8	9B	8B	11C	12B	3	1,52
								9	10B	9B	12C	6	3,05
									10	11B	10A	5	2,54
										11	11B	21	10,66
											12	15	7,61
											<b>Total</b>	<b>197</b>	<b>100,00</b>

VALOR DE IMPORTÂNCIA		
A	Um pouco mais importante	1
B	Mediamente mais importante	3
C	Muito mais importante	5

Figura 28 – Diagrama de Mudge para hierarquização dos requisitos dos clientes

Os requisitos dos clientes hierarquizados são:

- Medir pressão – 37 pontos;
- Medir vazão – 30 pontos;
- Rastreabilidade dos ensaios – 21 pontos;
- Bomba de água acionada com baixa tensão – 20 pontos;
- Fácil operação – 20 pontos;
- Comunicação com microcomputador – 15 pontos;
- Fácil configuração – 15 pontos;
- Medição da temperatura – 14 pontos;
- Sistema controlador acionada com baixa tensão – 11 pontos;
- Fácil montagem – 6 pontos;
- Baixo custo de manutenção – 5 pontos
- Fácil manutenção – 3 pontos;

Os requisitos dos clientes hierarquizados indicam que o fator mais importante a ser considerado no processo de geração de chuva simulada é a medição da pressão na água no sistema, devido à influência no tamanho de gota a ser gerado, pressão acima de 1 bar (100 kPa) começam a diminuir o tamanho da gota. Os principais simuladores de chuva apresentam as seguintes pressões de trabalho: Meyer e McCune (1958), pressão de 40 kPa; modelo de

Wilcox et al. (1986), pressão de 67 kPa; Tossell et al. (1987), pressão de 29 kPa; Esteves et al. (2000), pressão de 41,18 kPa e Yu et al. (2003) com uma pressão de 47,6 kPa.

O segundo requisito mais importante é a medição da vazão, que está diretamente ligado com a intensidade de chuva a ser aplicada, a rastreabilidade dos ensaios também obteve grande importância, pois permite ao usuário registrar os dados de cada ensaio realizado, possibilitando repetir ensaios com as mesmas características. Os demais requisitos estão relacionados com o funcionamento e operação do sistema proposto.

Com os requisitos dos clientes hierarquizados e o desdobramento para os requisitos de projeto foi realizada a casa da qualidade (QFD). Os “O QUES” são os requisitos dos clientes, o “VC” é a pontuação que cada um dos requisitos dos clientes obteve na hierarquização realizada no diagrama de Mudge. Em “COMOS” estão inseridos os requisitos de projeto (Figura 29).

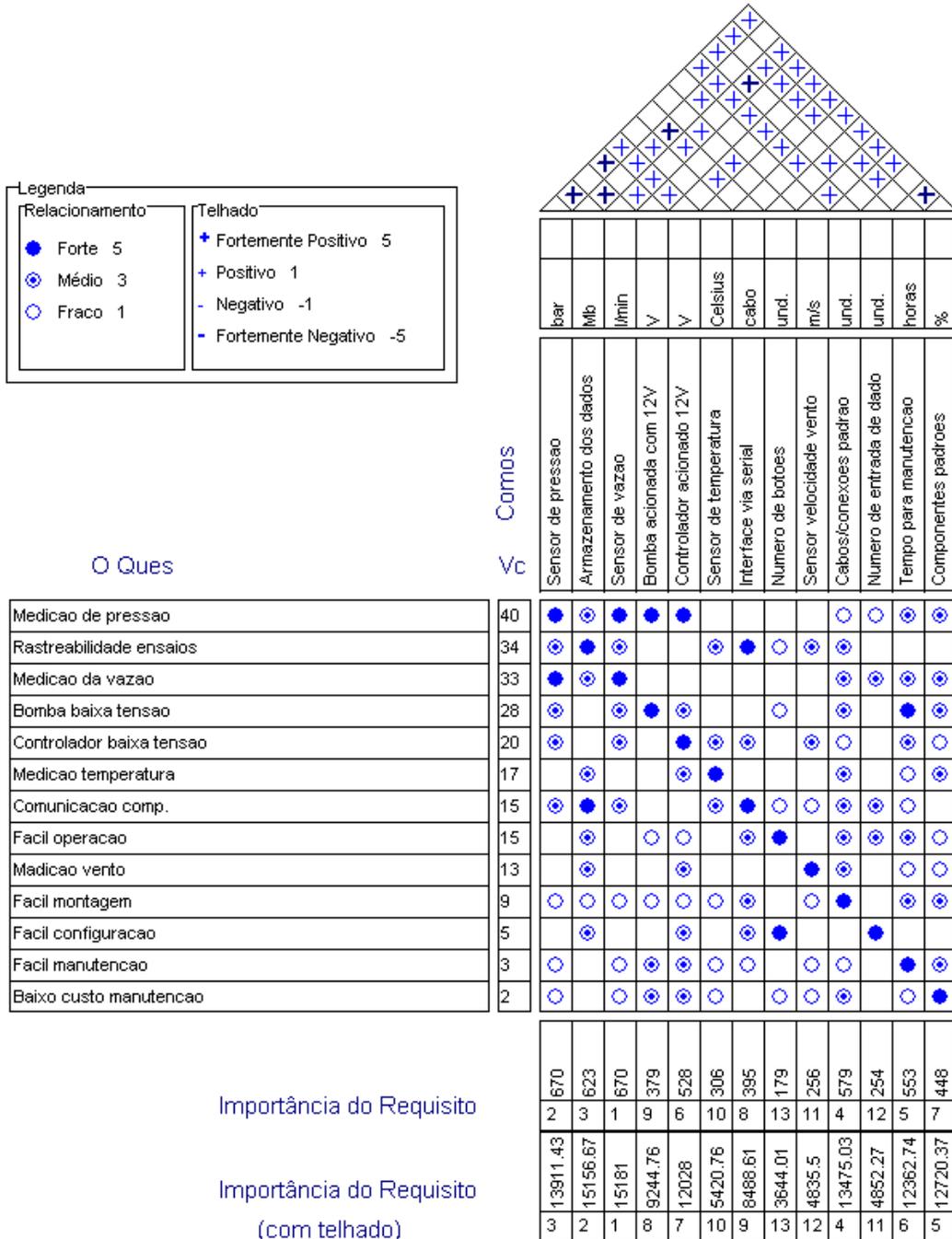


Figura 29 – Casa da Qualidade (QFD)

O QFD-SACPRO apresenta os resultados por meio da importância do requisito, e pode ser obtida de duas formas, a primeira é a importância do requisito sem telhado, que consiste na comparação entre os requisitos dos clientes com os requisitos de projeto e a importância do requisito com telhado, que ainda considera na valoração a comparação entre os requisitos de projeto.

No projeto do sistema de controle e automação de um simulador de chuva foi realizado o telhado do QFD, conforme a Figura 30, a importância do requisito sem telhado e com telhado manteve a mesma classificação. A partir da pontuação obtida na importância do requisito com telhado foi hierarquizada e determinadas as especificações de projeto (Quadro 4), sendo atribuído o valor meta para cada uma das especificações.

<b>Especificações de Projeto</b>		
Classificação	Requisitos de Projeto	Valor meta
1	Vazão	30 L.min
2	Armazenamento dos dados	10 MB
3	Pressão	500 kPa
4	Conexão padronizadas	90 %
5	Componentes padronizados	90 %
6	Tempo de manutenção	2 h
7	Controlador acionado 12 V	12 V
8	Bomba de água acionada 12 V	12 V
9	Interface via serial	Comunicação serial
10	Temperatura	70 °C
11	Número de entrada de dados	5 und.
12	Número de botões	5 und.

Quadro 4 – Especificações de projeto do sistema proposto

As especificações de projeto refletem as necessidades dos clientes, as três primeiras especificações (vazão, armazenamento dos dados e pressão) mantiveram-se entre os três primeiros se comparados com os requisitos dos clientes hierarquizados no diagrama de Mudge.

O desenvolvimento do sistema eletrônico de automação foi realizado em uma arquitetura eletrônica centralizada. Em um único elemento é centralizado o comando eletrônico, permitindo maior simplicidade e menores custos de desenvolvimento.

Com as especificações de projeto foi elaborada a Figura 30, que permite apresentar por meio de uma representação gráfica como as especificações de projeto estão relacionadas com a unidade de comando.

A operação do sistema busca atender o requisito de simplicidade no uso, que se dá da seguinte forma: ao ser acionado o sistema controlador (1) é realizada a leitura do sensor de temperatura (6) que exibe o valor no mostrador digital. Em seguida o usuário configura o ensaio pressionando botões, primeiramente é configurada a parcela em que será realizado o

ensaio, em seguida a intensidade de chuva desejada (mm) e o tempo de duração em minutos (min). A bomba (3) utiliza a água do reservatório (2), o sensor de pressão (4) e de vazão (5) realizam as medições e informam ao sistema controlador. Todos os dados medidos pelos sensores (3), (4), (5) e (6) tem a opção de ser transmitidos via cabo serial para um microcomputador (7), os dados são enviados em forma de relatório, possibilitando o registro das informações de cada ensaio realizado. O usuário tem a opção de realizar experimentos sem salvar os dados na forma de relatório, neste caso, no momento que for solicitado a conexão com um microcomputador, o usuário deve ignorar esta operação e configura a parcela, tempo e volume de chuva para realizar o experimento.

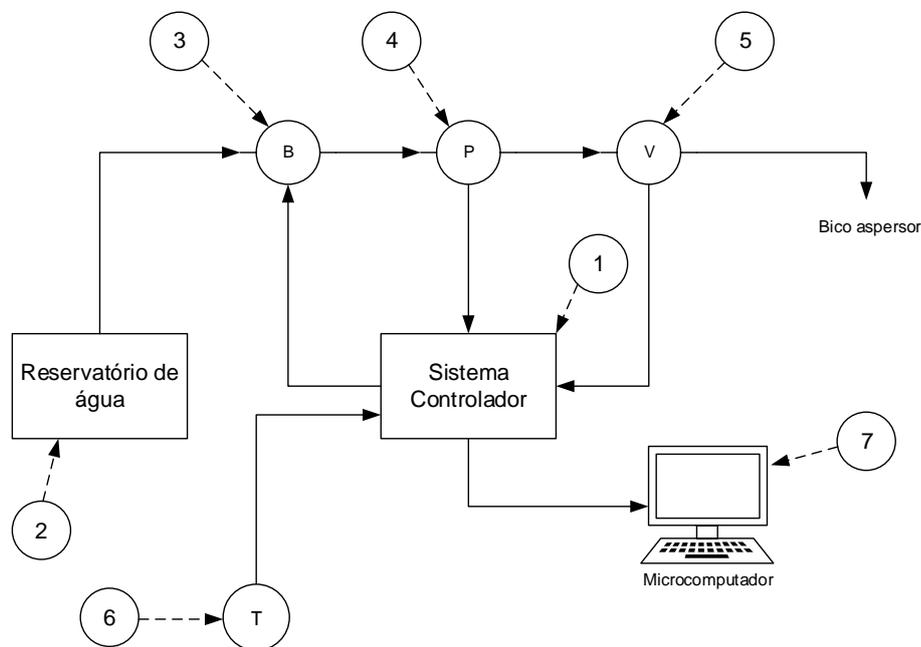


Figura 30 – Integração entre as especificações de projeto e o sistema de controle

## 4.2 Fase de definição

A fase de definição utiliza como documento de entrada a integração entre as especificações de projeto com arquitetura eletrônica. Tem como objetivo definir o fluxo de informação que o sistema controlador de chuva simulada deve seguir.

O diagrama de blocos (Figura 31) foi elaborado de forma clara e direta, com as etapas bem definidas, o sistema proposto no diagrama de blocos é auto explicativo, o que permite ao operador simplicidade de uso e configuração. O diagrama de blocos começa com uma tela de

boas-vindas, existe um sub processo que consiste em remover o ar existente nas mangueiras e conexões (tempo de pressurização), em seguida o usuário informa se deseja exportar os dados para um microcomputador ou não (teste de comunicação). O usuário faz a entrada manual de três parâmetros, número da parcela que é realizado o ensaio, o tempo de duração (min) e a intensidade de chuva (mm). Caso o usuário não configure uma etapa, o sistema está programado para avisar o usuário e não permite passar para a próxima, desta forma não é possível iniciar os experimentos sem todos os dados estarem configurados.

Durante a execução do experimento o usuário tem a opção de pausar para realizar alguma medição ou análise pontual, caso necessário o experimento é abortado ou é continuado o experimento do ponto em que houve a necessidade de pausar.

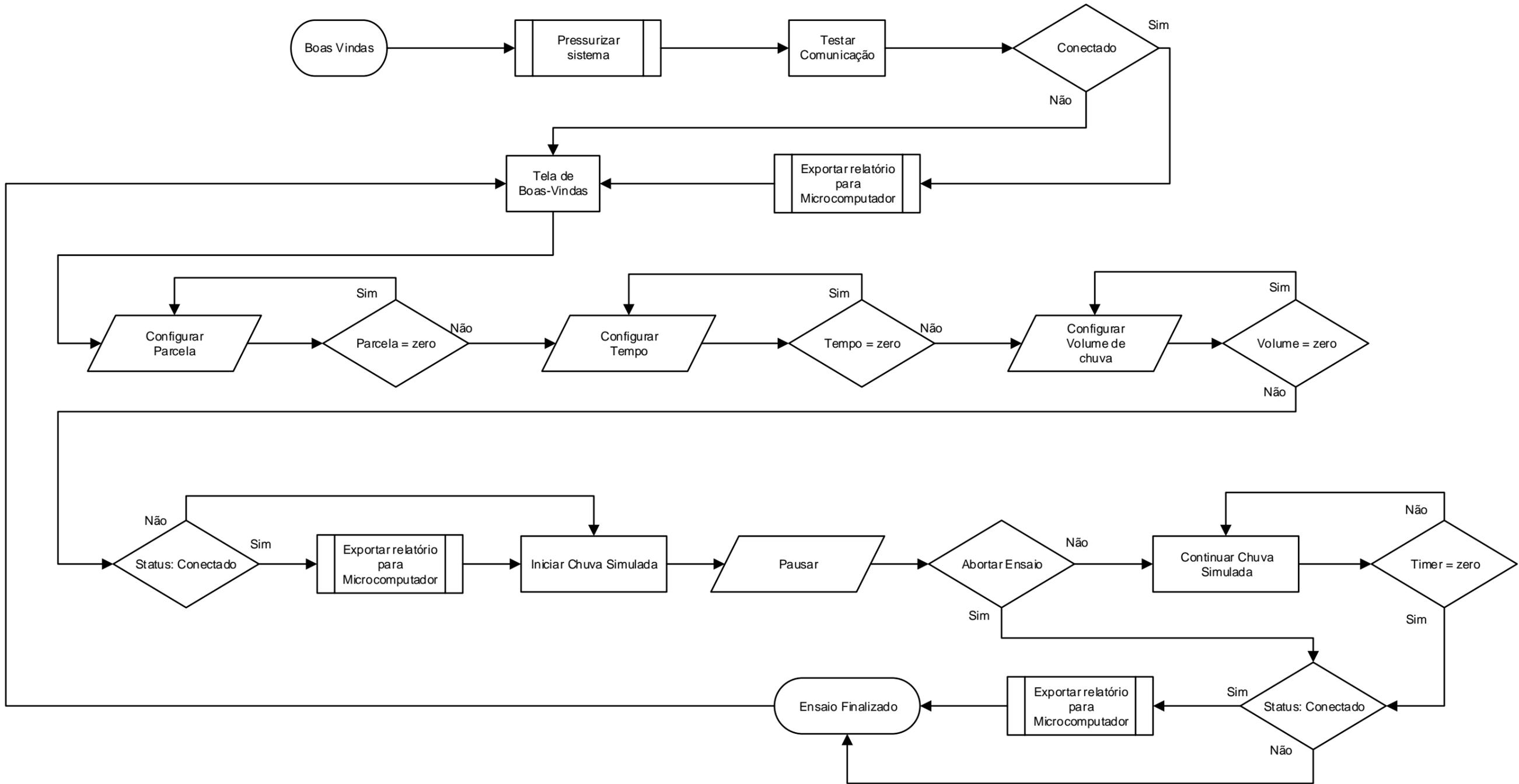


Figura 31 – Diagrama de blocos com o fluxo de informação do controle



### 4.3 Fase de criação

A fase de criação apresenta o desenvolvimento da programação do software do sistema de controle, programação do software de comunicação e construção do protótipo.

#### 4.3.1 Programação do software do sistema de controle

A programação do software de controle foi realizada em linguagem C, seguindo o fluxo de informação do diagrama de blocos (Figura 31). Na sequência é apresentada a programação base<sup>7</sup>, que consiste na programação do menu principal, das etapas de configuração dos ensaios e dos dados que são enviados para um microcomputador. O programa desenvolvido recebeu o nome de *RAINCONTROL*<sup>8</sup>.

As definições das variáveis globais disponíveis no menu principal estão apresentadas da Figura 32. Para a configuração dos ensaios foram definidos quatro botões, o primeiro botão adiciona valores de um em um, o segundo botão adiciona valores de dez em dez, desta forma o usuário otimiza o tempo durante a configuração do ensaio. O terceiro botão possibilita limpar a tela, caso o usuário configurar um valor incorreto, por exemplo, e o quarto botão confirma os dados configurados e permite passar para as próximas etapas. As funções de cada botão são identificadas em um menu localizado na quarta linha do mostrador digital (Figura 39b).

```
char PPGEA_CESAR_SANTOS[21] = "PPGEA - CESAR SANTOS";
char simulador_de_chuva[21] = " Simulador de Chuva ";
char linha_em_branco[21] = "                ";
char OK[21] = "                OK ";
char aguardando[21] = "                aguardando ";
char ajustar[21] = "                Ajustar? ";
char sim[21] = "                SIM ";
char reset_ok[21] = "                RESET OK ";
char menu_ajuste[21] = " +1 +10 CLEAR OK ";
char iniciar_chuva[21] = " Iniciar chuva? ";
char reiniciar[21] = " reiniciar? ";
char ensaio_finalizado[21] = " ENSAIO FINALIZADO ";
char minut[5] = "min ";
```

Figura 32 – Definições variáveis globais<sup>9</sup> para o mostrador digital

<sup>7</sup> A programação completa na linguagem C está disponível no Apêndice A.

<sup>8</sup> Depósito no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) sob o número BR 51 2014 001100-3.

<sup>9</sup> As variáveis globais são consideradas as informações que aparecem no display constantemente, com a definição das variáveis globais reduz o consumo da memória interna.

O menu principal foi configurado para exibir três mensagens, a primeira linha apresenta PPGEA-CESAR-SANTOS que corresponde ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria-RS e o responsável pelo projeto. Na segunda linha é apresentado a mensagem Simulador-de-Chuva e na quarta linha é exibido OK, que permite ao usuário prosseguir para a tela de configuração dos experimentos (Figura 33).

```
void boas_vindas () {           // inicio da funcao boas vindas
while (x == 0){                // enquanto x = 0...
  lcd_out (1,1, PPGEA_CESAR_SANTOS); // joga string para display
  lcd_out (2,1, simulador_de_chuva); // joga para o display
  lcd_out (4,1, OK);           // joga para o display
  portc.rc4 = 0;               // desliga motor
  portc.rc5 = 1;               // desliga motor
  if ((x == 0) && (portd.rd3 == 1)){ // se...,
    delay_ms (400);           // aguarda 400ms
    x = 11;                   // muda variavel
    lcd_out (4,1, linha_em_branco); // joga para o display
  }                             // fecha o if
}                                 // fim do enquanto x = 0
}                                 // fim da funcao boas_vindas
```

Figura 33 – Função menu inicial

A primeira configuração que o usuário informa ao sistema é o número da parcela em que o ensaio será realizado, as parcelas podem ser numeradas de um a noventa e nove. A Figura 34 apresenta a programação responsável pela função de configurar parcela.

```
void configura_parcela () {
  if (x == 1) {                 // se x = 1...
    lcd_out (1,1, PPGEA_CESAR_SANTOS); // joga string para display
    lcd_out (2,1, " numero da parcela "); // joga para o display
    lcd_out (3,1, " parcela = "); // joga para o display
    lcd_out (4,1, menu_ajuste); // joga para o display
    // calcular minutos e jogar no display na linha 3
    wordtostr (parcela, str_parcela); // converte
    lcd_out (3,12, str_parcela); // joga para display
  }                             // fecha o if x = 1

  if ((x == 1) && (portd.rd0 == 1)) { // se...
    delay_ms (400); // aguarda 400ms
    parcela = parcela + 1; // adiciona +1 a parcela
    if (parcela > 99) { // se...
      parcela = 0; // zera variavel
    } // fecha o if
  } // fecha o if

  if ((x == 1) && (portd.rd1 == 1)) { // se...
    delay_ms (400); // aguarda 400ms
    parcela = parcela + 10; // adiciona +10 a parcela
    if (parcela > 99) { // se...
      parcela = 0; // zera variavel
    } // fecha o if
  } // fecha o if

  if ((x == 1) && (portd.rd2 == 1)) { // se...
    delay_ms (400); // aguarda 400ms
    parcela = 0; // zera parcela
  } // fecha o if

  if ((x == 1) && (portd.rd3 == 1)) { // se...
    delay_ms (400); // aguarda 400ms
    x = 19; // finaliza config da parcela e passa para config tempo
  } // fecha o if
}
```

Figura 34 – Função responsável pela configuração da parcela

Na sequencia da programação o usuário configura o tempo de duração do ensaio, que deve ser informado em minutos. A programação permite configurar ensaios com duração máxima de 240 min (Figura 35).

```

void configura_tempo () {           // inicia a funcao configura_tempo
  if (x == 19) {                   // se x = 19...
    lcd_out (1,1, PPGA_CESAR_SANTOS); // joga string para display
    lcd_out (2,1, " tempo de ensaio "); // joga para o display
    lcd_out (3,1, " tempo = ");       // joga para o display
    lcd_out (3,15," min ");          // joga para o display
    lcd_out (4,1, menu_ajuste);      // joga para o display
    // calcular minutos e jogar no display na linha 3
    wordtostr (tempo, str_tempo);    // converte
    lcd_out (3,10, str_tempo);       // joga para display
  }                                 // fecha o if x = 1

  if ((x == 19) && (portd.rd0 == 1)) { // se...
    delay_ms (400);                 // aguarda 400ms
    tempo = tempo + 1;              // adiciona +1 aos minutos
    if (tempo > 240) {              // se...
      tempo = 0;                    // zera variavel
    }                                 // fecha o if
  }                                 // fecha o if

  if ((x == 19) && (portd.rd1 == 1)) { // se...
    delay_ms (400);                 // aguarda 400ms
    tempo = tempo + 10;             // adiciona +10 aos minutos
    if (tempo > 240) {              // se...
      tempo = 0;                    // zera variavel
    }                                 // fecha o if
  }                                 // fecha o if

  if ((x == 19) && (portd.rd2 == 1)) { // se...
    delay_ms (400);                 // aguarda 400ms
    tempo = 0;                      // zera minutos
  }                                 // fecha o if

  if ((x == 19) && (portd.rd3 == 1)) { // se...
    delay_ms (400);                 // aguarda 400ms
    x = 2;                          // finaliza config do tempo e passa para a config do volume
  }                                 // fecha o if
}                                   // finaliza a funcao configura_tempo

```

Figura 35 – Função para configuração do tempo

O último parâmetro que o usuário configura é o volume de chuva a ser simulado na parcela, que deve ser informado mm (milímetros). A Figura 36 apresenta a função de configuração do volume. A configuração do volume é convertida em sinal que é enviado para a bomba d'água.

```

void configura_volume () {           // inicia a funcao configura_pressao
  if (x == 2) {                     // se x = 2...

    lcd_out (1,1, PPGEA_CESAR_SANTOS); // joga string para display
    lcd_out (2,1, " volume de chuva "); // joga para o display
    lcd_out (3,1, "volume = ");        // joga para o display
    lcd_out (3,15, " mm ");           // joga para o display
    lcd_out (4,1, menu_ajuste);       // joga para o display
    // calcular volume e jogar no display na linha 3
    wordtostr (volume, str_volume);   // converte
    lcd_out (3,10, str_volume);       // joga para display
  }                                  // fecha o if x = 2

  if ((x == 2) && (portd.rd0 == 1)) { // se...
    delay_ms (400);                  // aguarda 400ms
    volume = volume + 1;              // adiciona +1 ao volume
    if (volume > 240) {               // se...
      volume = 0;                     // zera variavel
    }                                  // fecha o if
  }                                  // fecha o if

  if ((x == 2) && (portd.rd1 == 1)) { // se...
    delay_ms (400);                  // aguarda 400ms
    volume = volume + 10;             // adiciona +10 ao volume
    if (volume > 240) {               // se...
      volume = 0;                     // zera variavel
    }                                  // fecha o if
  }                                  // fecha o if

  if ((x == 2) && (portd.rd2 == 1)) { // se...
    delay_ms (400);                  // aguarda 400ms
    volume = 0;                       // zera volume
  }                                  // fecha o if

  if ((x == 2) && (portd.rd3 == 1)) { // se...
    delay_ms (400);                  // aguarda 400ms
    x = 3;                            // finaliza config da chuva e passa para inicio da chuva
  }                                  // fecha o if
}                                     // fecha a funcao configura_pressao

```

Figura 36 – Função para configuração do volume de chuva simulada

Com a configuração da parcela, tempo (min) e volume (mm) o sistema inicia o ensaio, os sensores informam os valores no mostrador digital, e a cada minuto o microcontrolador realiza uma nova leitura dos sensores e também envia ao microcomputador os dados em forma de relatório (Figura 37).

```

if ((y == 0) && (UART1_Data_Ready())) { // se a comunicação for iniciada pelo usartterminal do mikroc...
  UART1_Write_Text("Condiçoes do Ensaio:"); // manda string para a serial
  UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
  UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
  UART1_Write_Text("Pressao = "); // manda string para a serial
  UART1_Write_Text(str_pressao); // manda volume para a serial
  UART1_Write_Text("kPa; "); // manda string para a serial
  UART1_Write_Text("Vazao = "); // manda string para a serial
  UART1_Write_Text(str_vazao); // manda volume para a serial
  UART1_Write_Text("l/min; "); // manda string para a serial
  UART1_Write_Text("Temp = "); // manda string para a serial
  UART1_Write(text[1]); // envia digito pela uart
  UART1_Write(text[2]); // envia digito pela uart
  UART1_Write(','); // envia digito pela uart
  UART1_Write(text[4]); // envia digito pela uart
  UART1_Write(text[5]); // envia digito pela uart
  UART1_Write(176); // envia digito graus (bolinha) pela uart
  UART1_Write_Text("C"); // envia digito pela uart
  UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
  UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
  y = 1; // muda variavel para evitar multiplos envios para a uart
} // fecha o if da uart
} // fecha o if segundos = 55

```

Figura 37 – Função enviar dados para um microcomputador

### 4.3.2 Montagem do protótipo

A construção do protótipo foi realizada na plataforma CUSCOPIC que permitiu a montagem dos sensores e possui o módulo para acionamento PWM, as informações são exibidas em um mostrador digital. Por ser um protótipo não foram utilizados todos os recursos disponíveis na placa.

A posição de montagem dos componentes do sistema de controle na placa protótipo CUSCOPIC (Figura 38) são: (1) conector para o sensor de vazão do fluido; (2) sensor de temperatura e câmera de estabilização de temperatura; (3) sensor de pressão; (4) conexão para o mostrador digital; (5) botões para configuração; (6) conexão via serial; (7) microcontrolador PIC18F4520; (8) conexão para o módulo PWM; (9) alimentação de energia.

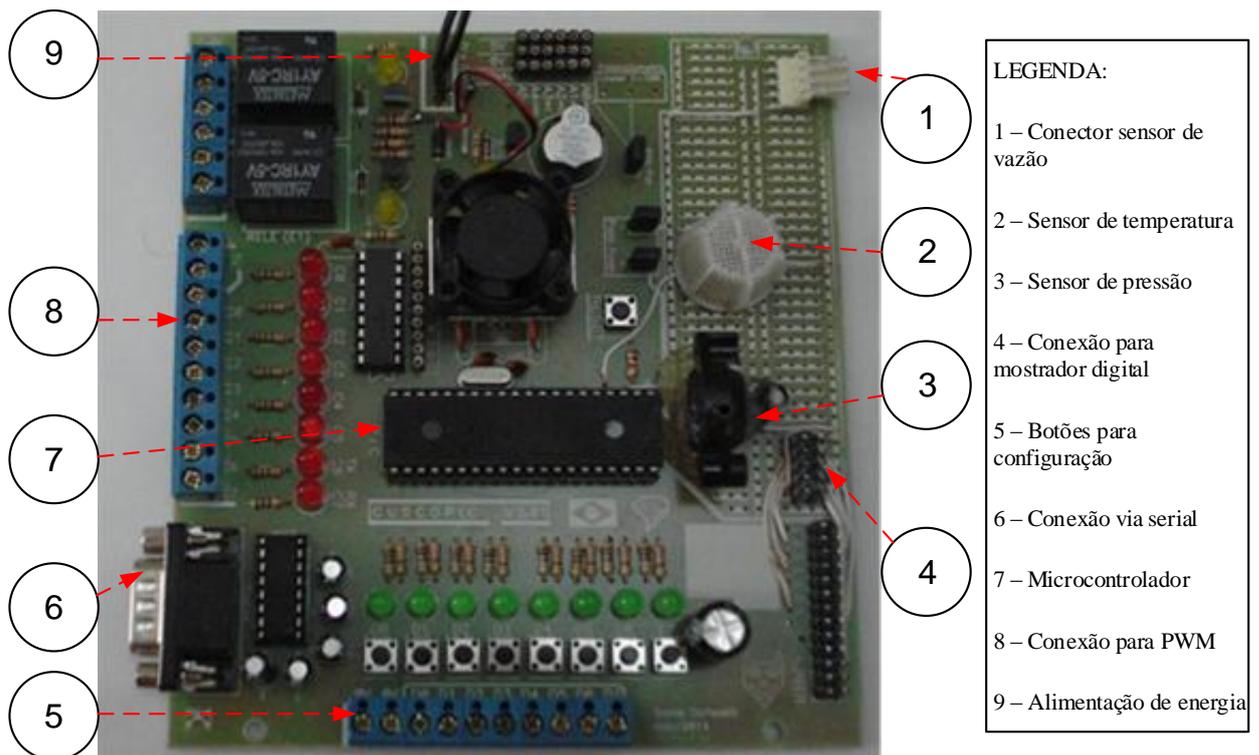


Figura 38 – Função enviar dados para um microcomputador

O mostrador digital é responsável por exibir todas as informações conforme a programação. Foi utilizado um mostrador digital com 16 colunas e 4 linhas (Figura 39a), na Figura 39b é apresentado o menu principal com as informações exibidas ao usuário. O

mostrador digital selecionado atende as características de fácil operação e permite melhor visualização em decorrência de seu tamanho.

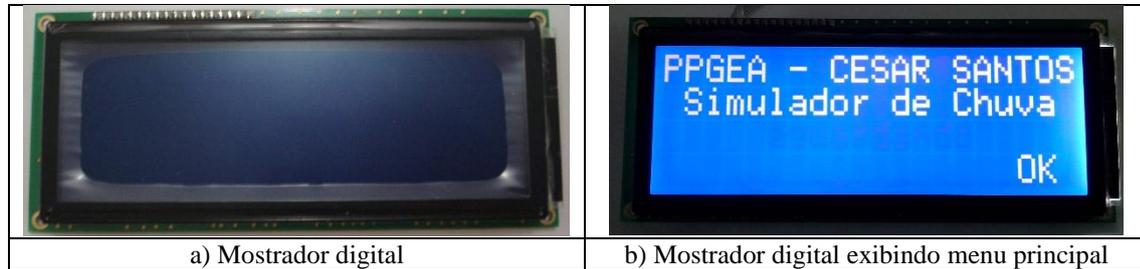


Figura 39 – Mostrador digital 16x4

Os sensores e a placa do módulo PWM que foram utilizados na montagem do protótipo do sistema de controle e automação de um simulador de chuva são apresentados na Figura 40.

A vazão do fluido é medida por um sensor do tipo turbina (roda d'água) da marca SEA modelo YF-S201<sup>10</sup> (Figura 40a), a faixa de trabalho do sensor é de 1 a 30 l/min com uma pressão menor que 2 MPa.

A pressão da água no sistema é medida pelo sensor MPX4250GP<sup>11</sup> (Figura 40b) fabricado pela FREESCALE SEMICONDUCTOR, o sensor realizar medições entre 0 e 250 kPa e suporta temperaturas de -40°C até 125°C, o erro máximo é de 1,4% na temperatura de 0°C a 85°C.

A medição da temperatura é realizada pelo sensor DS1822<sup>12</sup> (Figura 40c) fabricado pela MAXIM INTEGRATED, a mínima temperatura registrada pelo sensor é de -55°C e a máxima temperatura é de 125°C, apresenta uma exatidão de  $\pm 2^\circ\text{C}$  na faixa de temperatura de -10°C até 85°C.

O sensor DS1822 pode ser utilizado para controles termostáticos, sistemas industriais, produtos que utilizam termômetros e qualquer sistema termo sensível, incluindo o sistema de controle e automação de um simulador de chuva.

A vazão do sistema é regulada por meio do módulo PWM (Figura 40d) que é responsável pelo acionamento da bomba de diafragma SEAFLO. Seu acionamento é 12V

<sup>10</sup> As características técnicas estão disponíveis no Anexo D.

<sup>11</sup> As informações dimensionas estão disponíveis no Anexo E.

<sup>12</sup> As características técnicas estão disponíveis no Anexo F.

corrente contínua, conforme a programação do experimento o módulo PWM envia pulso de sinais para o motor elétrico da bomba que varia a sua rotação resultando na variação da vazão.

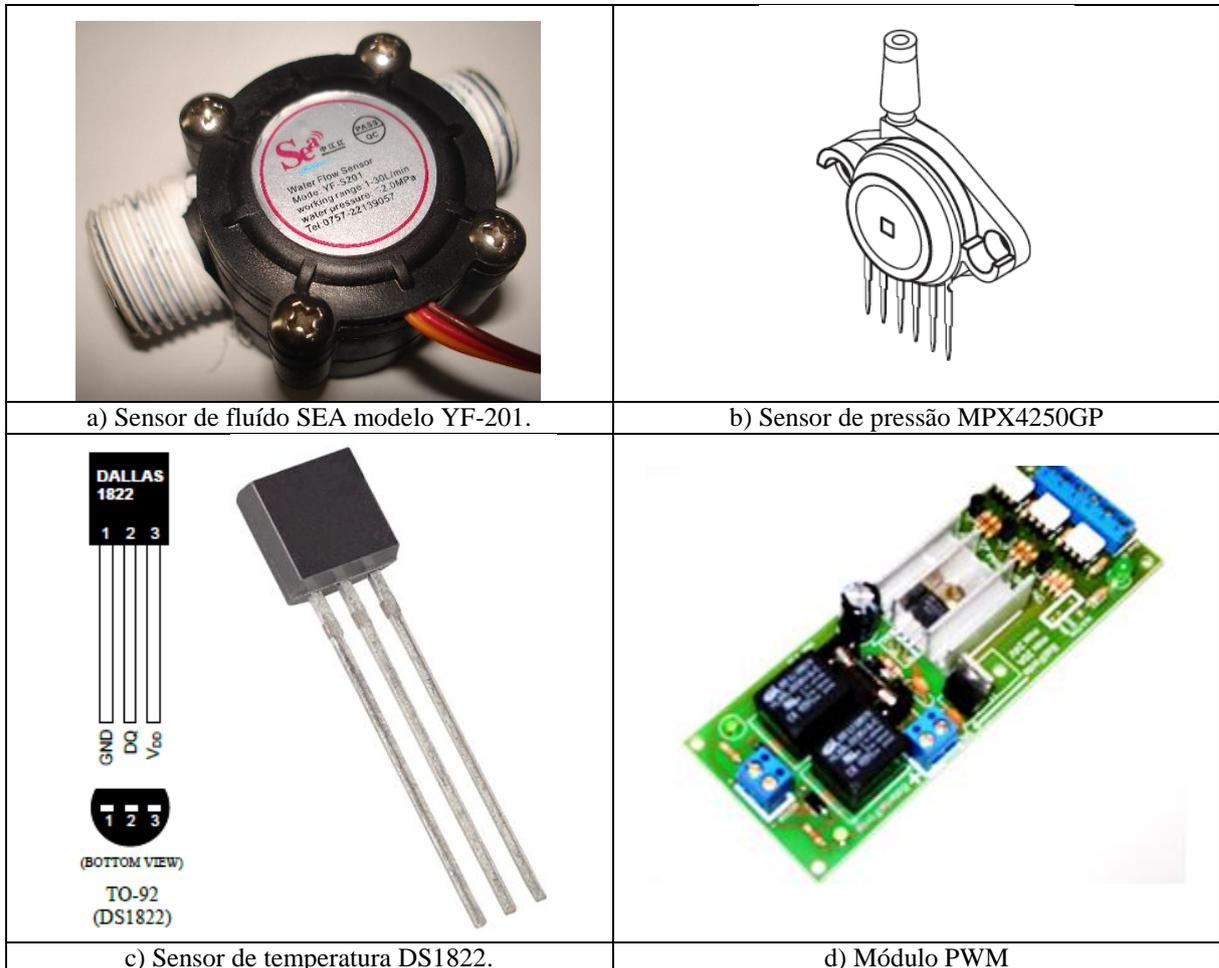


Figura 40 – Componentes utilizados na montagem do protótipo CUSCOPIC

Para proteger o sistema eletrônico foi construído uma proteção em poli-metacrilato de metila que é um material termoplástico rígido e transparente, conhecido como acrílico (Figura 41b). Na Figura 41a é apresentado o leiaute da montagem do sistema eletrônico, para facilitar a montagem foi construído um painel para rápida conexão dos cabos, para evitar erro de montagem cada um dos cabos possui um conector específico. Os cabos estão dispostos da seguinte forma: (1) entrada de energia do sistema controlador; (2) acionamento da bomba d'água; (3) saída serial para enviar os dados ao microcomputador; (4) sensor de pressão; (5) entrada de energia do módulo PWM e (6) sensor de vazão (Figura 41c).

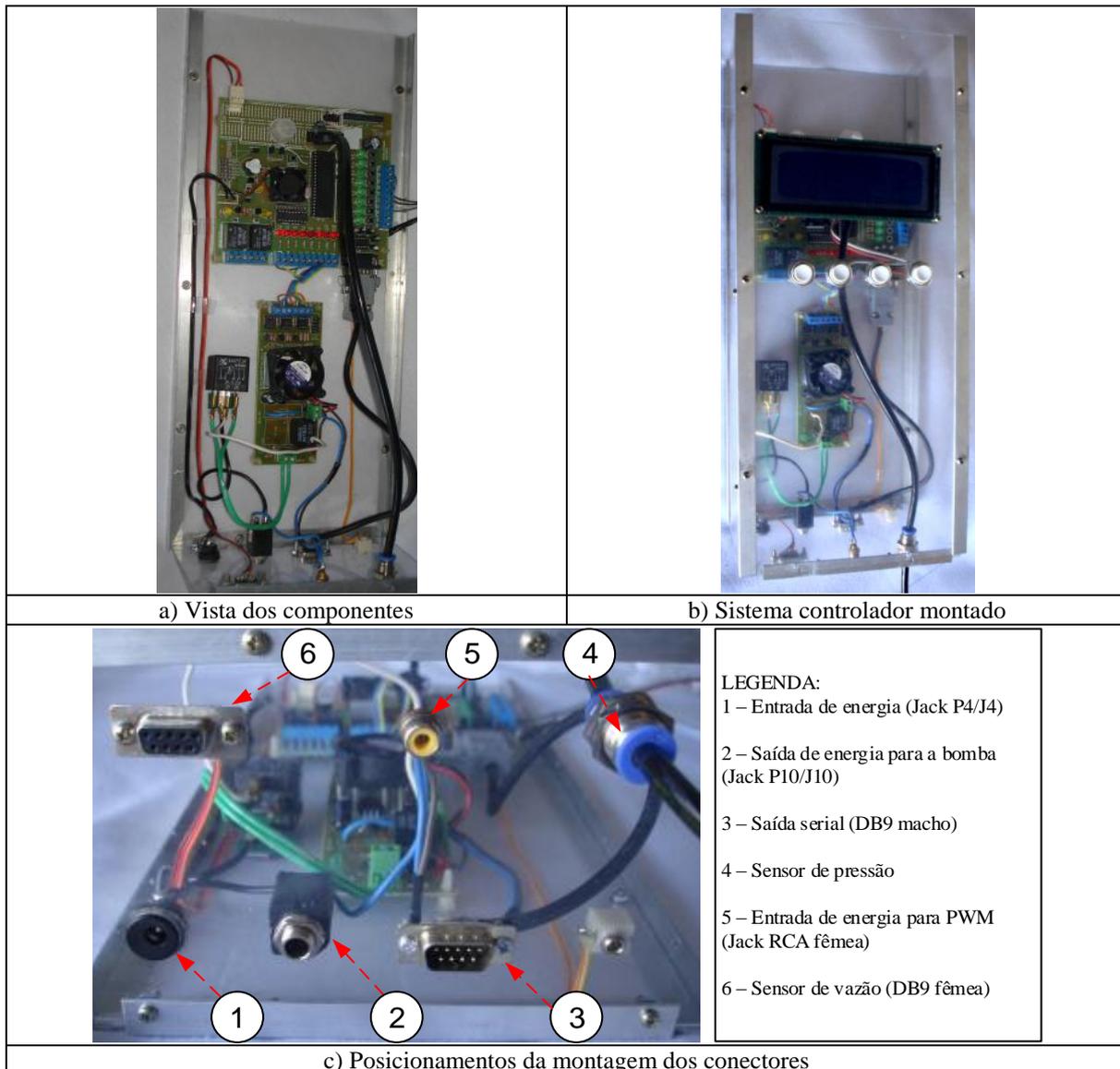


Figura 41 – Layout da montagem dos componentes no sistema controlador

O leiaute utilizado permitiu um arranjo organizado dos elementos. Foi utilizado diferentes tipos de conectores para garantir a correta conexão, para a entrada de energia (1) foi utilizado um conector modelo Jack P4/J4, a saída de energia para a bomba (2) foi utilizada um conector Jack P10/J10, para a saída serial (3) foi utilizado um conector DB9 macho, para a entrada de energia no módulo PWM (5) foi utilizado um conector Jack RCA fêmea e para o sensor de vazão (6) foi utilizado um conector modelo DB9 fêmea.

#### 4.4 Fase de avaliação

A proposta de uma sistemática para experimentos em laboratórios corresponde as etapas de verificação do perfil de distribuição e uniformidade de um bico, verificação do perfil de distribuição e uniformidade com dois bicos e verificação da energia cinética gerada pelo bico utilizado.

Para realização dos experimentos é utilizado um leiaute pré-definido que é utilizado nas três etapas. A Figura 42 apresenta a utilização do protótipo (4) no processo de geração de chuva simulada. Por meio de quatro botões o usuário configura primeiramente a parcela onde será executada, o tempo de duração e o volume de chuva. O software desenvolvido interpreta as informações e inicia a chuva simulada, a água está armazenada em um reservatório (7), a bomba (3) realiza o recalque da água alimentado o sistema, os sensores de vazão (5), pressão e temperatura realizam a leitura e apresentam os valores no mostrador digital para acompanhamento do usuário. A água passa pelo bico (6) sendo coletada pelos pluviômetros (1). Os dados medidos pelos sensores e a configuração dos experimentos foram exportados para um microcomputador (2) permitindo o registro de todos os experimentos realizados.

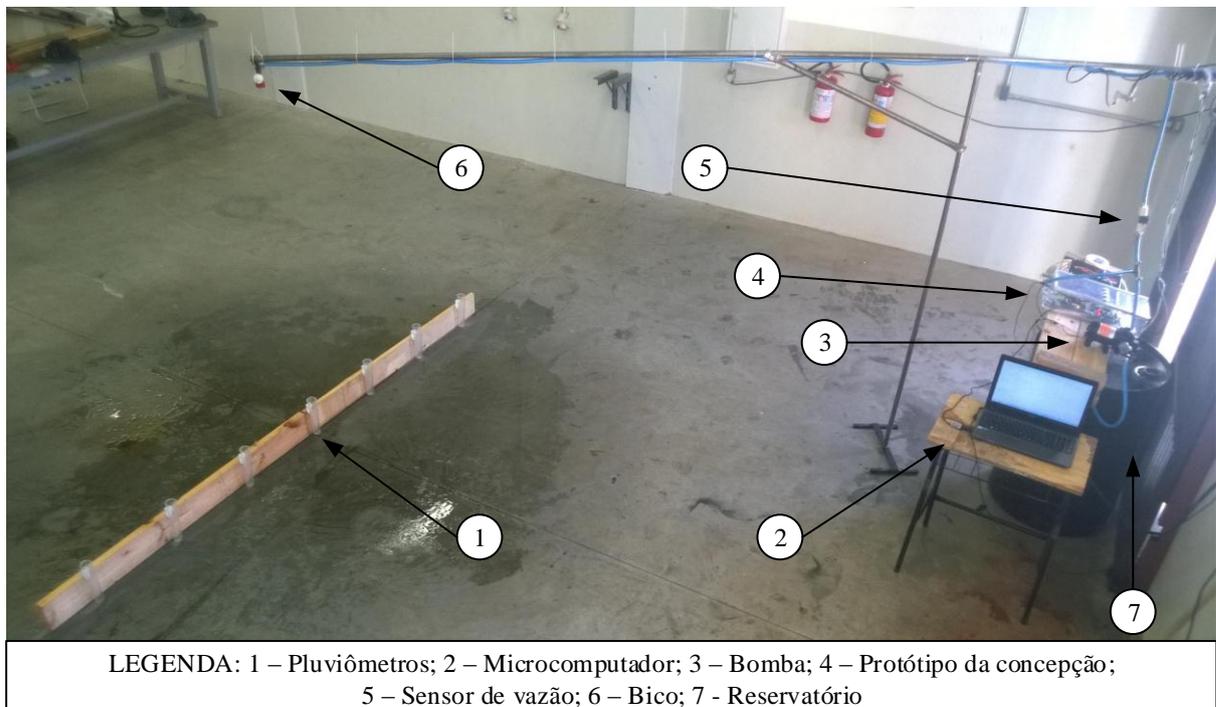


Figura 42 – Protótipo utilizado nos experimentos

#### 4.4.1 Verificação do perfil de distribuição e uniformidade de um bico

O objetivo é verificar o perfil de distribuição e a uniformidade de distribuição da chuva simulada no eixo “x”. A Figura 43 apresenta a leiaute do experimento, onde (1) corresponde ao bico fixado no tubo metálico (2), a água alimenta o bico por meio de uma mangueira de 12,5 mm (3). Os sete pluviômetros foram posicionado ao longo da coordenada “x”.

Os volumes de chuva simulada foram registrados e elaborado a Tabela 1 que apresenta os valores medidos em cada um dos sete pluviômetros para cada uma das seis repetições.

Tabela 1 – Volume de chuva simulada registrada pelos pluviômetros nas seis repetições

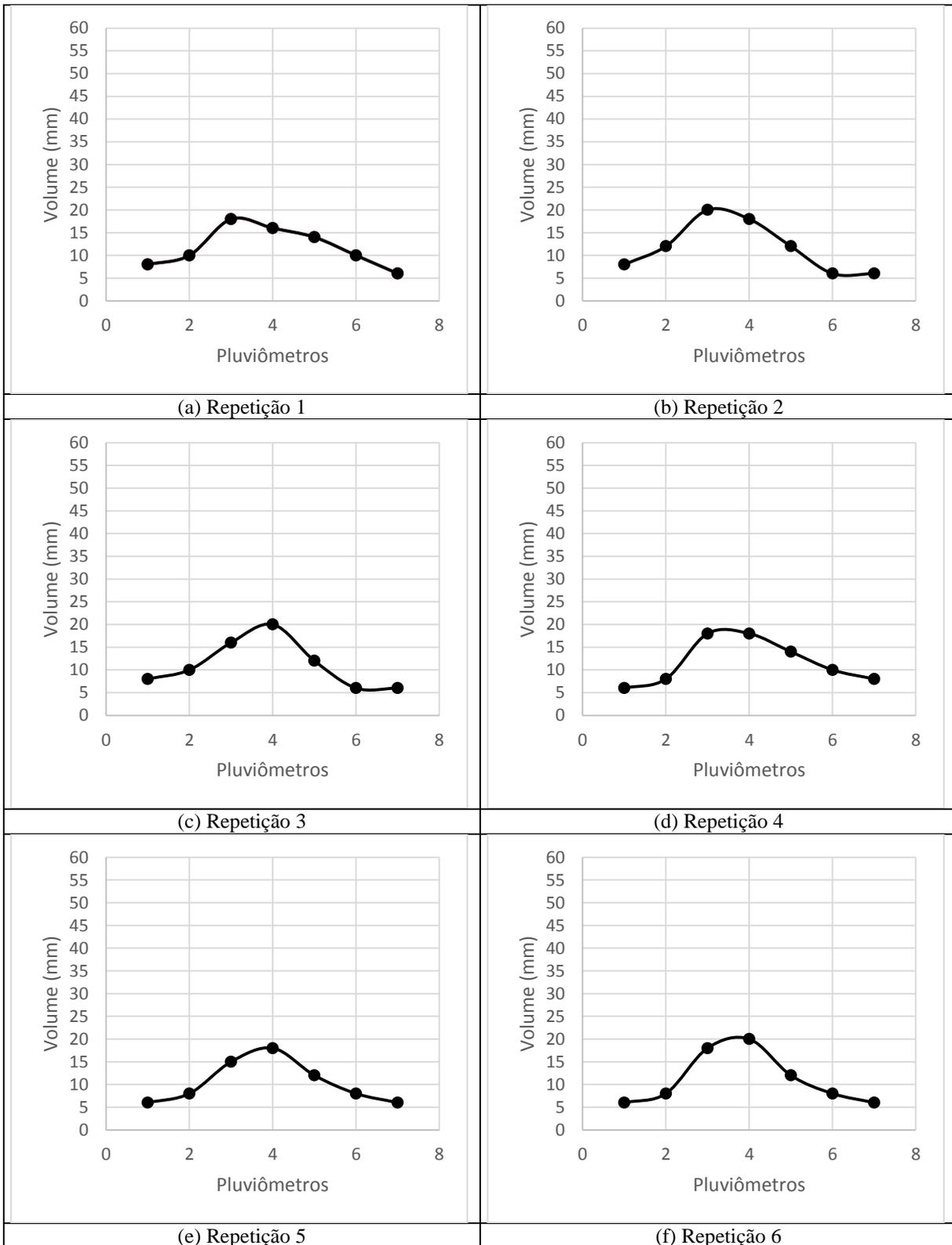
Experimento	Tempo (min)	Pluviômetros (mm)						
		1	2	3	4	5	6	7
1	15	8	10	18	16	14	10	6
	30	15	18	32	28	24	16	12
2	15	8	12	20	18	12	6	6
	30	16	22	40	40	26	14	11
3	15	8	10	16	20	12	6	6
	30	14	18	32	42	26	14	12
4	15	6	8	18	18	14	10	8
	30	14	16	30	32	26	18	14
5	15	6	8	15	18	12	8	6
	30	14	20	38	35	25	16	14
6	15	6	8	18	20	12	8	6
	30	14	18	36	44	30	16	14



Figura 43 – Leiaute do experimento para verificar o perfil de distribuição e uniformidade de um bico

A partir dos dados da Tabela 1 foi elaborado o Quadro 5, que apresenta o perfil de distribuição das seis repetições realizadas, os valores foram coletados após de 15 minutos de chuva simulada. Os gráficos apresentam o volume (mm) para cada um dos sete pluviômetros.

O pluviômetro número 4 fica centralizado com o bico, sendo que nas repetições 3, 5 e 6 obteve os máximos valores registrados, respectivamente 20, 18 e 20 mm de chuva simulada. Nas repetições 1 e 2 o pluviômetro número 3 obteve os máximos valores registrados, sendo 18 e 20 mm e na repetição 4 os pluviômetros de número 3 e 4 apresentam os máximos valores, sendo 18mm de volume de chuva.



Quadro 5 – Perfil de distribuição da chuva simulada das seis repetições com 15 minutos

Os valores máximos registrados oscilaram entre o pluviômetro 3 e 4, sendo que o pluviômetro 4 está centralizado com o bico e o espaçamento entre os pluviômetros é de 45 cm.

O volume máximo de chuva simulada no tempo de 15 minutos nas seis repetições manteve-se entre 18 e 20 mm. O perfil de distribuição tende a formar uma curva gaussiana, com os máximos valores centralizados oscilando entre os pluviômetros 3 e 4. Com a utilização do protótipo do sistema de controle foi possível verificar que a pressão no sistema foi de 174 kPa (1,74 bar) e a vazão registrada foi de  $9,14 \text{ l.m}^{-1}$ .

Com os valores das seis repetições no tempo 15 minutos foi elaborado a Figura 44, que apresenta no mesmo gráfico o perfil de distribuição da chuva simulada.

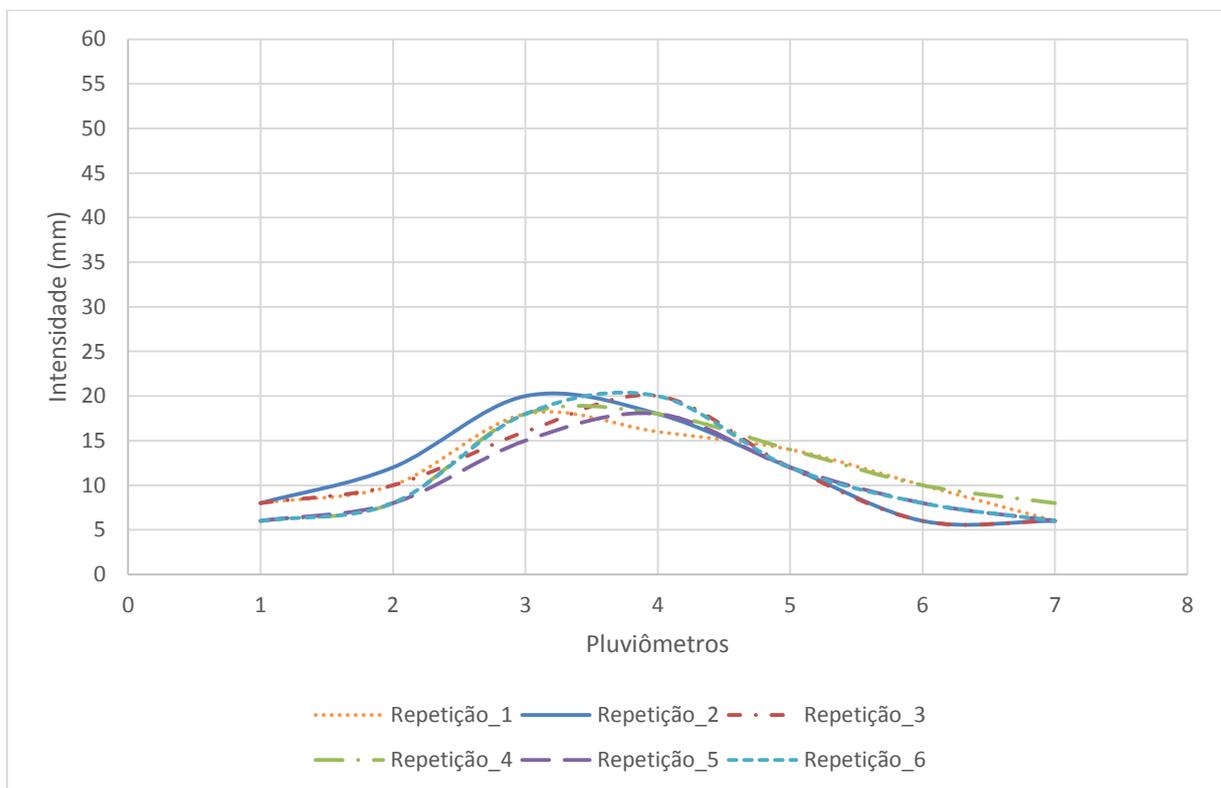
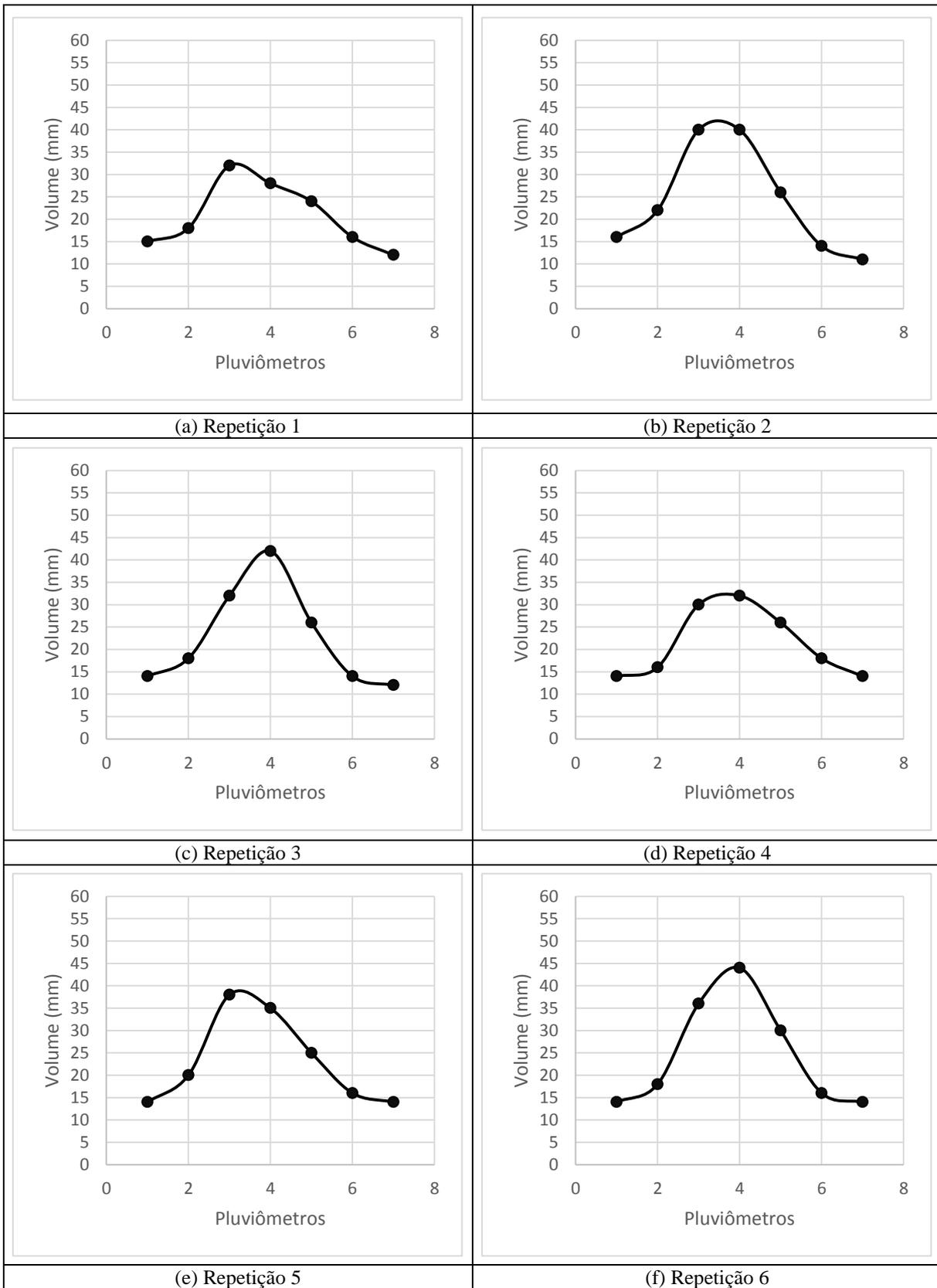


Figura 44 – Perfil de distribuição das seis repetições no tempo de 15 minutos

Com os valores coletados após 30 minutos de chuva simulada foi elaborado o Quadro 6. Devido ao tempo do experimento ter sido de 30 minutos houve um aumento no volume máximo de chuva simulada, sendo registrado 44 mm (repetição 6).



Quadro 6 – Perfil de distribuição da chuva simulada das seis repetições com 30 minutos

O pluviômetro 4 apresentou valores máximos nas repetições 3, 4 e 6, respectivamente 42, 32 e 44mm de volume de chuva. O pluviômetro 3 apresentou máximo volume nas repetições 1 e 5, sendo respectivamente 32 e 36mm e na repetição 2 os pluviômetros 3 e 4 apresentaram o mesmo volume máximo de 40 mm de chuva simulada.

Agrupando as seis repetições do tempo de 30 minutos foi elaborado a Figura 45, sendo observado que se manteve o mesmo perfil de distribuição conforme registrado na Figura 44, porém, com um aumento no volume decorrente do tempo ter sido de 39 minutos.

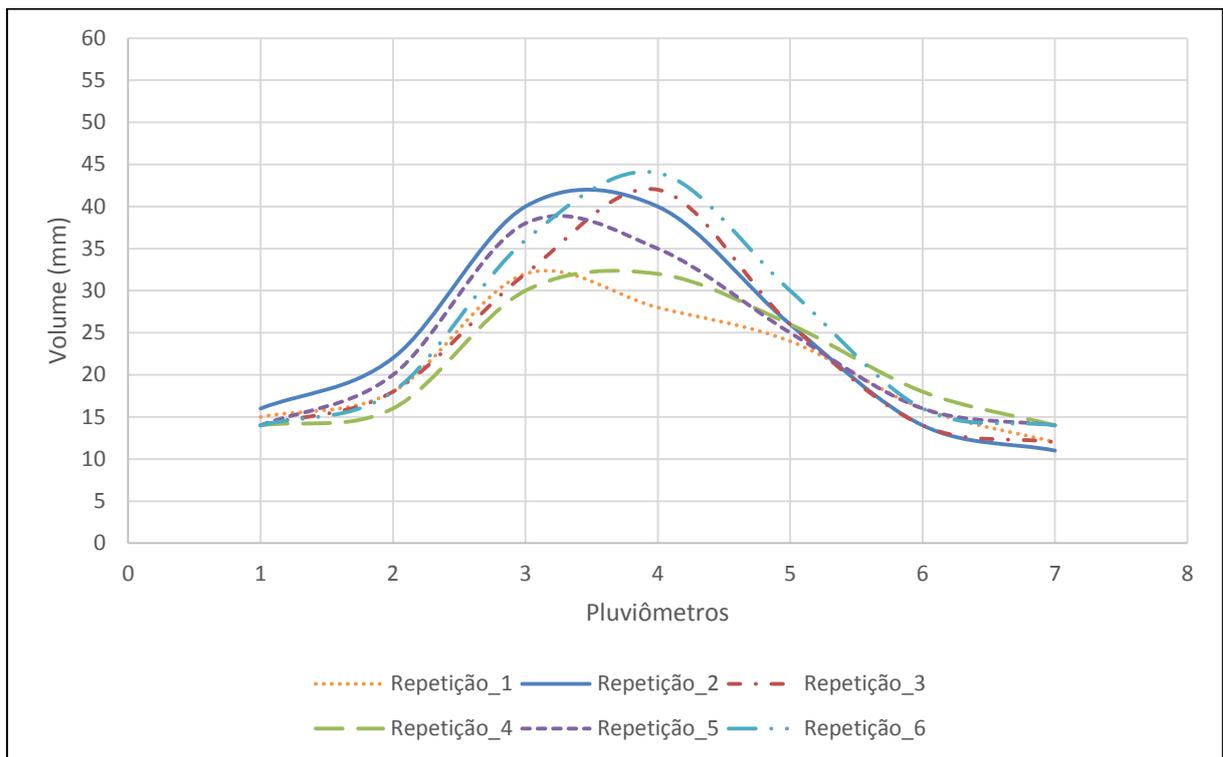


Figura 45 – Perfil de distribuição das seis repetições no tempo de 30 minutos

#### 4.4.2 Verificação do perfil de distribuição e uniformidade com dois bicos

A verificação do perfil de distribuição e uniformidade com dois bicos tem por objetivo verificar o comportamento do perfil de distribuição utilizando dois bicos com três diferentes distâncias, para cada distância foi realizado três repetições, contabilizando nove repetições. A Figura 46 apresenta o leiaute do experimento, onde os dois bicos (1) foram espaçados em 1,3m, 1,5m e 1,7m. O espaçamento a ser avaliado é entre os dois bicos, desta forma os sete pluviômetros (2) foram posicionados equidistantes 20 cm entre os bicos.

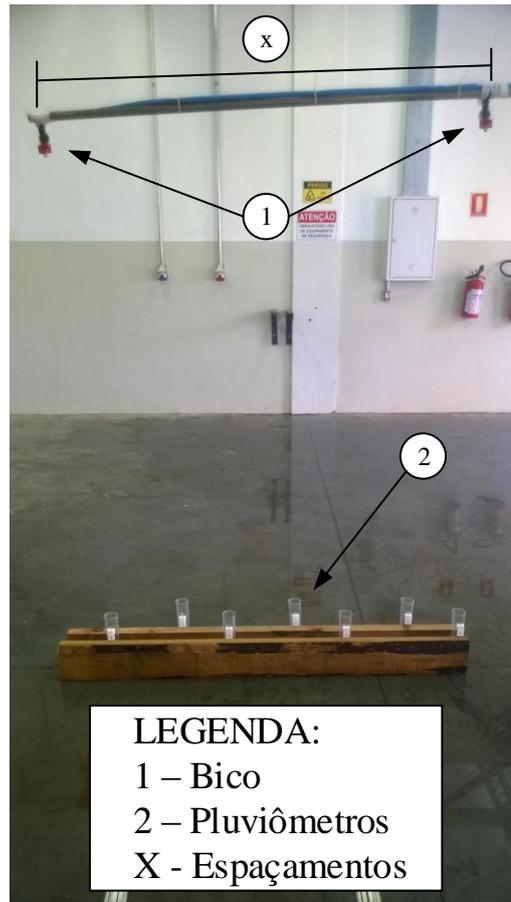


Figura 46 – Leiaute do experimento para verificar o perfil de distribuição e uniformidade com dois bicos

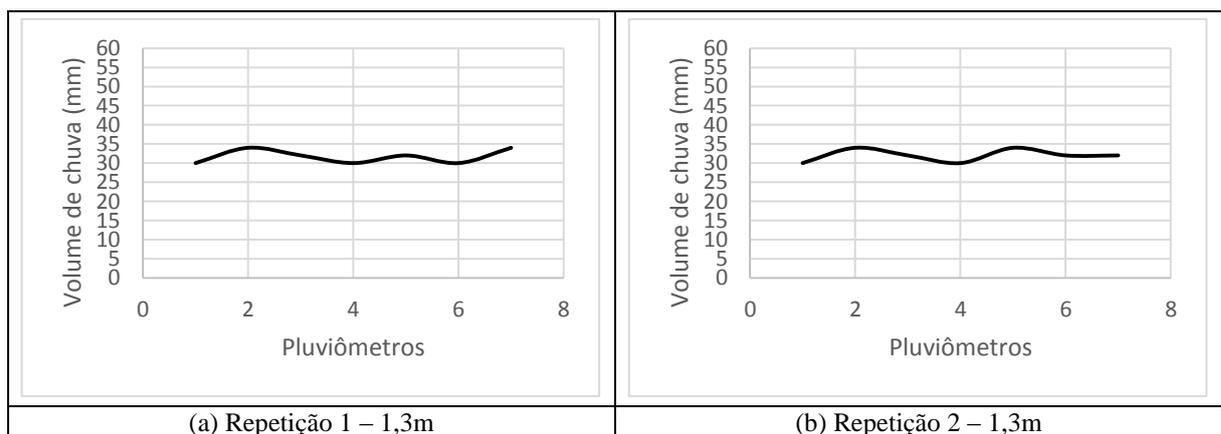
O tempo de cada repetição foi de 30 minutos, a medição dos pluviômetros foi realizada no final de cada repetição. A Tabela 2 apresenta os valores registrados para cada uma das repetições. Observa-se que para a repetição 1 o coeficiente de variação foi de 6%, para as repetições 2 e 3 o coeficiente de variação é de 5%, correspondente a distância de 1,3 m entre os bicos. Nas repetições 4, 5 e 6 o coeficiente de variação é respectivamente 7, 6 e 5 %, correspondente a distância de 1,5 m. Para as repetições 7, 8 e 9 o coeficiente de variação é respectivamente 13, 15 e 17 %.

Tabela 2 – Volume de chuva simulada registrada pelos pluviômetros nas nove repetições

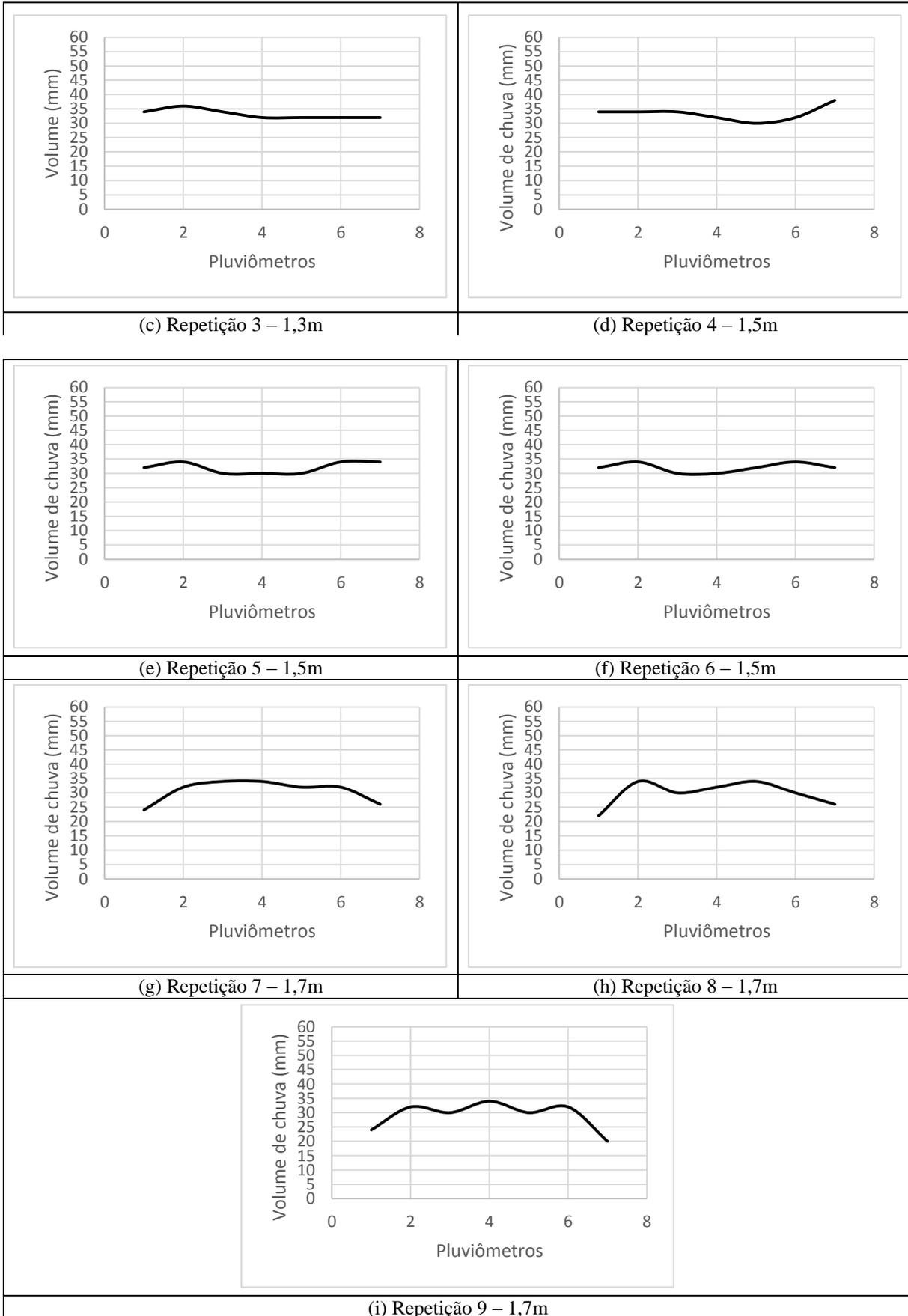
Tempo (min)	Repetição	Pluviômetro (mm)							Média (mm)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)	Distancia entre bicos (m)
		1	2	3	4	5	6	7				
30	1	30	34	32	30	32	30	34	31,71	1,80	6	1,3
	2	30	34	32	30	34	32	32	32,00	1,63	5	1,3
	3	34	36	34	32	32	32	32	33,14	1,57	5	1,3
	4	34	34	34	32	30	32	38	33,43	2,51	7	1,5
	5	32	34	30	30	30	34	34	32,00	2,00	6	1,5
	6	32	34	30	30	32	34	32	32,00	1,63	5	1,5
	7	24	32	34	34	32	32	26	30,57	3,95	13	1,7
	8	22	34	30	32	34	30	26	29,71	4,39	15	1,7
	9	24	32	30	34	30	32	20	28,86	5,01	17	1,7

Com os dados da Tabela 2 foi elaborado o Quadro 7, que apresenta os perfis de distribuição da chuva simulada para cada uma das nove repetições. As repetições 1, 2, e 3 correspondem ao espaçamento de 1,3 m, as repetições 4, 5 e 6 tem os bicos espaçados em 1,5 m e nas repetições 7, 8 e 9 o espaçamento dos bicos foi de 1,7 m.

Nas repetições 1, 2 e 3 com espaçamento de 1,3 m os o volume de chuva registrado variou de 30 à 34 mm. Nas repetições com espaçamento de 1,5 m o volume de chuva simulada oscilou entre 30 e 34 mm. Porém, na repetição 4 o pluviômetro 7 registrou 38 mm de volume de chuva simulada, acima das repetições 5 e 6. Nas repetições 7, 8 e 9 o espaçamento foi de 1,7 m, observa-se que nos pluviômetros 1 e 7 das respectivas repetições o volume registrado oscilou entre 18 e 26 mm, valor abaixo dos pluviômetros 2, 3, 4, 5 e 6 que registrou entre 30 e 36 mm de volume de chuva.



(continua)



Quadro 7 – Perfil de distribuição da chuva simulada das nove repetições com 30 minutos

Os valores das nove repetições apresentadas no Quadro 7 foram agrupados na Figura 47 com o objetivo de possibilitar uma análise da variação do volume de chuva simulada nos sete pluviômetros para cada uma das três distâncias. Para o bico utilizado como modelo observa-se que até a distância de 1,5 m a chuva simulada apresenta uniformidade e para a distância de 1,7 m observou-se que o volume de chuva simulada coletada pelos pluviômetros 1 e 7 que estão posicionados nas extremidades vou menor que nos demais pluviômetros.

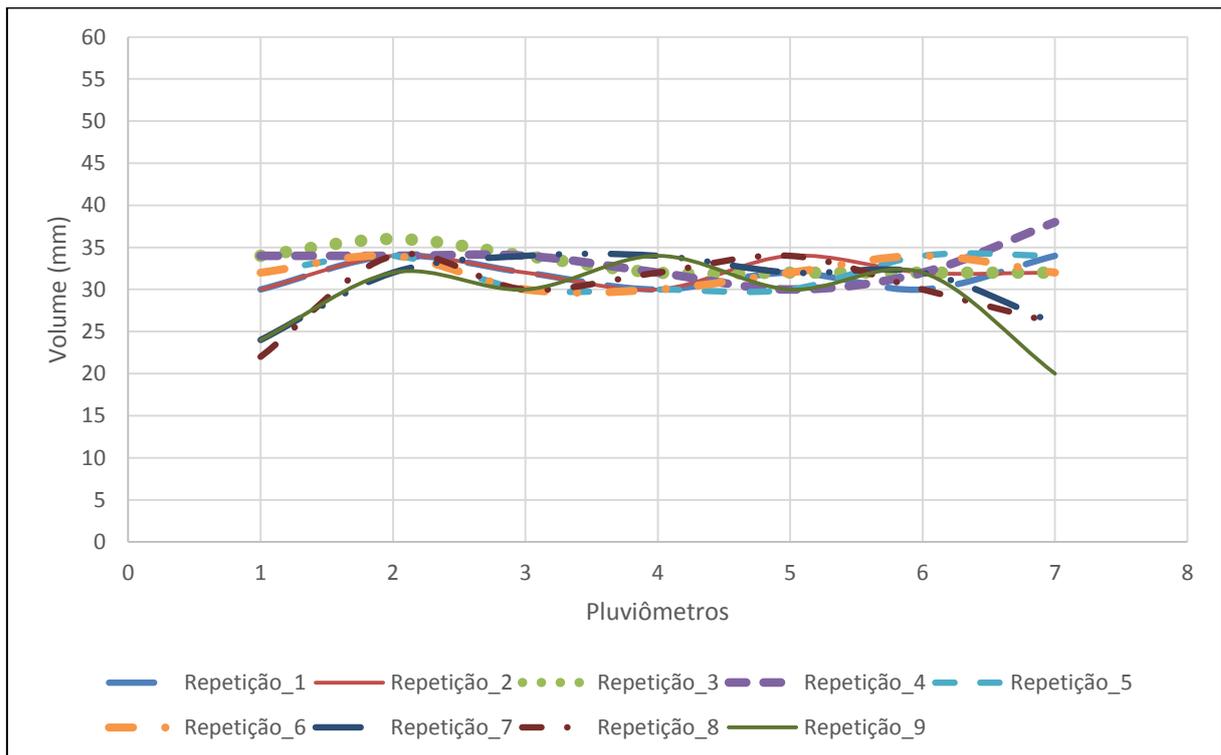


Figura 47 – Perfil da distribuição da chuva simulada das nove repetições

#### 4.4.3 Verificação da energia cinética gerada pelo bico utilizado

O objetivo do terceiro experimento é verificar a energia cinética da chuva simulada ( $J m^{-2} h^{-1}$ ) e o diâmetro das gotas (mm). A Figura 48 apresenta o leiaute do experimento, onde os dois bicos (1) foram posicionados a 1,5m conforme resultado do experimento que verifica a uniformidade de distribuição com dois bicos. O distrômetro (2) foi posicionado entre os bicos, os dados coletados pelo distrômetro são enviados para um microcomputador e são apresentados em forma de figuras. A energia cinética foi verificada em dois cenários,

primeiramente para  $14 \text{ mm h}^{-1}$  que corresponde a menor intensidade de chuva simulada e para a maior intensidade de  $62 \text{ mm h}^{-1}$ .

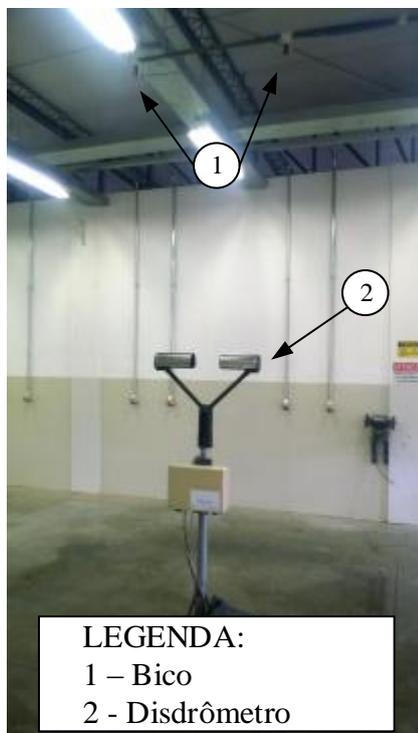


Figura 48 – Leiaute do experimento para verificar a energia cinética da chuva simulada

A Figura 49 apresenta o primeiro cenário, com uma chuva simulada de  $14 \text{ mm h}^{-1}$  e a pressão da água no sistema de  $0,7 \text{ kPa}$ . As maiores concentrações de gotas de chuva simuladas apresentam um diâmetro (mm) entre  $0,5$  e  $1 \text{ mm}$  e uma velocidade de queda entre  $1$  e  $3 \text{ m s}^{-1}$ . A energia cinética do primeiro cenário foi de  $177,5 \text{ J m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , conforme Canele et. al (2014) uma mesma intensidade uma chuva natural apresenta uma energia cinética de  $1355,7 \text{ J m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ .

O segundo cenário é apresentado na Figura 50, com uma chuva simulada de  $62 \text{ mm.h}^{-1}$  e a pressão da água no sistema de  $174 \text{ kPa}$ . Observou-se que a concentração de gotas de chuva ocorre entre  $0,5$  e  $1 \text{ mm}$  e uma velocidade de queda entre  $1$  e  $3 \text{ m.s}^{-1}$  (1). A energia cinética do segundo cenário foi de  $161,58 \text{ J.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ , uma chuva natural com uma intensidade de  $62 \text{ mm h}^{-1}$  deveria apresentar uma energia cinética de  $7021,60 \text{ J.m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  (CANELE et. al, 2014).

A diminuição da energia cinética no segundo cenário ocorre devido a maior pressão da água no sistema, uma vez que, quanto maior a pressão menor será o diâmetro das gotas de chuva. No primeiro cenário há entre  $50$  e  $100$  gotas que apresentam um diâmetro entre  $0,5$  e  $1$

mm, no segundo cenário o número é de 100 a 200 gotas que apresentam um diâmetro entre 0,5 e 1 mm.

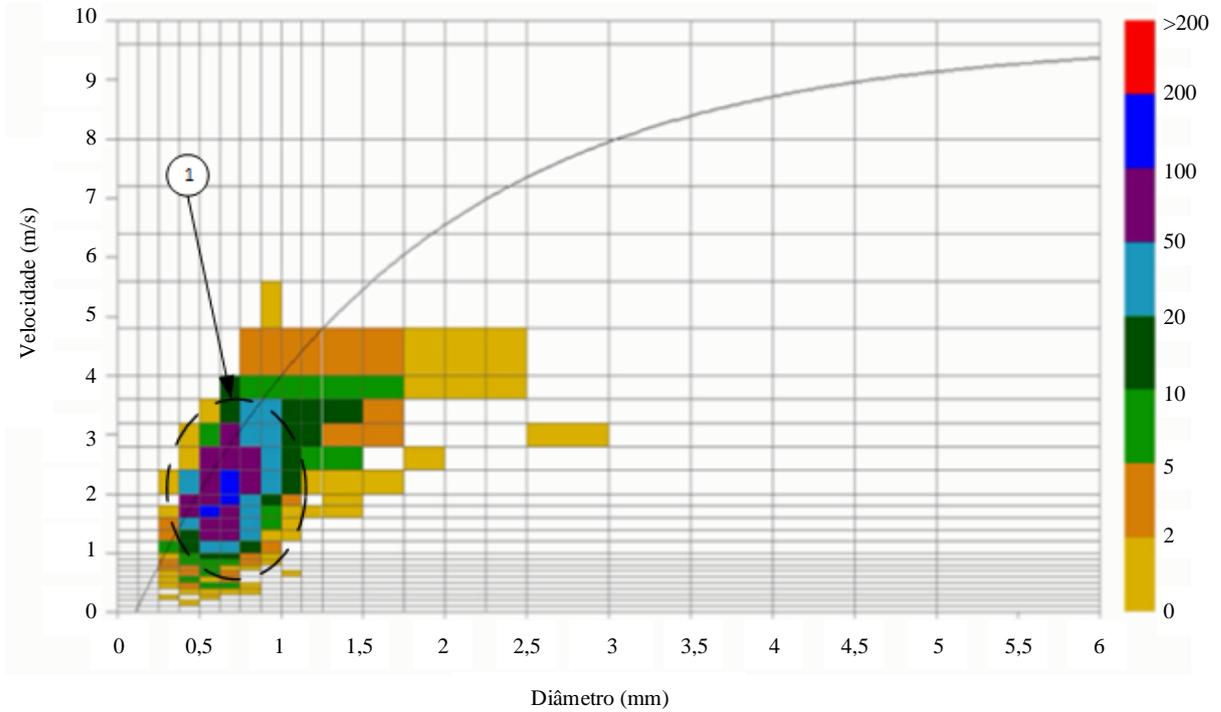


Figura 49 – Diâmetro (mm) e velocidade (m s-1) das gotas de chuva para o primeiro cenário

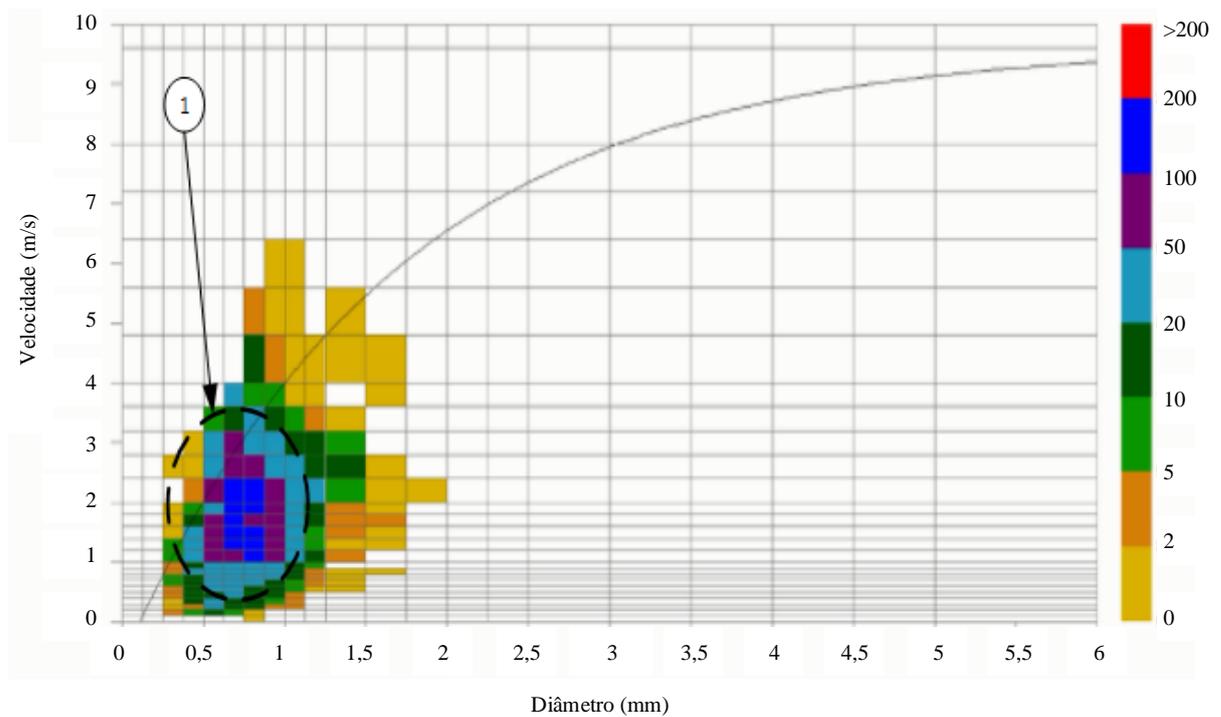


Figura 50 – Diâmetro (mm) e velocidade (m s-1) das gotas de chuva para o segundo cenário

## 4.5 Fase de decisão

Neste item são apresentados os resultados da verificação experimental do sistema de controle, a calibração do sensor de vazão com a bomba utilizada para o recalque da água, a verificação do funcionamento do sistema de controle simulando condições de uso.

### 4.5.1 Aferição do sensor de vazão

A aferição do sensor de vazão é importante para garantir ao usuário que a vazão registrada pelo sistema corresponde a vazão real. Na Tabela 3 é apresentado os valores registrados para aferição, foram programadas 15 diferentes vazões, a faixa de trabalho do sensor é de 1 – 30 L.min<sup>-1</sup>. A vazão máxima teórica da bomba é de 18 L.min<sup>-1</sup>, porém em experimentos preliminares o sistema proposto não possibilita uma vazão maior que 15 L.min<sup>-1</sup>, desta forma as medições foram realizadas na faixa de 1 L.min<sup>-1</sup> até 15 L.m<sup>-1</sup>.

Tabela 3 – Valores da vazão registrada pelo sensor x Valores medido na proveta

Vazão registrada pelo sensor (l/min)	Vazão medido na proveta (l/min)
1,00	0,810
2,00	1,850
3,00	2,910
4,00	3,920
5,00	4,920
6,00	5,910
7,00	6,980
8,00	7,990
9,00	8,950
10,00	9,910
11,00	10,940
12,00	11,920
13,00	12,960
14,00	13,980
15,00	14,990

Com os dados da Tabela 3 foi elaborada o Gráfico 1, onde é apresentada a relação entre a vazão que o sensor mede com a vazão medida em uma proveta graduada. Durante a execução da aferição o sistema não apresentou nenhuma falha ou erro de funcionamento. O valor de  $R^2$  obtido foi de 0,9999, desta forma o modelo de sensor utilizado no sistema proposto apresenta precisão nos valores de vazão.

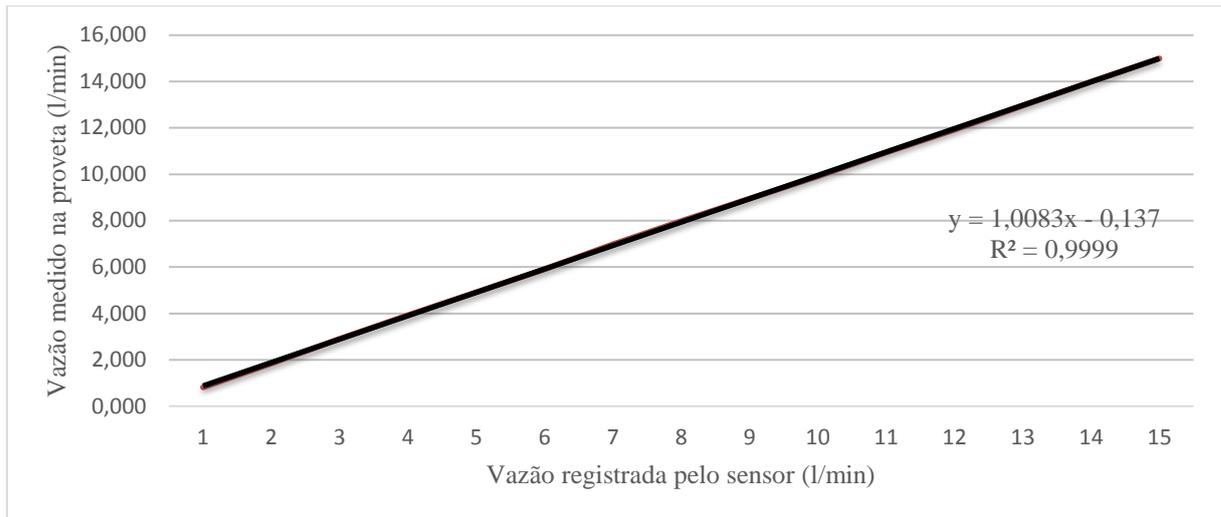


Gráfico 1 – Relação entre vazão marcada pelo sensor e vazão medida em uma proveta

#### 4.5.2 Verificação do funcionamento

Para verificar o funcionamento do sistema de controle foi realizado 17 simulações de uso do sistema proposto. Foi dividido em três etapas seis repetições, nove repetições e duas repetições, cada repetição com uma duração de 30 min.

Na primeira etapa o tempo total de funcionamento do sistema controlador foi de 180 min, na segunda etapa foi de 270 min e na terceira etapa o tempo total foi de 60 min. Contabilizado 510 min de simulações com o sistema controlador e neste período de tempo o protótipo não apresentou falhas na programação, o protótipo apresentou estabilidade no seu funcionamento, para evitar o aquecimento no sistema eletrônico foi instalado um sistema de ventilação auxiliar.

Na Figura 51 é apresentado o primeiro relatório gerado pelo sistema controlador. Foram gerados 17 relatórios, respectivamente um para cada uma das 17 repetições, sendo apresentados nos Apêndices B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q e R.

<p>CONECTADO</p> <p>Configuracao do ensaio:</p> <p>parcela = 2; volume = 60mm; tempo = 30min</p> <p>CHOVENDO</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 08,94l/min; Temp = 32,50°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 32,87°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 33,18°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 33,75°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 33,93°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 33,50°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 33,43°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 33,75°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 34,06°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,00°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,25°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,37°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,06°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 34,18°C</p>	<p>PAUSA EM 15min 0s REINICIA CHUVA</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,40l/min; Temp = 34,81°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,82l/min; Temp = 35,25°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 08,88l/min; Temp = 32,12°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,81°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,56°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,25°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 31,18°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 30,75°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 30,43°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 30,06°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 30,43°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 30,56°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 30,81°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 30,81°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 31,50°C</p> <p>Condicoes do Ensaio: Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 32,25°C</p> <p>ENSAIO FINALIZADO</p>
--	--

Figura 51 – Modelo de relatório gerado pelo sistema controlador

## 5 CONCLUSÃO

As características do sistema proposto são apresentadas nas especificações de projeto que são os resultados obtidos das necessidades dos clientes observadas a partir dos experimentos que utilizam simuladores de chuva e dos modelos já existentes. O protótipo do sistema de controle e automação apresenta sensores de pressão, vazão e temperatura, tendo os valores medidos registrados na forma de relatórios. A chuva simulada gerada pelo protótipo é constante durante o tempo do experimento, que permite realizar ensaios considerando o volume de maior criticidade e maior efeito para o solo e planta.

A concepção do sistema de controle e automação desenvolvida na plataforma CUSCOPIC, executou a função para a qual foi projetada, sendo possível integrar os sensores de pressão, temperatura e vazão, necessários no processo de de simulação de chuva, além de apresentar baixo custo e ter licença livre para desenvolvimento de novas soluções tecnológicas. O desenvolvimento do diagrama de blocos definiu a lógica de programação que o sistema proposto segue, resultando em um programa de fácil configuração e operação.

A calibração do sensor de vazão com a bomba utilizada para o recalque da água, garante que o volume de chuva que é exibido pelo mostrador digital corresponda ao valor real aplicado nos experimentos. Durante os 510 minutos que o protótipo foi submetido aos experimentos, o software programado não apresentou falhas e manteve-se estável.

A proposta de uma sistemática para a realização de experimentos visou padronizar a realização de experimentos utilizando o protótipo. A sistemática consiste em verificar o perfil de distribuição da chuva simulada com um e dois bicos. Para experimentos com dois bicos a sistemática proporcionou verificar a distribuição da chuva simulada, considerando sobreposição dos bicos a qual mostrou-se uniforme para as medidas de 1,3 e 1,5 metros.

A verificação da energia cinética da gota de água produzida pelo bico avaliado foi de 2,3% da chuva natural para uma intensidade de  $62 \text{ mm.h}^{-1}$  e de 13,09% para uma chuva simulada com intensidade de  $14 \text{ mm.h}^{-1}$ .



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES SOBRINHO, T. **Desenvolvimento de um Infiltrômetro de Aspersão Portátil**. Viçosa, MG: UFV, 1997, 85 p. Tese Doutorado.

ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de Aplicação para Culturas Anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011.

BACK, N. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. da. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2008. 601 p.

BASTIANI, M. L. R. et al. Influência de chuva simulada após aplicação de herbicidas em pós-emergência, sobre o controle de plantas daninhas, em solo com dois níveis de umidade. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 18, n. 1, 2000. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-83582000000100006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582000000100006&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em: 19 Nov. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582000000100006>.

BAYER, F. M. **Automação de Sistemas**. 3. ed. Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria: Escola Técnica Aberta do Brasil. 2011.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V. **Introdução à Engenharia Mecânica**. Florianópolis: Editora UFSC, 1996. 272p.

BEHRENS, R.; ELAKKAD, M. A. **Influence of rainfall on the phytotoxicity of foliarly applied 2,4-D**. *Weed Sci.*, v. 29 p. 349-355, 1981.

BERTONI, J.; LOMBARDI Neto, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005. 355p.

BONALDO, S. A. **Tecnologia da Informática**. Apostila. UFSM/CTISM, 2009.

CANELE, T.; RAMON, R.; BARROES, C. A. P.; MINELLA, J. P. G. **Monitoramento da energia cinética da precipitação na encosta do planalto rio-grandense aplicada à estudos de erosão**. In: 29ª Jornada Acadêmica Integrada - JAI, 2014, 2014, Santa Maria. Jornada Acadêmica Integrada, 2014.

CARNEVALLI, J. A.; SASSI, A. C.; MIGUEL, P. A. C. Aplicação do QFD no desenvolvimento de produtos: levantamento sobre seu uso e perspectivas para pesquisas futuras. **Gestão da Produção**, São Carlos, v. 11, n. 1, Apr. 2004. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-530X200400010004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X200400010004&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em: 17 Dec. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2004000100004>.

CARVALHO, D. F. et al. Perdas de água e solo sob diferentes padrões de chuva simulada e condições de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, Aug. 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162012000400010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162012000400010&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 20 Ago. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000400010>.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; FRANCO, E. M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 7- 14, 2005.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; FRANCO, E. M.; CEDDIA, M. B.; LANA, A. M. Q. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 385-389, 2002.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Safra 2013/14**. Agosto de 2014. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14\\_08\\_07\\_08\\_59\\_54\\_boletim\\_graos\\_agosto\\_2014.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_08_07_08_59_54_boletim_graos_agosto_2014.pdf)> Acessado em: 18 Ago. 2014. ISSN 2318-6852.

CORTELETTI, D. **Microcontroladores e Microprocessadores**. Apostila. Caxias do Sul: SENAI/Mecatrônica, 2007.

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja – Região Central do Brasil**, 2014. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/exigencias.htm>> Acessado em: 18 Ago. 2014.

ESTEVEES, M.; PLANCHON, O.; LAPETITE, J. M.; SILVERA, N.; CADET, P. The ‘Emire’ large rainfall simulator: design and field testing. **Earth Surface Processes Landforms** 25, p. 681-690, 2000.

FLANAGAN, D. C.; FOSTER, G. R.; MOLDENHAUER, W. C. Storm pattern effect on infiltration, runoff and erosion. **Transactions of the ASAE**, v. 31, n. 2, p. 414-420, 1988.

FONSECA, A. J. H. Sistematização do Processo de Obtenção das Especificações de Projeto de Produtos Industriais e sua Implementação Computacional. 2000. 198p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GUIMARÃES, A. **Eletrônica embarcada automotiva**. 1. ed. São Paulo. Érica. 2007.

LAL, R. Global soil erosion by water and carbon dynamics. In: Lal, R.; Kimble, J.; Levine, E.; Stewart, B. Soils and global change. In: **Advances in Soil Science**. Florida: CRC/Lewis Publishers. 1995, p. 131–142.

MEYER, L. D.; McCUNE, D. L. Rainfall simulator for runoff plots. **Agriculture Engineering**, v. 34 p. 644-648, 1958.

MICROCHIP. **MPLAB ICD 2 In-Circuit Debugger User`s Guide**. Chandler, AZ, USA, 2005.

MICROCHIP. **MPLAB IDE – Integrated Development Environment**. Conjunto de programas de computador. Versão: 8.88. Chandler, AZ, USA, 2012.

MICROCHIP. **Técnicas para aumentar a robustez de projetos contra EMI/EMC/ESD/EFT**. Microchip Masters Brasil, 2009.

MIKROELEKTRONIKA. **MikroC PRO** for PIC. Conjunto de programas de computador. Versão: 6.0.0. Belgrade, Serbia, 2013.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Rede de Cooperação para Sustentabilidade. **Mecatrônica**. São Paulo, 2006. 659p.

MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão - O Gerenciamento da Variabilidade**. Piracicaba, 2001. v. 1.

MONTEBELLER, C. A. et al. Avaliação hidráulica de um simulador de chuvas pendular. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. Campina Grande, v. 5, n. 1, Abr. 2001. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662001000100001&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662001000100001&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em: 19 Ago 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662001000100001>.

MORAES, P. S. **Lógica de programação**. Campinas - SP: UNICAMP – Centro de Computação, 2000. 45p.

NORTON, L. D. SAVABI, R. Evolution of a Linear Variable Intensity Rainfall Simulator for Surface Hydrology and Erosion Studies. **ASABE 2010**, v. 26 p. 239-245.

OLIVEIRA, J. R. **Perdas de solo, água e nutrientes em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada**. Seropédica: UFRRJ, 2007. 52p. Dissertação Mestrado.

OLIVEIRA, L. F. C. de et al. Rotina computacional para a determinação da velocidade de sedimentação das partículas do solo em suspensão no escoamento superficial. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 25, n. 1, Abril 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162005000100014&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162005000100014&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em: 19 Jan. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000100014>.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. **Projeto na engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. Trad. Werner, H. A., 6. ed. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 2005.

PALL, R.; DICKINSON, W. T.; REALS, D.; MCGIRR, R. Development and calibration of a rainfall simulator. **Can. Agric. Eng.** 25: 181-187, 1983.

PEDRINHO JUNIOR, A. F. F. et al. Momento da chuva após a aplicação e a eficácia dos herbicidas sulfosate e glyphosate aplicados em diferentes formulações. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 20, n. 1, Apr. 2002. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-83582002000100015&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582002000100015&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em: 19 Nov. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582002000100015>.

PEIXOTO, M. O. da C.; CARPINETTI, L. C. R. Aplicação de QFD integrando o modelo de akao e o modelo QFD estendido. **Gestão da Produção**, São Carlos, v. 5, n. 3, Dec. 1998. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-530X1998000300005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X1998000300005&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em: 17 Dec. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X1998000300005>.

PEREIRA FILHO, R. R. **Análise do Valor: processo de melhoria contínua.** São Paulo: Nobel, 1994.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC: Programação em C.** São Paulo: Erica, 4. Ed. 2004.

PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica.** Viçosa, UFV, 2006. 240p.

PRUSKI, F. F. et al. **Escoamento superficial.** Viçosa: UFV, 2003. 88p.

RIBEIRO, B. T.; MAGALHÃES, C. A. S.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N. Calibração e Uso de Minissimulador de Chuva Para Estudos de Erosão e Poluição do Solo. **Boletim Técnico** n. 77, Lavras, 2000.

RIBEIRO, M. A. **Automação Industrial.** 4. ed. Salvador - BA. 2001.

RODRIGUES, J. L. **Projeto de uma estrutura para um simulador de chuva móvel.** 2014. 165p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

RODRIGUES, J. L.; ROMANO, L. N.; VOGEL, G. F.; BONALDO, S. A.; GUEDES, J. V. C.; BOELTER, N. M.; SANTOS, C. G.; FELDMANN, I. A. G. **Análise Diacrônica dos Sistemas de Movimentação dos Simuladores de Chuva.** In: CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2014, Uberlândia - Minas Gerais. CONEM 2014, 2014.

ROMANO, L. N. **Desenvolvimento de máquinas agrícolas: planejamento, projeto e produção.** São Paulo: Blucher Acadêmico, 2013. 310p.

ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas.** 2003. 266p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS, C. G.; ROMANO, L. N.; VOGEL, G. F.; BONALDO, S. A.; FELDMANN, I. A. G.; RODRIGUES, J. L.; BOELTER, N. M.; GUEDES, J. V. C. **Análise e Mensuração dos Sistemas de Automação e Controle Presentes nos Simuladores de Chuva.** In: CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2014, Uberlândia - Minas Gerais. CONEM 2014, 2014.

SANTOS, P. M. et al. Prioridades de requisitos para projeto de postos de operação de tratores quanto à ergonomia e segurança. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 43, n. 7, July 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2008000700011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2008000700011&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em: 03 Dec. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008000700011>.

SOUZA, G. S. F. et al. Ação da chuva sobre a eficiência de Glyphosate no controle de *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 1, Mar. 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-83582011000100007&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582011000100007&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em: 19 Nov. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582011000100007>.

SPOHR, R. B. et al. Modelagem do escoamento superficial a partir das características físicas de alguns solos do Uruguai. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, Fev. 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782009000100012&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782009000100012&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em: 20 Ago. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-8478009000100012>.

SWANSON, N. P. Rotating boom rainfall simulator. **Transactions of the ASAE**, S1. Joseph, Mich., 8:71-72, 1965.

TABILE, R. A.; INAMASU, R. Y.; PORTO, A. J. V. **Agricultura de Precisão: um novo olhar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. 334p.

TANENBAUM, A. S. **Organização Estruturada de Computadores**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

TEEJET TECHNOLOGIES. **Catálogo 50A-P**. 196p. Disponível em: [http://www.teejet.com/media/386895/cat50a-p\\_portuguese\\_lores\\_all.pdf](http://www.teejet.com/media/386895/cat50a-p_portuguese_lores_all.pdf). Acessado em: 20 set. 2014.

TOSSELL, R. W.; DICKINSON, W. T.; RUDRA, R. P.; WALL, G. J. A portable rainfall simulator. **Canadian Agricultural Engineering**, Guelph, v. 29, n. 2, p. 155-162, 1987.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142008000200002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200002&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em: 18 Ago. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200002>.

VERLE, M. **PIC Microcontrollers - Programming in C**. Belgrade: mikroElektronika, 2009.

VOLK, L. B. da S.; COGO, N. P. Erosão hídrica, em três momentos da cultura do milho, influenciada por métodos de preparo do solo e semeadura. **Revista Brasileira Ciência dos Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, Abr. 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832014000200021&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000200021&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em: 25 Nov. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200021>.

WILCOX, B. P.; WOOD, M. K.; TROMBLE, J. T.; WARD, T. J. A Hand-Portable Single Nozzle Rainfall Simulator Designed for Use on Steep Slopes. **Journal of Range Management**, v. 39, n. 4 (Jul, 1986), pp. 375-377, 1986.

YU, B.; CIESIOLKA, C. A. A.; LANGFORD, P. Calibration of an Oscillating Nozzle-type Rainfall Simulator. **Earth Surface Processes Landforms** 28, p. 1483-1490 2003.



## **APÊNDICE**



## Apêndice A – Programação em linguagem C do sistema controlador.

```

/*
SIMULADOR DE CHUVA
Programa feito por Saul Azzolin Bonaldo em 18/04/2014
Compilador MikroC Pro versao 6.0.0
configurações para trabalhar com layout do Cuscopic
utilizando o PIC18F4520 e cristal de 20MHz

- ler o ADO (sensor de pressao MPX4250) e jogar o valor na tela
- medir o medidor de fluxo YF-S201 usando a CCP2
- saída pwm1 proporcional à uma equacao que relaciona com o volume
- Dados enviados a um PC pela serial
- teste de comunicacao
- teste para verificar se a configuracao foi correta
- possibilidade de pausa no experimento
- medicao de temperatura com um sensor DS1822 (protocolo one-wire)
- display 4X20 big number
*/

// definições
sbit _RS at RB1_bit;
sbit _EN at RB0_bit;
sbit _D4 at RB4_bit;
sbit _D5 at RB5_bit;
sbit _D6 at RB6_bit;
sbit _D7 at RB7_bit;

sbit _RS_Direction at TRISB1_bit;
sbit _EN_Direction at TRISB0_bit;
sbit _D4_Direction at TRISB4_bit;
sbit _D5_Direction at TRISB5_bit;
sbit _D6_Direction at TRISB6_bit;
sbit _D7_Direction at TRISB7_bit;

// fim das definições

// definições de variáveis globais
unsigned long int digito1=0;
unsigned long int digito2=0;
unsigned long int digito3=0;
unsigned long int digito4=0;
unsigned long int digito5=0;
unsigned long int digito6=0;

unsigned long int digito=0;
const unsigned short TEMP_RESOLUTION = 12;
char *text = "000,0000";
unsigned temp;

int leitura_ad = 0;
int pressao = 0;
int vazao = 0;
int fluxo = 0;
char contador = 0;
char segundos = 59;
char str_segundos[4];
char telaRelogio[21];
char tempo_pausa = 0;
char tempo_minutos;
char *str_pressao = "000";
char *str_vazao = "00,00";
char minutos = 0;
char str_minutos[4];
char tempo = 0;
char str_tempo[21];
char volume = 0;
char str_volume[21];
char x = 0;
char y = 0;
char parcela = 0;
char str_parcela[21];

// variaveis para o display
char PPGEA_CESAR_SANTOS[21] = "PPGEA - CESAR SANTOS";
char simulador_de_chuva[21] = " Simulador de Chuva ";
char linha_em_branco[21] = " ";
char OK[21] = " OK ";
char aguardando[21] = " aguardando ";
char ajustar[21] = " Ajustar? ";
char sim[21] = " SIM ";
char reset_ok[21] = " RESET OK ";
char menu_ajuste[21] = " +1 +10 CLEAR OK ";
char iniciar_chuva[21] = " Iniciar chuva? ";
char reiniciar[21] = " reiniciar? ";
char ensaio_finalizado[21] = " ENSAIO FINALIZADO ";

```

```

char minut[5] = "min ";

// fim das definições de variáveis globais

// funções especiais

// interrupções
void interrupt (){           // uso das interrupcoes para criar atraso de 1 segundo para o relógio
                             // criar timer de 1s

    if (PIR1.TMR1IF == 1) { // se...
        contador++;        // incrementa contador
        TMR1H = 0x0B;      // valor de carga
        TMR1L = 0xDC;     // valor de carga
        PIR1.TMR1IF = 0;   // zera timer
        if (contador == 10){ // se...
            segundos = segundos - 1; // incrementa segundos
            contador = 0; // zera contador
            // calculo da vazao em ml/min
            // conta quantos pulsos por segundo vem do sensor e multiplica por 133 para converter para ml/min
            // fazer um timer de 1s e contar os pulsos ao longo deste tempo, depois multiplicar por 133
            vazao = fluxo * 133; // calcula vazao
            fluxo = 0; // zera variavel
        } // fecha o if do contador
    } // fecha o if do timer

    // interrupcao do sensor de vazao - contagem de pulsos
    // o sensor manda 450 pulsos por litro
    if (PIR2.CCP2IF) { // interrupcao do modulo de captura CCP2
        if (portc.rc1) fluxo++; // a cada pulso do sensor ligado ao portc.rc1, incrementa variavel fluxo
        PIR2.CCP2IF=0; // zera int do modulo de captura
    } // fecha o if
}

// fim das interrupções

// funções especiais

//função inicializacao
void inicializacao (){
    // definições de entradas e saidas
    trisa = 1; // entrada analogica
    trisb = 0; // 0 para
    trisc = 0B00000010; // saidas
    trisd = 255; // botões
    trise = 0; // reles e buzzer
    // condicao inicial das portas
    porta = 0; // condição inicial
    portb = 0; // condição inicial
    portc = 0b00100000; // condição inicial
    portd = 0; // condição inicial
    porte = 0; // condição inicial
    // fim das definições de entrada e saída

    // vetores de configuração - verificar no datasheet
    ADCON0 = 0B00000101; // fosc/4, só o AN0
    ADCON1 = 0B11001110; // fosc/4, só o AN0, justif direita
    CMCON = 0x07; // vetor para desabilitar as entradas dos comparadores RD0 a RD3 (PIC18)
    // vetores das interrupções
    INTCON = 0B11000000; // habilita chave geral e periféricos
    PIE1 = 0B00000001; // habilita interrupção do timer 1
    PIE2 = 0B00000001; // habilita interrupção do CCP2 (para o sensor de fluxo)
    CCP1CON = 0B00001111; // habilita PWM no CCP1
    CCP2CON = 0B00000101; // habilita na borda de subida o CCP2

    // vetores dos timers
    /*
    cálculo do timer para 1s:
    tempo max = tosc/4 * 8 * (65536 - x)
    tempo max = (20M/4)-1 * 8 * (65536 - 0)
    tempo max = 1/5M * 8 * 65536
    tempo max = 0,2u * 8 * 65536
    tempo max = 104,85 ms
    para gerar 1s, podemos criar um timer de 100ms
    e fazer ele contar 10 vezes

    Portanto:

    100m = tosc/4 * 8 * (65536 - x)
    100m = 0,2u * 8 * (65536 - x)
    62500 = 65536 - x
    x = 3036 (decimal) => hexa: 0x0BDC (valor de carga)
    */
    T1CON = 0B00110001; // vetor do timer1 - fosc/4, prescaler 8, liga timer1
    TMR1H = 0x0B; // valor de carga

```

```

    TMR1L = 0xDC;          // valor de carga
    // fim dos vetores de configuração

// inicialização do modulo pwm
pwm1_init (5000);
pwm1_set_duty (0);
pwm1_start ();
// fim da inicialização do modulo pwm

// inicialização do
_INIT ();
_CMD (__CLEAR);
_CMD (__CURSOR_OFF);
// fim da inicialização do

// inicializacao do modulo de som
Sound_Init(&PORTE, 2);
// fim da inicializacao do modulo de som

// inicializacao da serial
UART1_Init(9600); // Initialize USART module (8 bit, 9600 baud rate, no parity bit...)
// fim da inicializacao da serial
}
// fim da funcao inicializacao

// função do DS1822 - retirado do site da mikroe
void Display_Temperature(unsigned int temp2write) {
    const unsigned short RES_SHIFT = TEMP_RESOLUTION - 8;
    char temp_whole;
    unsigned int temp_fraction;

    // check if temperature is negative
    if (temp2write & 0x8000) {
        text[0] = '-';
        temp2write = ~temp2write + 1;
    }

    // extract temp_whole
    temp_whole = temp2write >> RES_SHIFT ;

    // convert temp_whole to characters
    if (temp_whole/100)
        text[0] = temp_whole/100 + 48;
    else
        text[0] = ' ';
        text[1] = (temp_whole/10)%10 + 48;      // Extract tens digit
        text[2] = temp_whole%10 + 48;         // Extract ones digit

    // extract temp_fraction and convert it to unsigned int
    temp_fraction = temp2write << (4-RES_SHIFT);
    temp_fraction &= 0x000F;
    temp_fraction *= 625;

    // convert temp_fraction to characters
    text[4] = temp_fraction/1000 + 48;      // Extract thousands digit
    text[5] = (temp_fraction/100)%10 + 48; // Extract hundreds digit
    //text[6] = (temp_fraction/10)%10 + 48; // Extract tens digit
    //text[7] = temp_fraction%10 + 48;      // Extract ones digit

    // Display temperature on
    _Out(1, 13, text);
    // Print degree character, 'C' for Centigrades
    _Chr(1,19,178); // different displays have different char code for degree
                    // if you see greek alpha letter try typing 178 instead of 223
    _Out(1,20,"C");
}
// fim da função do DS1822 - retirado do site da mikroe

// função para ler a temperatura
void temperatura(){
    //--- perform temperature reading
    Ow_Reset(&PORTA, 2); // Onewire reset signal
    Ow_Write(&PORTA, 2, 0xCC); // Issue command SKIP_ROM
    Ow_Write(&PORTA, 2, 0x44); // Issue command CONVERT_T
    //Delay_us(120);
    Ow_Reset(&PORTA, 2);
    Ow_Write(&PORTA, 2, 0xCC); // Issue command SKIP_ROM
    Ow_Write(&PORTA, 2, 0xBE); // Issue command READ_SCRATCHPAD
    temp = Ow_Read(&PORTA, 2);
    temp = (Ow_Read(&PORTA, 2) << 8) + temp;

    //--- Format and display result on
    Display_Temperature(temp);
}
}

```

```

// fim da função para ler a temperatura

// funcao pressaovazao
void pressaovazao () { // inicio da funcao pressaovazao ()
    // calculo da pressao
    // do datasheet do sensor mpx4250, tira-se a equacao do sensor que está ligado no ANO
    // a equacao fica sendo  $P = 0,266 * ad0 - 10,9$ 
    leitura_ad = adc_read(0); // lê o canal ad0
    pressao = leitura_ad * 26.6; // equacao da pressao
    pressao = pressao - 1090; // equacao da pressao (cont)
    pressao = pressao + 0; // ajuste de offset (se necessario)
    if (pressao < 0) {
        pressao = 0;
    }

    str_pressao[0]=((pressao%100000)/10000) + 48;
    str_pressao[1]=((pressao%10000)/1000) + 48;
    str_pressao[2]=((pressao%1000)/100) + 48;
    _out (2,1, str_pressao); // joga valor da pressao para display
    _out (2,4, " kPa "); // joga string para display

    str_vazao[0]=((vazao%100000)/10000) + 48;
    str_vazao[1]=((vazao%10000)/1000) + 48;
    str_vazao[2]= 44; // virgula
    str_vazao[3]=((vazao%1000)/100) + 48;
    str_vazao[4]=((vazao%100)/10)+48;
    _out (2,10, str_vazao); // joga valor da vazao para display
    _out (2,15, " l/min"); // joga string para display
}
// fim da funcao pressaovazao

// inicio da funcao boas_vindas
void boas_vindas () { // inicio da funcao boas vindas
    while (x == 0) { // enquanto x = 0...
        _out (1,1, PPGEA_CESAR_SANTOS); // joga string para display
        _out (2,1, simulador_de_chuva); // joga para o display
        _out (4,1, OK); // joga para o display
        portc.rc4 = 0; // desliga motor
        portc.rc5 = 1; // desliga motor
        if ((x == 0) && (portd.rd3 == 1)) { // se...
            delay_ms (400); // aguarda 400ms
            x = 11; // muda variavel
            _out (4,1, linha_em_branco); // joga para o display
        } // fecha o if
    } // fim do enquanto x = 0
} // fim da funcao boas_vindas

// inicio da funcao tempo_pressurizacao
void tempo_pressurizacao () { // inicia a funcao tempo_pressurizacao
    if (x == 0) { // se x = 0...
        _out (1,1, PPGEA_CESAR_SANTOS); // joga string para display
        _out (2,1, simulador_de_chuva); // joga para o display
        delay_ms (1000); // aguarda 1s

        _out (3,1, "Teste de comunicacao"); // string para display
        _out (4,1, "SKIP"); // string para display
        delay_ms (1000); // aguarda 1s

        if (portd.rd0 == 1) { // se...
            delay_ms (400); // aguarda 400ms
            _out (3,1, " Status: off-line "); // string para display
            _out (4,1, linha_em_branco); // string para display
            delay_ms (1000); // aguarda 1s
            x = 14; // muda variavel
        } // fecha o if

        if (UART1_Data_Ready()) { // se a comunicação for iniciada pelo usartterminal do mikroc...
            UART1_Write_Text("CONECTADO"); // manda para a uart
            UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
            UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
            UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
            UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
            _out (3,1, " Status: conectado "); // joga para o display
            _out (4,1, linha_em_branco); // string para display
            portc.rc4 = 0; // desliga motor
            portc.rc5 = 1; // desliga motor
            delay_ms (1000); // aguarda 1s
            x = 14; // muda estado
        } // fecha o if da uart
    } // fecha o if x = 0
}

```

```

if (x == 14) { // se x = 14...

    while (portd.rd4 == 1) { // enquanto o sensor de nivel indicar nivel baixo...
        delay_ms (400); // aguarda 400ms
        _out (3,1, " ABASTECER TANQUE "); // envia para o display
    } // fecha o while

    _out (3,1, aguardando); // joga para o display
    portc.rc4 = 1; // liga motor
    portc.rc5 = 1; // liga motor
    pwm1_set_duty (0); // define razao ciclica pwm2
    delay_ms (3000); // aguarda 3s - tempo para encher a tubulacao
    portc.rc4 = 0; // desliga motor
    portc.rc5 = 1; // desliga motor
    pwm1_set_duty (255); // define razao ciclica pwm2
    x = 10; // muda estado
    } // fecha o if x = 14

} // fecha a funcao tempo_pressurizacao
// fim da funcao tempo_pressurizacao

// inicio da funcao aguarda_configuracao
void aguarda_configuracao () { // inicio da funcao aguarda_configuracao
if (x == 10) { // se x = 10...
    _out (1,1, PPGEA_CESAR_SANTOS); // joga string para display
    _out (2,1, simulador_de_chuva); // joga para o display
    _out (3,1, linha_em_branco); // joga para o display
    _out (4,1, OK); // joga para o display

    if ((x == 10) && (portd.rd3 == 1)) { // se...
        delay_ms (400); // aguarda 400ms
        x = 1; // muda variavel
    } // fecha o if

    } // fecha o if x = 10

} // finaliza a funcao aguarda_configuracao
// fim da funcao aguarda_configuracao

void configura_parcela () {
if (x == 1) { // se x = 1...
    _out (1,1, PPGEA_CESAR_SANTOS); // joga string para display
    _out (2,1, " numero da parcela "); // joga para o display
    _out (3,1, " parcela = "); // joga para o display
    _out (4,1, menu_ajuste); // joga para o display
    // calcular minutos e jogar no display na linha 3
    wordtostr (parcela, str_parcela); // converte
    _out (3,12, str_parcela); // joga para display
    } // fecha o if x = 1

    if ((x == 1) && (portd.rd0 == 1)) { // se...
        delay_ms (400); // aguarda 400ms
        parcela = parcela + 1; // adiciona +1 a parcela
        if (parcela > 99) { // se...
            parcela = 0; // zera variavel
        } // fecha o if
    } // fecha o if

    if ((x == 1) && (portd.rd1 == 1)) { // se...
        delay_ms (400); // aguarda 400ms
        parcela = parcela + 10; // adiciona +10 a parcela
        if (parcela > 99) { // se...
            parcela = 0; // zera variavel
        } // fecha o if
    } // fecha o if

    if ((x == 1) && (portd.rd2 == 1)) { // se...
        delay_ms (400); // aguarda 400ms
        parcela = 0; // zera parcela
    } // fecha o if

    if ((x == 1) && (portd.rd3 == 1)) { // se...
        delay_ms (400); // aguarda 400ms
        x = 19; // finaliza config da parcela e passa para config tempo
    } // fecha o if

}

// inicio da funcao configura_tempo
void configura_tempo () { // inicia a funcao configura_tempo
if (x == 19) { // se x = 19...
    _out (1,1, PPGEA_CESAR_SANTOS); // joga string para display
    _out (2,1, " tempo de ensaio "); // joga para o display
    _out (3,1, " tempo = "); // joga para o display
    _out (3,15, " min "); // joga para o display
}

```

```

_out (4,1, menu_ajuste);           // joga para o display
// calcular minutos e jogar no display na linha 3
wordtostr (tempo, str_tempo);     // converte
_out (3,10, str_tempo);           // joga para display
}                                   // fecha o if x = 1

if ((x == 19) && (portd.rd0 == 1)) { // se...
delay_ms (400);                   // aguarda 400ms
tempo = tempo + 1;                // adiciona +1 aos minutos
if (tempo > 240) {                // se...
tempo = 0;                        // zera variavel
}                                   // fecha o if
}                                   // fecha o if

if ((x == 19) && (portd.rd1 == 1)) { // se...
delay_ms (400);                   // aguarda 400ms
tempo = tempo + 10;               // adiciona +10 aos minutos
if (tempo > 240) {                // se...
tempo = 0;                        // zera variavel
}                                   // fecha o if
}                                   // fecha o if

if ((x == 19) && (portd.rd2 == 1)) { // se...
delay_ms (400);                   // aguarda 400ms
tempo = 0;                        // zera minutos
}                                   // fecha o if

if ((x == 19) && (portd.rd3 == 1)) { // se...
delay_ms (400);                   // aguarda 400ms
x = 2;                             // finaliza config do tempo e passa para a config do volume
}                                   // fecha o if
}                                   // finaliza a funcao configura_tempo
// fim da funcao configura_tempo

// inicio da funcao configura_volume
void configura_volume () {         // inicia a funcao configura_pressao
if (x == 2) {                     // se x = 2...

_out (1,1, PPGEA_CESAR_SANTOS);   // joga string para display
_out (2,1, " volume de chuva "); // joga para o display
_out (3,1, "volume = ");          // joga para o display
_out (3,15, " mm ");              // joga para o display
_out (4,1, menu_ajuste);         // joga para o display
// calcular volume e jogar no display na linha 3
wordtostr (volume, str_volume);   // converte
_out (3,10, str_volume);         // joga para display
}                                   // fecha o if x = 2

if ((x == 2) && (portd.rd0 == 1)) { // se...
delay_ms (400);                   // aguarda 400ms
volume = volume + 1;              // adiciona +1 ao volume
if (volume > 240) {                // se...
volume = 0;                        // zera variavel
}                                   // fecha o if
}                                   // fecha o if

if ((x == 2) && (portd.rd1 == 1)) { // se...
delay_ms (400);                   // aguarda 400ms
volume = volume + 10;             // adiciona +10 ao volume
if (volume > 240) {                // se...
volume = 0;                        // zera variavel
}                                   // fecha o if
}                                   // fecha o if

if ((x == 2) && (portd.rd2 == 1)) { // se...
delay_ms (400);                   // aguarda 400ms
volume = 0;                        // zera volume
}                                   // fecha o if

if ((x == 2) && (portd.rd3 == 1)) { // se...
delay_ms (400);                   // aguarda 400ms
x = 3;                             // finaliza config da chuva e passa para inicio da chuva
}                                   // fecha o if
}                                   // fecha a funcao configura_pressao
// fim da funcao configura_volume

// inicio da funcao testa_configuracao
void testa_configuracao () {      // inicia a funcao testa_configuracao
if (x == 3) {                     // se x = 3...
_out (3,1, iniciar_chuva);        // joga para o display
_out (4,1, reset_ok);            // joga para o display
}                                   // fecha o if x = 3

if ((x == 3) && (portd.rd2 == 1)) { // se...
delay_ms (400);                   // aguarda 400ms
}
}

```

```

x = 10; // muda estado
aguarda_configuracao (); // chama a funcao
} // fecha o if

if ((x == 3) && (portd.rd3 == 1)) { // se...
delay_ms (400); // aguarda 400ms
x = 40; // muda estado
} // fecha o if

if ((x == 40) && (parcela == 0)) { // se...
x = 43; // muda estado
} // fecha o if

if (x == 43) { // se x = 41...
_out (2,1, " ERRO: parcela = 0 "); // joga para o display
_out (3,1, ajustar); // joga para o display
_out (4,1, sim); // joga para o display
Sound_play (1000,500); // apita 1000Hz e 500ms
Sound_play (500,500); // apita 500Hz e 500ms
x = 44; // muda estado
} // fecha o if x = 41

if ((x == 44) && (portd.rd3 == 1)) { // se...
delay_ms (400); // aguarda 400 ms
x = 1; // retorna para config de tempo
configura_parcela (); // chama a funcao
} // fecha o if

if ((x == 40) && (tempo == 0)) { // se...
x = 41; // muda estado
} // fecha o if

if (x == 41) { // se x = 41...
_out (2,1, " ERRO: tempo = 0 "); // joga para o display
_out (3,1, ajustar); // joga para o display
_out (4,1, sim); // joga para o display
Sound_play (1000,500); // apita 1000Hz e 500ms
Sound_play (500,500); // apita 500Hz e 500ms
x = 42; // muda estado
} // fecha o if x = 41

if ((x == 42) && (portd.rd3 == 1)) { // se...
delay_ms (400); // aguarda 400 ms
x = 19; // retorna para config de tempo
configura_tempo (); // chama a funcao
} // fecha o if

if ((x == 40) && (volume == 0)) { // se...
x = 46; // muda estado
} // fecha o if

if (x == 46) { // se x = 46...
_out (2,1, " ERRO: volume = 0 "); // joga para o display
_out (3,1, ajustar); // joga para o display
_out (4,1, sim); // joga para o display
Sound_play (1000,500); // apita 1000Hz e 500ms
Sound_play (500,500); // apita 500Hz e 500ms
x = 47; // muda estado
} // fecha o if

if ((x == 47) && (portd.rd3 == 1)) { // se...
delay_ms (400); // aguarda 400ms
x = 2; // retorna para config de volume
configura_volume (); // chama a funcao
} // fecha o if

if ((x == 40) && (tempo > 0) && (volume > 0) && (parcela > 0)) { // se...
segundos = 0; // para iniciar em zero ou no segundo em que pausou
tempo_minutos = tempo; // atribuir tempo de ensaio
x = 4; // começa a chover

if (UART1_Data_Ready()) { // se a comunicação for iniciada pelo usartterminal do mikroc...
UART1_Write_Text("Configuracao do ensaio:"); // manda para serial a string
UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
UART1_Write_Text("parcela = "); // manda string para a serial
UART1_Write_Text(str_parcela); // manda parcela para a serial
UART1_Write_Text(" volume = "); // manda string para a serial
UART1_Write_Text(str_volume); // manda volume para a serial
UART1_Write_Text("mm; tempo = "); // manda string para a serial
UART1_Write_Text(str_tempo); // manda volume para a serial
UART1_Write_Text("min"); // manda string para a serial
UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
}
}

```

```

        UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
        UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
        UART1_Write_Text("CHOVENDO"); // manda para serial a string
        UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
        UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
        UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
        UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
    } // fecha o if da uart
} // fecha o if x = 40 & tempo > 0 & volume > 0
// fecha a funcao testa_configuracao
// fim da funcao testa_configuracao

// inicio da funcao inicia_chuva
void inicia_chuva () { // inicia a funcao iniciar_chuva
    if ((x == 49)) { // se x = 49...
        segundos = tempo_pausa; // para iniciar em zero ou no segundo em que pausou
        tempo_minutos = tempo; // atribuir tempo de ensaio
        _out (1,1, " "); // joga para o display
        _out (2,1, linha_em_branco); // joga para o display
        temperatura (); // chama a funcao
        _out (3,1, iniciar_chuva); // joga para o display
        _out (4,1, reset_ok); // joga para o display
    } // fecha o if x = 49

    if ((x == 49) && (portd.rd2 == 1)) { // se...
        delay_ms (400); // aguarda 400ms
        x = 10; // muda estado
        aguarda_configuracao (); // chama a funcao
    } // fecha o if

    if ((x == 49) && (portd.rd3 == 1)) { // se...
        delay_ms (400); // aguarda 400ms
        x = 4; // muda estado

        if (UART1_Data_Ready()) { // se a comunicação for iniciada pelo usartterminal do mikroc...
            UART1_Write_Text("REINICIA CHUVA"); // manda para serial a string
            UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
            UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
        } // fecha o if da uart
    } // fecha o if
} // finaliza a funcao iniciar_chuva
// fim da funcao inicia_chuva

// inicio da funcao chovendo
void chovendo () { // inicia a funcao chovendo

    if (x == 4) { // se x = 4...
        portc.rc4 = 1; // liga motor
        portc.rc5 = 1; // liga motor
        pwm1_set_duty (255-volume); // define razao ciclica pwm2
        _out (1,1, "CHOVENDO "); // joga para o display
        temperatura (); // mede temperatura e joga na linha 2
        pressaovazao (); // medir pressao e vazao e jogar na linha 3

        if (segundos == 55) { // se segundos = 55...
            // mandar para a serial condicoes do ensaio
            if ((y == 0) && (UART1_Data_Ready())) { // se a comunicação for iniciada pelo usartterminal do mikroc...
                UART1_Write_Text("Condicoes do Ensaio:"); // manda string para a serial
                UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
                UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
                UART1_Write_Text("Pressao = "); // manda string para a serial
                UART1_Write_Text(str_pressao); // manda volume para a serial
                UART1_Write_Text("kPa; "); // manda string para a serial
                UART1_Write_Text("Vazao = "); // manda string para a serial
                UART1_Write_Text(str_vazao); // manda volume para a serial
                UART1_Write_Text("l/min; "); // manda string para a serial
                UART1_Write_Text("Temp = "); // manda string para a serial
                UART1_Write(text[1]); // envia digito pela uart
                UART1_Write(text[2]); // envia digito pela uart
                UART1_Write(','); // envia digito pela uart
                UART1_Write(text[4]); // envia digito pela uart
                UART1_Write(text[5]); // envia digito pela uart
                UART1_Write(176); // envia digito graus (bolinha) pela uart
                UART1_Write_Text("C"); // envia digito pela uart
                UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
                UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
                y = 1; // muda variavel para evitar multiplos envios para a uart
            } // fecha o if da uart
        } // fecha o if segundos = 55

        if (segundos == 255) { // se segundos = 255...
            tempo_minutos = tempo_minutos - 1; // muda minutos
            segundos = 59; // zera segundos
            y = 0; // muda variavel para a comunic serial
        } // fecha o if segundos = 255
    }
}

```

```

bytetostr (tempo_minutos, str_minutos); // converte
bytetostr (segundos, str_segundos); // converte

telaRelogio[0]='\0';
strcat(telaRelogio,&str_minutos[0]);
strcat(telaRelogio,minuT);
strcat(telaRelogio,&str_segundos[1]);
_out(3,1, telaRelogio);
_out (3,10, "s "); // clear caract display
_out (3,13, str_volume); // joga para display
_out (3,19, "mm"); // joga para o display
_out (4,1, " PAUSA"); // joga para o display
} // fecha o if x = 4

if ((x == 4) && (portd.rd3 == 1)) { // se... (if da pausa)
delay_ms (400); // aguarda 400ms
portc.rc4 = 0; // desliga motor
portc.rc5 = 1; // desliga motor
x = 5; // muda variavel
tempo_pausa = segundos + 1; // converte
tempo = tempo_minutos; // converte
_out (2,1, "PAUSA EM "); // joga para o display
bytetostr (tempo_minutos, str_minutos); // converte
bytetostr (tempo_pausa, str_segundos); // converte
telaRelogio[0]='\0';
strcat(telaRelogio,&str_minutos[0]);
strcat(telaRelogio,minuT);
strcat(telaRelogio,&str_segundos[1]);
_out(2,11, telaRelogio);
_out (2,20, "s"); // joga para o display
_out (1,1, linha_em_branco); // joga para o display
temperatura (); // chama a funcao
_out (3,1, reiniciar); // joga para o display
_out (4,1, reset_ok); // joga para o display

if (UART1_Data_Ready()) { // se a comunicação for iniciada pelo usartterminal do mikroc...
UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
UART1_Write_Text("PAUSA EM "); // manda string para a serial
UART1_Write_Text(str_minutos); // manda minutos para a serial
UART1_Write_Text("min"); // manda string para a serial
UART1_Write_Text(str_segundos); // manda segundos para a serial
UART1_Write_Text("s"); // manda string para a serial
UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
} // fecha o if da uart
} // fecha o if da pausa

if ((x == 5) && (portd.rd2 == 1)) { // se...
delay_ms (400); // aguarda 400ms
x = 10; // volta para inicio

if (UART1_Data_Ready()) { // se a comunicação for iniciada pelo usartterminal do mikroc...
UART1_Write_Text("ENSAIO ABORTADO"); // manda para serial a string
UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
UART1_Write_Text("Aguardando nova configuracao"); // manda para serial a string
UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
} // fecha o if da uart

aguarda_configuracao (); // chama a funcao
} // fecha o if

if ((x == 5) && (portd.rd3 == 1)) { // se...
delay_ms (400); // aguarda 400ms
x = 49; // começa a chover
inicia_chuva (); // chama a funcao
} // fecha o if

if ((x == 4) && (tempo_minutos == 255)) { // se... (finalizacao do ensaio)
x = 6; // muda variavel de estado
portc.rc4 = 0; // desliga motor
portc.rc5 = 1; // desliga motor
_CMD (_CLEAR); // limpa display
_out (2,1, ensaio_finalizado); // joga para o display
_out (4,1, OK); // joga para o display

if (UART1_Data_Ready()) { // se a comunicação for iniciada pelo usartterminal do mikroc...
UART1_Write('\r'); // para dar nova linha...
UART1_Write('\n'); // no mikroc pro precisa dar \r e \n
UART1_Write_Text("ENSAIO FINALIZADO"); // manda para serial a string
}

```

```

        UART1_Write('\r');           // para dar nova linha...
        UART1_Write('\n');         // no mikroc pro precisa dar \r e \n
        UART1_Write('\r');         // para dar nova linha...
        UART1_Write('\n');         // no mikroc pro precisa dar \r e \n
    }                               // fecha o if da uart

    Sound_play (500,500);          // apita 500Hz e 500ms
    delay_ms (500);                // aguarda 500ms
    Sound_play (500,500);          // apita 500Hz e 500ms
    delay_ms (500);                // aguarda 500ms
    Sound_play (500,500);          // apita 500Hz e 500ms
    delay_ms (500);                // aguarda 500ms

}                                   // fecha o if da finalizacao do ensaio

if ((x == 6) && (portd.rd3 == 1)) { // se...
    delay_ms (400);                // aguarda 400ms
    x = 10;                         // volta para inicio
    aguarda_configuracao ();        // chama a funcao
}                                   // fecha o if

}                                   // fecha a funcao chovendo
// fim da funcao chovendo

// fim das funções especiais

// inicio da função principal void main
void main() {                       // inicio da funcao principal void main

    inicializacao ();               // chama funcao inicializacao

    //boas_vindas ();               // chama a funcao boas_vindas

    while (1){                      // inicio do laço de repetição

        tempo_pressurizacao ();     // chama a funcao tempo_pressurizacao
        aguarda_configuracao ();     // chama a funcao aguarda_configuracao
        configura_parcela ();        // chama a funcao configura_parcela
        configura_tempo ();          // chama a funcao configura_tempo
        configura_volume ();         // chama a funcao configura_volume
        testa_configuracao ();       // chama a funcao testa_configuracao
        inicia_chuva ();             // chama a funcao inicia_chuva
        chovendo ();                 // chama a funcao chovendo

    }                               // fim do laço de repetição

}                                   // fim da função principal void main
// fim da funcao principal void main

```

## Apêndice B – Relatório do experimento I – Repetição 1

CONECTADO

Configuracao do ensaio:

parcela = 1; volume = 60mm; tempo = 30min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 31,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,34l/min; Temp = 31,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,32l/min; Temp = 31,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,30l/min; Temp = 31,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,32l/min; Temp = 31,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,30l/min; Temp = 32,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,49l/min; Temp = 32,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,63l/min; Temp = 32,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,45l/min; Temp = 32,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,40l/min; Temp = 33,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,47l/min; Temp = 33,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,28l/min; Temp = 33,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 33,37°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 33,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 32,62°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 30,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 30,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,24l/min; Temp = 30,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,28l/min; Temp = 30,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,21l/min; Temp = 30,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,24l/min; Temp = 30,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,26l/min; Temp = 30,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,28l/min; Temp = 30,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,26l/min; Temp = 30,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,36l/min; Temp = 30,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,30l/min; Temp = 30,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,21l/min; Temp = 31,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,24l/min; Temp = 31,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 31,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,21l/min; Temp = 31,18°C

ENSAIO FINALIZADO

## Apêndice C – Relatório do experimento I – Repetição 2

CONECTADO

Configuracao do ensaio:

parcela = 2; volume = 60mm; tempo = 30min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,94l/min; Temp = 32,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 32,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 33,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 33,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 33,93°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 33,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 33,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 33,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 34,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,37°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 34,18°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,40l/min; Temp = 34,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,82l/min; Temp = 35,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,88l/min; Temp = 32,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 31,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 30,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 30,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 30,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 30,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 30,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 30,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 30,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 31,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 32,25°C

ENSAIO FINALIZADO

## Apêndice D – Relatório do experimento I – Repetição 3

CONECTADO

Configuracao do ensaio:

parcela = 3; volume = 60mm; tempo = 30min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,98l/min; Temp = 30,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 31,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 31,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,92l/min; Temp = 32,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,98l/min; Temp = 32,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,94l/min; Temp = 33,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 33,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 32,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 33,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,92l/min; Temp = 33,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,79l/min; Temp = 34,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,92l/min; Temp = 34,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 34,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,84l/min; Temp = 34,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,86l/min; Temp = 34,62°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,86l/min; Temp = 34,93°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,86l/min; Temp = 35,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,86l/min; Temp = 35,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,46l/min; Temp = 31,37°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 31,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 32,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 32,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 32,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 33,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 33,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 33,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 34,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 34,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 34,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,98l/min; Temp = 33,81°C

ENSAIO FINALIZADO

## Apêndice E – Relatório do experimento I – Repetição 4

Configuracao do ensaio:

parcela = 4; volume = 60mm; tempo = 30min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 32,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 32,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 32,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 32,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 33,37°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 33,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 34,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 34,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 34,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 34,93°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 35,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 35,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 35,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 35,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 35,25°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,98l/min; Temp = 33,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 33,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 35,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 35,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 36,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 35,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 35,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 35,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 36,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 36,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,94l/min; Temp = 36,87°C

ENSAIO FINALIZADO

## Apêndice F – Relatório do experimento I – Repetição 5

Configuracao do ensaio:

parcela = 5; volume = 60mm; tempo = 30min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,98l/min; Temp = 33,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 33,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 35,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 35,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 35,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 36,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 36,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 36,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,98l/min; Temp = 36,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 36,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 36,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 36,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 36,12°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 36,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 36,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 36,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 36,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 36,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 36,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 36,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 37,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 37,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 37,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 37,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 37,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 37,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 37,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 36,93°C

ENSAIO FINALIZADO

## Apêndice G – Relatório do experimento I – Repetição 6.

Configuracao do ensaio:

parcela = 6; volume = 60mm; tempo = 15min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 29,37°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 29,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 30,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 29,93°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 29,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 29,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 29,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 29,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 30,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 30,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 30,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 31,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 32,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 32,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 33,00°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 30,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 30,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 30,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 31,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 31,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 31,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 32,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 32,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 32,93°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 33,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 33,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 33,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 33,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 33,75°C

ENSAIO FINALIZADO

## Apêndice H – Relatório do experimento II – Repetição 1

Configuracao do ensaio:

parcela = 7; volume = 60mm; tempo = 30min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 32,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 32,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 32,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 32,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 33,37°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 33,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 34,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 34,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 34,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 34,93°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 35,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 35,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 35,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 35,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 35,25°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,98l/min; Temp = 33,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 33,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 35,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 35,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 36,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 35,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 35,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 35,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 36,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 36,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,94l/min; Temp = 36,87°C

ENSAIO FINALIZADO

## Apêndice I – Relatório do experimento II – Repetição 2

CONECTADO

Configuracao do ensaio:

parcela = 8; volume = 60mm; tempo = 30min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,98l/min; Temp = 30,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 31,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 31,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,92l/min; Temp = 32,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,98l/min; Temp = 32,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,94l/min; Temp = 33,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 33,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 32,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 33,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,92l/min; Temp = 33,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,79l/min; Temp = 34,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,92l/min; Temp = 34,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 34,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,84l/min; Temp = 34,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,86l/min; Temp = 34,62°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,86l/min; Temp = 34,93°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,86l/min; Temp = 35,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,86l/min; Temp = 35,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,46l/min; Temp = 31,37°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 31,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 32,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 32,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 32,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 33,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 33,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 33,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 34,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 34,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 34,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,98l/min; Temp = 33,81°C

ENSAIO FINALIZADO

## Apêndice J – Relatório do experimento II – Repetição 3

CONECTADO

Configuracao do ensaio:

parcela = 9; volume = 60mm; tempo = 30min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,94l/min; Temp = 32,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 32,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 33,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 33,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 33,93°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 33,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 33,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 33,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 34,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,37°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 34,18°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,40l/min; Temp = 34,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,82l/min; Temp = 35,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,88l/min; Temp = 32,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 31,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 30,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 30,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 30,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 30,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 30,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 30,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 30,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 31,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 32,25°C

ENSAIO FINALIZADO

**Apêndice K – Relatório do experimento II – Repetição 4**

CONECTADO

Configuracao do ensaio:

parcela = 10; volume = 60mm; tempo = 30min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,94l/min; Temp = 32,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 32,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 33,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 33,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 33,93°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 33,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 33,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 33,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 34,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,37°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 34,18°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,40l/min; Temp = 34,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,82l/min; Temp = 35,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,88l/min; Temp = 32,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 31,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 30,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 30,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 30,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 30,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 30,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 30,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 30,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 31,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 32,25°C

ENSAIO FINALIZADO

## Apêndice L – Relatório do experimento II – Repetição 5

CONECTADO

Configuracao do ensaio:

parcela = 11; volume = 60mm; tempo = 30min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 31,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,34l/min; Temp = 31,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,32l/min; Temp = 31,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,30l/min; Temp = 31,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,32l/min; Temp = 31,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,30l/min; Temp = 32,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,49l/min; Temp = 32,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,63l/min; Temp = 32,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,45l/min; Temp = 32,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,40l/min; Temp = 33,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,47l/min; Temp = 33,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,28l/min; Temp = 33,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 33,37°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 33,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 32,62°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 30,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 30,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,24l/min; Temp = 30,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,28l/min; Temp = 30,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,21l/min; Temp = 30,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,24l/min; Temp = 30,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,26l/min; Temp = 30,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,28l/min; Temp = 30,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,26l/min; Temp = 30,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,36l/min; Temp = 30,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,30l/min; Temp = 30,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,21l/min; Temp = 31,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,24l/min; Temp = 31,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 31,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,21l/min; Temp = 31,18°C

ENSAIO FINALIZADO

**Apêndice M – Relatório do experimento II – Repetição 6**

CONECTADO

Configuracao do ensaio:

parcela = 12; volume = 60mm; tempo = 30min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,94l/min; Temp = 32,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 32,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 33,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 33,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 33,93°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 33,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 33,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 33,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 34,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,37°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 34,18°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,40l/min; Temp = 34,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,82l/min; Temp = 35,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,88l/min; Temp = 32,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 31,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 30,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 30,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 30,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 30,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 30,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 30,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 30,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 31,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 32,25°C

ENSAIO FINALIZADO

## Apêndice N – Relatório do experimento II – Repetição 7

CONECTADO

Configuracao do ensaio:

parcela = 13; volume = 60mm; tempo = 30min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,98l/min; Temp = 30,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 31,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 31,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,92l/min; Temp = 32,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,98l/min; Temp = 32,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,94l/min; Temp = 33,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 33,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 32,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 33,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,92l/min; Temp = 33,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,79l/min; Temp = 34,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,92l/min; Temp = 34,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 34,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,84l/min; Temp = 34,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,86l/min; Temp = 34,62°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,86l/min; Temp = 34,93°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,86l/min; Temp = 35,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,86l/min; Temp = 35,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,46l/min; Temp = 31,37°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 31,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 32,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 32,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 32,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 33,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 33,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 33,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 34,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 34,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 34,31°C

ENSAIO FINALIZADO

**Apêndice O – Relatório do experimento II – Repetição 8**

CONECTADO

Configuracao do ensaio:

parcela = 14; volume = 60mm; tempo = 30min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,94l/min; Temp = 32,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 32,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 33,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 33,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 33,93°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 33,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 33,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 33,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 34,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,37°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 34,18°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,40l/min; Temp = 34,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,82l/min; Temp = 35,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,88l/min; Temp = 32,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 31,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 30,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 30,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 30,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 30,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 30,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 30,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 30,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 31,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 32,25°C

ENSAIO FINALIZADO

## Apêndice P – Relatório do experimento II – Repetição 9

CONECTADO

Configuracao do ensaio:

parcela = 15; volume = 60mm; tempo = 30min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,94l/min; Temp = 32,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 32,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 33,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 33,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 33,93°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 33,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 33,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 33,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 34,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 34,37°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 34,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 34,18°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,40l/min; Temp = 34,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,82l/min; Temp = 35,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,88l/min; Temp = 32,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 31,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 31,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 30,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 30,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 30,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 30,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 30,56°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 30,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 30,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 31,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,09l/min; Temp = 32,25°C

ENSAIO FINALIZADO

**Apêndice Q – Relatório do experimento III – Repetição 1**

CONECTADO

Configuracao do ensaio:

parcela = 16; volume = 60mm; tempo = 30min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 31,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,34l/min; Temp = 31,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,32l/min; Temp = 31,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,30l/min; Temp = 31,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,32l/min; Temp = 31,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,30l/min; Temp = 32,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,49l/min; Temp = 32,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,63l/min; Temp = 32,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,45l/min; Temp = 32,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,40l/min; Temp = 33,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,47l/min; Temp = 33,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,28l/min; Temp = 33,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 33,37°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 33,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,15l/min; Temp = 32,62°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,17l/min; Temp = 30,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 30,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,24l/min; Temp = 30,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,28l/min; Temp = 30,25°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,21l/min; Temp = 30,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,24l/min; Temp = 30,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,26l/min; Temp = 30,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,28l/min; Temp = 30,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,26l/min; Temp = 30,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,36l/min; Temp = 30,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,30l/min; Temp = 30,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,21l/min; Temp = 31,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,24l/min; Temp = 31,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,19l/min; Temp = 31,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,21l/min; Temp = 31,18°C

ENSAIO FINALIZADO

## Apêndice R – Relatório do experimento III – Repetição 2

CONECTADO

Configuracao do ensaio:

parcela = 17; volume = 60mm; tempo = 30min

CHOVENDO

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,98l/min; Temp = 30,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 31,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 31,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,92l/min; Temp = 32,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,98l/min; Temp = 32,50°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,94l/min; Temp = 33,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 33,18°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 32,81°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 33,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,92l/min; Temp = 33,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,79l/min; Temp = 34,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,92l/min; Temp = 34,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,96l/min; Temp = 34,87°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,84l/min; Temp = 34,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,86l/min; Temp = 34,62°C

PAUSA EM 15min 0s

REINICIA CHUVA

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,86l/min; Temp = 34,93°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,86l/min; Temp = 35,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,86l/min; Temp = 35,00°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,46l/min; Temp = 31,37°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 31,62°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 32,06°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,13l/min; Temp = 32,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,11l/min; Temp = 32,68°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,07l/min; Temp = 33,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 33,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,03l/min; Temp = 33,75°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 34,12°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,05l/min; Temp = 34,43°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 09,00l/min; Temp = 34,31°C

Condicoes do Ensaio:

Pressao = 174kPa; Vazao = 08,98l/min; Temp = 33,81°C

ENSAIO FINALIZADO



## **ANEXOS**

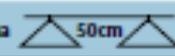
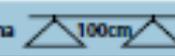


## Anexo A – Características técnicas do bico FullJet 15-VS

### Características:

- Gotas grandes para reduzir a deriva.
- Excelente distribuição de pulverização em uma faixa de pressões 1 a 3 bar (15 a 40 PSI).
- Ideal para uso em equipamentos com controladores de pulverizador.
- O grande ângulo de pulverização permite o uso com espaçamentos de 100 cm (40 pos.).
- Disponível no sistema de código de cores VisiFlo® em todo de aço inoxidável ou Celcon® com difusor em aço inoxidável.
- Pode ser usada com a capa CP25607-\* -NY para conexão Quick TeeJet®. Consulte a página 63 para obter mais informações.



Imagem do Bico	bar	VAZÃO DE UM BICO EM l/min	l/ha 						l/ha 					
			4 km/h	6 km/h	8 km/h	10 km/h	15 km/h	20 km/h	4 km/h	6 km/h	8 km/h	10 km/h	15 km/h	20 km/h
FL-5VS FL-5VC	1,0	1,19	357	238	179	143	95	71	179	119	89	71	48	36
	1,5	1,43	429	286	215	172	114	86	215	143	107	86	57	43
	2,0	1,69	507	338	254	203	135	101	254	169	127	101	68	51
	2,5	1,81	543	362	272	217	145	109	272	181	136	109	72	54
	3,0	1,97	591	394	296	236	158	118	296	197	148	118	79	59
FL-6,5VS FL-6,5VC	1,0	1,56	468	312	234	187	125	94	234	156	117	94	62	47
	1,5	1,89	567	378	284	227	151	113	284	189	142	113	76	57
	2,0	2,14	642	428	321	257	171	128	321	214	161	128	86	64
	2,5	2,34	702	468	351	281	187	140	351	234	176	140	94	70
	3,0	2,56	768	512	384	307	205	154	384	256	192	154	102	77
FL-8VS FL-8VC	1,0	1,90	570	380	285	228	152	114	285	190	143	114	76	57
	1,5	2,29	687	458	344	275	183	137	344	229	172	137	92	69
	2,0	2,60	780	520	390	312	208	156	390	260	195	156	104	78
	2,5	2,89	867	578	434	347	231	173	434	289	217	173	116	87
	3,0	3,15	945	630	473	378	252	189	473	315	236	189	126	95
FL-10VS FL-10VC	1,0	2,37	711	474	356	284	190	142	356	237	178	142	95	71
	1,5	2,86	858	572	429	343	229	172	429	286	215	172	114	86
	2,0	3,39	1017	678	509	407	271	203	509	339	254	203	136	102
	2,5	3,62	1086	724	543	434	290	217	543	362	272	217	145	109
	3,0	3,93	1179	786	590	472	314	236	590	393	295	236	157	118
FL-15VS FL-15VC	1,0	3,56	1068	712	534	427	285	214	534	356	267	214	142	107
	1,5	4,29	1287	858	644	515	343	257	644	429	322	257	172	129
	2,0	4,84	1452	968	726	581	387	290	726	484	363	290	194	145
	2,5	5,43	1629	1086	815	652	434	326	815	543	407	326	217	163
	3,0	5,90	1770	1180	885	708	472	354	885	590	443	354	236	177

Fonte: Adaptado: [http://www.teejet.com/media/386895/cat50a-p\\_portuguese\\_lores\\_all.pdf](http://www.teejet.com/media/386895/cat50a-p_portuguese_lores_all.pdf).

Anexo B – Características técnicas da bomba de diafragma



CE RoHS ISO 9001:2008 SGS  
 TEL: 0086 593 6661133 www.seaflo.com Email: sale@seaflo.com



Diaphragm Pump 51 Series

Features & Benefits

- Positive displacement pump
- Can run dry
- Quiet operation
- Demand Pump
- Easy connect fittings
- Industry standard mount pattern

Typical Applications

- Agricultural Spraying
- General Industrial
- Automotive
- Marine/RV

PUMP

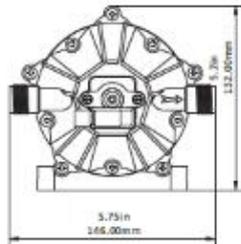
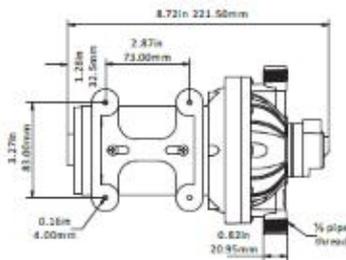
- Type**  
5 chamber positive displacement diaphragm pump, self priming, capable of being run dry
- Mode**  
Demand
- Liquid Temperature**  
140°F (60°C) Max.
- Priming Capabilities**  
6 feet (1.8 m) suction lift
- Max Pressure**  
70 PSI (4.8 bar)

Inlet/Outlet Ports

- 1/2"-14 MNPT
- Weight**  
7 lbs (3.17 kg)

MOTOR

- Duty Cycle**  
Continuous
- Leads**  
16 AWG, 4.5' long with Leads
- 2-Pin connector
- Voltage**  
12v/24v



STANDARD PUMP CONFIGURATIONS

Model	Switch	GPM/LPM	PSI/BAR	Max Draw(A)	Valves	Diaphragm	Ports	Voltage	Wire Connections
SFDP1-030-060-51	Demand	3.0/11.3	60/4.1	12.0	EPDM	Santoprene	1/2"-14 MNPT	12V DC	2-Pin/Leads
SFDP2-030-060-51	Demand	3.0/11.3	60/4.1	6.0	EPDM	Santoprene	1/2"-14 MNPT	24V DC	2-Pin/Leads
SFDP1-040-060-51	Demand	4.0/15.1	60/4.1	15.0	EPDM	Santoprene	1/2"-14 MNPT	12V DC	2-Pin/Leads
SFDP2-040-060-51	Demand	4.0/15.1	60/4.1	7.0	EPDM	Santoprene	1/2"-14 MNPT	24V DC	2-Pin/Leads
SFDP1-050-060-51	Demand	5.0/18.9	60/4.1	17.0	EPDM	Santoprene	1/2"-14 MNPT	12V DC	2-Pin/Leads
SFDP2-050-060-51	Demand	5.0/18.9	60/4.1	9.0	EPDM	Santoprene	1/2"-14 MNPT	24V DC	2-Pin/Leads

Fonte: [http://www.seaflo.com/en/productDetail\\_238.html](http://www.seaflo.com/en/productDetail_238.html).

## Anexo C – Características técnicas do disdrômetro OTT



### Software de usuario OTT ASDO

El cómodo software de operación y de observación OTT ASDO está disponible en dos variantes:

- Versión básica para configurar todos los parámetros del sistema durante la puesta en servicio así como para el registro online y la visualización de los datos (incluido en el suministro)
- Versión completa con base de datos integrada para el servicio online automatizado y cómodo. Con la ayuda del software se guardan en un ordenador los valores de medición de forma controlada por intervalos de tiempo.



## Características técnicas

### Sensor óptico, diodo láser

- Longitud de onda: 780 nm, potencia de salida: 0,5 mW
- Clase de láser: 1 (21 CFR 1040.10 y 1040.11) 1 (IEC/EN 60825-1 A2:2001)

### Superficie de medición

180 x 30 mm (54 cm<sup>2</sup>)

### Márgenes de medición

- Tamaño de las partículas: precipitación líquida: 0,2 ... 5 mm precipitación sólida: 0,2 ... 25 mm
- Velocidad de las partículas: 0,2 ... 20 m/s

### Clasificación

- 32 clases de tamaño y 32 clases de velocidad
- Precisión de medición<sup>1)</sup>: ± 1 Clase de tamaño (0,2 ... 2 mm) ± 0,5 Clase de tamaño (> 2 mm)

### Clases de precipitaciones

8 clases de precipitaciones (lluvia fina, llovizna, lluvia, aguanieve, nieve, granizo con un diámetro de grano de 1 mm, granizo y granizo menudo)

### Distinción de las clases de precipitación

Lluvia fina, lluvia, granizo, nieve > 97% (en comparación con el observador meteorológico)

### Intensidad de precipitación

- 0,001 ... 1.200 mm/h
- Precisión cantidad de precipitación<sup>1)</sup> ±5% (líquida) / ±20% (sólida)

### Energía cinética

0,001 ... 30 KJ

### Salidas del código de tiempo

WMO 4680/4677 (SYNOP), 4678 (METAR/SPECI) y tablas de NWS

### Visibilidad con precipitación (MOR)

100 ... 5.000 m; ± 10%

### Reflectividad de radar (Z)

9,9 ... 99 dB de reflectividad; ±20%

### Intervalo de medición

De 10 segundos a 60 minutos

### Tensión de alimentación

- Electrónica: 10 ... 28 V CC
- Calefacción: 12/24 V CC

### Intensidad absorbida

- Electrónica: 1,5 W (60 mA@24 V CC)
- Calefacción: 50/100 W (4A@12/24 V CC)

Protección contra sobretensiones EN 61000-4-2/4/5/6 (4 kV y 10 V/m), para cables de suministro de corriente y circuitos de interfaz integrados

### Protección

IP 65

### Interfaces (configurables)<sup>2)</sup>

- RS-485 para todos los valores incluidos los datos espectrales (1.200 ... 57.600 baudios)
- SDI-12 para valores calculados
- Salida de relé opto-electrónico, sin rebote, para salida de impulsos de la cantidad de precipitación: 0,1 mm (2 Hz)/0,01 mm (20 Hz) Voltaje: máx. 28 V CC Corriente: máx. 120 mA, resistente al cortocircuito
- USB 2.0 para la conexión al PC (configuración y servicio)

### Material

Aluminio resistente al agua de mar

### Peso

6,4 kg

Dimensiones (altura x anchura x profundidad)  
670 x 600 x 114 mm

### Condiciones ambientales

- -40 ... +70 °C
- 0 ... 100% humedad relativa del aire

### Montaje

Tubo de 2 pulgadas, Ø 50 - 62 mm

### CEM / IEM

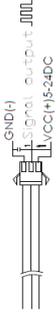
- EN 61000-4-3, conforme CE
- EN 55022 clase B, conforme CE

Fonte: <http://www.ott.com/es-la/productos/download/catalogo-disdrometro-optico-por-laser-ott-parsivel2/>

**Anexo D – Características técnicas do sensor de vazão de fluido**

YIFA the plastics Ltd  
Product Introduction

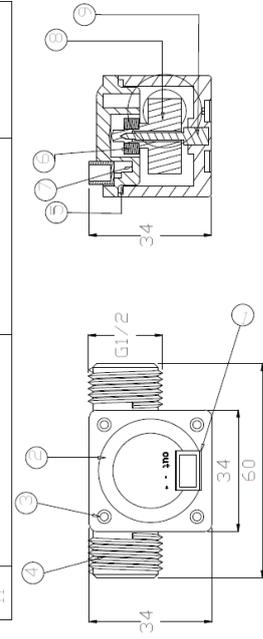
1. Model: YF-21  
 2. Product Name: Hall sensor  
 3. Flow Range: 1-30L/MIN  
 4. (1) Connection Method



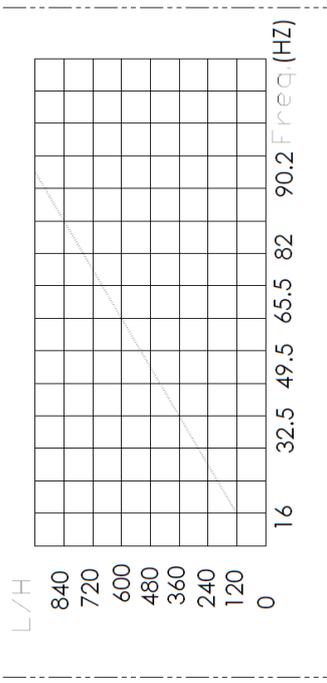
(2) Voltage Range 3.5-24VDC, Pulse Characteristic: F=7Q(L/MIN).  
 (3) Extent of error: ±5%.  
 (4) Flow-Pulse  
 2L/MIN=16HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ  
 8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ

**5. BOM**

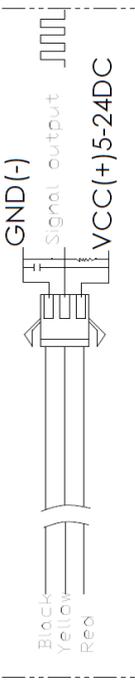
No.	Item	Material	Qty.
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Hall		1
8	Impeller	POM	1
9	Rustless steel axis	SUS304	1
10			
11			



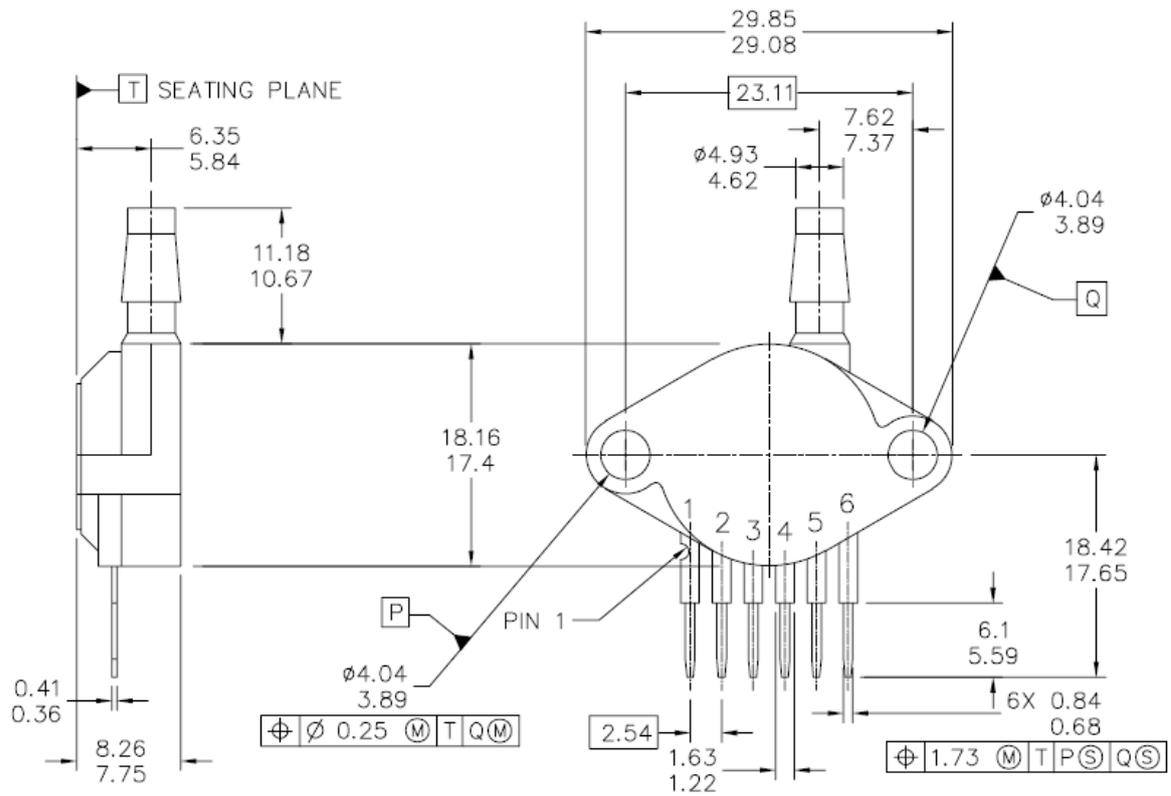
Flow-Pulse	Flow-Curve	Connection method
- Flow Range: 100L/H-/1800H-L/H		
Flow (L/H)	Freqz. (HZ)	Erro range
120L/H	16	±10
240L/H	32.5	
360L/H	49.3	
480L/H	65.5	
600L/H	82	
720L/H	90.2	



Connection method:



**Anexo E – Características técnicas do sensor de pressão**



Fonte: Adaptado [http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data\\_sheet/MPX4250.pdf](http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPX4250.pdf)

Anexo F – Características técnicas do sensor de temperatura

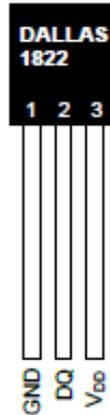


**DS1822**  
**Econo 1-Wire Digital**  
**Thermometer**

**FEATURES**

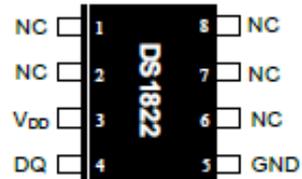
- Unique 1-Wire® interface requires only one port pin for communication.
- Each device has a unique 64-bit serial code stored in an on-board ROM.
- Multidrop capability simplifies distributed temperature-sensing applications.
- Requires no external components.
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V.
- Measures temperatures from -55°C to +125°C (-67°F to +257°F).
- ±2.0°C accuracy from -10°C to +85°C.
- Thermometer resolution is user-selectable from 9 to 12 bits.
- Converts temperature to 12-bit digital word in 750ms (max.)
- User-definable nonvolatile (NV) alarm settings.
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition).
- Software compatible with the DS18B20.
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system.

**PIN ASSIGNMENT**



(BOTTOM VIEW)

TO-92  
(DS1822)



8-Pin 150mil SO  
(DS1822Z)

**PIN DESCRIPTION**

- GND - Ground
- DQ - Data In/Out
- VDD - Power Supply Voltage
- NC - No Connect

Fonte: Adaptado <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1822.pdf>