

MAURÍCIO GUY DE ANDRADE

**EFEITO DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA
FOTOVOLTAICO NA OPERAÇÃO DE UM MICROASPERSOR**

CASCVEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO - 2013

MAURÍCIO GUY DE ANDRADE

**EFEITO DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA
FOTOVOLTAICO NA OPERAÇÃO DE UM MICROASPERSOR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como partes das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira

Co-orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO - 2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste

Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

A568e Andrade, Maurício Guy de
Efeito de um sistema de bombeamento de água fotovoltaico na
operação de um microaspersor. / Maurício Guy de Andrade — Cascavel,
PR: UNIOESTE, 2013.
97 p.

Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Co-orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do
Paraná.

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na
Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Microaspersor. 2. Sistema fotovoltaico. I. Universidade Estadual do
Oeste do Paraná. II. Título.

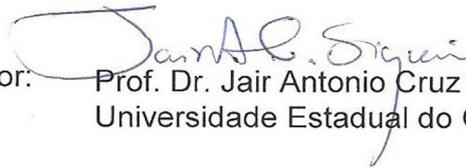
CDD 21.ed. 630

MAURÍCIO GUY DE ANDRADE

**“Efeito de um sistema de bombeamento fotovoltaico na operação de um
microaspersor”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovado** pela seguinte Banca Examinadora:

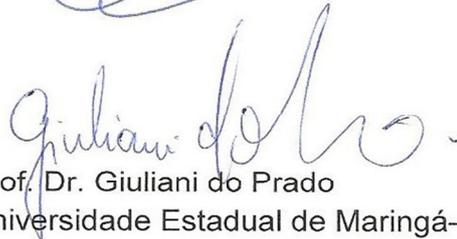
Orientador:



Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Giuliani do Prado
Universidade Estadual de Maringá– UEM/Cidade Gaúcha

Cascavel, 05 de fevereiro de 2013.

*Dedico este trabalho aos meus pais, Luiz Fernando
e Tânia, por serem meus exemplos de amor,
dedicação e honestidade.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e pela oportunidade.

A minha família, em especial aos meus pais, minha irmã Samara Anne de Andrade, minha avó materna Carmem Natalina Cavalli e meu avô paterno Dulcídio de Andrade pelo apoio, compreensão e amor durante toda minha vida.

A minha namorada Mireille Sato, meu grande amor, pelo companheirismo, carinho, compreensão e apoio em todos os momentos.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Jair Antonio da Cruz Siqueira e meu co-orientador Prof. Dr. Marcio Antônio Vilas Boas pelo apoio e contribuição em todos os momentos.

Aos meus amigos, em especial ao Helton Aparecido Rosa, Andreia Aparecida Ferreira da Silva, Suzana Almeida, Roberto Martins Maciel, Darlisson Bentes, Magno Vidotto, Octavio Viana, Heitor Othelo Jorge Filho e Karina Sanderson.

Aos Professores do programa de pós-graduação em Energia na Agricultura que contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico.

As secretarias do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Vanderléia Luzia Stockmann Schmidt e Tatiane Alves Pidorodeski pela dedicação, paciência e comprometimento.

A todos os responsáveis pelo programa de pós-graduação, servidores e professores, pela dedicação e comprometimento com o programa.

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), por oferecer o programa de Mestrado.

Agradeço enfim, a todos que contribuíram para a realização do trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de Células fotovoltaicas de Silício	5
Figura 2. (a) Constituição interna de uma célula fotovoltaica típica; (b) Detalhes da constituição da grelha metálica.	6
Figura 3. Sistema fotovoltaico de bombeamento de água com aplicações para consumo humano, animal e irrigação.....	8
Figura 4. (a) Foto externa do Laboratório do Projeto CASA ; (b) Foto interna do Laboratório do Projeto CASA.	11
Figura 5. Painel fotovoltaico composto por três módulos fotovoltaico da marca SOLARTEC, modelo KS50.....	13
Figura 6. Controlador de Carga – Marca PHOCOS, modelo CX 40.....	14
Figura 7. Sistema de armazenamento de energia - Marca AJAX, modelo EN150....	15
Figura 8. Bomba hidráulica - Marca SHURFLO, modelo 8000.....	16
Figura 9. Microaspersor da marca NAANDANJAIN IRRIGATION modelo HADAR 7110.	17
Figura 10. Multímetro – Marca INSTRUTHERM. Fonte: o autor (2012).....	17
Figura 11. Piranômetro - Marca ONSET, modelo S-LIB-M003.....	18
Figura 12. Medidor de temperatura - Marca ONSET, modelo S-THB-M002.	19
Figura 13. Ensaio do microaspersor.....	20
Figura 14. Caixa d'água de 100 litros usada nos ensaios.....	21
Figura 15. Esquema da bomba d'água utilizada nos ensaios.....	22
Figura 16. Arranjo do microaspersor para ensaio de distribuição de água.	25
Figura 17. Distribuição do sistema de ensaio do microaspersor e os coletores.....	26
Figura 18. Sistema elétrico para medição da tensão (V) e corrente (A). M1: Multímetro utilizado para medição da tensão elétrica do sistema fotovoltaico; M2: multímetro utilizado para a medição da corrente elétrica.	28
Figura 19. Regressão Linear da energia gerada em função da radiação solar durante o ensaio sem o sistema de armazenamento de energia.	35

Figura 20. Regressão Linear da energia gerada em função da radiação solar durante o ensaio com o sistema de armazenamento de energia.....	36
Figura 21. Regressão Linear do volume de água coletado e da energia gerada no ensaio sem o sistema de armazenamento de energia.....	36
Figura 22. Regressão Linear do volume de água coletado e da energia gerada no ensaio com o sistema de armazenamento de energia.....	37
Figura 23. Regressão Linear do CUC e da energia gerada no ensaio sem o sistema de armazenamento de energia.....	44
Figura 24. Regressão Linear do CUC e da energia gerada no ensaio com o sistema de armazenamento de energia.....	45
Figura 25. Regressão Linear do CUD e da energia gerada no ensaio sem o sistema de armazenamento de energia.....	48
Figura 26. Regressão Linear do CUD e da energia gerada no ensaio com o sistema de armazenamento de energia.....	49
Figura 27. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 08/09/12 às 10 horas.....	50
Figura 28. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 14/09/12 às 10 horas.....	50
Figura 29. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 16/09/12 às 10 horas.....	51
Figura 30. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 25/09/12 às 10 horas.....	51
Figura 31. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 02/10/12 às 10 horas.....	52
Figura 32. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 08/09/12 às 13 horas.....	53
Figura 33. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 14/09/12 às 13 horas.....	53
Figura 34. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 16/09/12 às 13 horas.....	54
Figura 35. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 25/09/12 às 13 horas.....	54
Figura 36. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 02/10/12 às 13 horas.....	55
Figura 37. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 08/09/12 às 16 horas.....	56
Figura 38. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 14/09/12 às 16 horas.....	56
Figura 39. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 16/09/12 às 16 horas.....	57
Figura 40. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 25/09/12 às 16 horas.....	57
Figura 41. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 02/10/12 às 16 horas.....	58
Figura 42. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 05/10/12 às 10 horas.....	59
Figura 43. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 07/10/12 às 10 horas.....	60
Figura 44. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 13/10/12 às 10 horas.....	60
Figura 45. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 14/10/12 às 10 horas.....	61

Figura 46. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 15/10/12 às 10 horas.....	61
Figura 47. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 05/10/12 às 13 horas.....	62
Figura 48. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 07/10/12 às 13 horas.....	63
Figura 49. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 13/10/12 às 13 horas.....	63
Figura 50. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 14/10/12 às 13 horas.....	64
Figura 51. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 15/10/12 às 13 horas.....	64
Figura 52. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 05/10/12 às 16 horas.....	65
Figura 53. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 07/10/12 às 16 horas.....	66
Figura 54. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 13/10/12 às 16 horas.....	66
Figura 55. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 14/10/12 às 16 horas.....	67
Figura 56. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 15/10/12 às 16 horas.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características Técnicas do Módulo Fotovoltaico.	12
Tabela 2. Características técnicas do controlador de carga.....	13
Tabela 3. Características técnicas do sistema de armazenamento de energia.	14
Tabela 4. Características técnicas da bomba de diafragma hidráulica.	15
Tabela 5. Características técnicas do microaspersor.	16
Tabela 6. Características técnicas do piranômetro.	18
Tabela 7. Características técnicas do sensor de temperatura.....	19
Tabela 8. Classificação do CUC de acordo com Bernardo et. al. (2006).	23
Tabela 9. Classificação do CUD de acordo com ASAE (1996).	24
Tabela 10. Dados dos ensaios sem o sistema de armazenamento de energia.	30
Tabela 11. Dados dos ensaios com o sistema de armazenamento de energia.	31
Tabela 12. Análise de Variância da potência gerada em diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.....	31
Tabela 13. Comparação das médias da potência gerada nos diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.....	32
Tabela 14. Análise de Variância da Potência Gerada em diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.....	32
Tabela 15. Comparação das médias da potência gerada nos diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.....	33
Tabela 16. Análise de Variância da Radiação Solar Global em diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.....	33
Tabela 17. Comparação das médias da radiação solar global nos diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.....	34
Tabela 18. Análise de Variância da Radiação Solar Global em diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.....	34
Tabela 19. Comparação das médias da radiação solar global nos diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.....	34
Tabela 20. Análise de Variância do Volume de Água coletado em diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.....	37
Tabela 21. Comparação das médias do volume de água coletado nos diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.....	38

Tabela 22. Análise de Variância do Volume de Água coletado em diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.....	38
Tabela 23. Comparação das médias do volume de água coletado nos diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.....	38
Tabela 24. Análise de Variância (fatorial) do Volume de Água coletado em diferentes horários do dia e sem e com sistema de armazenamento de energia.	39
Tabela 25. Comparação de volumes das médias de interação: Horários do dia X Armazenamento de energia	40
Tabela 26. Dados do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) para os ensaios sem armazenamento de energia.	41
Tabela 27. Dados do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) para os ensaios com armazenamento de energia.	41
Tabela 28. Análise de Variância do CUC coletado em diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.	43
Tabela 29. Comparação das médias do CUC nos diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.	43
Tabela 30. Análise de Variância do CUC coletado em diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.	43
Tabela 31. Comparação das médias do CUC nos diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.	44
Tabela 32. Dados do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) para os ensaios sem armazenamento de energia.	45
Tabela 33. Dados do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) para os ensaios com armazenamento de energia	46
Tabela 34. Análise de Variância do CUD coletado em diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.	47
Tabela 35. Comparação das médias do CUD nos diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.	47
Tabela 36. Análise de Variância do CUD coletado em diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.	47
Tabela 37. Comparação das médias do CUD nos diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.	48
Tabela 38. Dados da Lâmina d'água do dia 08/09/2012 – Horário: 10 horas.	75

Tabela 39. Dados da Lâmina d'água do dia 08/09/2012 – Horário: 13 horas.	75
Tabela 40. Dados da Lâmina d'água do dia 08/09/2012 – Horário: 16 horas.	75
Tabela 41. Dados da Lâmina d'água do dia 14/09/2012 – Horário: 10 horas.	75
Tabela 42. Dados da Lâmina d'água do dia 14/09/2012 – Horário: 13 horas.	75
Tabela 43. Dados da Lâmina d'água do dia 14/09/2012 – Horário: 16 horas.	76
Tabela 44. Dados da Lâmina d'água do dia 16/09/2012 – Horário: 10 horas.	76
Tabela 45. Dados da Lâmina d'água do dia 16/09/2012 – Horário: 13 horas.	76
Tabela 46. Dados da Lâmina d'água do dia 16/09/2012 – Horário: 16 horas.	76
Tabela 47. Dados da Lâmina d'água do dia 25/09/2012 – Horário: 10 horas.	76
Tabela 48. Dados da Lâmina d'água do dia 25/09/2012 – Horário: 13 horas.	77
Tabela 49. Dados da Lâmina d'água do dia 25/09/2012 – Horário: 16 horas.	77
Tabela 50. Dados da Lâmina d'água do dia 02/10/2012 – Horário: 10 horas.	77
Tabela 51. Dados da Lâmina d'água do dia 02/10/2012 – Horário: 13 horas.	77
Tabela 52. Dados da Lâmina d'água do dia 02/10/2012 – Horário: 16 horas.	77
Tabela 53. Dados da Lâmina d'água do dia 05/10/2012 – Horário: 10 horas.	78
Tabela 54. Dados da Lâmina d'água do dia 05/10/2012 – Horário: 13 horas.	78
Tabela 55. Dados da Lâmina d'água do dia 05/10/2012 – Horário: 16 horas.	78
Tabela 56. Dados da Lâmina d'água do dia 07/10/2012 – Horário: 10 horas.	78
Tabela 57. Dados da Lâmina d'água do dia 07/10/2012 – Horário: 13 horas.	78
Tabela 58. Dados da Lâmina d'água do dia 07/10/2012 – Horário: 16 horas.	79
Tabela 59. Dados da Lâmina d'água do dia 13/10/2012 – Horário: 10 horas.	79
Tabela 60. Dados da Lâmina d'água do dia 13/10/2012 – Horário: 13 horas.	79
Tabela 61. Dados da Lâmina d'água do dia 13/10/2012 – Horário: 16 horas.	79
Tabela 62. Dados da Lâmina d'água do dia 14/10/2012 – Horário: 10 horas.	79
Tabela 63. Dados da Lâmina d'água do dia 14/10/2012 – Horário: 13 horas.	80
Tabela 64. Dados da Lâmina d'água do dia 14/10/2012 – Horário: 16 horas.	80
Tabela 65. Dados da Lâmina d'água do dia 15/10/2012 – Horário: 10 horas.	80
Tabela 66. Dados da Lâmina d'água do dia 15/10/2012 – Horário: 13 horas.	80
Tabela 67. Dados da Lâmina d'água do dia 15/10/2012 – Horário: 16 horas.	80

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1. Estatística descritiva da lâmina d'água	75
---	----

RESUMO

ANDRADE, Maurício Guy. MSc, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2013. **Efeito de um sistema de bombeamento fotovoltaico na operação de um microaspersor.** Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira. Co-orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas.

Este trabalho teve por objetivo a avaliação do efeito de um sistema de bombeamento fotovoltaico na operação de um microaspersor, utilizado em sistemas de irrigação. O efeito do sistema de bombeamento fotovoltaico foi realizado por meio da avaliação do coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) e o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), utilizando-se um sistema de bombeamento de água com painel fotovoltaico com e sem o uso de um sistema de armazenamento de energia. Foram medidos os parâmetros de potência gerada pelo sistema, radiação solar global e volume de água e avaliação dos coeficientes de uniformidade dos coletores. O experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Oeste do Paraná UNIOESTE, campus de Cascavel, durante cinco dias com céu aberto para cada um dos tratamentos, com e sem o uso de sistema de armazenamento de energia, avaliando três diferentes horários dos dias, para as 10 horas, 13 horas e 16 horas. O efeito de um sistema de bombeamento fotovoltaico na operação de um microaspersor em função da potência gerada para os ensaios sem o sistema de armazenamento de energia obteve maiores médias estatísticas para os horários das 10 horas e 13 horas. Em relação a radiação solar global os ensaios dos microaspersores obtiveram médias maiores estatisticamente para os horários das 10 horas e 13 horas para os dois tratamentos. Em relação ao volume de água coletado o microaspersor apresentou um melhor desempenho para o horário das 10 horas no sistema sem o armazenamento de energia, para às 13 horas não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos e para às 16 horas para os ensaios com o sistema de armazenamento de energia. Os valores do CUC variaram entre 19,23% e 32,85% e o CUD entre 0% e 9,54% e com baixa influência da potência gerada pelo painel fotovoltaico para todos os tratamentos.

Palavras-chave: coeficiente de uniformidade, microaspersor, sistema fotovoltaico.

ABSTRACT

ANDRADE, Mauricio Guy. MSc, Western Paraná State University, February 2013.
Effect of a photovoltaic pumping system in the operation of an micro sprinkler.
Advisor: Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira. Co-advisor: Dr. Marcio Antonio Villas Boas.

This study aimed to evaluate the effect of a photovoltaic pumping system in the operation of an micro sprinkler, used in irrigation systems. The effect of photovoltaic pumping system was conducted by evaluating the coefficient of uniformity of distribution of water (CUD) and Christiansen uniformity coefficient (CUC), using a water pumping system with photovoltaic panel with and without the use of an energy storage system. Were measured the parameters of power generated by the system, solar radiation and water volume and evaluation of uniformity coefficient of the collectors. The experiment was conducted at the Western Paraná State University (UNIOESTE), Cascavel campus, for five days with open sky for each of the treatments, with and without the use of energy storage system, evaluating three different times of day, at 10AM , 1PM and 4PM. The effect of a photovoltaic pumping system in operation according to an micro sprinkler of the power generated for tests without the energy storage system had the highest averages schedules the statistics at 10AM and 1PM. The effect of a photovoltaic pumping system operating an micro sprinkler according to the power generated for tests without the energy storage system had the highest statistics averages at 10AM and 1PM. Regarding solar radiation testing of micros sprinklers had statistically higher averages for the hours of 10AM and 1PM for both treatments. Regarding the volume of water collected, the micro sprinkler presented a better performance at 10AM in the system without energy storage, at 1PM showed no significant differences between treatments and at 4 PM the system with energy storage was more efficient. CUC values varied between 19.23% to 32.85%, CUD between 0% and 9.54% and with low influence of power generated by the photovoltaic panel for all treatments.

Keywords: coefficient of uniformity, micro sprinkler, photovoltaic system.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE APÊNDICES	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 ENERGIA SOLAR	4
2.2 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	5
2.3 BOMBEAMENTO DE ÁGUA COM PAINEL FOTOVOLTAICO	7
2.4 COEFICIENTES DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	11
3.2 MATERIAL	12
3.2.1 Sistema Fotovoltaico	12
3.2.1.1 Painel fotovoltaico.....	12
3.2.1.2 Controlador de carga	13
3.2.1.3 Sistema de armazenamento de energia	14
3.2.2 Sistema de bombeamento	15
3.2.3 Microaspersor	16
3.2.4 Equipamentos para a medição da energia gerada pelo sistema fotovoltaico	17
3.2. Equipamentos para medição de dados meteorológicos.....	18
3.3 MÉTODOS.....	19
3.3.1 Instalação do experimento	19
3.3.2 Determinação da Uniformidade da Irrigação.....	22
3.3.2.1 Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC).....	22
3.3.2.2 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD).....	24
3.3.3 Medição dos coeficientes de uniformidade	25
3.3.4 Medição da energia gerada pelo sistema fotovoltaico.....	27

3.3.5 Medição dos dados meteorológicos	28
3.4 ANÁLISE DOS DADOS	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1 ENERGIA GERADA E RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL	31
4.2 VOLUME DE ÁGUA COLETADO	36
4.3 COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO	40
4.3.1 Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)	40
4.3.2 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)	45
4.4 MAPAS DA DISTRIBUIÇÃO DA LÂMINA D' ÁGUA	49
4.4.1 Sistema sem armazenamento de energia	49
4.4.2 Sistema com armazenamento de energia	59
5. CONCLUSÕES	69
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
APÊNDICES	74

1. INTRODUÇÃO

A energia, em suas mais variadas formas, é produto indispensável para a vida humana, sendo a eletricidade, em termos de suprimento energético umas das formas mais interessantes e convenientes de energia, tornando-se recurso estratégico para o desenvolvimento de muitos países e regiões. Porém apesar de todo avanço tecnológico que a energia elétrica proporciona, ainda cerca de um terço da população mundial não tem acesso a esse recurso ou é atendida de forma precária. No Brasil a situação é menos crítica, mas preocupante, ainda mais quando se relaciona ao aumento da demanda nos próximos anos (ANEEL, 2011).

De acordo com Castro (2008) o esgotamento dos recursos energéticos de origem fóssil, como o petróleo, assim como o crescimento da demanda energética ocasiona uma perspectiva da economia mundial para as próximas décadas de crise na área energética.

Por essas razões, de aumento de demanda por energia e o possível esgotamento, necessita-se da intensa busca por fontes renováveis de energia, como a solar, que além de contribuir para o suprimento energético, é uma solução para as preocupações com questões ambientais que buscam o uso de energias de fontes consideradas limpas e renováveis.

Para Tomalsquim (2003), o sol como fonte de calor e luz, é uma das fontes de energia mais promissoras para se enfrentar as crises energéticas deste milênio, uma vez que existem várias técnicas disponíveis para o aproveitamento desta fonte energética. Em apenas 1 hora o Sol disponibiliza sobre a Terra uma quantidade de energia superior ao consumo global de um ano inteiro.

A conversão direta de energia solar em energia elétrica é realizada através de módulos fotovoltaicos, a qual chamou de energia solar fotovoltaica. O efeito fotovoltaico é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção de luz (PRESENÇO, 2007).

Quando relacionamos a energia solar ao Brasil, o uso de painéis fotovoltaicos cresceu através de projetos governamentais e privados, gerando um maior interesse pelo mercado, além de que a radiação incidente no país é fator importante para o aproveitamento dessa forma de energia.

A energia solar fotovoltaica pode ser aplicada a diversas finalidades e por ser tratar de uma fonte com versatilidade, pode ser utilizada em regiões onde a rede elétrica não é compensatória, sendo uma boa opção para áreas isoladas como propriedades rurais.

Uma aplicação para essa forma de energia é o bombeamento de água, podendo ser uma solução para regiões semi-áridas e áridas no Brasil, tanto para o consumo doméstico, como para a lavoura com a irrigação (MICHELS *et al.*, 2009).

Para que essa aplicação seja eficaz é de grande importância conhecer as características do sistema, como tensão, corrente elétrica e potência gerada pelos painéis, a irradiação média da região, a tensão e potência necessária para o acionamento da bomba e a vazão e distribuição de água fornecida pelo sistema.

Com isso o presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de um microaspersor, utilizado em sistemas de irrigação, em um sistema de bombeamento de água com um painel fotovoltaico, por meio do coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) e pelo coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), com e sem o uso de um sistema de armazenamento de energia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Na atual sociedade é de conhecimento que cada indivíduo tem seu padrão de consumo, e desde o alimento que consumimos até o automóvel que conduzimos afetam a nossa vida, sendo assim quanto mais pessoas vivem no planeta, maior o consumo de energia, de água e de alimentos e maiores as emissões dos gases para produzirmos esses bens. Talvez essas sejam algumas variáveis que se não resolvidas possam inviabilizar a vida na Terra (PRESENÇO, 2007).

Para que se tenha o crescimento mundial desejado é necessário pensar no desenvolvimento sustentável, o tal que vai além do crescimento econômico e se esforça para um desenvolvimento economicamente viável, socialmente desejável e que não afete de forma negativa o meio ambiente.

Uma das variáveis que devem ser avaliada no desenvolvimento sustentável é o acesso à energia, e a relação entre o desenvolvimento sustentável e o acesso à energia está de certa forma diagnosticada através de alguns indicadores, como o PIB (Produto Interno Bruto) e o IDH (Índice de Desenvolvimento Humano), o que pode não representar de forma segura os dados reais. Sabe-se hoje que o problema de acesso à energia é predominantemente rural, sendo que segundo dados do PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento), juntamente a OMS (Organização Mundial da Saúde) em 2009, que 85% ou 1,1 de 1,3 bilhão das pessoas sem acesso à energia estão nas áreas rurais, sendo o problema ainda mais grave quando se fala em energia limpa (BHATTACHARYYA, 2012).

Apesar das suas dimensões continentais e sua diversidade cultural atingiu, de acordo com dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) de 2011, o Brasil atingiu 92,6% da população rural com acesso à energia. No Brasil o acesso à energia é conhecido como o processo através do qual todos os pedidos de fornecimento de eletricidade devem ser atendidos, sendo desta forma a eletricidade reconhecida como um direito do cidadão (GÓMEZ; SILVEIRA, 2012).

Apesar de o Brasil ter a maior parte da população com acesso à energia, atingindo também a população rural e com a grande parte da matriz energética com energia considerada limpa, proveniente grande parte das hidrelétricas, ainda assim necessita-se de um aumento de outras fontes renováveis de energia, como a biomassa, eólica e a solar.

2.1 ENERGIA SOLAR

A energia solar é a energia eletromagnética proveniente do Sol, onde é produzida através de reações nucleares, e que, propagando-se através do espaço interplanetário incide na superfície da Terra. O total de energia que incide na superfície terrestre em um ano é superior a dez mil vezes o consumo anual de energia bruta da humanidade (CRESESB, 2012).

De acordo com Tomalsquim (2003), o Sol como fonte de calor e luz, é umas das mais promissoras, principalmente para se enfrentar as crises energéticas esperadas para esse milênio, uma vez que existem diversas maneiras disponíveis para o aproveitamento desta fonte energética.

Para exemplificar, Oliveira (1997) faz uma breve comparação entre a energia solar disponível e a área utilizada por uma usina hidrelétrica para geração de eletricidade. Em ITAIPU, considerada uma usina hidrelétrica eficiente em uma área alagada de $1460 \times 10^6 \text{ m}^2$ e com potência com 14000 MW e gerou no ano de 1993, cerca de 57,4 TW/h de eletricidade, sendo que nesta mesma área incide aproximadamente 2400 TW/h de energia solar radiante. Desta forma, considerando que a eficiência de conversão dos sistemas fotovoltaicos seja de 10%, ainda assim tem-se uma energia gerada de 240 TW/h, sendo aproximadamente quatro vezes maior que toda energia gerada pela ITAIPU.

O potencial de energia solar de uma determinada região é determinado por alguns fatores, sendo principalmente em função da sua localização no globo terrestre. As regiões localizadas entre as linhas tropicais, como boa parte do Brasil, são consideradas de alto potencial energético, as regiões entre os trópicos e os círculos polares são consideradas como de médio potencial e a região dos pólos de baixo potencial, sendo assim no Brasil pode-se afirmar que a energia solar tem alto potencial, pois maior parte da sua extensão territorial situa-se entre as linhas dos trópicos (CAVALCANTE; LOPES, 2001).

Apesar de todo potencial e benefícios da energia solar há a necessidade de novas políticas e técnicas para que se ultrapassem as barreiras atualmente colocadas na energia solar, que podem ser divididas em técnicas, como a restrição de eficiência dos materiais comercialmente utilizados, as barreiras econômicas, como o alto custo inicial e risco elevado e as barreiras institucionais como a falta de leis eficazes que incentivem à adoção mais ampla (TIMILSINA *et. al.*, 2012).

2.2 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

A conversão direta da luz em eletricidade é possível através de um processo conhecido como efeito fotovoltaico, que pode ser definido como a conversão direta da luz solar em eletricidade, sem a interferência de qualquer motor térmico. O efeito fotovoltaico foi relatado inicialmente pelo físico Edmond Becquerel em 1839, o qual se trata do aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz (ALVES, 2008).

O efeito fotovoltaico ocorre em materiais denominados semicondutores, que tem como característica a presença de elétrons em duas bandas de energia. O semicondutor mais utilizado para células fotovoltaicas é o Silício (Si), podendo ser construídas de Silício Monocristalino, Policristalino e Amorfo, demonstrados na Figura 1. Existem ainda outros materiais e tecnologias empregadas na construção de células fotovoltaicas, mas até o presente momento são utilizados de forma experimental ou em pequena escala comercial (PRESENÇO, 2007).

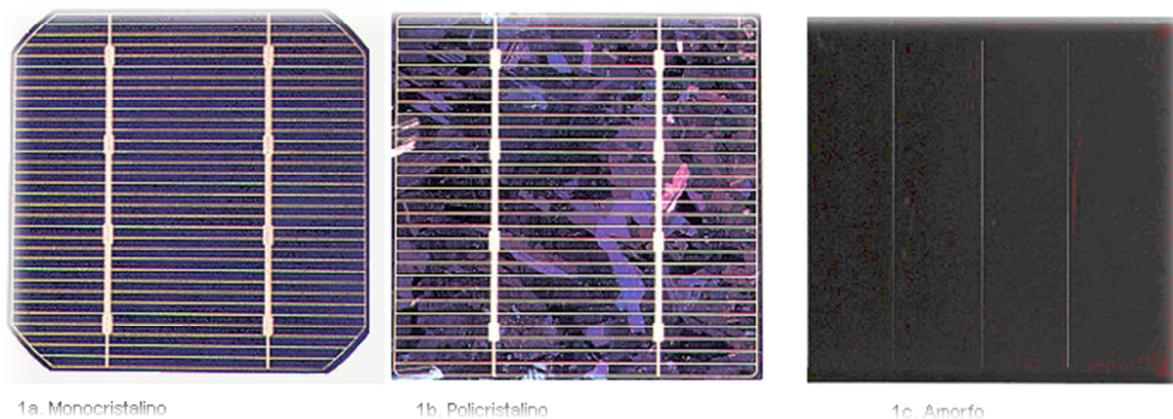


Figura 1. Tipos de Células fotovoltaicas de Silício. Fonte: CRESESB (2012)

De acordo com Lorenzo (1994) para que sejam empregadas na produção de energia, as células solares se associam eletricamente em diferentes combinações que permitem que se obtenham valores da corrente e voltagem necessária para uma aplicação com fim determinado e são, para tanto, envoltas por materiais que as protegem dos efeitos causados pelo tempo. Fiorentino (2004) afirma que para o aproveitamento da energia do sol são utilizados a célula, o módulo e o gerador

fotovoltaicos. O módulo é formado por um conjunto de células, enquanto o gerador é constituído por vários módulos, sendo importante compreender que o faz parte também do módulo fotovoltaico, além do conjunto de células, as conexões, a proteção e o suporte do sistema fotovoltaico.

O módulo fotovoltaico é composto de células conectadas em arranjos produzindo tensão e corrente em nível suficiente para o aproveitamento da energia elétrica gerada. Lorenzo (1994) comenta que, o módulo fotovoltaico é a unidade básica comercialmente disponível, proporcionando proteção mecânica e ambiental às células e permitindo a sua utilização exposta às intempéries, como apresentado na Figura 2, o módulo é composto de células encapsuladas e conectadas eletricamente em série e/ou em paralelo, produzindo níveis de tensão e corrente adequados à utilização.

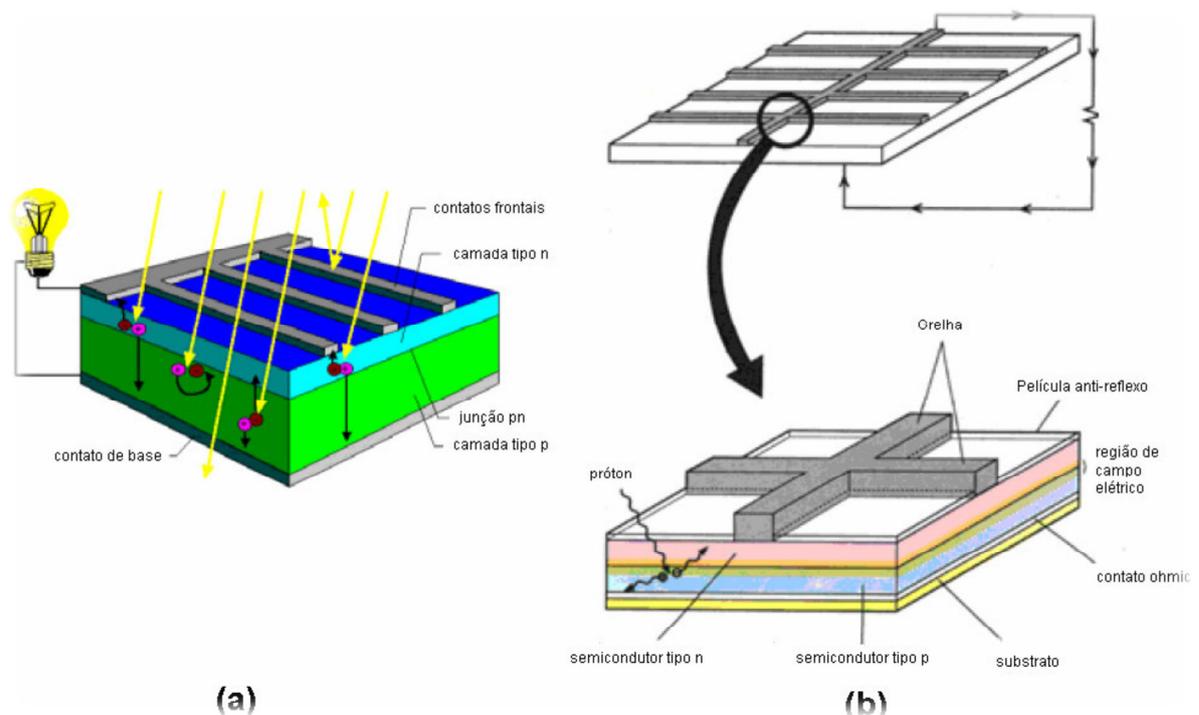


Figura 2. (a) Constituição interna de uma célula fotovoltaica típica; (b) Detalhes da constituição da grelha metálica. Fonte: Stone (2007) apud Gabriel Filho (2007)

Os dispositivos fotovoltaicos podem ser considerados robustos e simples, exigindo pouca manutenção e sua maior vantagem é que podem ser construídos como sistemas autônomos para dar saídas a partir de microwatts para megawatts. Por isso eles são usados como fonte de alimentação, bombeamento de água, sistemas domésticos de energia solar, comunicações, satélites e veículos

espaciais, entre outros. Com esta variedade tão grande de aplicações, a demanda por energia fotovoltaica está aumentando a cada ano (PARIDA *et. al.*, 2011).

A tecnologia solar fotovoltaica pode aproveitar a energia do sol para fornecer energia elétrica em larga escala e de forma sustentável. Em 2005, o mercado global de energia solar nos Estados Unidos da América chegou a \$ 11,8 bilhões. Espera-se que o mercado das energias solares aumente de forma considerável, sendo estimado que a procura de silício para células solares é esperado um aumento de 41.000 toneladas em 2006 para 400.000 toneladas em 2015 (SOLANGI *et. al.*, 2011).

2.3 BOMBEAMENTO DE ÁGUA COM PAINEL FOTOVOLTAICO

A longa história do bombeamento de água levou ao desenvolvimento de vários métodos de bombeamento que utilizam poucos esforços e o mínimo de energia. As técnicas variam desde bombas simples até mesmo bombas com alta eficiência elétrica. Em áreas rurais onde o acesso à eletricidade é mais complicado, o uso de sistema de bombeamento é comum, principalmente bombas a diesel. No entanto esse sistema apresenta inúmeros problemas, como o abastecimento de combustível e o custo operacional (MOKEDDEM *et. al.* 2011).

Os sistemas de bombeamento de água com painel fotovoltaico vêm se tornando cada vez mais popular, principalmente nas últimas décadas. Dados do Banco Mundial revelam que dez mil sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água foram instalados em todo o mundo até o ano de 1993, e este número cresceu para mais de 60 mil sistemas no ano de 1998. Estes sistemas são considerados de grande interesse para o fornecimento de água, principalmente em áreas remotas, e como a maior parte da população mundial reside em áreas rurais e ensolaradas tropicais ou sub-tropicais o sistema pode ser ainda mais viável (SHORT; OLDACH, 2003).

Além disso, os sistemas de bombeamento com painel fotovoltaico têm como vantagem evitar incertezas associados à disponibilidade e o preço do combustível, problemas ambientais, como o esgotamento de reservas de combustíveis fósseis, emissões de gás carbônico, além de que bombas à diesel dependem de

lubrificantes, óleo combustível, peças de reposição e manutenção, o que pode ser dificultado em locais distantes, enquanto que os sistemas com painel fotovoltaico, quando instalados corretamente necessitam apenas do atendimento mínimo e trabalham na maioria das vezes por longos períodos de tempo (ODEH, *et. al.*, 2006).

No bombeamento de água com painel fotovoltaico são frequentemente usados para a irrigação de culturas, na pecuária e no abastecimento de água residencial, como mostra a Figura 3, e em muitos casos rentáveis. Porém ainda duas questões limitam o uso generalizado que é a eficiência baixa de conversão das células solares e o alto custo inicial, cerca de três vezes mais do que um sistema com bomba à diesel com o mesmo desempenho (VICK; NEAL, 2012).

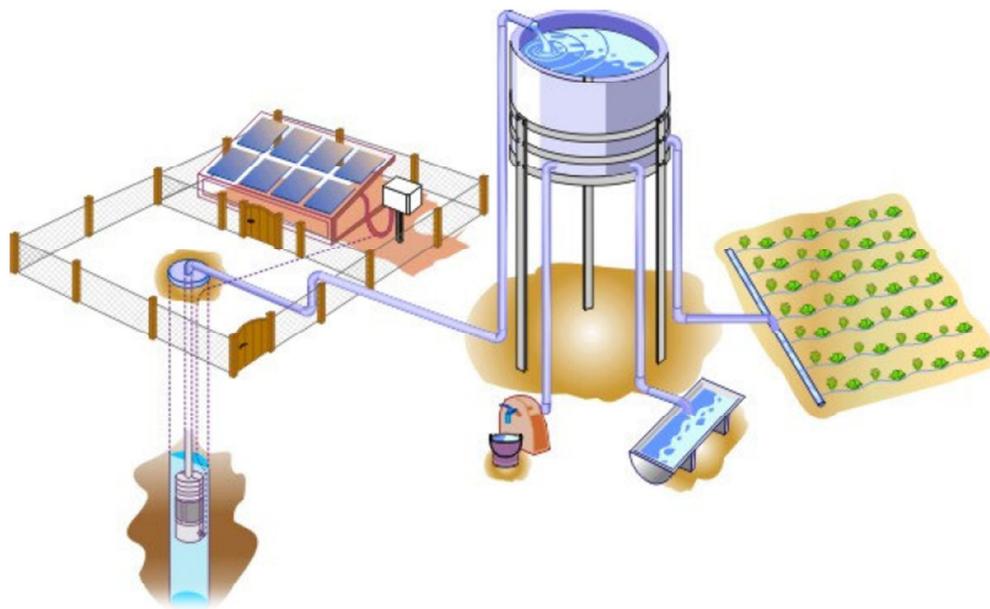


Figura 3. Sistema fotovoltaico de bombeamento para elevação de água com aplicações para consumo humano, animal e irrigação. Fonte: Morales (2011)

No Brasil o bombeamento de água utilizando painel fotovoltaico pode representar uma solução às famílias em pequenas propriedades rurais, principalmente em regiões áridas e semi-áridas, porém para essa aplicação é importante conhecer a tensão, corrente e a potência gerada pelo painel, assim como as características do conjunto motobomba e a irradiação média da região em todas as estações do ano (MICHELS *et. al.*, 2009).

Um sistema de irrigação utilizando painel fotovoltaico é constituído basicamente por gerador fotovoltaico, equipamentos de condicionamento de

potência, conjunto motobomba, sistemas de armazenamento (opcional) e sistema de distribuição. Os sistemas mais simples constituem um gerador fotovoltaico conectado ao conjunto motobomba em corrente contínua, sendo este conectado a um sistema de distribuição, que pode ser sistemas de irrigação (MORALES, 2011).

Ainda de acordo com o mesmo autor, em aplicações para bombeamento de água com geração fotovoltaica podem ser utilizados diversos tipos de bomba e formas de acoplamento, que basicamente pode ser direto ou por baterias. A forma de acoplamento direta é usada em sistemas com pequena potência (50 até 400 Wp) e tem como vantagem a economia inicial por não requerer equipamentos mais complexos e caros. O acoplamento pode ser também feito por baterias, que tem como funções o armazenamento de energia, o que permite o uso do sistema fora do “horário solar” ou em momentos que a radiação não é suficiente e a outra função é o condicionamento de potência. Independentemente da função da bateria é necessário o uso de controlador de carga e descarga, com o intuito de proteger a bateria de sobrecargas.

2.4 COEFICIENTES DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

De acordo com Werneck *et. al.* (2009), irrigação é o conjunto de técnicas destinadas a deslocar a água no tempo ou no espaço para modificar as possibilidades agrícolas de cada região, visando corrigir a distribuição natural das chuvas, proporcionando alcançar a máxima produção.

Para se avaliar um sistema de irrigação é comum utilizar coeficientes de uniformidade de distribuição, que expressam a variabilidade de aplicação das lâminas de irrigação (FRIZZONE, 1992).

Um sistema de irrigação para ter um bom desempenho deve apresentar uma boa uniformidade de distribuição de seus emissores. A uniformidade está associada à variabilidade da lâmina de irrigação ao longo da área molhada, sendo expressa por índices ou coeficientes, sendo os mais utilizados o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) (BERNARDO, 1995).

As perdas de água nos sistemas por microaspersão são normalmente maiores do que na irrigação por gotejamento. Isso ocorre devido à maior superfície molhada de solo e porque, na microaspersão, a água é lançada ao ar.

A uniformidade de irrigação é influenciada por uma série de fatores, como pressão de serviço, diâmetro dos bocais, geometria e rugosidade dos orifícios, inclinação e velocidade de lançamento do jato, altura do emissor em relação ao solo, estabilidade da haste de sustentação do emissor, que deve ser mantida sempre na vertical, distância dos microaspersores ao caule das plantas e principalmente fatores climáticos, como a velocidade e direção do vento (CONCEIÇÃO, 2002).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O trabalho foi desenvolvido na Universidade Estadual do Oeste do Paraná UNIOESTE, campus de Cascavel, com Latitude 24°59' Sul, Longitude 53°23' Oeste e altitude de 750 metros com relação ao nível do mar. O experimento foi realizado nas dependências do Laboratório do Projeto CASA (Centro de Análise de Sistemas Alternativos de Energia), como demonstrado na Figura 4 (a).

O município de Cascavel está localizado na Região Oeste do Estado do Paraná apresentando, de acordo com o Programa SUNDATA (CRESESB, 2012) radiação média de $4,80 \text{ KWh m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$

Os ensaios foram realizados no interior do Laboratório do Projeto CASA, de forma *indoor*, sem a influência de fatores externos como radiação solar e vento, como pode ser observada na Figura 4 (b).



Figura 4. (a) Foto externa do Laboratório do Projeto CASA ; (b) Foto interna do Laboratório do Projeto CASA.

3.2 MATERIAL

3.2.1 Sistema Fotovoltaico

O sistema fotovoltaico utilizado foi composto por um painel fotovoltaico, controlador de carga e unidade de armazenamento energia.

3.2.1.1 Painel fotovoltaico

Foram utilizados três módulos fotovoltaicos da marca SOLARTEC, modelo KS50, compondo um painel fotovoltaico. Os módulos fotovoltaicos foram conectados em paralelo com a finalidade de elevar a corrente e manter a tensão em 12 V em corrente contínua. As especificações técnicas dos módulos estão apresentadas na Tabela 1 e o painel fotovoltaico pode ser observado na Figura 5.

Tabela 1. Características Técnicas do Módulo Fotovoltaico.

Potência nominal (PN)	50 W
Corrente a PN	3 A
Tensão a PN	16,7 V
Tensão de circuito aberto	21,5 V
Corrente de curto circuito	3,10 A
Máxima tensão do sistema	600 V
Dimensões	1280 X 343 X 36 mm
Peso	6,5 Kg



Figura 5. Painel fotovoltaico composto por três módulos fotovoltaico da marca SOLARTEC, modelo KS50.

3.2.1.2 Controlador de carga

Para a regulação da corrente elétrica fornecida para a unidade de armazenamento de energia, foi utilizado um controlador de carga da marca PHOCOS, modelo CX 40, apresentado na Figura 6, com as características técnicas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características técnicas do controlador de carga.

Máxima corrente de módulo	40 A
Máxima corrente de carga	40 A
Tensão do sistema	12/24 V
Máximo nível de umidade, armazenamento ou operação	95 %
Dimensões	92 X 93 X 38 mm
Consumo próprio	< 4 mA



Figura 6. Controlador de Carga – Marca PHOCOS, modelo CX 40. Fonte: PHOCOS (2012)

3.2.1.3 Sistema de armazenamento de energia

Para o armazenamento de energia foi utilizado uma bateria da marca AJAX, modelo Energy EN150, apresentada na Figura 7, com capacidade nominal de 150 Ah em tensão de 12 V em corrente contínua, como pode ser observado nas características técnicas apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Características técnicas do sistema de armazenamento de energia.

Tensão	12 V
Peso médio	44,8 Kg
Tensão do sistema	12/24 V
Capacidade nominal – 20 horas	150 Ah
Dimensões	510 X 210 X 232 mm



Figura 7. Sistema de armazenamento de energia - Marca AJAX, modelo EN150. Fonte: AJAX (2012).

3.2.2 Sistema de bombeamento

O bombeamento de água para o ensaio do microaspersor foi realizado utilizando-se um bomba de diafragma da marca SHURFLO, modelo 8000 (Figura 8), com vazão máxima de 490 l/h e com capacidade manométrica de 2,07 bar. As demais especificações técnicas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Características técnicas da bomba de diafragma hidráulica.

Tensão de alimentação	12 V
Altura máxima de recalque	42 m
Conexão	1 / 2"
Diâmetro de tubulação	1 / 2" a 1"
Dimensões	215 X 114 X 104 mm
Peso	2,1 Kg
Vazão	490 L.h ⁻¹ (sem recalque)
Altura Manométrica	21,09 mca



Figura 8. Bomba hidráulica - Marca SHURFLO, modelo 8000. Fonte: Neosolar energia (2012)

3.2.3 Microaspersor

O microaspersor utilizado nos ensaios é da marca NAANDANJAIN IRRIGATION modelo HADAR 7110 (Figura 9), com o bocal da cor cinza, com as características técnicas demonstradas na Tabela 5.

Tabela 5. Características técnicas do microaspersor.

Diâmetro do Bocal	0,9 mm
Vazão	41 L.h ⁻¹
Diâmetro molhado	6,0 m
Pressão	20,4 mca

As especificações do microaspersor demonstradas na Tabela 5 são para quando trabalhadas com pressão de 2,00 bar com o equipamento a 0,25 m acima do solo.



Figura 9. Microaspersor da marca NAANDANJAIN IRRIGATION modelo HADAR 7110.

3.2.4 Equipamentos para a medição da energia gerada pelo sistema fotovoltaico

Para a medição da energia gerada pelo sistema fotovoltaico durante os ensaios do microaspersor, foram utilizados dois multímetros da marca INSTRUTHERM, como apresentados na Figura 10. Um dos multímetros foi conectado em paralelo com os terminais de saída do painel fotovoltaico para a medição da tensão elétrica em corrente contínua. O outro multímetro foi conectado em série com a bomba hidráulica para a medição corrente consumida pela carga.



Figura 10. Multímetro – Marca INSTRUTHERM.

3.2. Equipamentos para medição de dados meteorológicos

Os dados de radiação solar e temperatura foram coletados da estação meteorológica IPARANCA4, instalada na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.

Para a medição da radiação solar, na estação meteorológica existe um piranômetro de silício, da marca ONSET, modelo S-LIB-M003 (Figura 11) com as seguintes características técnicas apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Características técnicas do piranômetro.

Faixa de medição	0 – 1280 W / m ²
Faixa de temperatura de operação	- 40 °C até 75°C
Faixa espectral	300 a 1100 nm
Comprimento do cabo	3 m
Precisão	± 10 W/ m ²
Peso	120 g
Azimute de erro	± 2 %



Figura 11. Piranômetro - Marca ONSET, modelo S-LIB-M003. Fonte: ONSET (2012)

Para a determinação da temperatura ambiente a estação meteorológica possui um sensor inteligente de temperatura da marca ONSET, modelo S-THB-M002, sendo apresentado na Figura 12, com as características técnicas descritas na Tabela 7.

Tabela 7. Características técnicas do sensor de temperatura.

Faixa de medição	- 40 °C até 75°C
Precisão	± 0,21°C
Tempo de resposta	5 min em ar em movimento 1m/s
Comprimento	2,5 m
Peso	110 g



Figura 12. Medidor de temperatura - Marca ONSET, modelo S-THB-M002. Fonte: ONSET (2012)

3.3 MÉTODOS

3.3.1 Instalação do experimento

O sistema de painel fotovoltaico foi instalado na parte externa do laboratório do projeto CASA, direcionado para o norte verdadeiro e o ensaio do microaspsensor foi realizado dentro do Laboratório do Projeto CASA, como demonstra a Figura 13.



Figura 13. Ensaio do microaspersor.

A água utilizada no ensaio foi proveniente de uma caixa d'água de 100 litros, demonstrada na Figura 14.



Figura 14. Caixa d'água de 100 litros usada nos ensaios.

A partir dos módulos fotovoltaicos ligados em paralelo, dois fios (positivo e negativo) foram ligados em um dos tratamentos diretamente na bomba hidráulica, como mostra a Figura 15 e em outro tratamento ligado ao sistema de armazenamento de energia, antes interligado por um controlador de carga e posteriormente à bomba hidráulica. Da bomba hidráulica foi bombeada a água a partir de mangueiras até o microaspersor situado no interior da casa inovadora do Projeto CASA, determinando assim os coeficientes de uniformidade.



Figura 15. Esquema da bomba d'água utilizada nos ensaios.

3.3.2 Determinação da Uniformidade da Irrigação

Para se determinar a uniformidade da irrigação foram utilizados como parâmetros o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), por apresentarem resultados bastantes confiáveis, de acordo com Bernardo (1995) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), seguindo a recomendação de Merriam e Keller (1978).

3.3.2.1 Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) é baseado no desvio médio como medida de dispersão, sendo o seu cálculo a partir da equação 1.

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |(q_a - q_i)|}{n q_a} \right) \times 100$$

(eq. 1)

Sendo: q_i - lâmina de cada emissor mm.h^{-1} ; q_a - lâmina média dos emissores mm.h^{-1} ; n - número de emissores.

Sendo a q_i medida através do volume de água em cada um dos coletores durante 1 hora de ensaio, coletados através de coletores e determinados o volume através de proveta e a q_a o volume médio dos emissores daquele determinado ensaio.

Para a determinação do CUC foram realizados 3 ensaios do microaspersor por dia em horários diferentes, sendo repetido por 5 dias para cada tratamento, totalizando 15 ensaios do microaspersor para cada tratamento, com objetivo de criar um controle estatístico. Os ensaios tiveram o tempo de 1 hora de acordo com normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Para a classificação dos dados de CUC utiliza-se a proposta de Bernardo *et. al.* (2006), que classificam a uniformidade da aplicação conforme a Tabela 8.

Tabela 8. Classificação do CUC de acordo com Bernardo *et. al.* (2006).

CUC	Classificação
90% ou maior	Excelente
80% até 90%	Bom
70% até 80%	Regular
60% até 70%	Ruim
Menor que 60%	Inaceitável

3.3.2.2 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) foi apresentado por Keller e Karmeli (1975) e Merriam e Keller (1978), sendo baseado na razão entre os 25% das vazões mínimas e as vazões médias dos emissores, expresso pela equação 2.

$$CUD = \frac{q_n}{q_a} \times 100$$

(eq.2)

Sendo: q_n - lâmina média das 25% menores descargas dos emissores mm.h^{-1} ; q_a - lâmina média dos emissores mm.h^{-1}

Sendo a q_n medida através do volume de água nos coletores com as 25% menores descargas durante 1 hora de ensaio, coletados através de coletores e determinados o volume através de proveta e a q_a o volume médio dos emissores daquele determinado ensaio.

Para a determinação do CUD foram realizados 3 ensaios do microaspersor por dia em horários diferentes, sendo repetido por 5 dias para cada tratamento, totalizando 15 ensaios do microaspersor para cada tratamento, com objetivo de criar um controle estatístico. Os ensaios terão o tempo de 1 hora de acordo com normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Para a classificação dos dados de CUD foi utilizada a proposta de ASAE (1996), que classifica a uniformidade da aplicação conforme a Tabela 9.

Tabela 9. Classificação do CUD de acordo com ASAE (1996).

CUD	Classificação
100 – 94	Excelente
87 – 81	Bom
75 – 68	Regular
62 – 56	Ruim
< 56	Inaceitável

3.3.3 Medição dos coeficientes de uniformidade

Para a medição dos coeficientes de uniformidade (CUD e CUC) foi utilizado um sistema de irrigação com um microaspersor com raio de rega de 3 metros e instalado coletores de água para coleta dos dados (Figura 16) para quantificação dos valores dos coeficientes de uniformidade. Foi realizada medição com os coletores distribuídos em malha (Figura 17), com total de 100 coletores, estando distanciados por 0,50 metros entre eles.

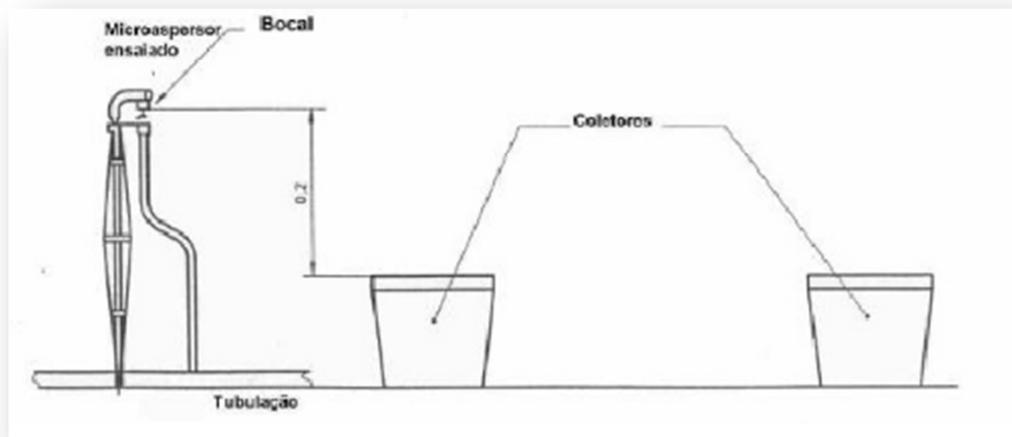


Figura 16. Arranjo do microaspersor para ensaio de distribuição de água.

Fonte: ABNT (2004).

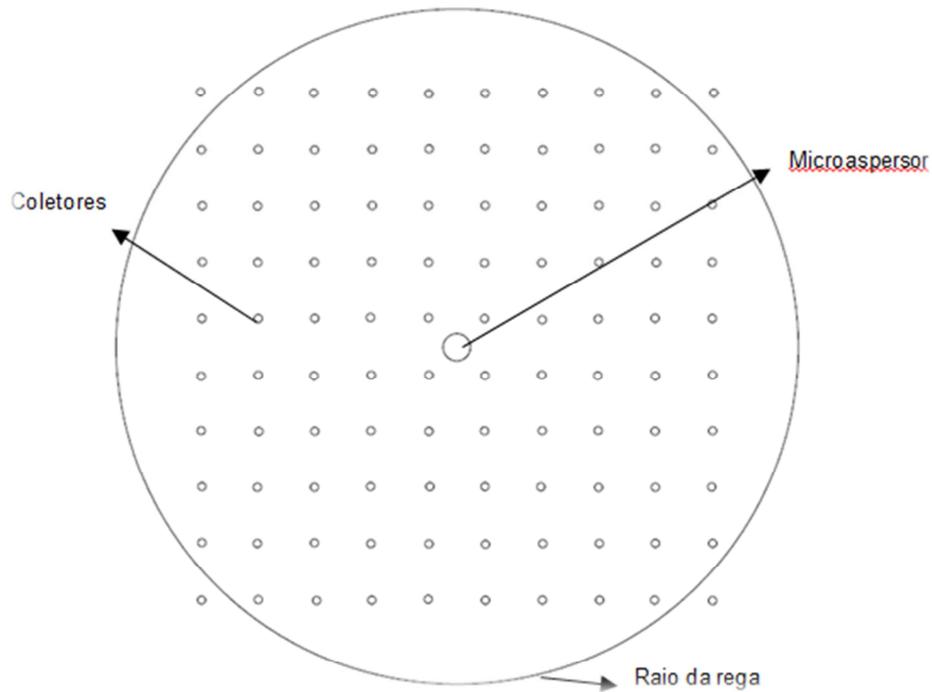


Figura 17. Distribuição do sistema de ensaio do microaspersor e os coletores.

Para a coleta dos dados dos coeficientes o experimento foi conduzido durante o período de cinco dias com céu aberto (dia típico) para cada um dos tratamentos.

Sendo tratamento 1 (T1) sem o uso do sistema de armazenamento de energia, com acoplamento direto da bomba hidráulica ao painel fotovoltaico e o tratamento 2 (T2) com o uso do sistema de armazenamento de energia.

O ensaio foi realizado três vezes ao dia nos horários de 10:00 horas, 13:00 horas e 16:00 horas, totalizando 15 irrigações para cada tratamento, durante o tempo de 1 hora, sendo registrado o volume de água em cada coletor através de uma proveta.

O tratamento sem o uso do sistema de armazenamento de energia foi realizado nos dias 08/09/2012, 14/09/2012, 16/09/2012, 25/09/2012 e 02/10/2012.

O tratamento com o uso do sistema de armazenamento de energia foi realizado nos dias 05/10/2012, 07/10/2012, 13/10/2012, 14/10/2012 e 15/10/2012.

3.3.4 Medição da energia gerada pelo sistema fotovoltaico

A tensão elétrica e a corrente elétrica no sistema de bombeamento foram medidas nos mesmos horários de ensaios do microaspersor, durante o período de armazenamento da água nos coletores.

Foram instalados dois multímetros. Um dos multímetros foi instalado nos terminais do painel fotovoltaico em paralelo com o mesmo para medição da tensão elétrica do sistema. O outro multímetro foi instalado em série, entre o painel fotovoltaico e a motobomba, para a medição da corrente elétrica, conforme pode ser observado na Figura 18.

Os dados foram registrados de 5 em 5 minutos, nos mesmos horários de registro dos dados de radiação solar global pela estação meteorológica.

Com os dados da corrente elétrica e da tensão elétrica, foi calculada a potência elétrica requerida pelo sistema por meio da equação 3, citada por Gussow (2009).

$$P = V.I$$

(eq. 3)

Em que:

P = Potência Elétrica, W;

V = Tensão Elétrica, V;

I = Corrente Elétrica, A.

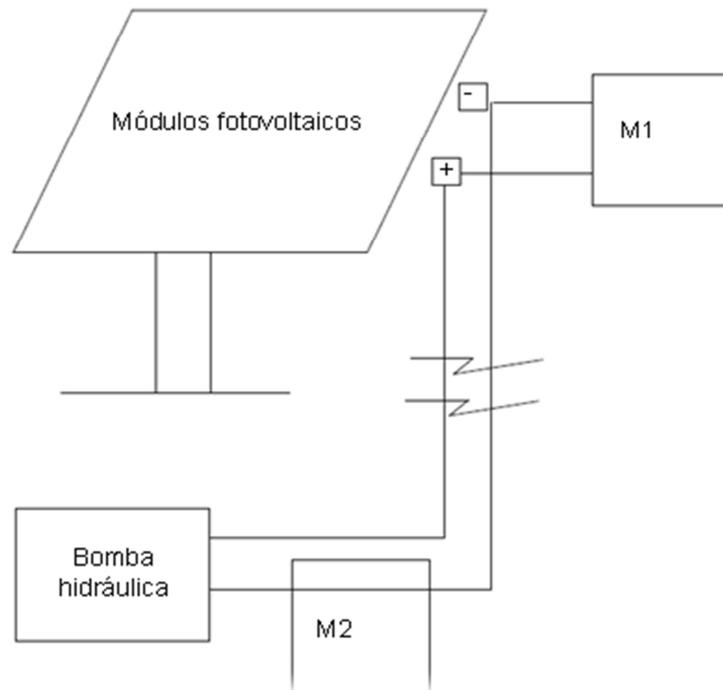


Figura 18. Sistema elétrico para medição da tensão (V) e corrente (A). M1: Multímetro utilizado para medição da tensão elétrica do sistema fotovoltaico; M2: multímetro utilizado para a medição da corrente elétrica.

3.3.5 Medição dos dados meteorológicos

A medição dos dados meteorológicos foi realizado através da leitura dos dados da estação meteorológica nos dias do experimento, sendo determinada a radiação solar global nos dias de realização dos ensaios, durante o tempo de ensaio do microaspersor. Os dados meteorológicos foram coletados de 5 em 5 minutos.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

Foram medidas no experimento as seguintes variáveis: radiação solar, corrente, tensão, vazão, temperatura e os coeficientes de uniformidade (CUD e CUC) e analisados estatisticamente os dados de radiação solar, energia gerada, volume de água coletado, os coeficientes de uniformidade e suas correlações.

Foram analisados através do ASSISTAT os dados para realizar a análise de variância e influência dos horários do dia nos fatores analisados.

Foram realizados gráficos de regressão para uma análise das correlações da energia gerada com a radiação solar e da energia gerada com os coeficientes de uniformidade.

Os mapas de distribuição de água para cada dia foram feitos no SURFER 10.1.561, sendo realizados mapas individuais para cada ensaio. Ainda para cada ensaio foram realizados a estatística descritiva, podendo ser observadas no Apêndice 1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da potência gerada, radiação solar global, volume de água coletado e os valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), que serão discutidos posteriormente, são apresentados na Tabela 10 e 11, para os ensaios sem o sistema de armazenamento de energia e com o sistema de armazenamento de energia, respectivamente.

Tabela 10. Dados dos ensaios sem o sistema de armazenamento de energia.

	Potência (Watts)	Radiação (Watts.m ⁻²)	CUC (%)	CUD (%)	Volume (mL)
08/09 10h	5,21	592,36	24,65	2,41	830
08/09 13h	5,50	743,15	24,86	2,86	700
08/09 16h	3,32	218,54	19,41	0,00	419
14/09 10h	5,70	664,46	19,23	4,56	1053
14/09 13h	5,75	745,62	32,98	7,26	826
14/09 16h	4,31	293,54	30,22	5,94	741
16/09 10h	5,62	632,54	27,75	7,51	959
16/09 13h	5,88	741,31	31,59	8,48	755
16/09 16h	4,32	218,92	29,56	6,68	539
25/09 10h	5,44	221,15	26,82	6,97	918
25/09 13h	5,52	537,08	32,00	8,53	750
25/09 16h	5,25	306,23	27,54	6,62	544
02/10 10h	5,71	813,23	26,45	6,26	894
02/10 13h	5,70	789,23	30,54	5,39	742
02/10 16h	4,02	188,08	23,79	4,58	524

Tabela 11. Dados dos ensaios com o sistema de armazenamento de energia.

	Potência (Watts)	Radiação (Watts.m ⁻²)	CUC (%)	CUD (%)	Volume (mL)
05/10 10h	4,27	701,00	30,79	8,74	732
05/10 13h	4,28	519,46	29,85	8,88	766
05/10 16h	4,27	275,15	30,85	7,80	769
07/10 10h	4,12	759,00	30,16	7,32	765
07/10 13h	4,35	775,54	32,38	7,81	768
07/10 16h	4,45	374,92	30,72	7,25	772
13/10 10h	4,65	901,38	32,26	8,96	759
13/10 13h	4,61	764,62	31,21	7,60	737
13/10 16h	4,21	213,69	32,03	8,08	743
14/10 10h	4,47	876,77	30,18	9,04	752
14/10 13h	4,53	864,15	32,01	9,46	761
14/10 16h	3,99	474,00	32,24	7,41	756
15/10 10h	4,53	772,31	32,85	6,57	791
15/10 13h	4,37	850,46	32,36	9,54	797
15/10 16h	4,23	392,77	31,27	8,94	761

4.1 POTÊNCIA GERADA E RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL

A potência gerada obteve resultados com diferenças significativas quando analisado aos diferentes horários do dia ao nível significativo de 1%, como demonstra a Tabela 12, quando realizado o ensaio sem o sistema de armazenamento de energia.

Tabela 12. Análise de Variância da potência gerada em diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.

Fator de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	Teste F
Tratamentos	2	6.20116	3.10058	16.8461**
Resíduo	12	2.20864	0.18405	
Total	14	8.40980		
Coeficiente de Variação (%)	8,33			
Média Geral	5,15			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 12, é possível verificar que os horários do dia influenciaram na energia gerada pelo sistema. O coeficiente de variação é classificado como baixo, inferior a 10%, apresentando dados homogêneos (PIMENTEL GOMES, 2010). Foi realizado o teste de Tukey para comparação das médias da potência gerada nos diferentes horários do dia, demonstrado na Tabela 13.

Tabela 13. Comparação das médias da potência gerada nos diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.

Horário do dia	Potência Gerada (Watts)
10 horas	5.53600 a
13 horas	5.67000 a
16 horas	4.24400 b

Os resultados da potência gerada no ensaio sem o sistema de armazenamento de energia apresentaram-se melhores para o horário das 10 horas e das 13 horas.

Quando realizado o ensaio utilizando a bateria para o armazenamento de energia, as médias de potência gerada pelo sistema não tiveram diferenças significativas na análise de variância, como apresentado na Tabela 14, devido ao uso do controlador de carga, gerando assim médias iguais para os diferentes horários do dia, como observado na Tabela 15.

Tabela 14. Análise de Variância da Potência Gerada em diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.

Fator de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	Teste F
Tratamentos	2	0.11881	0.05941	1.9684 ns
Resíduo	12	0.36216	0.03018	
Total	14	0.48097		
Coeficiente de Variação (%)	3,99			
Média Geral	4,36			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Na Tabela 15, as médias da potência gerada em Watts nos diferentes horários do dia, sem diferenças estatísticas no teste das médias de Tukey.

Tabela 15. Comparação das médias da potência gerada nos diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.

Horário do dia	Potência Gerada (Watts)
10 horas	4.40800 a
13 horas	4.42800 a
16 horas	4.23000 a

Em relação aos dados de radiação solar global para os dias sem a utilização do sistema de armazenamento de energia os resultados tiveram diferenças significativas, como apresentado na Tabela 16, na análise de variância.

Comparando os dados da potência gerada sem o sistema de armazenamento de energia, apresentados na Tabela 13 e com o sistema de armazenamento de energia, demonstrados na Tabela 15, percebe-se as médias maiores para os dados sem o sistema de armazenamento de energia e isso se explica pelo fato do uso do controlador de carga quando utilizado o sistema com armazenamento de energia, diminuindo assim a potência gerada pelo sistema e diminuindo as diferenças entre os horários do dia.

Para o desempenho de um microaspersor recomenda-se o uso do controlador de carga em relação a potência gerada pelo sistema pelo fato de não diferenciar estatisticamente em função do horário do dia, pois sistemas de irrigação necessitam de uniformidade independente do horário do dia.

Tabela 16. Análise de Variância da Radiação Solar Global em diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.

Fator de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	Teste F
Tratamentos	2	581256.296	290628.14	14.3315 **
Resíduo	12	243347.536	20278.96	
Total	14	824603.833		
Coeficiente de Variação (%)	27,72			
Média Geral	513,70			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 16, é possível verificar que os horários do dia influenciaram na radiação solar global. O coeficiente de variação é classificado como alto, entre 20% e 30%, apresentando dados com baixa precisão, heterogêneos (PIMENTEL GOMES, 2010). Foi realizado o teste de Tukey para comparação das médias da radiação solar global nos diferentes horários do dia, demonstrado na Tabela 17.

Tabela 17. Comparação das médias da radiação solar global nos diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.

Horário do dia	Radiação Solar Global (Watts. m ⁻²)
10 horas	584.74800 a
13 horas	711.27800 a
16 horas	245.06200 b

Para os ensaios durante os dias com o uso do sistema de armazenamento de energia a radiação solar global, assim como para os dias sem o uso do sistema de armazenamento, apresentou resultados com diferenças significativas na análise de variância, como mostra a Tabela 18.

Tabela 18. Análise de Variância da Radiação Solar Global em diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.

Fator de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	Teste F
Tratamentos	2	628706.340	314353.17	25.6003 **
Resíduo	12	147351.535	12279.29	
Total	14	776057.876		
Coeficiente de Variação (%)	17,47			
Média Geral	634,35			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 18, é possível verificar que os horários do dia influenciaram na radiação solar global. O coeficiente de variação é classificado como médio, entre 10% e 20% (PIMENTEL GOMES, 2010). Foi realizado o teste de Tukey para comparação das médias da radiação solar global nos diferentes horários do dia, demonstrado na Tabela 19.

Tabela 19. Comparação das médias da radiação solar global nos diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.

Horário do dia	Radiação Solar Global (Watts. m ⁻²)
10 horas	802.09200 a
13 horas	754.84600 a
16 horas	346.10600 b

Para os ensaios durante os dias com o uso do sistema de armazenamento de energia a radiação solar global, assim como para os dias sem o uso do sistema de armazenamento, apresentou resultados com diferenças significativas.

Os resultados demonstram que os ensaios realizados com e sem sistema de armazenamento de energia tiveram dias com a radiação solar global com diferenças estatísticas dos horários das 10 horas e 13 horas em relação às 16 horas.

Para entender de melhor forma a influência da radiação solar no sistema, foi realizado uma regressão linear com os dados da potência gerada pelo sistema e a radiação solar global para os dias sem o armazenamento de energia e verificou-se que a influência da radiação solar global nos resultados da potência gerada existe uma influência média, de aproximadamente 63%, como pode ser observado na Figura 19.

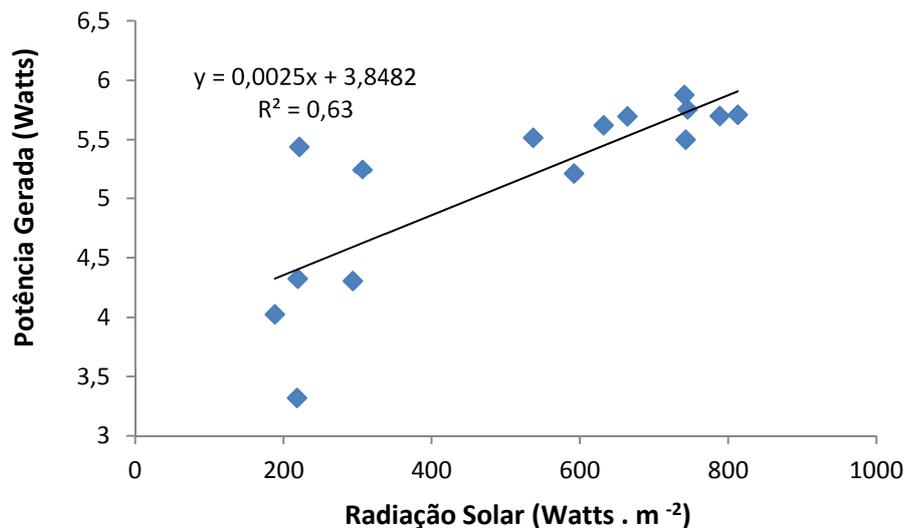


Figura 19. Regressão Linear da potência gerada em função da radiação solar durante o ensaio sem o sistema de armazenamento de energia.

Para os dias com sistema de armazenamento de energia houve uma baixa influência da radiação solar global na energia gerada pelo sistema, conforme observado na Figura 20, uma vez que tal sistema possui um controlador de carga que mantém a energia gerada estável ao longo do dia.

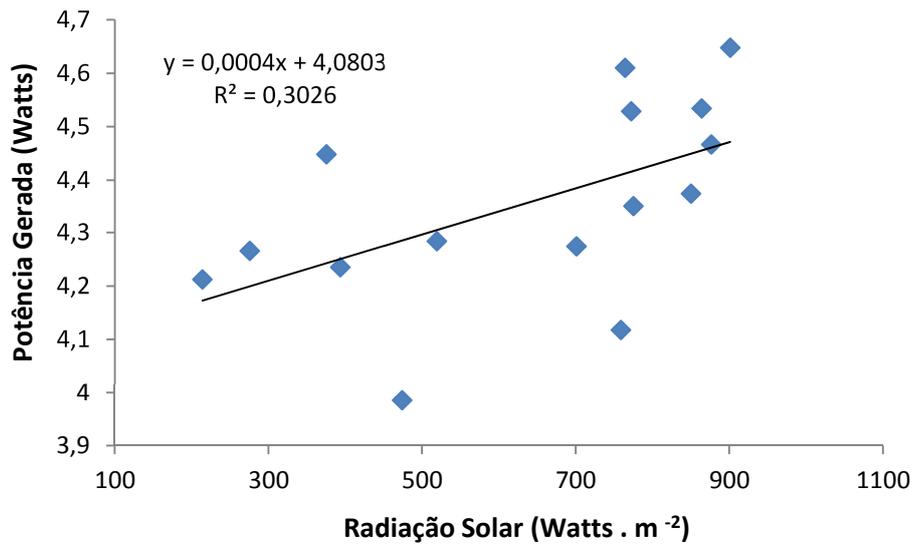


Figura 20. Regressão Linear da potência gerada em função da radiação solar durante o ensaio com o sistema de armazenamento de energia.

4.2 VOLUME DE ÁGUA COLETADO

Em cada ensaio realizado foi coletado o volume de água de cada coletor em mililitros (mL) e transformado em milímetros por hora (mm.h⁻¹), devido ao ensaio ser de uma hora. Quando relacionado o volume de água coletado e a potência gerada nos ensaios sem o sistema de armazenamento de energia percebe-se uma influência média, de aproximadamente 56%, como demonstrado na Figura 21.

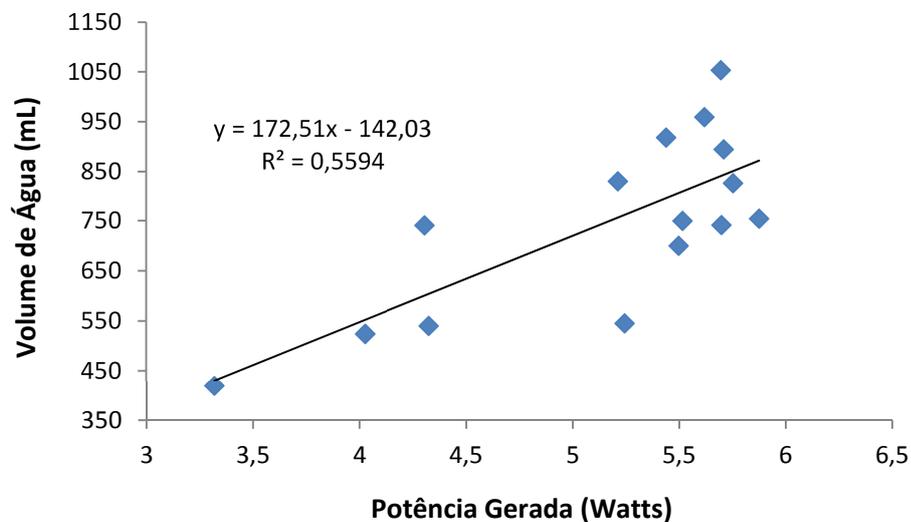


Figura 21. Regressão Linear do volume de água coletado e da potência gerada no ensaio sem o sistema de armazenamento de energia.

Quando se observa a influência do volume de água com a energia gerada no sistema de armazenamento de energia (bateria) a influência é praticamente nula, explicando-se que pelo fato de se utilizar um controlador de carga, o mesmo influenciou em uma menor amplitude dos dados de potência gerada e também volume de água coletado afetando também na correlação entre ambos, como se observa na Figura 22.

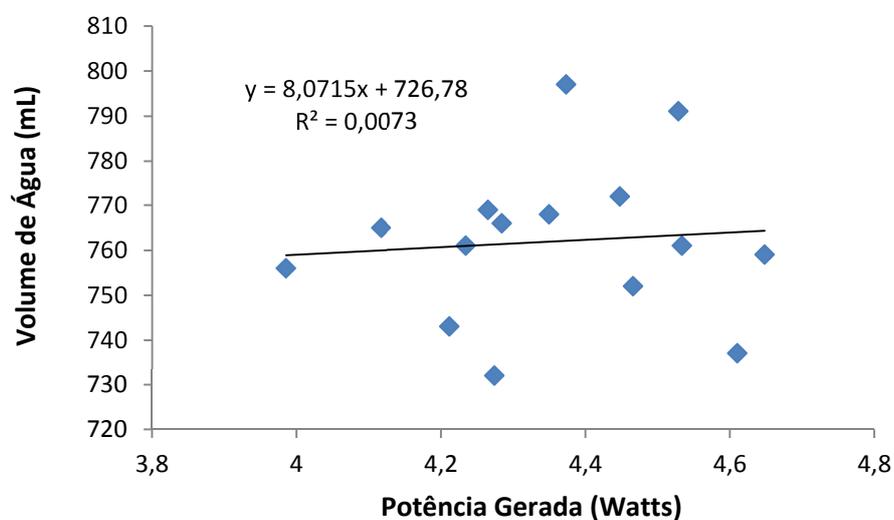


Figura 22. Regressão Linear do volume de água coletado e da potência gerada no ensaio com o sistema de armazenamento de energia.

O volume de água quando analisado estatisticamente nos ensaios sem o sistema de armazenamento de energia apresentou diferenças significativas entre os diferentes horários do dia, demonstrando influência dos horários do dia no volume de água ao nível de 1% de probabilidade, como mostra a Tabela 20.

Tabela 20. Análise de Variância do Volume de Água coletado em diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.

Fator de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	Teste F
Tratamentos	2	356597.733	178298.86	23.7512 **
Resíduo	12	90083.200	7506.93	
Total	14	446680.933		
Coeficiente de Variação (%)	11,61			
Média Geral	746,27			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 20, é possível afirmar que os horários do dia influenciaram no volume de água coletado. O coeficiente de variação é classificado como médio, entre 10% e 20% (PIMENTEL GOMES, 2010). Foi realizado o teste de Tukey para comparação das médias do volume de água nos diferentes horários do dia, demonstrado na Tabela 21.

Tabela 21. Comparação das médias do volume de água coletado nos diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.

Horário do dia	Volume de água coletado (mL)
10 horas	930.80000 a
13 horas	754.60000 b
16 horas	553.40000 c

No caso de se utilizar o sistema de armazenamento de energia o volume de água não apresentou diferenças significativas entre os diferentes horários do dia, como demonstrado na Tabela 22.

Tabela 22. Análise de Variância do Volume de Água coletado em diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.

Fator de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	Teste F
Tratamentos	2	112.53333	56.26667	0.1609 ns
Resíduo	12	4196.40000	349.70000	
Total	14	4308.93333		
Coeficiente de Variação (%)	2,45			
Média Geral	761,93			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Na Tabela 23, as médias do volume de água coletado nos diferentes horários do dia, sem diferenças no teste das médias de Tukey.

Tabela 23. Comparação das médias do volume de água coletado nos diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.

Horário do dia	Volume de água coletado (mL)
10 horas	759.80000 a
13 horas	765.80000 a
16 horas	760.20000 a

Para visualizar de melhor forma o volume de água coletado e os fatores de influência foram analisados conjuntamente, de forma fatorial, o fator horários do dia (10 horas, 13 horas e 16 horas) e o fator armazenamento de energia (sem sistema de armazenamento de energia e com sistema de armazenamento de energia), como é demonstrado na Tabela 24, com a análise de variância dos dados.

Tabela 24. Análise de Variância (fatorial) do Volume de Água coletado em diferentes horários do dia e sem e com sistema de armazenamento de energia.

Fator de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	Teste F
Horários do dia	2	178219.400	89109.70	22.6839 **
Armazenamento de energia	1	1840.833	1840.83	0.4686 ns
Interação: Horários do dia x Armazenamento de energia	2	178490.866	89245.43	22.7185 **
Tratamentos	5	358551.10	71710.22	18.2547 **
Resíduos	24	94279.600	3928.31	
Total	29	452830.700		
Coeficiente de Variação (%)	8,31			
Média Geral	754,10			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 24, é possível verificar que os horários do dia influenciaram no volume de água coletado e o fator armazenamento de energia não teve influência significativa, porém a interação entre eles influenciou no volume de água coletado. O coeficiente de variação é classificado como baixo, inferior a 10%, apresentando dados homogêneos (PIMENTEL GOMES, 2010).

Foi realizado o teste de Tukey para comparação das médias do volume de água nos diferentes horários do dia e para o fator armazenamento de energia, assim como as médias da interação do fator horários do dia (10 horas, 13 horas e 16 horas) e o fator armazenamento de energia (sem sistema de armazenamento de energia e com sistema de armazenamento de energia), como observado na Tabela 25.

Tabela 25. Comparação de volumes das médias de interação: Horários do dia X Armazenamento de energia

Horário do dia	Sem bateria	Com bateria	Média Geral
10 horas	930.8000 aA	759.8000 aB	845.3000 a
13 horas	754.6000 bA	765.8000 aA	760.2000 b
16 horas	553.4000 cB	760.2000 aA	656.8000 c
Média Geral	746.2670 A	761.9330 A	

Nas colunas (letras minúsculas) comparação dos volumes entre diferentes horários do dia e nas linhas (letras maiúsculas) comparação entre o fator com e sem sistema de armazenamento de energia.

Pode-se afirmar que para o volume coletado nos 10 coletores do ensaio, para o horário das 10 horas, é maior no tratamento sem o uso do sistema de armazenamento de energia, para o horário das 13 horas, o volume de água é igual estatisticamente para o tratamento com ou sem o sistema de armazenamento, e para o horário das 16 horas, o volume de água é maior para o tratamento com o sistema de armazenamento de energia.

A importância dessa análise é pelo fato de compreender nas condições do experimento em cada horário analisado em qual tratamento temos o maior volume de água, sendo assim pode-se determinar que no horário das 10 horas se o objetivo for o maior volume de água o tratamento sem o uso do sistema de armazenamento de energia é mais interessante, para o horário das 13 horas ambos e das 16 horas o mais interessante é o sistema com armazenamento de energia.

4.3 COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO

4.3.1 Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)

Na Tabela 26 são demonstrados os dados do CUC para os ensaios sem o sistema de armazenamento de energia.

Tabela 26. Dados do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) para os ensaios sem armazenamento de energia.

Data	Horário do dia	CUC (%)
08/09/2012	10 horas	24,65
	13 horas	24,86
	16 horas	19,41
14/09/2012	10 horas	19,23
	13 horas	32,98
	16 horas	30,22
16/09/2012	10 horas	27,75
	13 horas	31,59
	16 horas	29,56
25/09/2012	10 horas	26,82
	13 horas	32,00
	16 horas	27,54
02/10/2012	10 horas	26,45
	13 horas	30,54
	16 horas	23,79

Todos os resultados dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) para os ensaios sem o sistema de armazenamento de energia foram inaceitáveis de acordo com a classificação de Bernardo et. al (2006).

Na tabela 27 são demonstrados os dados do CUC para os ensaios com o sistema de armazenamento de energia.

Tabela 27. Dados do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) para os ensaios com armazenamento de energia.

Data	Horário do dia	CUC (%)
05/10/2012	10 horas	30,79
	13 horas	29,85
	16 horas	30,85
07/10/2012	10 horas	30,16
	13 horas	32,38
	16 horas	30,72
13/10/2012	10 horas	32,26
	13 horas	31,21
	16 horas	32,03
14/10/2012	10 horas	30,18
	13 horas	32,01
	16 horas	32,24
15/10/2012	10 horas	32,85
	13 horas	32,36
	16 horas	31,27

Todos os resultados dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) para os ensaios com o sistema de armazenamento de energia foram inaceitáveis de acordo com a classificação de Bernardo et. al (2006) e as análises foram realizadas sem sobreposição, sendo o ensaio considerado com apenas um microaspersor.

Os resultados apresentados do CUC condizem com os demonstrados por Sandri et al. (2010) que realizando ensaios com microaspersores sem sobreposição e com diferentes pressões de trabalho obtiveram valores inaceitáveis para o CUC.

Freire et. al. (2012), realizando estudo com a cultura da goiaba, com irrigação por microaspersores obtiveram o CUC de 57%, sendo considerado inaceitável.

Nascimento et. al. (1999), realizando ensaio de desempenho do microaspersor RAIN-BIRD QN14 em local com vento nulo obtiveram o valor do CUC inaceitável, de 15%.

Em um ensaio de desempenho de microaspersor da marca RONDO, Holanda Filho et. al. (2001) obtiveram resultados do CUC variando de 85,2% até 96,6%, sendo classificados de bom à excelente. Esses resultados também foram obtidos por Santos et. al. (2012) que utilizando microaspersores na cultura da banana obtiveram resultados do CUC variando de 77% até 93%.

Martins et. al. (2011), avaliando um sistema de irrigação por microaspersor obtiveram para o CUC a uniformidade de 89,53%, sendo considerada boa, de acordo com Bernardo et. al (2006). Esses mesmo resultados condizem com os apresentados por Cordeiro (2006) em sistemas de irrigação por microaspersor no Espírito Santo e abaixo um pouco com os demonstrados por Oliveira et. al. (2008) com sistemas de irrigação por microaspersor no Rio Grande do Norte.

Para Martins (2009) a baixa uniformidade de aplicação de água de sistemas de irrigação localizada se deve em grande parte ao mau dimensionamento do projeto e a ausência de manejo do sistema.

Apesar dos resultados serem classificados como inaceitáveis foi realizado uma análise de variância para os dados, porém não houve influencia dos horários do dia nos valores do CUC, como demonstra a Tabela 28.

Tabela 28. Análise de Variância do CUC coletado em diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.

Fator de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	Teste F
Tratamentos	2	81.63145	40.81573	2.9008 ns
Resíduo	12	168.84604	14.07050	
Total	14	250.47749		
Coeficiente de Variação (%)	13,81			
Média Geral	27,16			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Na Tabela 29, as médias do CUC nos diferentes horários do dia, sem diferenças no teste das médias de Tukey.

Tabela 29. Comparação das médias do CUC nos diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.

Horário do dia	CUC
10 horas	24.98000 a
13 horas	30.39400 a
16 horas	26.10400 a

Para os ensaios com o armazenamento de energia, os valores do CUC também não obtiveram diferenças significativas, demonstrando que os diferentes horários do dia não influenciaram no CUC, como demonstra a Tabela 30.

Tabela 30. Análise de Variância do CUC coletado em diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.

Fator de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	Teste F
Tratamentos	2	0.24745	0.12373	0.1181 ns
Resíduo	12	12.56804	1.04734	
Total	14	12.81549		
Coeficiente de Variação (%)	3,26			
Média Geral	31,41			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Na Tabela 31, as médias do CUC nos diferentes horários do dia, com diferenças no teste das médias de Tukey.

Tabela 31. Comparação das médias do CUC nos diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.

Horário do dia	CUC
10 horas	31.24800 a
13 horas	31.56200 a
16 horas	31.42200 a

Quando correlacionamos os dados da energia gerada pelo sistema (potência elétrica em Watts) e os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen percebe-se uma correlação baixa tanto para os ensaios sem armazenamento de energia e para os ensaios com armazenamento de energia, de aproximadamente 16% e 3% respectivamente, como observa-se nas Figuras 23 e 24.

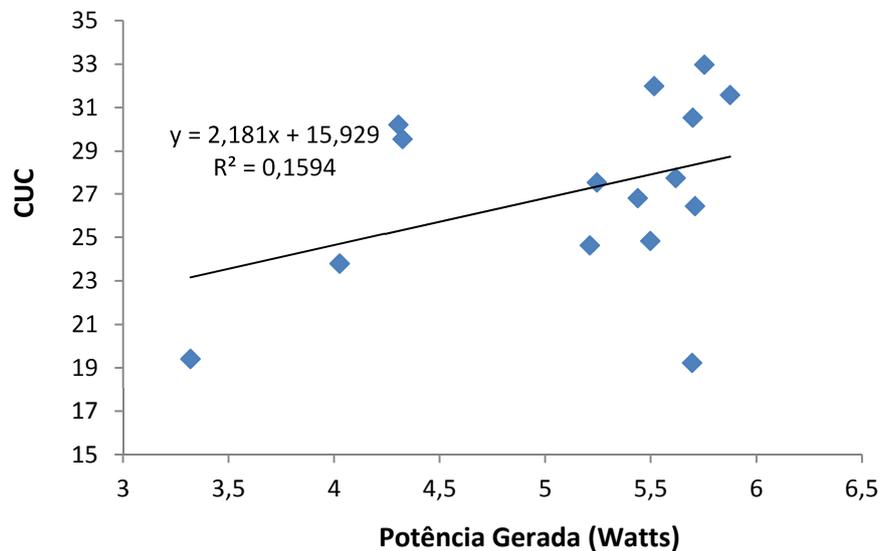


Figura 23. Regressão Linear do CUC e da potência gerada no ensaio sem o sistema de armazenamento de energia.

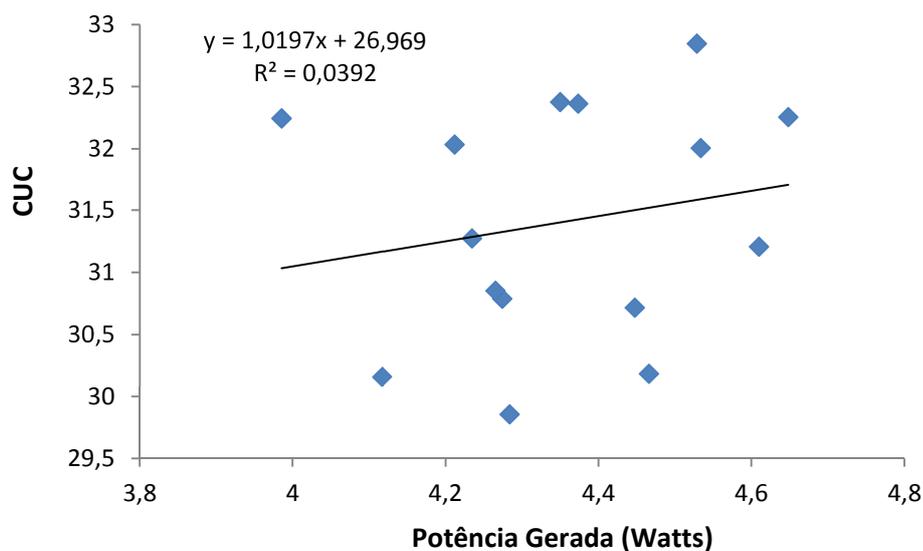


Figura 24. Regressão Linear do CUC e da potência gerada no ensaio com o sistema de armazenamento de energia.

4.3.2 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

Na Tabela 32 são demonstrados os dados do CUD para os ensaios sem o sistema de armazenamento de energia.

Tabela 32. Dados do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) para os ensaios sem armazenamento de energia.

Data	Horário do dia	CUD (%)
08/09/2012	10 horas	2,41
	13 horas	2,86
	16 horas	0,00
14/09/2012	10 horas	4,56
	13 horas	7,26
	16 horas	5,94
16/09/2012	10 horas	7,51
	13 horas	8,48
	16 horas	6,68
25/09/2012	10 horas	6,97
	13 horas	8,53
	16 horas	6,62
02/10/2012	10 horas	6,26
	13 horas	5,39
	16 horas	4,58

Todos os resultados dos coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD) para os ensaios sem o sistema de armazenamento de energia foram inaceitáveis de acordo com a classificação de ASAE (1996).

Na tabela 33 são demonstrados os dados do CUD para os ensaios com o sistema de armazenamento de energia.

Tabela 33. Dados do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) para os ensaios com armazenamento de energia

Data	Horário do dia	CUD (%)
05/10/2012	10 horas	8,74
	13 horas	8,88
	16 horas	7,80
07/10/2012	10 horas	7,32
	13 horas	7,81
	16 horas	7,25
13/10/2012	10 horas	8,96
	13 horas	7,60
	16 horas	8,08
14/10/2012	10 horas	9,04
	13 horas	9,46
	16 horas	7,41
15/10/2012	10 horas	6,57
	13 horas	9,54
	16 horas	8,94

Todos os resultados dos coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD) para os ensaios com o sistema de armazenamento de energia foram inaceitáveis de acordo com a classificação de ASAE (1996).

Os resultados apresentados do CUD condizem com os demonstrados por Sandri et al. (2010) que realizando ensaios com microaspersores sem sobreposição e com diferentes pressões de trabalho obtiveram valores inaceitáveis para o CUD.

Freire et. al. (2012) Realizando estudo com a cultura da goiaba, com irrigação por microaspersores obtiveram o CUD de 32%, sendo considerado inaceitável.

Santos et. al. (2012) realizando ensaios de desempenho para a cultura da banana obtiveram resultados do CUD variando de 56% até 88%, variando de razoável à bom.

Apesar dos resultados serem classificados como inaceitáveis foi realizado uma análise de variância para os dados, porém não houve influencia dos horários do dia nos valores do CUD, como demonstra a Tabela 34.

Tabela 34. Análise de Variância do CUD coletado em diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.

Fator de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	Teste F
Tratamentos	2	7.59721	3.79861	0.6373 ns
Resíduo	12	71.53032	5.96086	
Total	14	79.12753		
Coeficiente de Variação (%)	43,57			
Média Geral	5,60			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Na Tabela 35, as médias do CUD nos diferentes horários do dia, sem diferenças no teste das médias de Tukey.

Tabela 35. Comparação das médias do CUD nos diferentes horários do dia sem sistema de armazenamento de energia.

Horário do dia	CUD
10 horas	5.54200 a
13 horas	6.50400 a
16 horas	4.76400 a

Para os ensaios com o armazenamento de energia, os valores do CUD também não obtiveram diferenças significativas, demonstrando que os diferentes horários do dia não influenciaram no CUD, como demonstra a Tabela 36.

Tabela 36. Análise de Variância do CUD coletado em diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.

Fator de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	Teste F
Tratamentos	2	1.52761	0.76381	0.9098 ns
Resíduo	12	10.07412	0.83951	
Total	14	11.60173		
Coeficiente de Variação (%)	43,57			
Média Geral	11,14			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Na Tabela 37, as médias do CUD nos diferentes horários do dia, com diferenças no teste das médias de Tukey.

Tabela 37. Comparação das médias do CUD nos diferentes horários do dia com sistema de armazenamento de energia.

Horário do dia	CUD
10 horas	8.12600 a
13 horas	8.65800 a
16 horas	7.89600 a

Quando correlacionamos os dados da potência gerada pelo sistema e os valores do coeficiente de uniformidade de distribuição percebe-se uma correlação baixa tanto para os ensaios sem armazenamento de energia e para os ensaios com armazenamento de energia, de aproximadamente 31% e 3% respectivamente, como observa-se nas Figuras 25 e 26.

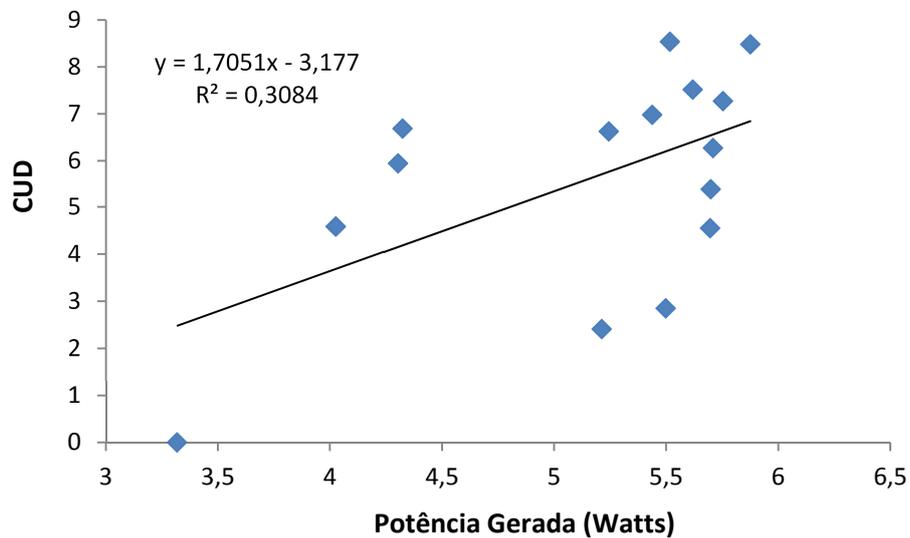


Figura 25. Regressão Linear do CUD e da potência gerada no ensaio sem o sistema de armazenamento de energia.

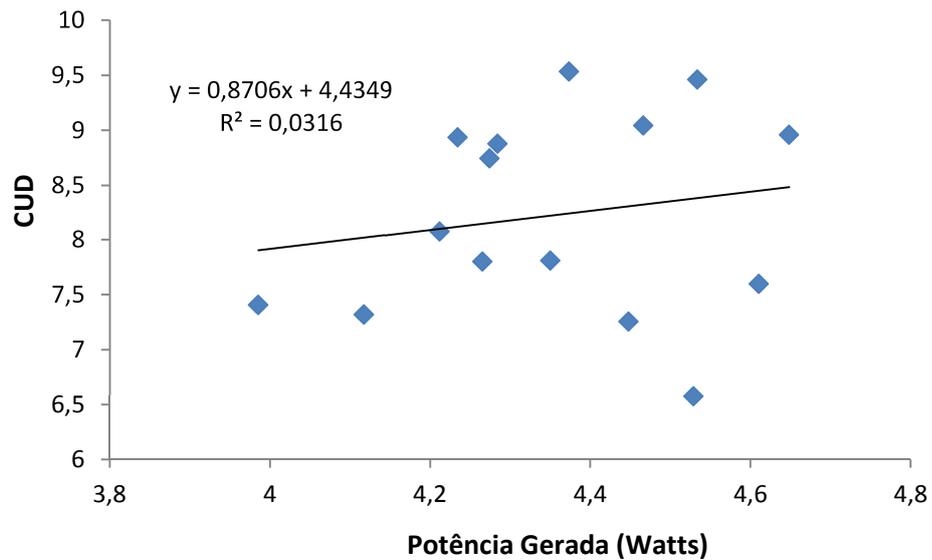


Figura 26. Regressão Linear do CUD e da potência gerada no ensaio com o sistema de armazenamento de energia.

4.4 MAPAS DA DISTRIBUIÇÃO DA LÂMINA D' ÁGUA

4.4.1 Sistema sem armazenamento de energia

Nas Figuras 27, 28, 29, 30 e 31 são apresentados os mapas da distribuição da lâmina d'água nos ensaios sem armazenamento de energia para o horário das 10 horas.

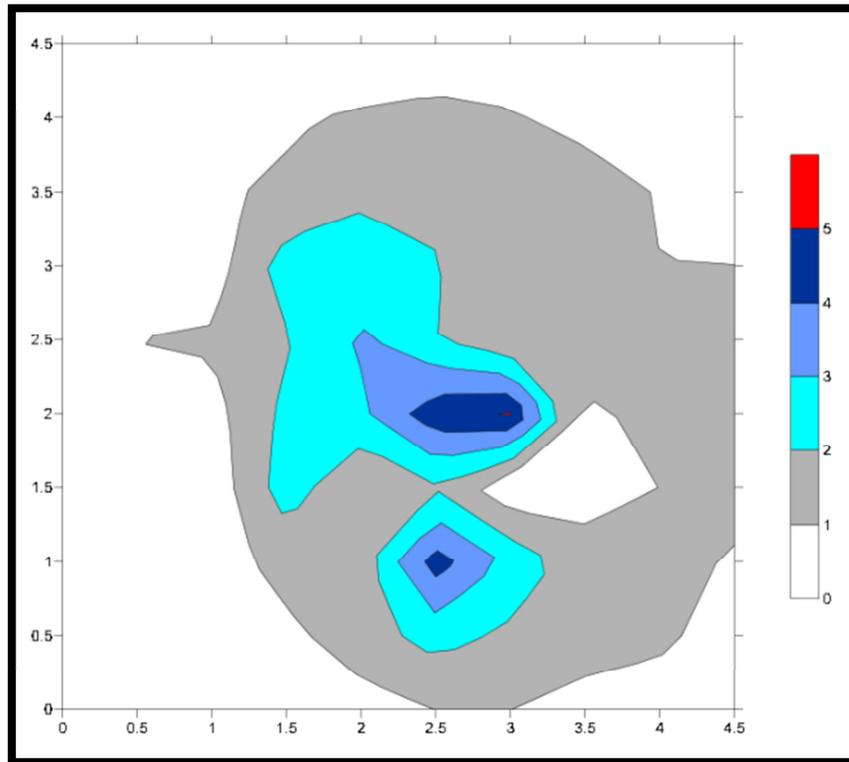


Figura 27. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 08/09/12 às 10 horas.

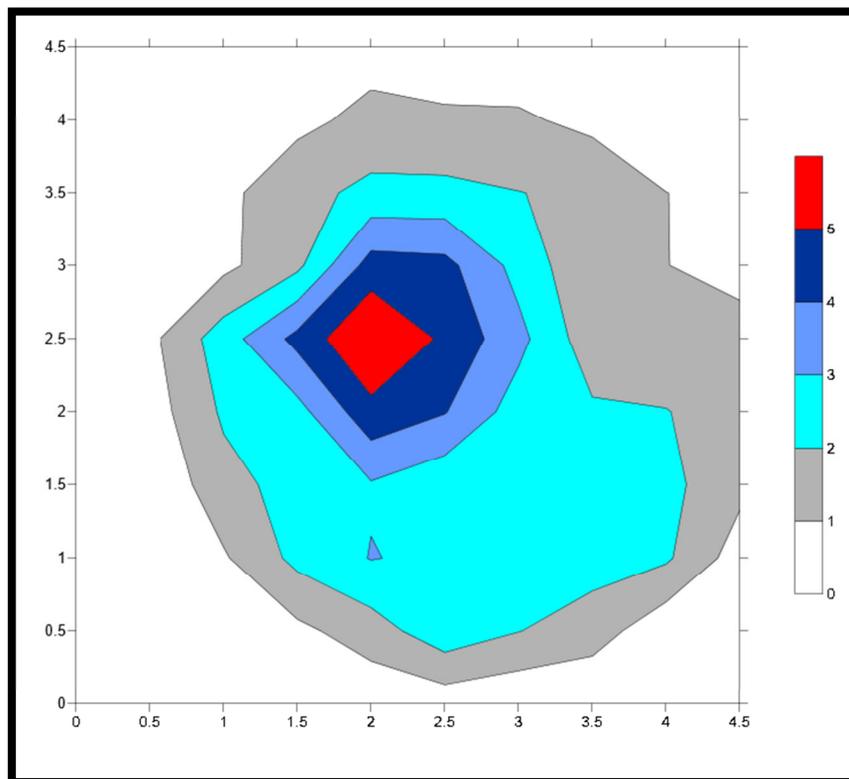


Figura 28. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 14/09/12 às 10 horas.

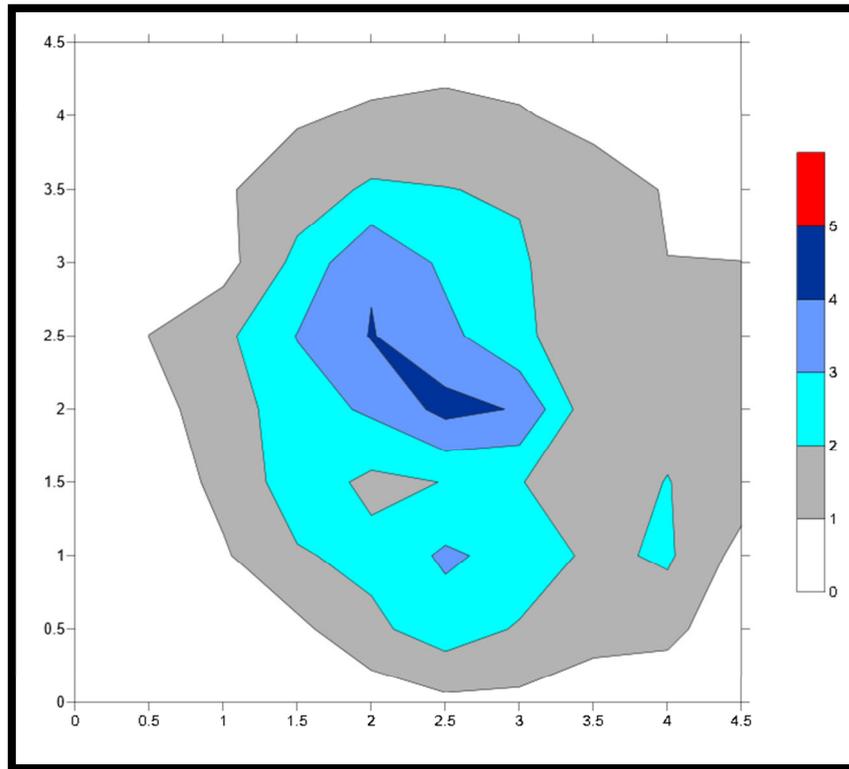


Figura 29. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 16/09/12 às 10 horas.

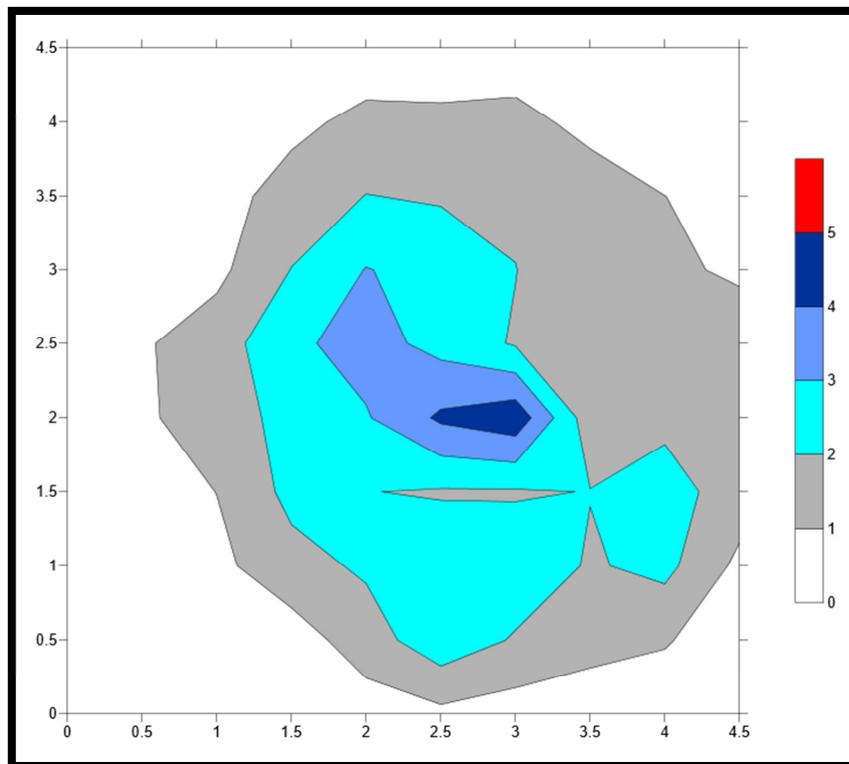


Figura 30. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 25/09/12 às 10 horas.

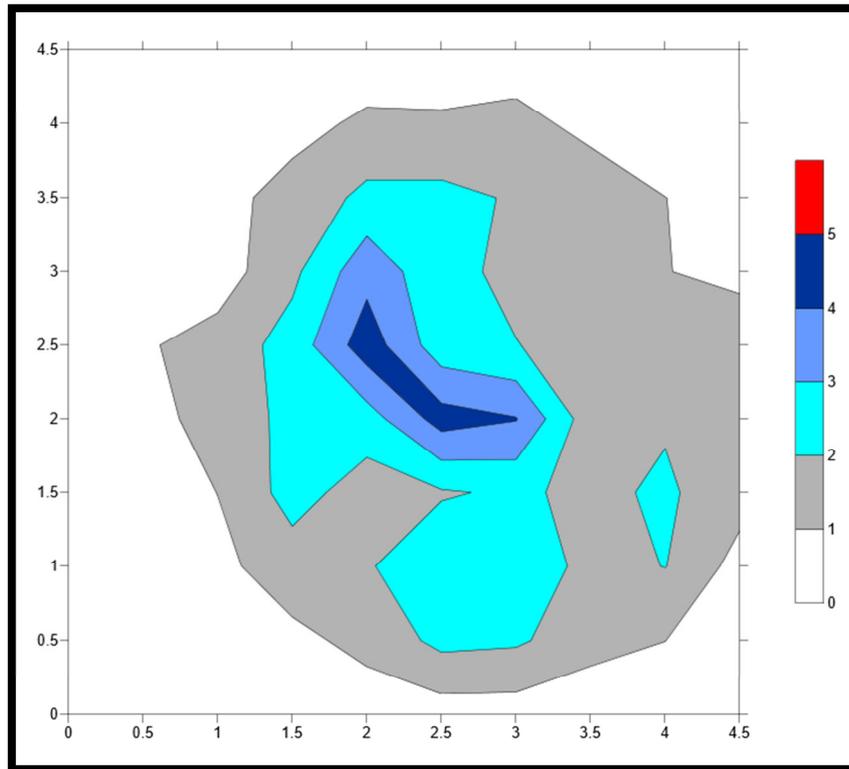


Figura 31. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 02/10/12 às 10 horas.

Nas Figuras 32, 33, 34, 35 e 36 são apresentados os mapas da distribuição da lâmina d'água nos ensaios sem armazenamento de energia para o horário das 13 horas.

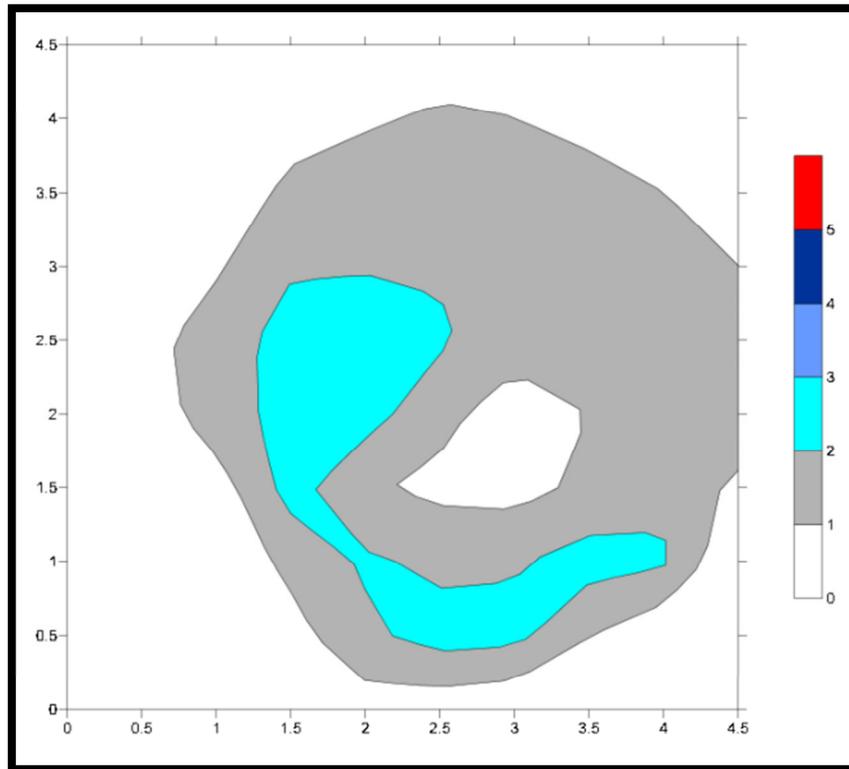


Figura 32. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 08/09/12 às 13 horas.

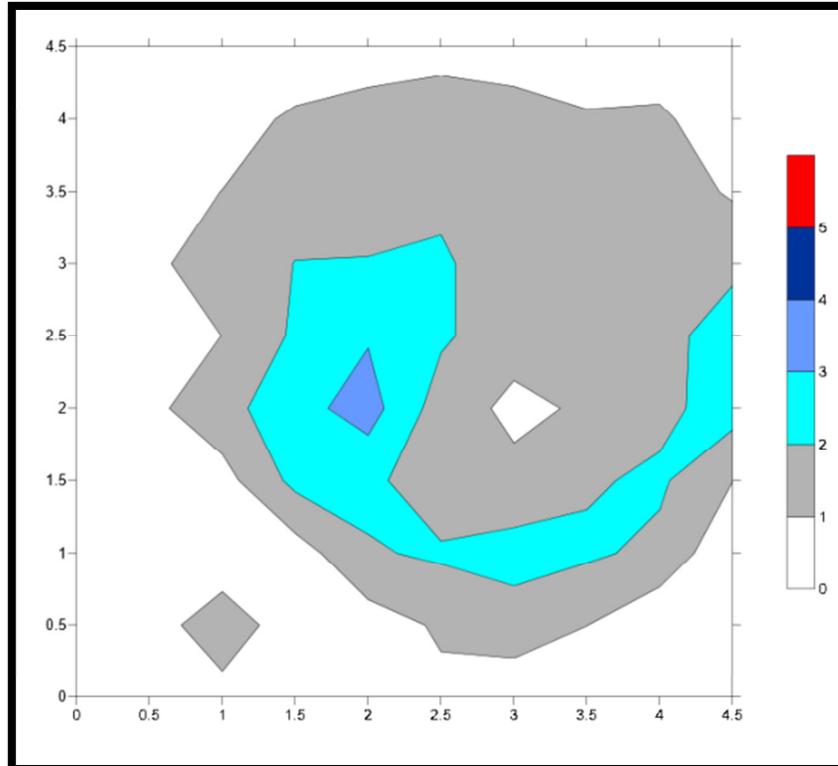


Figura 33. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 14/09/12 às 13 horas.

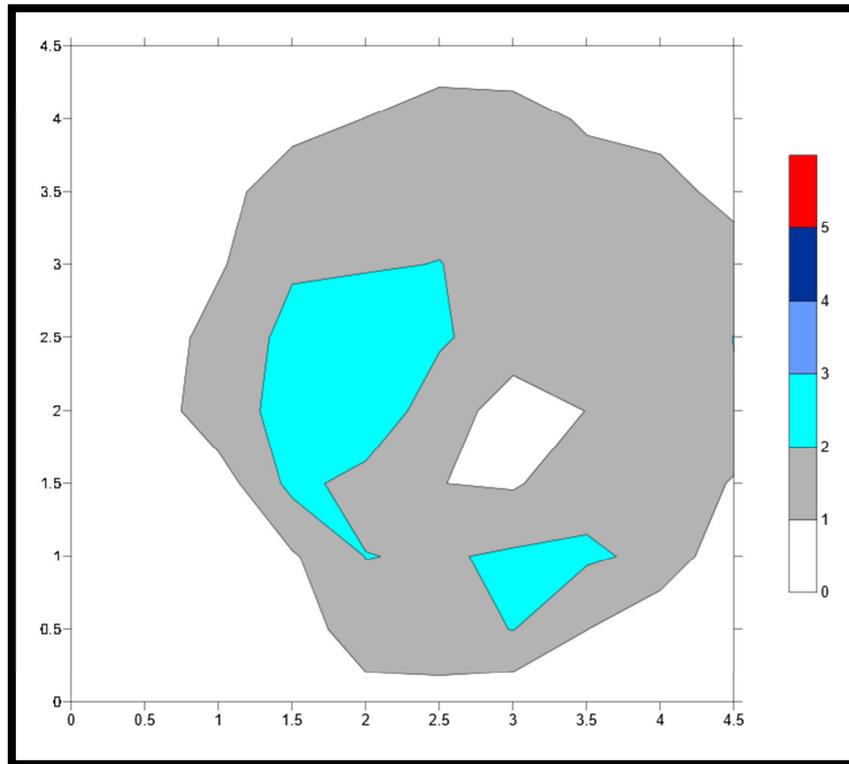


Figura 34. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 16/09/12 às 13 horas.

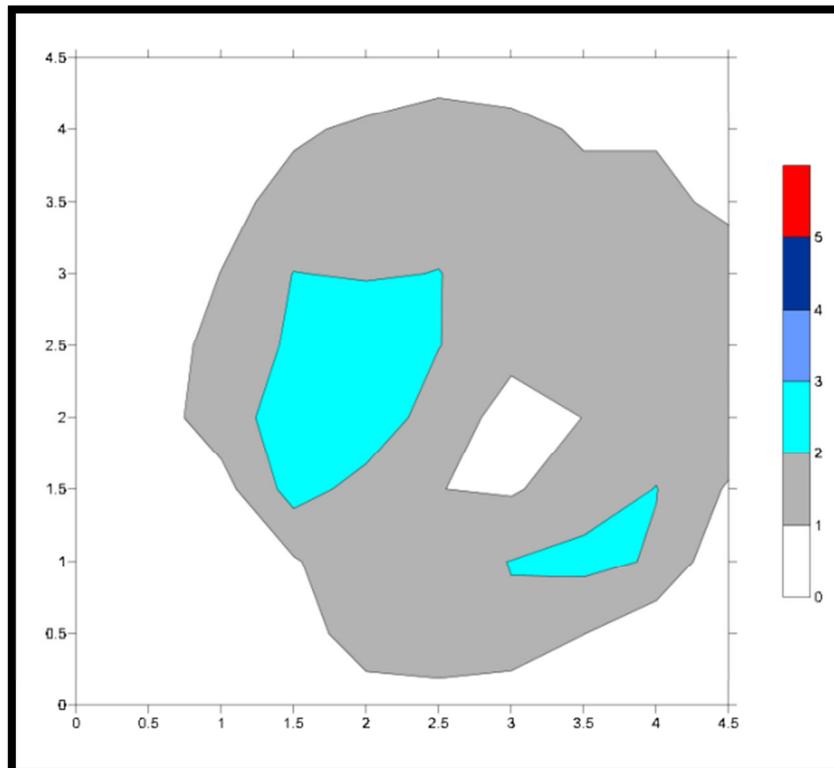


Figura 35. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 25/09/12 às 13 horas.

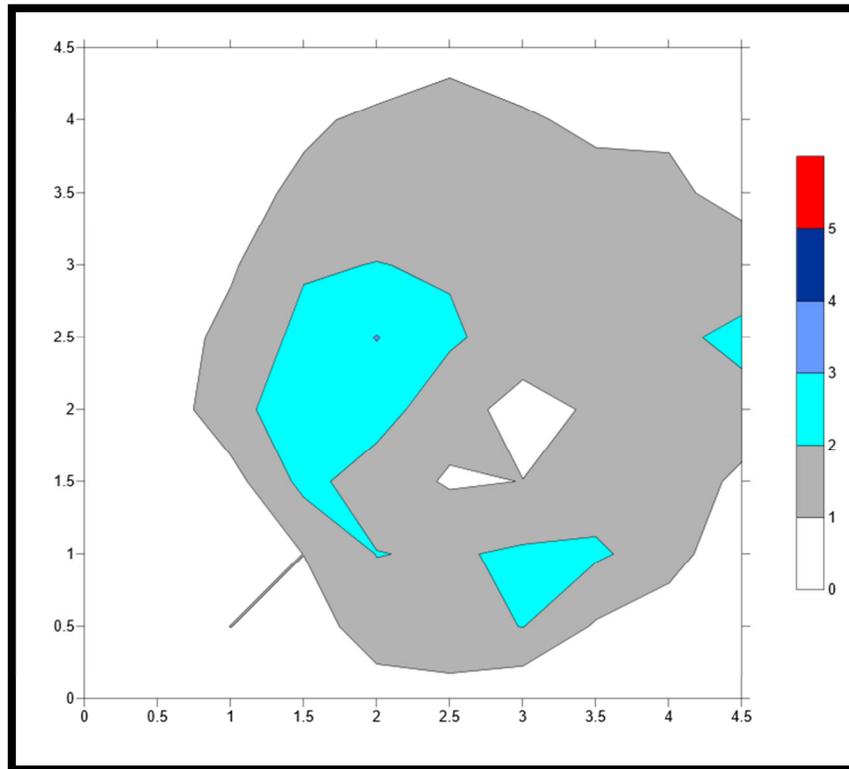


Figura 36. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 02/10/12 às 13 horas.

Nas Figuras 37, 38, 39, 40 e 41 são apresentados os mapas da distribuição da lâmina d'água nos ensaios sem armazenamento de energia para o horário das 16 horas.

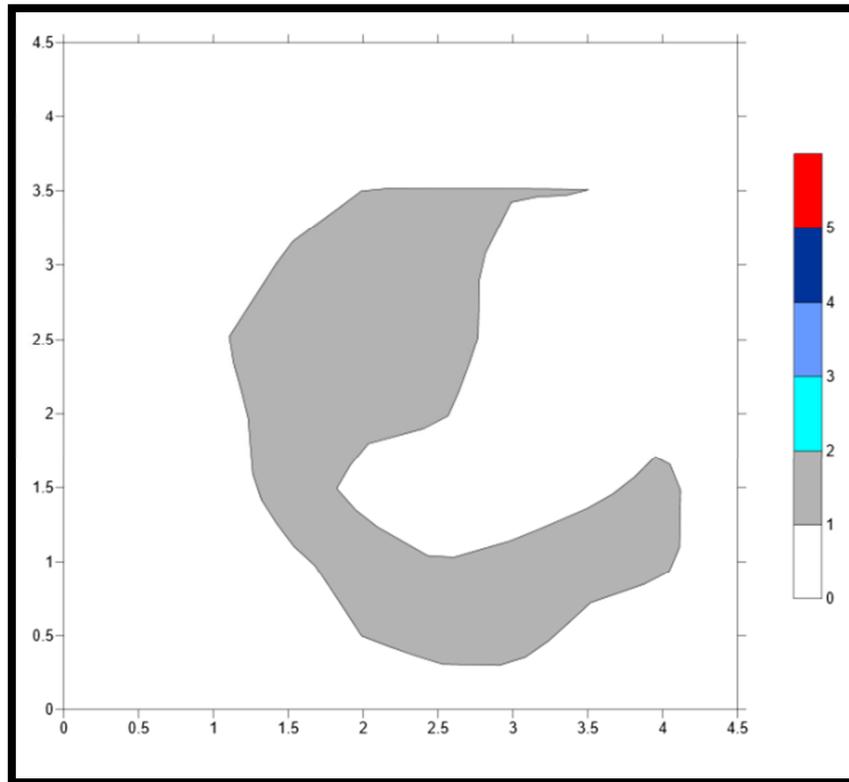


Figura 37. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 08/09/12 às 16 horas.

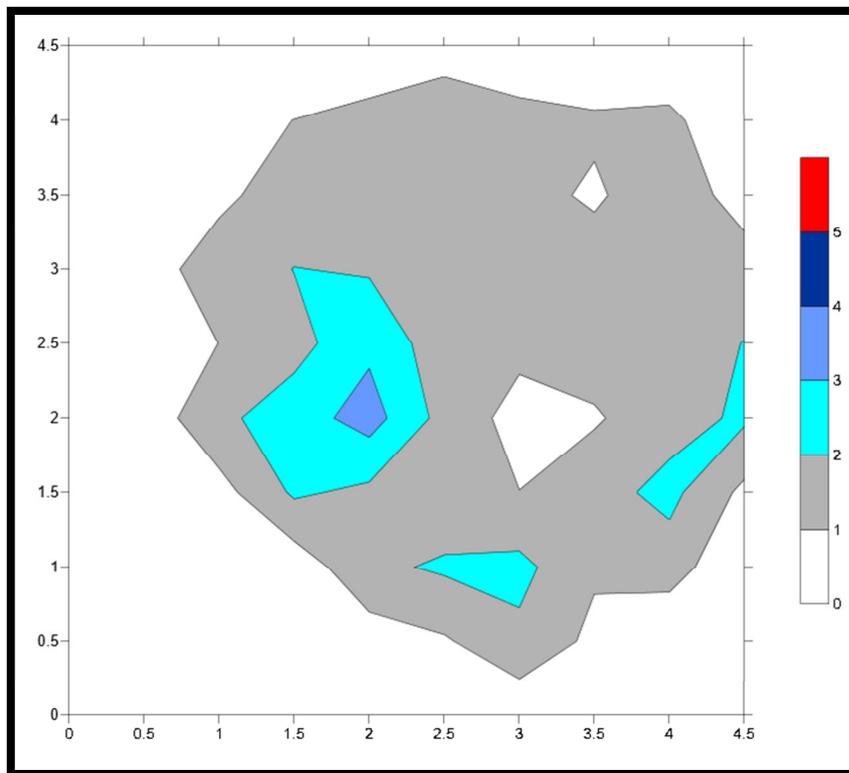


Figura 38. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 14/09/12 às 16 horas.

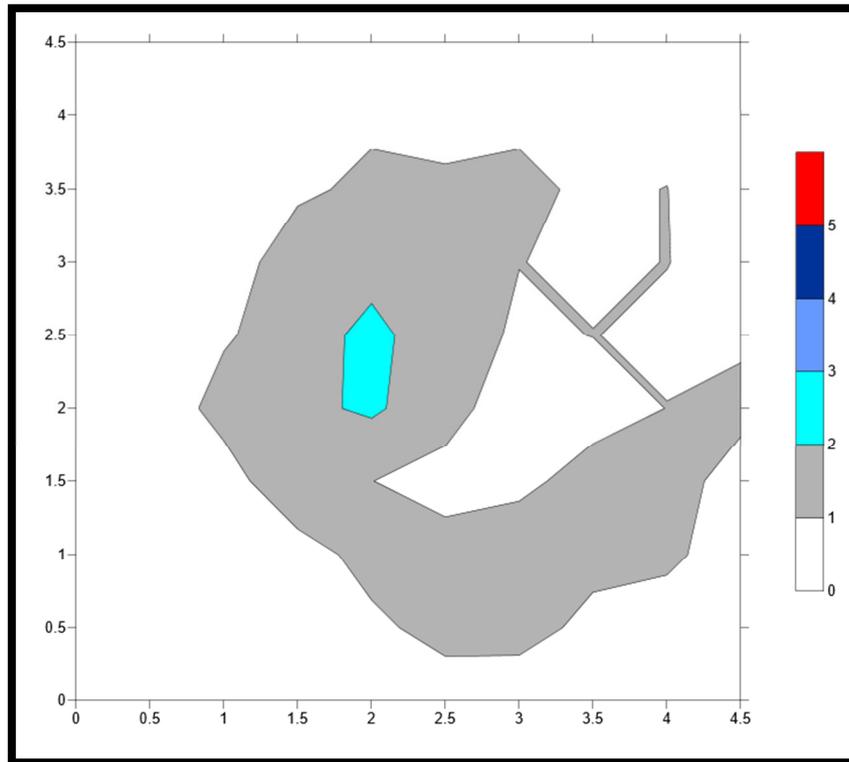


Figura 39. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 16/09/12 às 16 horas.

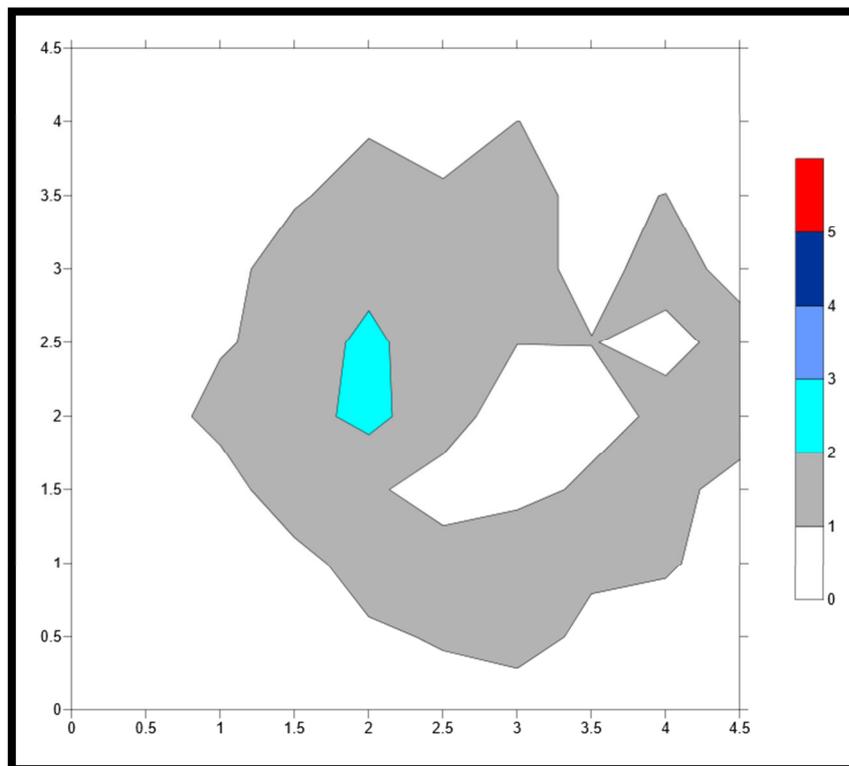


Figura 40. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 25/09/12 às 16 horas.

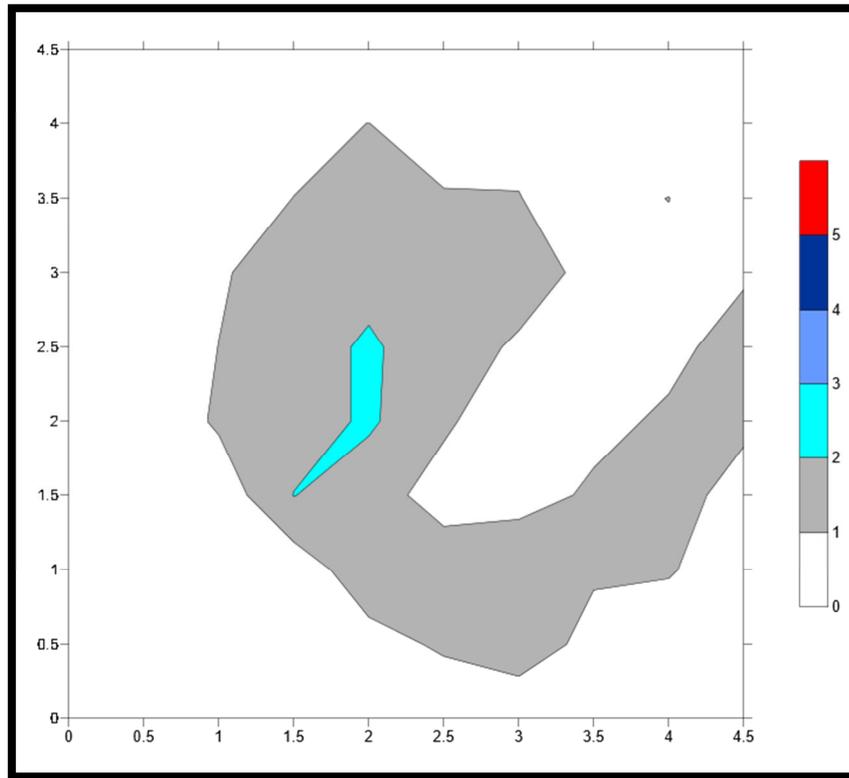


Figura 41. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 02/10/12 às 16 horas.

Através dos mapas apresentados para os ensaios sem o sistema de armazenamento de energia pode-se verificar que a distribuição da lâmina d'água foi irregular, não atingindo as extremidades do local do ensaio e com maiores valores de lâmina d'água nas proximidades do microaspersor (região central do mapa), sendo que o horário das 10 horas apresentaram-se valores de lâmina d'água de 0 mm/h até acima de 5 mm/h. Para o horário das 13 horas as lâminas d'água apresentaram valores de 0 mm/h até 4 mm/h, porém com uma distribuição mais homogênea em relação aos demais horários. Para o horário das 16 horas verifica-se também valores de 0 mm/h até 4 mm/h, todavia houve um aumento das áreas entre 0 mm/h e 1 mm/h.

Com base nos mapas pode-se verificar que todos os horários a distribuição de água foi irregular, sendo condizente com os valores inaceitáveis do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD).

Recomenda-se que se realize as irrigações nos horários das 10 horas ou 13 horas quando se utiliza o sistema sem armazenamento de energia, pois apresenta

distribuições melhores, como observa-se nos gráficos apresentados, em relação ao horário das 16 horas.

4.4.2 Sistema com armazenamento de energia

Nas Figuras 42, 43, 44, 45 e 46 são apresentados os mapas da distribuição da lâmina d'água nos ensaios com armazenamento de energia para o horário das 10 horas.

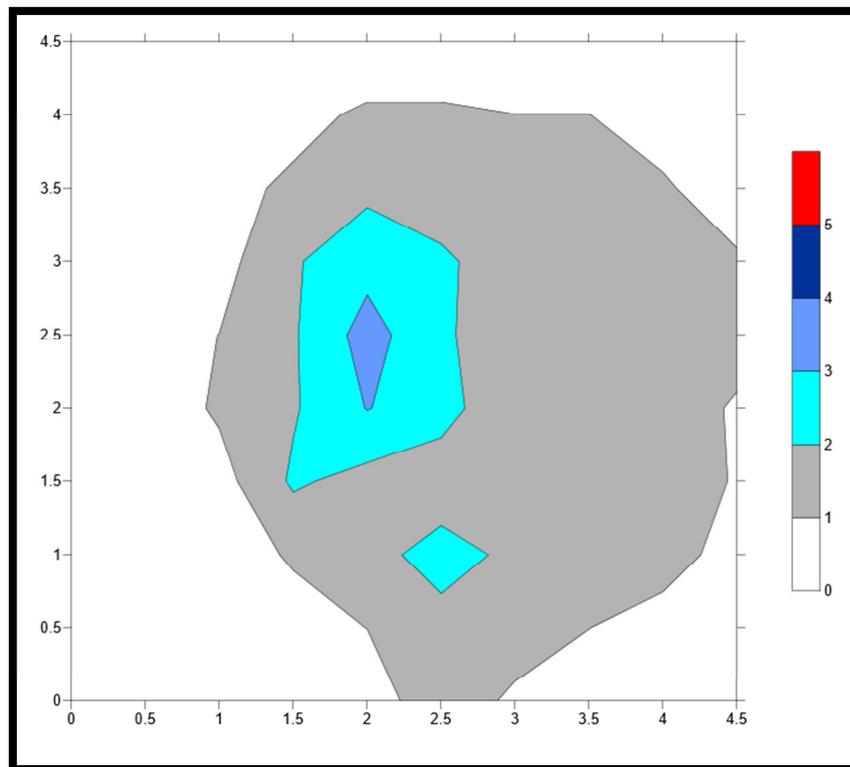


Figura 42. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 05/10/12 às 10 horas.

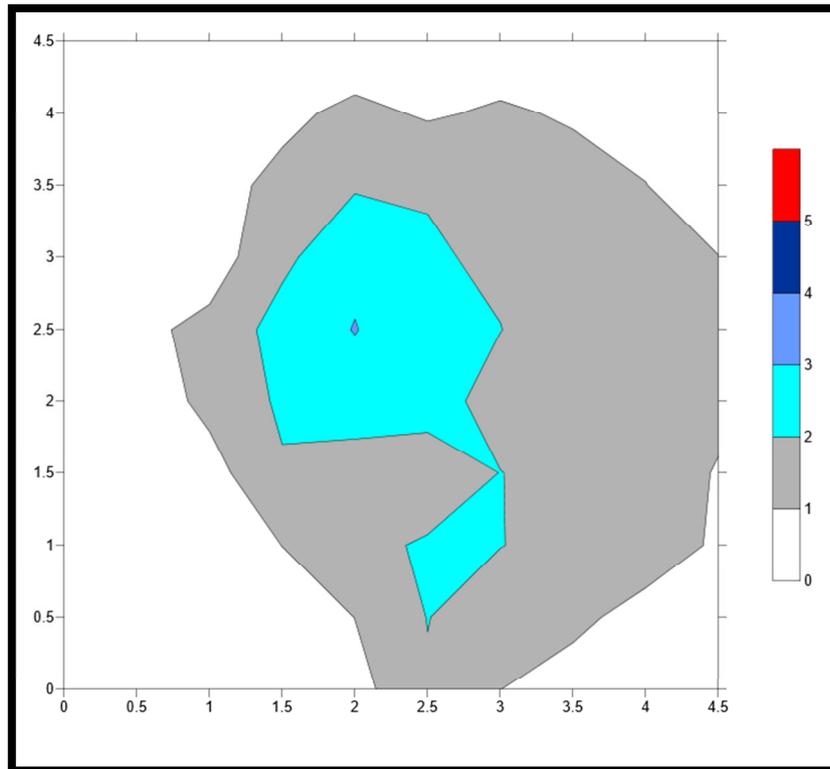


Figura 43. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 07/10/12 às 10 horas.

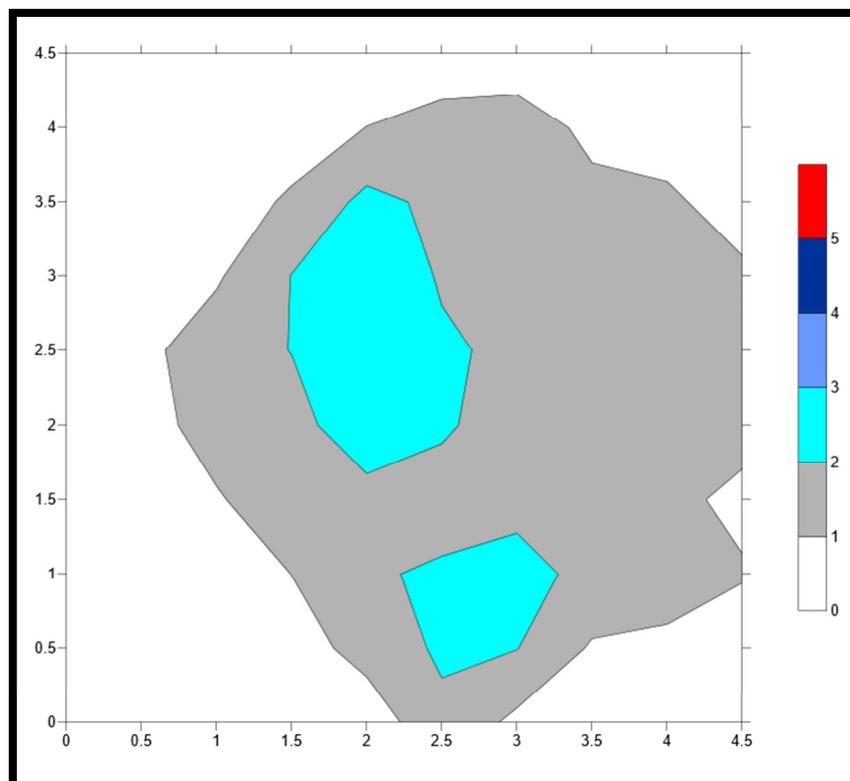


Figura 44. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 13/10/12 às 10 horas.

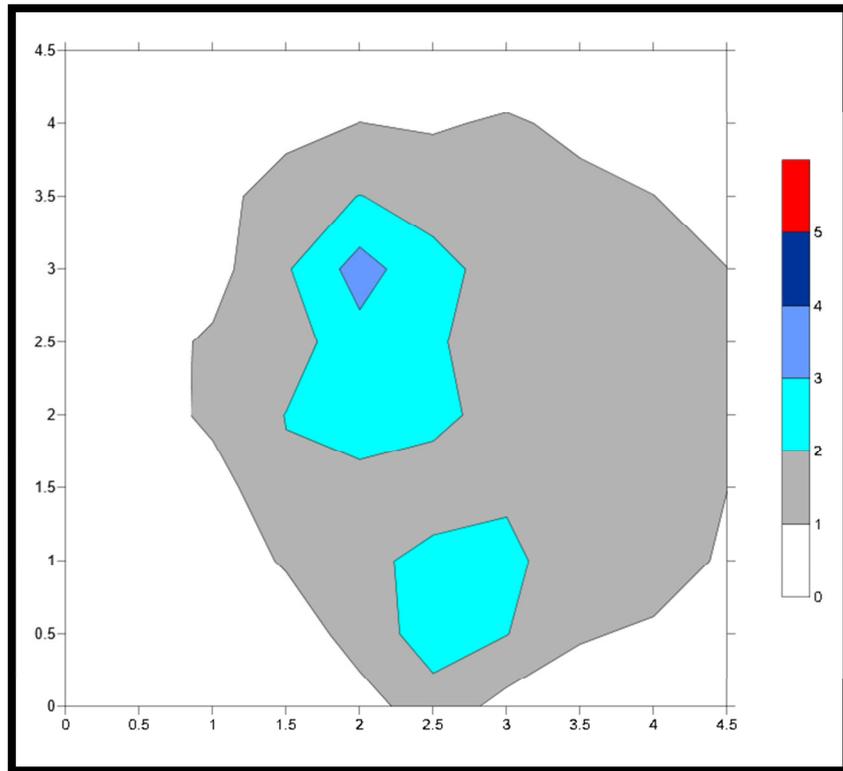


Figura 45. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 14/10/12 às 10 horas.

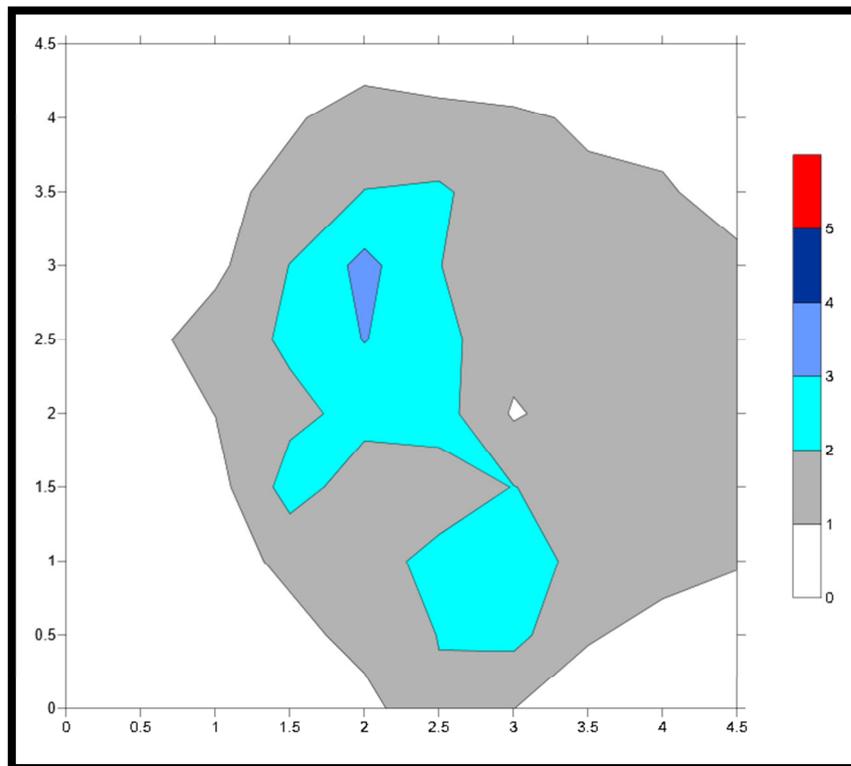


Figura 46. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 15/10/12 às 10 horas.

Nas Figuras 47, 48, 49, 50 e 51 são apresentados os mapas da distribuição da lâmina d'água nos ensaios com armazenamento de energia para o horário das 13 horas.

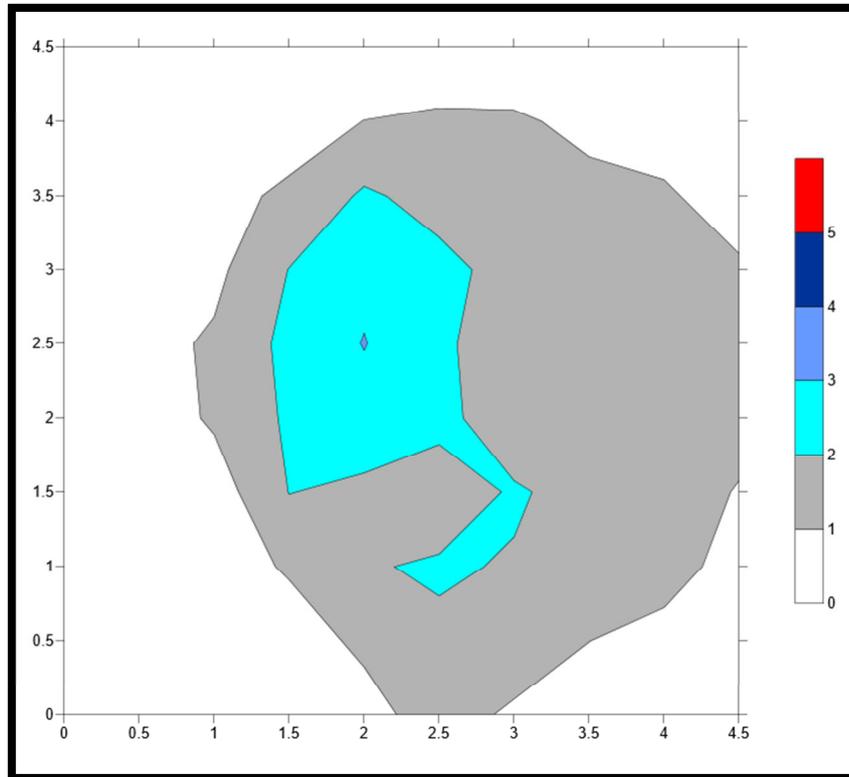


Figura 47. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 05/10/12 às 13 horas.

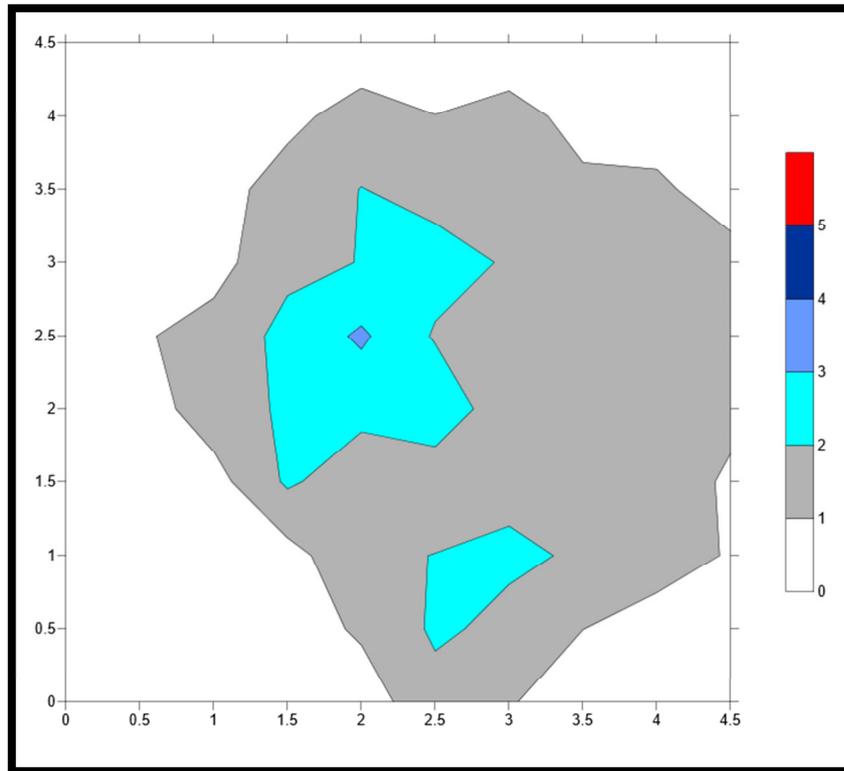


Figura 48. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 07/10/12 às 13 horas.

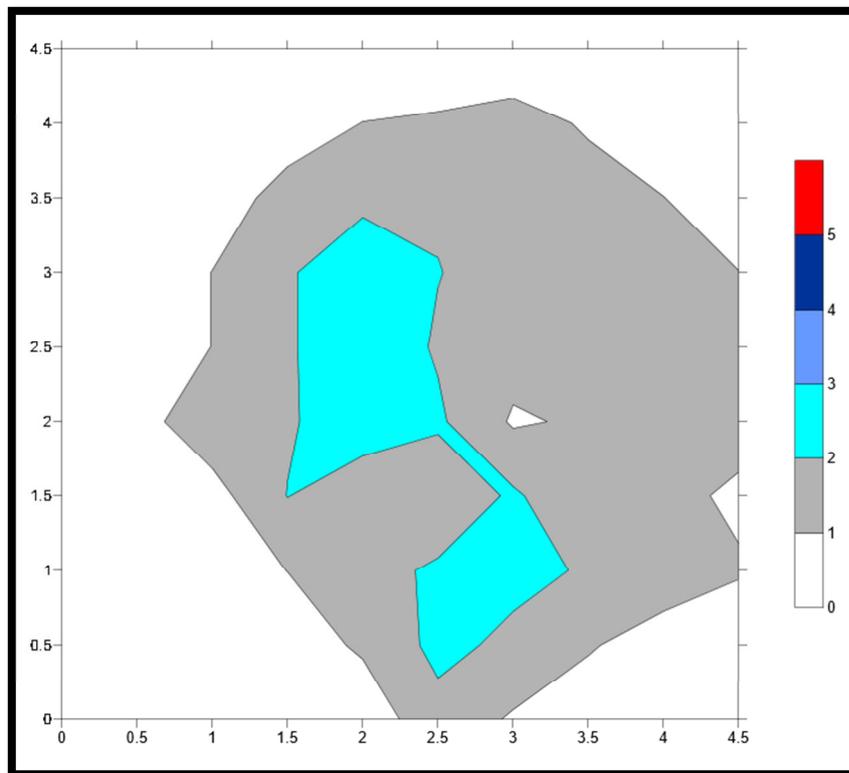


Figura 49. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 13/10/12 às 13 horas.

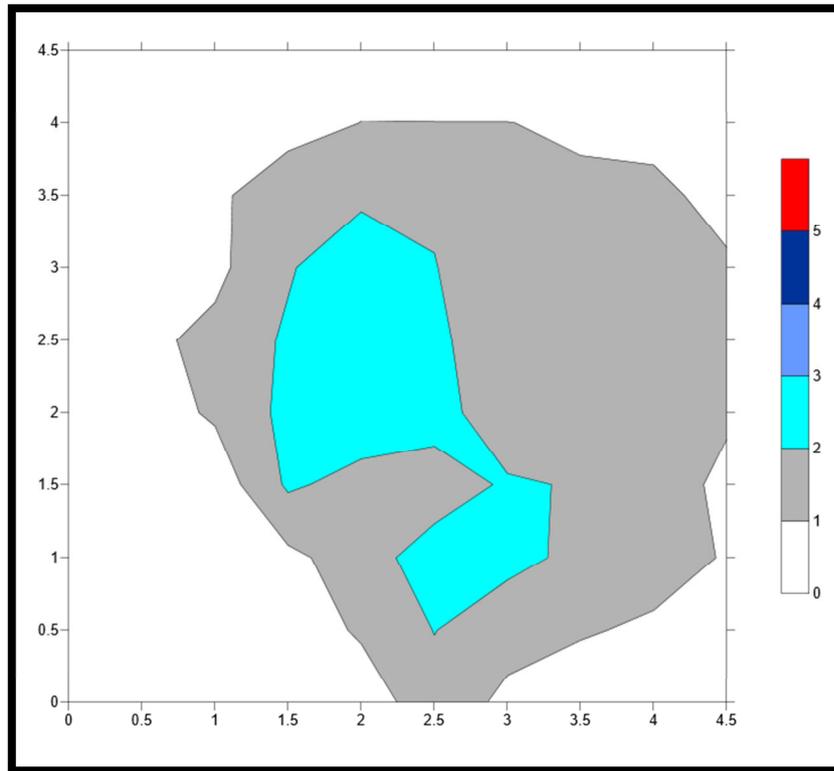


Figura 50. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 14/10/12 às 13 horas.

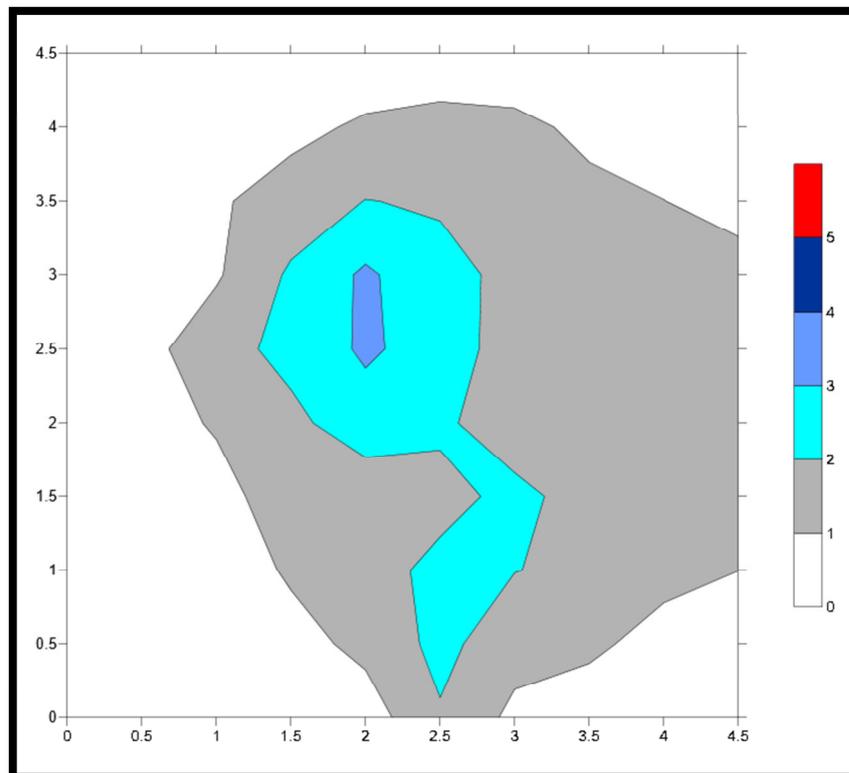


Figura 51. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 15/10/12 às 13 horas.

Nas Figuras 52, 53, 54, 55 e 56 são apresentados os mapas da distribuição da lâmina d'água nos ensaios com armazenamento de energia para o horário das 16 horas.

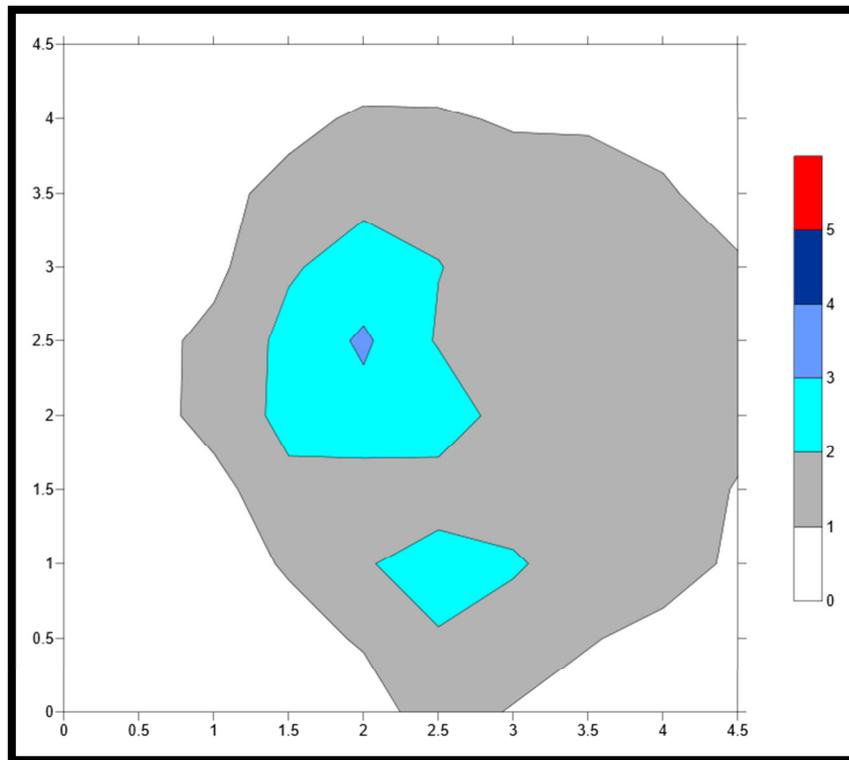


Figura 52. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 05/10/12 às 16 horas.

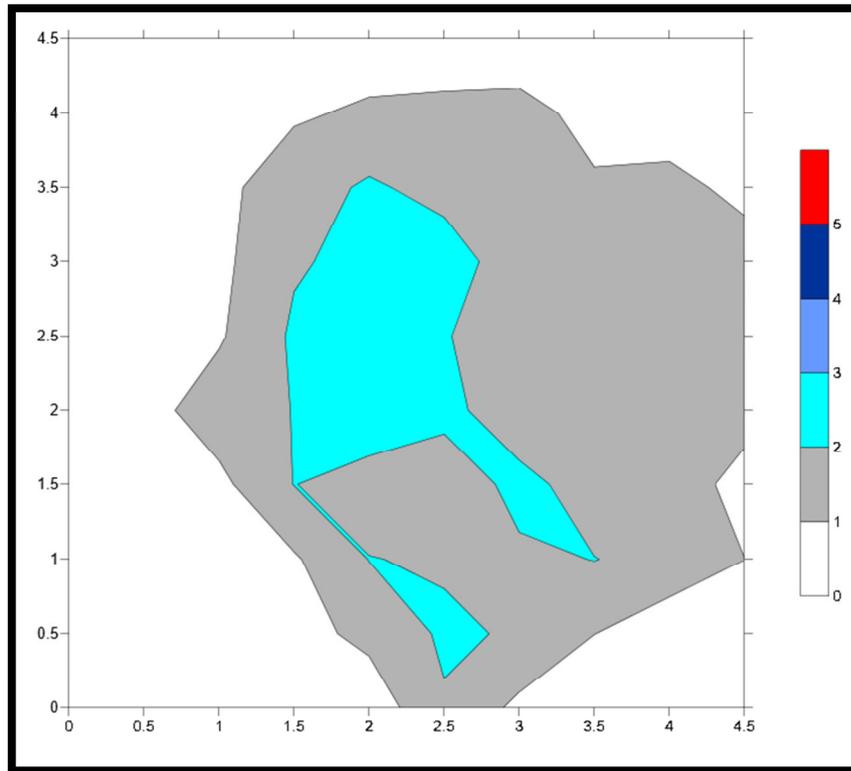


Figura 53. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 07/10/12 às 16 horas.

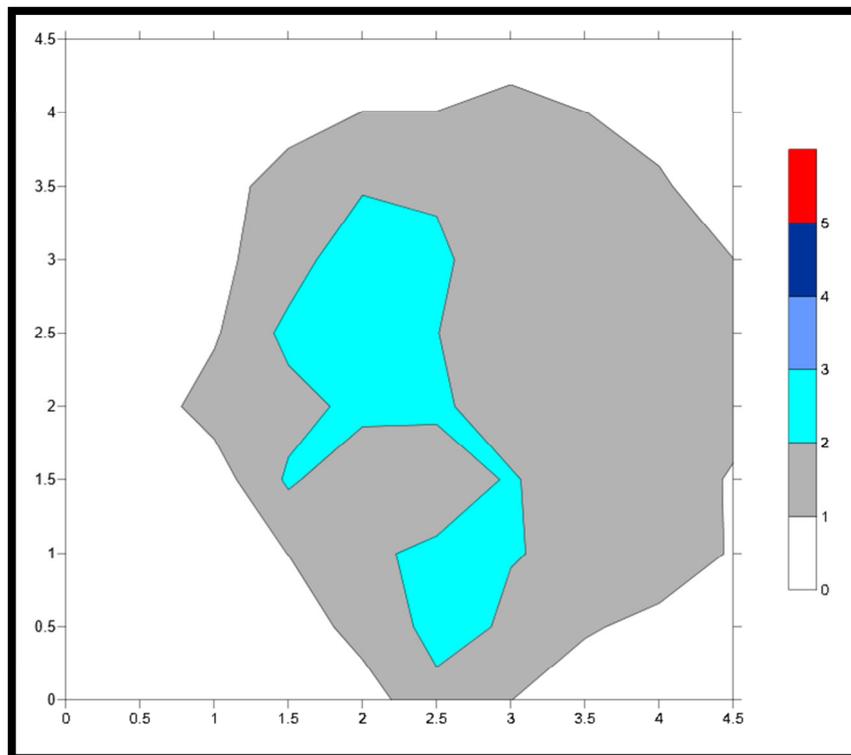


Figura 54. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 13/10/12 às 16 horas.

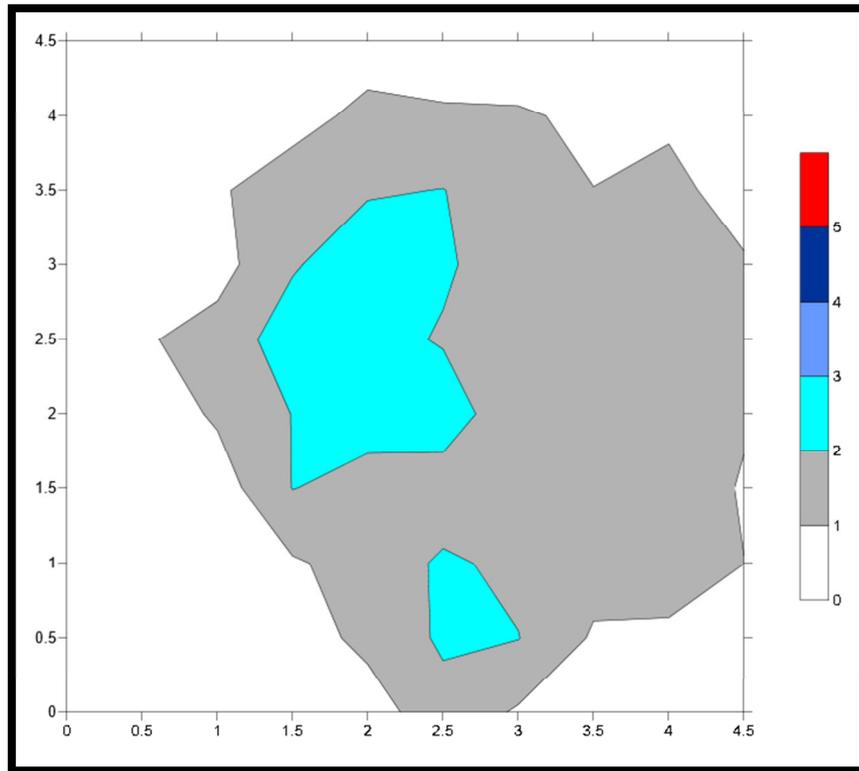


Figura 55. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 14/10/12 às 16 horas.

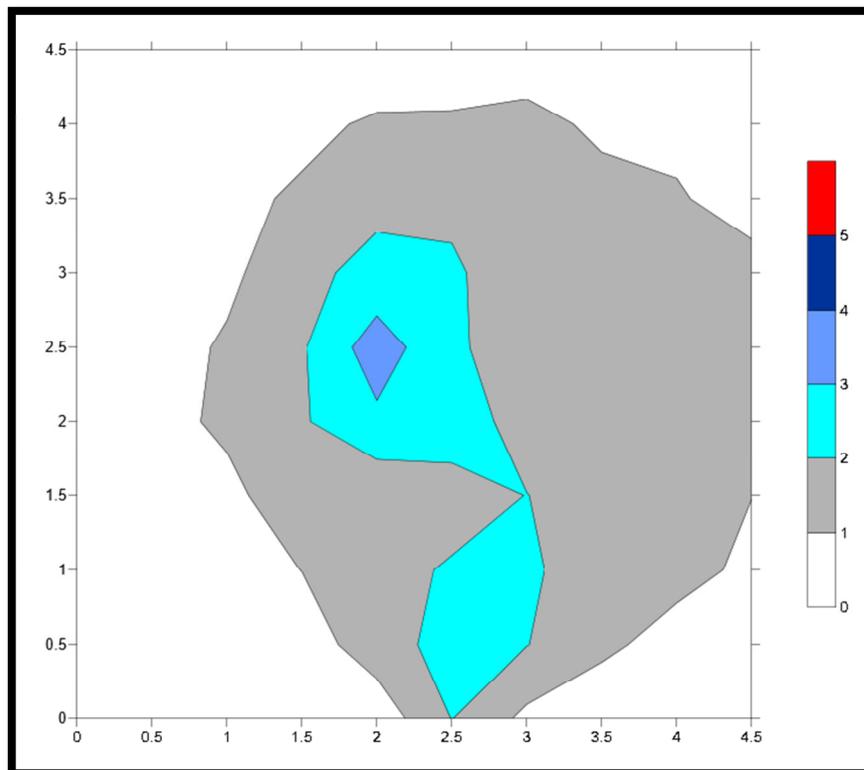


Figura 56. Mapa da Lâmina d'água (mm/h) do dia 15/10/12 às 16 horas.

Através dos mapas apresentados para os ensaios com o sistema de armazenamento de energia pode-se verificar que a distribuição da lâmina d'água também foi irregular, não atingindo as extremidades do local do ensaio e com maiores valores de lâmina d'água nas proximidades do microaspersor (região central do mapa), porém apresentando-se mais homogênea que o sistema sem armazenamento de energia, uma vez que, todos os horários de todos os dias foram verificados valores que variaram de 0 mm/h até 4 mm/h.

Contudo, ressalta-se que essa maior homogeneidade de distribuição em relação ao sistema sem armazenamento de energia, não representa valores aceitáveis de acordo com a classificação proposta para o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e para o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD).

Para o tratamento com o sistema de armazenamento de energia os gráficos de distribuição como podem ser observados são similares para todos os horários avaliados, tendo uma maior homogeneidade em comparação ao tratamento sem o sistema de armazenamento.

5. CONCLUSÕES

O efeito do sistema de bombeamento fotovoltaico na operação de um microaspersor quando analisado em função da potência gerada, no sistema sem o uso de armazenamento de energia apresentou maiores médias estatísticas nos horários das 10 horas e 13 horas, e no tratamento com a utilização do sistema de armazenamento de energia a energia gerada não obteve diferenças significativas nos diferentes horários do dia.

A radiação solar global com e sem o sistema de armazenamento de energia é maior nos horários das 10 horas e 13 horas.

Em relação ao volume de água coletado nos ensaios, o desempenho do microaspersor obteve no horário das 10 horas um resultado mais significativo sem o uso do sistema de armazenamento de energia, às 13 horas não obteve diferenças significativas nos diferentes tratamentos com ou sem o sistema de armazenamento de energia e por fim às 16 horas é mais significativo com o uso do sistema de armazenamento de energia.

Com relação aos valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), como também do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) os resultados foram inaceitáveis, devido ao fato de ser realizado sem sobreposição, de acordo com a classificação estabelecida, para os ensaios com ou sem sistema de armazenamento de energia e com uma influência baixa da energia fotovoltaica gerada pelo sistema nos coeficientes de uniformidade.

Conclui-se que a energia fotovoltaica recomenda-se para a operação de um microaspersor, porém com ressalvas em relação ao horário do dia em que necessita-se utilizar o microaspersor, sendo de maior interesse no horário das 10 horas e 13 horas quando ocorre a utilização do sistema fotovoltaico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. F. **Desenvolvimento de um sistema de posicionamento automático para painéis fotovoltaicos**. Tese (Pós-Graduação Stricto Sensu). Energia na Agricultura. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho- UNESP, Botucatu, 2008.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Perspectivas**. 2011. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em: 05 julho de 2012.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. **Field evaluation of microirrigation systems**. St. Joseph, 1996. p.792-797.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 596p.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BHATTACHARYYA, S. C., 2012. Energy access programmes and sustainable development: A critical review and analysis. **Journal of Energy for Sustainable Development**, doi:10.1016/j.esd.2012.05.00.

BRALTS, V.F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. (Ed.). **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p.216-240.

CASTRO, N. Q. **Os leilões das usinas do Rio Madeira e as perspectivas para o desenvolvimento econômico brasileiro**. Rio de Janeiro: Jornal do Brasil, 10 ago. 2008, p. 3.

CAVALCANTE, E. S. C.; LOPES, J. D. S. **Energia solar para aquecimento de água**. Viçosa: CPT, 2001.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Simulação da distribuição de água em microaspersores sob condição de vento**. 2002, 110 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Piracicaba: ESALQ/USP, 2002.

CORDEIRO, E. A. **Diagnóstico e manejo da irrigação na cultura do mamoeiro na região norte do Estado do Espírito Santo**. 2006. 100f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2006.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Sálvio Brito. **SUNDATA**. 2012. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php>> Acesso em 28 de junho de 2012.

FIORENTINO, J. de J. **Análise do Desempenho de um Conjunto de Módulos Fotovoltaicos Aplicados para Energização Rural**. Tese (Doutorado em Agronomia). UNESP/FCA. Botucatu, 2004.

FREIRE, F. G. C., BARRETO, H. B. F., BATISTA, R. O., COSTA, F. G. B., SANTOS, W. O., SANTOS, F. S. S. **Avaliação da Uniformidade de Aplicação de água no sistema de irrigação por microaspersão na cultura da goiaba no Projeto de Irrigação Vale do Gorutuba, Janaúba – MG**. In: INOVAGRI: International Meeting, Fortaleza, 2012.

FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão**. Piracicaba: ESALQ – Departamento de Engenharia Rural, 1992. 53p. Série Didática, 3

GABRIEL FILHO, L. R. A. **Análise e modelagem geométrica da potência gerada de um sistema híbrido solar fotovoltaico eólico**. Tese (Pós-Graduação Stricto Sensu). Energia na Agricultura. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho- UNESP, Botucatu, 2007.

GÓMEZ, M. F., SILVEIRA, S., 2012. Delivering off-grid electricity systems in the Brazilian Amazon. **Journal of Energy for Sustainable Development**. 16. 155 -167.

GUSSOW, M. **Eletricidade Básica**. Edição 2. Editora Bookman. São Paulo, 2009.

HOLANDA FILHO, R. S. F., PORTO FILHO, F.Q., MIRANDA, N., MEDEIROS, J. F. Caracterização hidráulica do microaspersor RONDO, da PLASTRO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, Paraíba, v. 5. n.1, 2001.

IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná. **Mapas Climáticos**. 2012. Disponível em: <<http://www.iapar.br>> Acesso em 28 de junho de 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2011**. 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em 26 de junho de 2012.

LORENZO, E. **Eletricidade Solar: Ingenieria de los Sistemas Fotovoltaicos**. Espanha: Artes Gráficas Galas, 1994. 338p

MARTINS, C. A. da S. **Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação em áreas cultivadas no Sul do Estado do Espírito Santo**. 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Espírito Santo, 2009.

MARTINS, C. A. S., ROCHA, M. J. R., REIS, E. F. **Avaliação do desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão em área cultivada na Região Sul Capixaba**. In: XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação Universidade do Vale do Paraíba, 2009, São José dos Campos. Anais de Trabalhos Completos (CD-Rom). São José dos Campos-SP: UNIVAP, 2009.

MEDEIROS, M. **Simulação e Avaliação de um Sistema de Aquecimento Solar de Água utilizando Balanço Energético**. Dissertação (Pós-Graduação Stricto Sensu). Energia na Agricultura. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Cascavel, 2011.

MERRIAN, J.L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: A guide for management**. Logan: **Agricultural and Irrigation**. Engineering Department, Utah State University, 1978. 217 p.

MICHELS, R. N., RICIERI, R., GNOATTO, E., SOUSA, S. N. M., SILVA, S. L., FISCHBORN, M. 2009. Avaliação do bombeamento de água em um sistema alimentado por painéis fotovoltaicos. **Revista Engenharia Agrícola**. 29. 370 – 379.

MOKEDDEM, A., MIDOUIN, A., KADRI, D., HIADSI, S., RAJA, I. A. 2011. **Performance of a directly-coupled PV water pumping system**. *Jour. of Energy Conversion and Management*. 52. 3089 – 3095.

MORALES, L. R. V. **A utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação em pequenas propriedades rurais**. Dissertação (Pós-Graduação Stricto Sensu). Energia. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2011.

NAANDANJAIN BRASIL. **Produtos – Microaspersores**. 2012. Disponível em: <<http://www.naandanjain.com.br/index.php/pt/produtos/microaspersores/microaspersores>> Acesso em 28 de junho de 2012.

NASCIMENTO, T., AZEVEDO, C.A.V., SOARES, J.M. **Uniformidade de Distribuição de Água na Superfície e no Perfil do Solo Irrigado com o Microaspersor RAIN-BIRD QN-14**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, CAMPINA GRANDE, v. 3, n.3, p. 304-308, 1999.

NOGUEIRA, C. E. C., SIQUEIRA, J. A. C., SOUZA, S. N. M., NIEDZIALKOSKI, R. K., PRADO, N. V. **Avaliação do conforto térmico nas residências convencional e inovadora do Projeto “CASA”, Unioeste, Campus Cascavel**. 2012. *Rev. Acta Scientiarum*. 34. 3 – 7.

ODEH, I., YOHANIS, Y. G., NORTON, B. 2006. Economic viability of photovoltaic water pumping systems. **Journal of Solar Energy**. 80. 850 – 860.

OLIVEIRA, S. H. F. de. **Catálogo e descrição bibliográfica : dimensionamento de sistemas autônomos : ênfase na eletrificação de residências de baixo consumo**. São Paulo: EDUSP, 1997. 240p. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, USP,1997.

OLIVEIRA, A. M. de S.; BENJAMIM, R. F.; RIBEIRO, G. M.; PORTO FILHO, F. Q. **Avaliação de um sistema de irrigação por microaspersão na cultura da alface orgânica**. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 18, 2008, São Mateus. Anais... São Mateus: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem,2008, v. 1.

PARIDA, B., INYIAN, S., GOIC, R., 2011. A review of solar photovoltaic Technologies. **Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 15. 1625 – 1636.

PEIXOTO, J. F. S.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. **Uniformidade de distribuição da fertirrigação no distrito de irrigação Platô de Neópolis**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 5, n. 2, 2. Sem. 2005.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 14. Ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.

PRESENÇO, J. F. **Desenvolvimento de um sistema de controle para avaliação de fontes de energias renováveis no bombeamento de água**. Tese. (Pós-Graduação Stricto Sensu). Energia na Agricultura. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho- UNESP, Botucatu, 2007.

SAMPAIO, S. C., KOBAYASHI, M. K., CORREA, M. M., BOAS, M. A. V. **Uniformidade de aplicação de água de microaspersores operando em posição invertida**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras - MG, v. 25, n.6, p. 1359-1369, 2001.

SANDRI, D., MESQUITA, M., BESSA, K. S. E., PRADO, L. C. R. A. **Influência do tempo de uso sobre as características hidráulicas do microaspersor do grupo modular**. Engenharia Agrícola (Impresso), v. 30, p. 1089-1110, 2010.

SHORT, T., OLDACH, R. 2003. **Solar powered water pumps: the past, the present – and the future**. Jour. of Solar Energy Engineering. 125. 76 – 82.

SOLANGI, K. H., ISLAM, R. S., RAHIM, N. A., FAYAZ, H. 2011. A review on global solar energy policy. 15. 2149 – 2163.

TIMILSINA, G. R., KURDGELASHVILI, L., NARBEL P. A., 2012. **Solar Energy: Markets, economics and policies**. 16. 449 – 465.

TOMALSQUIM, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003, 515p.

VICK, B. D., NEAL, B. A. 2012. **Analysis of off-grid hybrid wind turbine/solar PV water pumping systems**. Jour. of Solar Energy. 86. 1197 – 1207.

WERNECK, J.E.F., FERREIRA, R.S.A. & CHRISTOFIDIS, D. **O uso da água para irrigação**. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.cf.org.br/cf2004/irrigacao.doc>>. Acesso em: 2 de julho de 2012.

APÊNDICES

Apêndice 1. Estatística descritiva da lâmina d'água

Tabela 38. Dados da Lâmina d'água do dia 08/09/2012 – Horário: 10 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	5,06
Média (mm/h)	1,05
Mediana (mm/h)	0,89
Desvio padrão	1,04
Coeficiente de variação	0,98

Tabela 39. Dados da Lâmina d'água do dia 08/09/2012 – Horário: 13 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	2,91
Média (mm/h)	0,87
Mediana (mm/h)	0,63
Desvio padrão	0,78
Coeficiente de variação	0,88

Tabela 40. Dados da Lâmina d'água do dia 08/09/2012 – Horário: 16 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	1,90
Média (mm/h)	0,53
Mediana (mm/h)	0,38
Desvio padrão	0,51
Coeficiente de variação	0,96

Tabela 41. Dados da Lâmina d'água do dia 14/09/2012 – Horário: 10 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	6,08
Média (mm/h)	1,33
Mediana (mm/h)	0,82
Desvio padrão	1,32
Coeficiente de variação	0,99

Tabela 42. Dados da Lâmina d'água do dia 14/09/2012 – Horário: 13 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	3,42
Média (mm/h)	1,04
Mediana (mm/h)	1,01
Desvio padrão	0,82
Coeficiente de variação	0,79

Tabela 43. Dados da Lâmina d'água do dia 14/09/2012 – Horário: 16 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	3,42
Média (mm/h)	0,94
Mediana (mm/h)	0,82
Desvio padrão	0,77
Coefficiente de variação	0,82

Tabela 44. Dados da Lâmina d'água do dia 16/09/2012 – Horário: 10 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	4,30
Média (mm/h)	1,21
Mediana (mm/h)	1,01
Desvio padrão	1,06
Coefficiente de variação	0,88

Tabela 45. Dados da Lâmina d'água do dia 16/09/2012 – Horário: 13 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	2,78
Média (mm/h)	0,96
Mediana (mm/h)	0,87
Desvio padrão	0,76
Coefficiente de variação	0,79

Tabela 46. Dados da Lâmina d'água do dia 16/09/2012 – Horário: 16 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	2,28
Média (mm/h)	0,68
Mediana (mm/h)	0,57
Desvio padrão	0,57
Coefficiente de variação	0,84

Tabela 47. Dados da Lâmina d'água do dia 25/09/2012 – Horário: 10 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	4,68
Média (mm/h)	1,16
Mediana (mm/h)	0,95
Desvio padrão	1,02
Coefficiente de variação	0,88

Tabela 48. Dados da Lâmina d'água do dia 25/09/2012 – Horário: 13 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	2,91
Média (mm/h)	0,95
Mediana (mm/h)	0,87
Desvio padrão	0,75
Coefficiente de variação	0,79

Tabela 49. Dados da Lâmina d'água do dia 25/09/2012 – Horário: 16 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	2,28
Média (mm/h)	0,69
Mediana (mm/h)	0,63
Desvio padrão	0,59
Coefficiente de variação	0,85

Tabela 50. Dados da Lâmina d'água do dia 02/10/2012 – Horário: 10 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	4,56
Média (mm/h)	1,13
Mediana (mm/h)	0,95
Desvio padrão	1,03
Coefficiente de variação	0,91

Tabela 51. Dados da Lâmina d'água do dia 02/10/2012 – Horário: 13 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	3,04
Média (mm/h)	0,94
Mediana (mm/h)	0,87
Desvio padrão	0,76
Coefficiente de variação	0,81

Tabela 52. Dados da Lâmina d'água do dia 02/10/2012 – Horário: 16 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	2,15
Média (mm/h)	0,66
Mediana (mm/h)	0,51
Desvio padrão	0,59
Coefficiente de variação	0,89

Tabela 53. Dados da Lâmina d'água do dia 05/10/2012 – Horário: 10 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	3,42
Média (mm/h)	0,93
Mediana (mm/h)	0,87
Desvio padrão	0,77
Coefficiente de variação	0,83

Tabela 54. Dados da Lâmina d'água do dia 05/10/2012 – Horário: 13 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	3,04
Média (mm/h)	0,97
Mediana (mm/h)	0,82
Desvio padrão	0,79
Coefficiente de variação	0,81

Tabela 55. Dados da Lâmina d'água do dia 05/10/2012 – Horário: 16 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	3,16
Média (mm/h)	0,97
Mediana (mm/h)	0,87
Desvio padrão	0,78
Coefficiente de variação	0,81

Tabela 56. Dados da Lâmina d'água do dia 07/10/2012 – Horário: 10 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	3,04
Média (mm/h)	0,97
Mediana (mm/h)	0,87
Desvio padrão	0,79
Coefficiente de variação	0,82

Tabela 57. Dados da Lâmina d'água do dia 07/10/2012 – Horário: 13 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	3,16
Média (mm/h)	0,97
Mediana (mm/h)	0,87
Desvio padrão	0,77
Coefficiente de variação	0,79

Tabela 58. Dados da Lâmina d'água do dia 07/10/2012 – Horário: 16 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	2,78
Média (mm/h)	0,98
Mediana (mm/h)	0,89
Desvio padrão	0,78
Coefficiente de variação	0,80

Tabela 59. Dados da Lâmina d'água do dia 13/10/2012 – Horário: 10 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	2,78
Média (mm/h)	0,96
Mediana (mm/h)	0,89
Desvio padrão	0,76
Coefficiente de variação	0,79

Tabela 60. Dados da Lâmina d'água do dia 13/10/2012 – Horário: 13 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	2,66
Média (mm/h)	0,93
Mediana (mm/h)	0,94
Desvio padrão	0,75
Coefficiente de variação	0,80

Tabela 61. Dados da Lâmina d'água do dia 13/10/2012 – Horário: 16 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	2,91
Média (mm/h)	0,94
Mediana (mm/h)	0,95
Desvio padrão	0,76
Coefficiente de variação	0,81

Tabela 62. Dados da Lâmina d'água do dia 14/10/2012 – Horário: 10 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	3,42
Média (mm/h)	0,95
Mediana (mm/h)	0,82
Desvio padrão	0,79
Coefficiente de variação	0,83

Tabela 63. Dados da Lâmina d'água do dia 14/10/2012 – Horário: 13 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	2,78
Média (mm/h)	0,96
Mediana (mm/h)	0,82
Desvio padrão	0,77
Coeficiente de variação	0,80

Tabela 64. Dados da Lâmina d'água do dia 14/10/2012 – Horário: 16 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	2,66
Média (mm/h)	0,96
Mediana (mm/h)	0,89
Desvio padrão	0,76
Coeficiente de variação	0,79

Tabela 65. Dados da Lâmina d'água do dia 15/10/2012 – Horário: 10 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	3,29
Média (mm/h)	1,00
Mediana (mm/h)	1,01
Desvio padrão	0,80
Coeficiente de variação	0,80

Tabela 66. Dados da Lâmina d'água do dia 15/10/2012 – Horário: 13 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	3,16
Média (mm/h)	1,01
Mediana (mm/h)	1,01
Desvio padrão	0,80
Coeficiente de variação	0,79

Tabela 67. Dados da Lâmina d'água do dia 15/10/2012 – Horário: 16 horas.

Mínimo (mm/h)	0
Máximo (mm/h)	3,54
Média (mm/h)	0,96
Mediana (mm/h)	0,87
Desvio padrão	0,78
Coeficiente de variação	0,81