UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

MANOEL CAMILO MOLEIRO CABRERA

Quantificação da alteração no balanço hídrico devido a cavas de mineração utilizando
lisímetros e tanques de evaporação

São Carlos – SP
2011

MANOEL CAMILO MOLEIRO CABRERA

Quantificação da alteração no balanço hídrico devido a cavas de mineração utilizando
lisímetros e tanques de evaporação

Dissertação de Mestrado apresentada à
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Hidráulica e
Saneamento

Área de Concentração:
Hidráulica e Saneamento

Orientador:
Dr. Edson Cezar Wendland

São Carlos – SP
2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

C114q Cabrera, Manoel Camilo Moleiro
 Quantificação da alteração no balanço hídrico devido a
cavas de mineração utilizando lisímetros e tanques de
evaporação. / Manoel Camilo Moleiro Cabrera ; orientador
Edson Cezar Wendland. São Carlos, 2011.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em
Hidráulica e Saneamento e Área de Concentração em
Hidráulica e Saneamento)-- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

1. Evapotranspiração. 2. Evaporação de lagos. 3.
Balanço hídrico. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **MANOEL CAMILO MOLEIRO CABRERA**

Título da dissertação: **Quantificação da alteração no balanço hídrico devido à cavas de mineração utilizando lisímetros e tanques de evaporação.**

Data da defesa: 16/09/2011:

Comissão Julgadora:

Prof. Titular **Edson Cezar Wendland (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Associado **Rodrigo de Melo Porto**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Profª. Associada **Nilza Maria dos Reis Castro**
(Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS)

Resultado:

Aprovado

Aprovado

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:
Prof. Titular **Edson Cezar Wendland**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo Cesar Lima Segantine**

*“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação
mas se você não fizer nada, não existirão resultados.”*

Mahatma Gandhi

“Ao infinito... e além”

Buzz Lightyear

*À Rosangela, Caio
Rubens e Alberto.*

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, apoio e fonte de toda a minha saúde, sabedoria, motivação e persistência para realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Edson Cezar Wendland pela apoio, orientação, cobrança e viabilização de recursos financeiros indispensáveis para realização deste trabalho.

À Juliana Alberice pela paciência, compreensão, auxílio e companheirismo.

A Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) e a Universidade de São Paulo (USP) pelo oferecimento da estrutura e pela oportunidade da realização deste curso de mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fornecimento da bolsa de estudos.

Ao Antônio Augusto e a IBAR (Indústrias Brasileiras de Artigos Refratários) pela colaboração nesta pesquisa.

Ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada pela estrutura oferecida e ao diretor da Estação Climatológica, Francisco Vecchia e também aos técnicos, André, Betão e Aduino Calsa pelo auxílio no monitoramento do experimento.

Ao técnico Roberto Bérnago pela ajuda na construção da parte experimental.

Aos meus queridos colegas do Laboratório de Hidráulica Computacional: Ivan, Marcuzzo (Frango), Maldonado, Camargo, Juliana Garcia, Heraldo, Aline, Paulo Bomba, Marjoca, Davi (Havaí 5.0) e Antonio (Forrest Baiano Gump), pelo agradável tempo de convivência. Em especial ao Chaves, Murilo e Cristián pelo auxílio e conversas de grande valia na contribuição ao meu trabalho.

Ao pessoal do Departamento de Hidráulica e Saneamento, em especial à Sá, Pavi, Rose, Flávia e Fernanda.

Aos meus grandes amigos, podem-se dizer irmãos, da Republica Blackout em São Carlos, Carlão e Isac pela ótima convivência, discussões científicas e auxílio nas idas e vindas para CRHEA. E também aos agregados que fizeram parte da republica, Deodato (Chewie) e Tiago (Lobinho).

Ao Rodrigo Manzione e Frango pelas discussões científicas.

Em especial aos amigos de longa data, Edson, China, Abadio, Ariel e Fábio Fortunato.

À Leida, Kazunao e Alaíde, pelo apoio e vivência durante minha estadia em Campo Grande-MS.

Ao Teco e Marisa pela convivência na fazenda.

Aos amigos da primeira formação da Blackout, João Rafael (Jatobá), Anderson, Elson (Pox), Rodrigo (Pampers) e Antonio (Jatobinha).

A minha vó Irene, meu padrinho Paulo e madrinha Carminda.

A todos os outros amigos do PPGSHS em especial à Tais Shinma pela convivência desde os primórdios da graduação.

RESUMO

CABRERA, M.C.M. **Quantificação da alteração no balanço hídrico devido a cavas de mineração utilizando lisímetros e tanques de evaporação.** 2011. 189 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

A quantificação da alteração no balanço hídrico, provocado pelo surgimento de espelhos d'água devido a atividades mineradoras, é fundamental para se avaliar o impacto das atividades antrópicas no ciclo hidrológico. O presente trabalho aborda a análise da perda de água em superfície vegetada sobre diferentes solos comparando com a perda de água em superfície líquida livre. Para isso foi usado um experimento composto por um lisímetro contendo solo argiloso, outro arenoso, um tanque de evaporação enterrado no solo e o conceito de balanço hídrico. E assim realizou-se um estudo sobre as alterações nos fluxos de água entre o solo, planta e atmosfera, quando ocorre à transformação de uma área coberta por vegetação rasteira, para uma superfície líquida exposta diretamente as mesmas condições climáticas. Com a expansão das cavas de mineração do tipo “fechada”, muitas paisagens naturais que antes eram cobertas por vegetação rasteira foram se transformando em cavas inundadas à céu aberto e depois com a desativação das atividades mineradoras na área, essas cavas inundadas se tornam lagoas, muitas vezes sem função alguma, o resultado deste trabalho demonstra que essa transformação altera o balanço hídrico. Os dois lisímetros empregados foram do tipo “Drenagem” com um nível fixo de água em seu interior, simulando o armazenamento subterrâneo de água. As superfícies dos lisímetros estavam cobertas por grama do tipo Batatais (*Paspalum notatum* Flugge) com altura de 0,08 a 0,12 m. O tanque de evaporação também foi mantido com o nível constante e alimentação continua de água. Ambos os lisímetros e o tanque de evaporação estavam equipados com um sistema de caixas com torneira de boia e caixas de drenagem, com finalidade de escoar rapidamente a precipitação. Os volumes de água que percolaram através do lisímetro com solo argiloso (*lis-arg*), foram similares aos do lisímetro com solo arenoso (*lis-aren*), indicando a boa drenagem efetuada pelo solo argiloso. O lisímetro com argila não necessitou de reposições diárias de água em seu interior para a manutenção do nível durante o período chuvoso da região, porém o desenvolvimento da grama na superfície evaporante do lisímetro não foi satisfatório. As medidas lisimétricas, permitiram uma melhor compreensão sobre os efeitos da mineração e transformação de paisagem no balanço hídrico em solos argilosos e arenosos.

Os resultados obtidos indicaram que a perda de água em solo argiloso coberto por grama batatais aumentou 237 mm quando 1 m² deste tipo de superfície foi substituída por espelho d'água. O solo arenoso vegetado quando substituído por superfície teve um aumento de 200 mm da perda de água para a atmosfera.

Palavras-Chave: Evapotranspiração; Evaporação de Lagos, Balanço Hídrico.

ABSTRACT

CABRERA, M.C.M. **Quantifying the alteration in water balance due to the mining caves using lysimeters and evaporation tanks.** 2011. 189 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

The quantification of changes in water balance, caused by the appearance of water features due to mining activities, it is essential to assess the impact of human activities on the hydrological cycle. This paper deals with the analysis of water loss over different vegetated surface soils compared to the loss of water in liquid free surface. Was used for this experiment consists of a lysimeter containing a clay soil, one sandy, an evaporation tank buried in the soil and the concept of water balance. And so do a study on changes in water fluxes between soil, plant and atmosphere, the transformation occurs when an area covered by low vegetation, to a liquid surface directly exposed to the same climatic conditions. With the expansion of mining pits of the "closed", many natural landscapes that were once covered by low vegetation were becoming flooded caves in the open air and then with the deactivation of mining activities in the area, these arches become flooded ponds, often without any function, the result of this work shows that this transformation changes the water balance. The two lysimeters were employees of the "Drainage" with a fixed level of water inside, simulating the underground storage of water. The surfaces of the lysimeters were covered with grass type Bahiagrass (*Paspalum notatum* Flüggé) in height from 0.08 to 0.12 m. The evaporation tank was maintained constant level with the water and food remains. Both lysimeter and evaporation pan were equipped with a speaker system with tap float boxes and drainage, with the purpose of draining the precipitation quickly. The volumes of water percolating through the lysimeter with clay soil (*lis-arg*), were similar to the lysimeter with sandy soil (*lis-aren*), indicating good drainage performed by clay soil. The clay lysimeter did not require daily replacement of water inside to maintain the level during the rainy season in the region, but the development of grass on the evaporating surface of the lysimeter was not satisfactory. Measures lysimetric allowed a better understanding of the effects of mining and processing of the landscape water balance in sandy and clay soils.

The results indicated that the loss of water in clay soil covered with bahiagrass increased when a 237 mm m² of this type has been replaced by surface water body. The vegetated sandy soil when the surface was replaced by an increase of 200 mm of water loss to the atmosphere.

Keywords: Evapotranspiration, Evaporation from Lakes, Water Balance.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	25
2	OBJETIVOS.....	29
2.1	Objetivos Gerais	29
2.2	Objetivos Específicos.....	29
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	30
3.1	Mineração	30
3.2	Balanço hídrico.....	37
3.3	Importância da evapotranspiração.....	40
3.4	Conceitos, definições e considerações sobre a evapotranspiração.....	41
3.5	Métodos de estimativa da evapotranspiração	45
3.6	Métodos Diretos (lisímetros)	46
3.7	Métodos Indiretos.....	52
3.7.1	Penman-Monteith FAO-56.....	52
3.7.2	Evaporímetros	54
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	56
4.1	Caracterização da Estação Climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA)	56
4.2	Dados meteorológicos.....	63
4.3	Lisímetros e tanque de evaporação com nível constante	64
4.3.1	Funcionamento dos lisímetros e do tanque de evaporação	65
4.3.2	Descrição dos lisímetros (lis-arg e lis-aren) e tanque de evaporação (tenc)	65
4.3.3	Descrição do lisímetro sem cobertura vegetal (lis-aren-nv).....	71
4.4	Retirada do solo argiloso	74
4.5	Preenchimento do lisímetro com solo argiloso (<i>lis-arg</i>).....	74
4.6	Retirada do solo arenoso	76
4.7	Preenchimento do lisímetro com solo arenoso (<i>lis-aren</i>).....	77

4.8	Caracterização física dos solos	79
4.8.1	Solo do lis-arg	79
4.8.2	Solo do lis-aren	80
4.8.3	Solo do lis-aren-nv	81
4.9	Caracterização da cobertura vegetal.....	83
4.10	Equipamentos de monitoramento	83
4.11	Operação e manutenção dos lisímetros e tanque de evaporação	85
4.12	Processamento dos dados obtidos com os sensores de pressão e temperatura ...	86
4.13	Método de Penman-Monteith FAO-56	87
4.14	Tanque Classe A e tanque Padrão (20 m ²)	95
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	99
5.1	Período de coleta de dados.....	99
5.2	Consumo de água nos dispositivos de monitoramento	100
5.2.1	Lisímetro com solo argiloso (lis-arg)	100
5.2.2	Lisímetro com solo arenoso (lis-aren)	103
5.2.3	Lisímetro com solo arenoso e sem cobertura vegetal (lis-aren-nv)	107
5.2.4	Tanque de evaporação (tenc).....	110
5.3	Sistema de drenagem.....	114
5.4	Evapotranspiração de referência (<i>ET_{oM}</i> e <i>ET_{oE}</i>).....	117
5.5	Análise comparativa dos dados referentes aos lisímetros e tanques	121
5.6	Balanço hídrico.....	123
6	CONCLUSÕES.....	127
6.1	Recomendações para trabalhos futuros.....	127
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128
8	APÊNDICES	132
8.1	Detalhes dos lisímetros, tanque de evaporação e montagem.....	132
8.1.1	Instalação do experimento.....	133

8.1.1.1	Montagem estrutural, hidráulica e movimentos de terra.....	133
8.2	TABELAS	137

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Primeira etapa de mineração em cava fechada: remoção das camadas superficiais do solo e abertura da cava para exploração do material	32
Figura 3.2 Segunda etapa de mineração: aprofundamento da cava	32
Figura 3.3 Terceira etapa de mineração: inundação da cava devido ao aprofundamento das escavações e instalação da draga para continuação da exploração do material	33
Figura 3.4 Desativação da exploração mineral na cava: formação da lagoa e reabilitação vegetal nas margens da lagoa	33
Figura 3.5 Mosaico com imagens de satélite ilustrando a ampliação de espelhos d'água formados devido à atividade mineradora de areia em cava à céu aberto, nas proximidades da área urbana de Campo Grande – MS GOOGLE EARTH (2011).....	35
Figura 3.6 Cavas de mineração à céu aberto para exploração de areia em Campo Grande – MS	36
Figura 3.7 Representação dos fluxos de água em um volume de controle (SENTELHAS, 1998)	38
Figura 3.8 - Fases da evapotranspiração (THORNTHWAITE; HARE, 1965).....	42
Figura 3.9 Evapotranspiração e as suas principais variações	42
Figura 3.10 Representação esquemática de um lisímetro de pesagem mecânica (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI 2008)	47
Figura 3.11 Lisímetro de pesagem mecânica instalado numa cultura de Citrus e células de carga do lisímetro que está localizado em Piracicaba (ESALQ) imagem Edmilson Dias de Freitas.....	47
Figura 3.12 Representação de um lisímetro de drenagem (MEDEIROS, 2008)	49
Figura 3.13 Lisímetros de drenagem na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) imagem Leandro M. Biondo	49
Figura 3.14 Lisímetros de drenagem e galões para coleta do percolado, localizados em Jaboticabal-SP na Estação Agrometeorológica da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) (PERUCHI, 2009).....	49
Figura 3.15 Lisímetros monolíticos de drenagem (OLIVEIRA, 2006).....	50
Figura 3.16 Esquema do lisímetro com nível constante e sistema de registro (ASSIS, 1978)	51
Figura 4.1 Estação Climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada no dia 02/02/2011	56

Figura 4.2 Estação Climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada em junho de 1981 (Foto cedida por José Roberto Maramarques)	57
Figura 4.3 Observador realizando leituras dos valores registrados pelo anemômetro e equipamentos instalados dentro do abrigo termométrico	57
Figura 4.4 Termômetros de máxima e de mínima, levemente inclinados e termógrafo bimetalico Fuess dentro do abrigo termométrico localizado na Estação Climatológica	58
Figura 4.5 Barógrafo e barômetro	59
Figura 4.6 Termohigrógrafo e termômetros de bulbo seco e úmido componentes do psicrômetro	59
Figura 4.7 Tanque classe A e poço tranquilizador com parafuso micrométrico	60
Figura 4.8 Tanque padrão com área de 20 m ² e poço tranquilizador com parafuso micrométrico.....	60
Figura 4.9 Anemômetro à 2,0 metros do solo e anemógrafo com registro da direção e velocidade do vento à 10,0 metros do solo	61
Figura 4.10 Pluviômetro Ville de Paris, tipo Paulista e pluviógrafo 1H	62
Figura 4.11 Actinógrafo e o sistema de registro da radiação solar na superfície ao longo do dia	62
Figura 4.12 Heliógrafo com as fitas carbonadas para registro do brilho solar	63
Figura 4.13 Planta dos lisímetros e tanque de evaporação, ilustrando as caixas principais dos lisímetros com sistema de drenagem na forma de “espinha de peixe”. Dentro do abrigo subterrâneo está representada as caixas auxiliares de cada sistema com a finalidade de manter o nível constante de água, independente da precipitação ou evapotranspiração. Representação sem escala e com valores em metros.	66
Figura 4.14 Perfil do tanque de evaporação e do abrigo subterrâneo com a caixa reguladora de nível, caixa do sistema de drenagem e tanque coletor graduado. A caixa reguladora possui uma torneira de bóia para suprimento contínuo de água, independente da evaporação. A caixa do sistema de drenagem possui dois tubos na posição vertical (tulipas) para direcionar o excedente de água proveniente das precipitações no tanque de evaporação. Representação sem escala e com valores em metros.	67
Figura 4.15 Perfil do lisímetro e do abrigo subterrâneo com a caixa reguladora de nível, caixa do sistema de drenagem e tanque coletor graduado. O nível de água no interior dos lisímetros foi mantido a 1,0 m abaixo da superfície do terreno. A caixa reguladora possui uma torneira de bóia para suprimento contínuo de água, independente da evapotranspiração A caixa do sistema de drenagem possui dois tubos na posição vertical (tulipas) para direcionar o	

excedente de água proveniente das precipitações nos lisímetros. Representação sem escala e com valores em metros.	67
Figura 4.16 Planta detalhada do abrigo subterrâneo e reservatórios de alimentação. Cada sistema possui uma caixa reguladora de nível, uma caixa de drenagem e um tanque coletor para armazenar o volume de água proveniente das precipitações. O tanque de evaporação possui um tanque auxiliar que entra em funcionamento após o enchimento do tanque coletor graduado principal. Representação sem escala e com valores em metros.	68
Figura 4.17 Visão geral dos lisímetros e tanque de evaporação	69
Figura 4.18 Reservatórios com mangueira incolor, tubo de vidro transparente e escala graduada para verificação de nível. Os reservatórios são abastecidos com água geralmente uma vez por mês.	69
Figura 4.19 Lisímetros e tanque de evaporação dentro da Estação Climatológica do CRHEA	70
Figura 4.20 Visão superior da caixa do sistema de drenagem, caixa reguladora de nível e tanque coletor graduado do <i>lis-arg</i>	70
Figura 4.21 Sistema de drenagem na forma de "espinha de peixe" e representação esquemática do abrigo subterrâneo (MACHADO 1996).	71
Figura 4.22 Vista de perfil da caixa principal e do abrigo subterrâneo do <i>lis-aren-nv</i> (MACHADO 1996)	72
Figura 4.23 Lisímetro com solo arenoso e sem cobertura vegetal (<i>lis-aren-nv</i>).....	72
Figura 4.24 Visão geral do abrigo subterrâneo com o tanque coletor graduado, caixa do sistema de drenagem e caixa de passagem	73
Figura 4.25 Reparos realizados no <i>lis-aren-nv</i> para colocá-lo em funcionamento	74
Figura 4.26 Imagens da implantação do sistema de drenagem em sequência, o preenchimento do <i>lis-aren</i> com o umedecimento completo do solo para fins de adensamento	75
Figura 4.27 Localização do ponto de coleta do solo arenoso para preencher o <i>lis-aren</i>	76
Figura 4.28 Escavação em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani para retirada do solo arenoso	77
Figura 4.29 Imagens da implantação do sistema de drenagem em sequência, o preenchimento do <i>lis-aren</i> com o umedecimento completo do solo para fins de adensamento	78
Figura 4.30 Curva granulométrica do solo argiloso no <i>lis-arg</i>	79
Figura 4.31 Curva granulométrica do solo arenoso no <i>lis-aren</i>	81
Figura 4.32 Curva granulométrica do solo arenoso no <i>lis-aren-nv</i>	82
Figura 4.33 Grama batatais no <i>lis-aren</i>	83

Figura 4.34 Sensor de pressão e temperatura MiniDiver e Barodiver. Leitura ótica do Barodiver para armazenamento de dados no computador	84
Figura 4.35 Sensor de pressão e temperatura MSR145 e escala graduada em centímetros. Cabos USB para transferência de dados	85
Figura 4.36 Equipamento de medição de nível com boia e contrapeso.....	85
Figura 4.37 Etapas para obtenção dos valores de nível de água nos reservatórios através dos dados de pressão e temperatura	87
Figura 4.38 Desenho do tanque Classe A, poço tranquilizador, parafuso micrométrico em forma de gancho e estrado de madeira (ASSIS, 1978)	96
Figura 4.39 Tanque Classe A, estrado de madeira, poço tranquilizador e parafuso micrométrico em forma de gancho	97
Figura 4.40 Conjunto de tanques 20 m ² (Padrão) localizado na Estação Climatológica do CRHEA em Itirapina - SP.....	98
Figura 5.1 Precipitação entre os meses de outubro à maio, desde 1971, na Estação Climatológica do CRHEA	99
Figura 5.2 Precipitação e nível de água no reservatório que supre de água o lisímetro com solo argiloso no período de 14/10/2010 à 14/05/2011	101
Figura 5.3 Superfície evaporante do lisímetro com solo argiloso no período de 21/10/2010 a 13/05/2011	102
Figura 5.4 Precipitação e nível de água no reservatório que supre de água o lisímetro com solo arenoso coberto por grama batatais no período de 14/10/2010 à 05/05/2011	103
Figura 5.5 Precipitação e reposição de água aplicada ao <i>lis-aren</i> durante o período de 14/10/2010 à 05/05/2011	104
Figura 5.6 Superfície evaporante do <i>lis-aren</i> no período de 14/10/2010 a 13/05/2011	106
Figura 5.7 Precipitação e nível de água no reservatório que abastece o <i>lis-aren-nv</i> no período de 25/01/2011 à 14/05/2011	108
Figura 5.8 Precipitação (mm) e reposição de água (mm.dia ⁻¹) no <i>lis-aren-nv</i> no período de 25/01/2011 à 14/05/2011	109
Figura 5.9 Reposição acumulada (mm) a cada 10 dias para o <i>lis-aren</i> e <i>lis-aren-nv</i>	110
Figura 5.10 <i>Lis-aren-nv</i> nos dias 27/01/2011 e 13/05/2011	110
Figura 5.11 Precipitação e flutuações do nível de água dentro do reservatório que alimenta o <i>tenc</i>	111
Figura 5.12 Precipitação e reposição observadas no tanque de evaporação no período de 14/10/2010 à 14/05/2011	112

Figura 5.13 Gráfico do termohigrógrafo com a oscilação da temperatura (°C) e umidade relativa (%) entre os dias 28/02/2011 a 06/03/2011	113
Figura 5.14 Gráfico do actinógrafo com a oscilação da radiação solar na superfície ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$) entre os dias 28/02/2011 a 06/03/2011.....	113
Figura 5.15 Superfície líquida livre do tanque de evaporação	114
Figura 5.16 Precipitação e drenagem acumulada nos lisímetros e tanque de evaporação durante o período de 08/11/2010 à 14/05/2011. A linha indicativa do acumulado no <i>lis-arg</i> foi sobreposta pela linha do <i>lis-aren</i>	115
Figura 5.17 Precipitação e drenagem acumulada no lisímetro com solo arenoso e sem cobertura vegetal durante o período de 07/02/2011 à 14/05/2011	116
Figura 5.18 Água acumulada no tanque coletor graduado do <i>lis-arg</i> , não apresentando turbidez. A água drenada pelo <i>lis-aren</i> apresentou turbidez.	117
Figura 5.19 Evapotranspiração de referência e precipitação diária para o período de 14/10/2010 a 14/05/2011. A <i>EToM</i> é aquela obtida com os métodos mais recomendados pela FAO-56, sendo que a radiação solar global, a velocidade do vento a 2,0 m e a umidade relativa do ar foram registradas pela instrumentação adequada, enquanto que <i>EToE</i> foi calculada utilizando os métodos menos recomendados pela FAO-56, com a radiação solar global e a velocidade do vento a 2,0 m estimadas por equações.	118
Figura 5.20 Radiação solar na superfície estimada por equação, medida através do actinógrafo e a diferença entre os valores para o período de 14/10/2010 à 14/05/2011.....	119
Figura 5.21 Velocidade do vento medida à 2,0 m e obtida por equação com base em medições de velocidade do vento efetuadas à 10,0 m do solo. Essa medição a 2,0 m não é comum em estações meteorológicas e sim a medição à 10,0 conforme recomendação da Organização Meteorológica Mundial.....	120
Figura 5.22 – Reposição hídrica no <i>tenc</i> , evapotranspiração de referência estimada por Penman-Monteith FAO e reposição de água para os lisímetros durante o período de 14/10/2010 a 14/05/2011	121
Figura 5.23 Reposição hídrica no <i>tenc</i> e evaporação observada no tanque classe A e tanque Padrão (20 m ²) durante o período de 14/10/2010 a 14/05/2011.....	122
Figura 5.24 Balanço hídrico no lisímetro com solo argiloso (<i>lis-arg</i>).....	123
Figura 5.25 Balanço hídrico no lisímetro com solo arenoso (<i>lis-aren</i>).....	124
Figura 5.26 Balanço hídrico no tanque de evaporação (<i>tenc</i>)	125
Figura 5.27 Evaporação nos tanques.....	125

Figura 5.28 Precipitação, evaporação no <i>tenc</i> e evapotranspiração com a variação de armazenamento de água no solo dos lisímetros	126
Figura 8.1 Início das escavações e abertura da vala.....	133
Figura 8.2 Construção do abrigo subterrâneo e montagem do telhado.....	133
Figura 8.3 Preparação da base e colocação das caixas principais dos lisímetros e tanque de evaporação	134
Figura 8.4 Preenchimento dos espaços entre as caixas principais e a parede do abrigo subterrâneo e revestimento com grama batatais	134
Figura 8.5 Montagem das tubulações e testes com água nas caixas auxiliares	135
Figura 8.6 Implantação dos reservatórios alimentadores dos lisímetros e tanque de evaporação	135
Figura 8.9 Revestimento das áreas superficiais lisimétricas e regiões vizinhas com grama batatais	136
Figura 8.10 Fluxograma descrevendo os processos estruturais, hidráulicos e movimentos de terra para montagem do experimento.....	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 Dados sobre reservas, produção e minas, referentes ao ano de 2005 para o estado de São Paulo (DNPM 2006)	27
Tabela 3.1 Evapotranspiração média diária em milímetros para diferentes regiões do mundo	44
Tabela 3.2 Métodos de estimativa da evapotranspiração (BERNARDO et al. 2008)	45
Tabela 3.3 Valores de evapotranspiração de referência acumulada (<i>ET_o</i>) medidos e estimados durante o período de 21/02/96 a 01/04/96 (SILVA, 1996).....	51
Tabela 3.4 Dados climáticos requeridos para alguns métodos na determinação da evapotranspiração (DOORENBOS; PRUITT, 1977)	52
Tabela 3.5 Performance de vários métodos na determinação da <i>ET_o</i> (JENSEN; BURMAN e ALLEN, 1990).....	53
Tabela 4.1 Descrição dos dados meteorológicos utilizados com a unidade de medição, tempo e horário de observação	64
Tabela 4.2 Granulometria do solo argiloso no <i>lis-arg</i>	79
Tabela 4.3 Granulometria do solo arenoso no <i>lis-aren</i>	80
Tabela 4.4 Granulometria do solo arenoso no <i>lis-aren-nv</i>	81
Tabela 4.5 Descrição dos equipamentos utilizados no interior dos reservatórios.....	84
Tabela 4.6 Caracterização das variáveis e parâmetros para obtenção do nível de água	86
Tabela 4.7 Diferentes métodos empregados para obtenção de variáveis meteorológicas necessárias à equação de Penman-Monteith FAO-56 para determinação da evapotranspiração de referência	95
Tabela 5.1 Totais pluviométricos observados durante o período de outubro à maio desde 1971 até 2011	100
Tabela 5.2 Radiação solar na superfície e duração do brilho solar (insolação) no período de 28/02/2011 a 08/03/2011	113
Tabela 5.3 Períodos selecionados para análise do balanço hídrico. As variáveis meteorológicas são expressas em termos médios para o período considerado	123
Tabela 5.4 Coeficiente de correlação entre a evaporação observada nos tanques	126
Tabela 8.1 Reposição de água nos lisímetros e <i>tenc</i> durante o período de 14/10/2010 à 14/05/2011	138
Tabela 8.2 Drenagem em litros e normalizada (mm) pela área superficial dos lisímetros, junto com a precipitação acumulada.....	143

Tabela 8.3 Drenagem em litros e normalizada (mm) pela área superficial do <i>tenc</i> e lisímetro, junto com a precipitação acumulada	145
Tabela 8.4 Pressão atmosférica	147
Tabela 8.5 Umidade relativa do ar	153
Tabela 8.6 Temperatura do ar	159
Tabela 8.7 Velocidade do vento	165
Tabela 8.8 Evaporação no tanque Classe A e Padrão	168
Tabela 8.9 Precipitação em milímetros.....	170
Tabela 8.10 Radiação solar na superfície	172
Tabela 8.11 Duração do brilho solar ou insolação diária	181

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso vital insubstituível, pois muitas atividades necessárias à sobrevivência humana têm a água como principal requisito para a sua execução. Os recursos hídricos são importantes insumos para as atividades econômicas, porém essas atividades geram uma ampla depreciação tanto no aspecto qualitativo quanto quantitativo sobre as fontes de água.

A disponibilidade hídrica é um pré-requisito para a segurança alimentar, saúde pública, proteção de ecossistemas, etc. Isto faz com que a água subterrânea tenha uma importância fundamental para atingir todas as metas de desenvolvimento estabelecidas em 18/09/2000 e contidas na Declaração do Milênio das Nações Unidas (<http://www.un.org/millennium/declaration/ares552e.pdf>) (ONU, 2000). Dentre as metas listadas nessa declaração, pode-se destacar: diminuir em 50 % até o ano de 2015, a proporção de pessoas sem acesso a água potável e reduzir também à metade a proporção de pessoas que sofrem de fome (SCHUOL et al., 2008).

A busca por novos suprimentos de água para atender a demanda, impulsionada pelos setores industriais, de irrigação e de abastecimento urbano, está aumentando significativamente, devido ao crescimento demográfico e econômico enfrentado pelos países.

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é uma fonte de suprimento hídrico de extrema importância para o Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina, devendo destacar que no Brasil o aquífero abrange regiões de alta densidade populacional e grande importância econômica para as atividades agropecuárias e industriais.

A qualidade e quantidade das águas subterrâneas estão suscetíveis as modificações ocasionadas pelas atividades humanas como, aplicação intensa de agrotóxicos nas lavouras, contaminação por fossas sépticas e poços desativados, vazões extraídas sem controle dos poços e mudanças de uso e ocupação do solo.

As mudanças de superfície provocadas pela expansão de atividades agropecuárias, industriais, urbanização e mineração, podem afetar as variáveis hidrológicas do balanço hídrico no solo. Com isso torna-se cada vez mais importante o entendimento das inter-relações entre o solo, água, planta e atmosfera.

Uma das atividades de grande valia para o homem é a mineração, pois a mesma é indispensável para a sustentação e melhoria do padrão de vida do homem e gera benefícios econômicos, porém sua coexistência com o meio social e ambiental não é nada pacífica (TANNO; SINTONI, 2003).

A questão do balanço hídrico é de extrema importância em áreas mineradas, pois estão se intensificando os impactos sobre a produção e captação de água, provocados por mudanças no uso e ocupação do solo induzidas por atividades antrópicas (JOTHITYANGKOON; SIVAPALAN; FARMER, 2001).

A maioria dos problemas envolvendo a distribuição, quantidade e qualidade da água no ambiente decorrem da alteração do equilíbrio hidrológico. Assim, há uma necessidade de se conhecer as alterações nas variáveis hidrológicas perante as irregularidades do clima e atividades mineradoras. Com isso garantir disponibilidade hídrica segura para as próximas gerações, a manutenção dos ecossistemas e as atividades econômicas (WANG et al. 2008).

DIAS (2001) cita que na avaliação dos impactos ambientais da mineração, é feita uma avaliação de diferentes meios afetados: físico, biótico e antrópico. No entanto, os impactos sobre o ciclo hidrológico, antes e após a instalação das cavas de mineração, não são mencionados nos relatórios ambientais, não contabilizando mudanças na quantidade e fluxos de água perdidos para a atmosfera.

A mineração em cava é uma atividade que substitui a superfície vegetada por um espelho d'água (lagoas), formado por contribuições de águas subterrâneas e superficiais. Dessa forma há uma quantidade de água armazenada no solo que é disponibilizada para superfície e posteriormente perdida em função da evaporação.

A Tabela 1.1 mostra a quantidade de minas, produção anual da mineração e de materiais empregados na construção civil para o Estado de São Paulo. Há uma predominância da quantidade de minas pequenas sobre as médias e grandes, já a única modalidade de lavra verificada é em cava aberta.

O solo e as unidades geológicas são grandes reservatórios naturais de água e fornecedores de matéria prima para a mineração. Os processos que ocorrem na superfície destes, tais como a precipitação e evapotranspiração, aliados com características físicas e geológicas deste meio, regulam o balanço hídrico, que por sua vez determina se haverá ou não recarga do aquífero.

Reis et al. (2006) descreve que a atividade mineradora no Vale do Paraíba se apresenta de forma ostensiva, pois essa região fornece areia principalmente para atender a demanda da região metropolitana de São Paulo. Porém essa atividade pode comprometer o uso futuro das águas e das terras agricultáveis que cedem crescente espaço para as cavas de mineração.

A área de lagos artificiais nas margens do rio Paraíba do Sul entre Jacareí – SP e Pindamonhangaba – SP aumentou de 591,4 hectares em 1993 para 1726,5 hectares em 2003. Esses lagos foram formados devido a mineração de areia em cava fechada (REIS et al., 2006).

O crescimento observado na atividade de mineração de areia em cava, de 192% no período analisado (1993 a 2003) tende a aumentar visto que não existe substituto viável para esse minério na construção civil e o Brasil possui um consumo per capita de cerca de 1,8 m³/habitante/ano, que é muito baixo, considerando-se a média europeia que é de 6,8 m³/habitante/ano (REIS et al., 2006).

O Brasil apresenta 23.037 espelhos d'água com área a partir de 20 hectares, sendo 6.929 artificiais e 16.108 naturais. O maior número de reservatórios naturais está na região Norte (8.303) em decorrência, provavelmente, das zonas alagadiças que formam consideráveis lagoas próximas aos grandes rios (MENESCAL et al., 2009).

Já nas regiões Nordeste (2898) e Sul (2548) predominaram os reservatórios do tipo artificial, acima de 20 hectares, evidenciando, assim a política de construção de barragens. Espelhos d'água, acima de 5 hectares, na região Nordeste totalizam 17083 unidades. Em São Paulo há 370 espelhos d'água maiores que 20 hectares, sendo 214 artificiais e 156 naturais (MENESCAL et al., 2009).

Devido a grande quantidade de espelhos d'água (6.929) artificiais acima de 20 hectares localizados no Brasil e da expansão das áreas destinadas a mineração em cava, há uma necessidade de se quantificar a perda de água antes e depois da formação desses espelhos. Com isso torna-se cada vez mais importante o entendimento das inter-relações entre o solo, água, planta e atmosfera.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O objetivo deste trabalho é quantificar experimentalmente a perda de água, provocada pela atividade mineradora a céu aberto, em superfície livre em comparação com superfície vegetada em diferentes tipos de solo.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar a evaporação em superfície líquida livre.
- Determinar a perda de água em superfície vegetada em solo arenoso e argiloso.
- Comparar o balanço hídrico nas três situações.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Mineração

A descrição quantitativa do balanço hídrico de um local é de relevância fundamental, pois em muitas atividades como, por exemplo, a mineração, há uma alteração das condições iniciais do ambiente com a instalação da atividade, com isso estudos visando quantificar o balanço hídrico antes e depois da modificação são necessários para relatar possíveis mudanças nos fluxos de água entre o solo, as plantas e atmosfera.

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (1990) em seu manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração adota o seguinte conceito:

A degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico for alterado. A degradação ambiental ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas e é inviabilizado o desenvolvido sócio-econômico.

De acordo com a definição sobre degradação de uma área, qualquer alteração que se manifeste no regime de vazão do sistema hídrico dessa área é considerada uma degradação ambiental.

A mineração de areia, cascalho e argila implica em transformações significativas na paisagem, sendo que os recursos hídricos superficiais e subterrâneos no local minerado podem ser afetados devido a descaracterização do local.

Bruschi e Peixoto (1997) afirmam que os principais métodos de extração de areia, cascalho e argila são:

- Extração manual de areia, cascalho e argila;
- Extração de areia, cascalho e argila em fossa a seco;
- Extração de areia e cascalho em leito de cursos d' água;
- Extração de areia e cascalho em leito de cursos navegáveis;
- Extração de areia e cascalho em área de várzea – Circuito em cava fechada; e
- Extração de argila em área de várzea – Circuito em cava fechada.

O circuito em cava fechada será o método descrito e exemplificado nessa pesquisa para compreensão dos objetivos.

A exploração de recursos minerais através de um processo extrativo que forma uma lagoa para extração, com o retorno de partículas finas e água através de dispositivos de drenagem para a própria lagoa é denominada circuito em cava fechada. Quando a exploração da jazida mineral está acima do nível do aquífero, a cava ainda se encontra seca, mas com o aprofundamento das escavações, o nível de água no solo é atingido fazendo com que lagoas sejam formadas na cava. Geralmente a Cava Fechada pressupõe a formação de lagoas não interligadas diretamente aos cursos d'água.

A Figura 3.1 e Figura 3.2 ilustram a abertura e aprofundamento de uma cava de mineração. Já a Figura 3.3 e Figura 3.4 retratam o fim do ciclo de vida de uma exploração de areia em circuito de cava fechada.

Figura 3.1 Primeira etapa de mineração em cava fechada: remoção das camadas superficiais do solo e abertura da cava para exploração do material

Figura 3.2 Segunda etapa de mineração: aprofundamento da cava

Figura 3.3 Terceira etapa de minerao: inundao da cava devido ao aprofundamento das escavaes e instalao da draga para continuao da explorao do material

Figura 3.4 Desativao da explorao mineral na cava: formao da lagoa e reabilitao vegetal nas margens da lagoa

De acordo com Bruschi e Peixoto (1997) a extração de Minerais Classe II do Código de Mineração – areia, cascalho e argila, empregados na construção civil e na fabricação de cerâmica vermelha, ocasiona degradação ambiental nos locais onde ocorre. Dentre os principais impactos ambientais, além da mudança da paisagem, o balanço hídrico pode ser afetado com o aumento de áreas alagadas nos locais minerados.

Essas atividades mineradoras com a formação de espelhos d'água ou aumento da superfície líquida são processos que merecem destaque, sobretudo em localidades próximas a grandes aglomerados urbanos, nesses lugares, a demanda por novas fontes de água e por insumos para a construção civil como a areia, por exemplo, são cada vez maiores em função do crescimento econômico e populacional. Muitas vezes o aumento das atividades mineradoras, visando atender a demanda crescente da construção civil, favorece a contaminação das reservas subterrâneas e superficiais de água, e causa impactos na disponibilidade hídrica do local.

A formação de lagoas através de cava fechada é facilitada quando a exploração da jazida mineral é feita em áreas próximas a corpos d'água, onde o nível do aquífero é pouco profundo. As lagoas formadas muitas vezes atingem tamanho, que permitem a sua visualização através de imagens de satélite.

A Figura 3.5 através do mosaico de imagens de satélite ilustra as cavas de mineração para exploração de areia em Campo Grande – MS. No início da atividade mineradora a camada fértil do solo foi retirada para começar a abertura da cava e exploração da areia, nesta etapa de aprofundamento a cava ainda encontra-se seca, porém devido às chuvas e quando se atinge o nível de água subterrânea a cava é inundada, formando a lagoa como mostrado na Figura 3.6.

A superfície líquida das cavas em 05/09/2003 era de 4,0 hectares, já a área coberta por espelhos d'água em 09/10/2009 era de 16,7 hectares, sendo registrado um aumento de 317,5 % em seis anos de atividade mineradora.

Com o decréscimo da superfície vegetada e aumento ou surgimento do espelho d'água em um local, a quantidade de água no solo e a sua relação com as plantas e fatores meteorológicos podem sofrer mudanças, resultando em alteração no balanço hídrico da região, esse tipo de alteração não possui quantificação direta na literatura.

Figura 3.5 Mosaico com imagens de satélite ilustrando a ampliação de espelhos d'água formados devido à atividade mineradora de areia em cava à céu aberto, nas proximidades da área urbana de Campo Grande – MS GOOGLE EARTH (2011).

Figura 3.6 Cavas de mineração à céu aberto para exploração de areia em Campo Grande – MS

3.2 Balanço hídrico

A questão do balanço hídrico é de extrema importância, pois estão se intensificando os impactos sobre a produção e captação de água, provocados por mudanças no uso do solo induzidas por atividades antrópicas (JOTHITYANGKOON et al., 2001).

O balanço hídrico relaciona a continuidade da massa e a troca de energia dos sistemas envolvidos, no tempo e no espaço (TUCCI, 2009). Os componentes principais deste balanço são:

- Precipitação
- Evaporação
- Evapotranspiração
- Escoamento superficial e subterrâneo

Dados confiáveis sobre o balanço hídrico são necessários para avaliar as flutuações do nível de água subterrânea, avaliar a ecologia das paisagens e as funções de um ecossistema (WESSOLEK et al. 2011). Além disso, os efeitos de secas e enchentes, bem como a sua quantidade e distribuição, não podem ser mensurados e analisados sem uma profunda compreensão do balanço de água no solo, plantas e atmosfera.

O mecanismo das interações entre a atmosfera, o solo, a vegetação e o ciclo da água é um dos temas mais debatidos na atualidade dentro dos conceitos de ecohidrologia de bacias hidrográficas (YANG et al. 2009). Essas interações regem a disponibilidade de água nos locais e conseqüentemente o nível de desenvolvimento nessas áreas regulando o uso e ocupação do solo pelo homem.

A contabilidade de entrada e saída de água no solo é denominada balanço hídrico, sua interpretação permite estudar o ganho, perda e armazenamento de água no solo. Sendo o processo de ganho de água pelo solo realizado através de precipitação pluvial ou por irrigação (OMETTO 1981).

Galvani (2008) afirma que a variação de armazenamento de água no solo e as entradas e saídas de água em um volume de solo vegetado são fenômenos que podem ser contabilizados e descritos por uma técnica denominada e conhecida nacionalmente e internacionalmente como balanço hídrico. A aplicação do princípio da conservação de massa a um “volume de solo explorado por plantas”, em um determinado período, é a base para se realizar o balanço hídrico de qualquer porção limitada de solo (Figura 3.7).

Figura 3.7 Representação dos fluxos de água em um volume de controle (SENTELHAS, 1998)

No balanço hídrico representado na Figura 3.7 o orvalho (O) representa uma contribuição com ordem de magnitude muito pequena (no máximo 0,5 mm/d) (SENTELHAS, 1998). A precipitação e a irrigação podem ser medidas facilmente, já a ascensão capilar, que ocorre em períodos secos, a drenagem profunda que ocorre em períodos extremamente chuvosos, e a variação do conteúdo de água no solo (ΔARM), podem ser determinadas com uso de técnicas descritas por Reichardt (1996).

Gomes (2008) destaca que o método do Balanço Hídrico é amplamente usado para estimar quantitativamente os recursos hídricos e os impactos de atividades humanas no ciclo hidrológico e cita que o Balanço Hídrico de uma área é definido por uma expressão matemática hidrológica, que descreve uma condição da lei de conservação de massa aplicada ao ciclo hidrológico.

Barreto (2006) utilizou em seu trabalho o conceito de balanço hídrico representado por três equações distintas, com variáveis e parâmetros diferentes, visando calcular a recarga de aquífero. A equação 1 descreve o balanço hídrico aplicado pelo mesmo autor visando obter a estimativa da recarga direta e profunda no Sistema Aquífero Guarani.

$$R_p = P + I_R - ES - Q_B - \Delta S - ET \quad (1)$$

Sendo RP a recarga profunda (mm), P a precipitação (mm), IR a irrigação, ES é o escoamento superficial direto (mm), QB escoamento de base (mm), ΔS variação do armazenamento subterrâneo (mm) e ET é a evapotranspiração real (mm).

Na equação 1 a precipitação e a irrigação são variáveis de entrada no sistema, já o escoamento de base, a evapotranspiração real, o escoamento superficial direto e a recarga profunda são variáveis de saída. A variação do armazenamento subterrâneo indica a quantidade de água que variou durante um período de tempo no sistema estudado.

Barreto (2006) ressalta que diferentes métodos para calcular a evapotranspiração podem ser empregados neste balanço e posteriormente analisados entre si para que se possam avaliar as incertezas dos valores estimados pelo balanço hídrico.

Há outros tipos de balanços hídricos, cada um com uma finalidade principal, alguns para calcular a evapotranspiração outros a recarga subterrânea. Um dos mais comuns serve para calcular a evapotranspiração de referência, como descrito por THORNTHWAITE (1948) e posteriormente modificado por MATHER. Esse modelo ficou conhecido como “Balanço Hídrico Climatológico” (THORNTHWAITE; MATHER, 1955).

Tucci (2009) descreve que o balanço hídrico possibilita determinar a evaporação de lagos, ou qualquer massa líquida através da equação da continuidade (2). Sendo esta equação escrita na seguinte forma:

$$\frac{dV}{dt} = I - Q - E_o A + PA \quad (2)$$

V = volume de água contido no reservatório; t = tempo; I = vazão total de entrada no reservatório; Q = vazão de saída do reservatório; E_o = evaporação; P = precipitação sobre o reservatório e A = área do reservatório.

A evaporação estimada com o uso da equação do balanço hídrico é teoricamente precisa, pois está fundamentada no princípio de conservação da massa. Porém as dificuldades de medição das variáveis limitam esse procedimento (TUCCI, 2009). O uso de lisímetros e tanques de evaporação controlam com precisão as variáveis hidrológicas, permitindo determinar o aporte ou perda de água no sistema estudado.

Bruno (2006) cita que o balanço hídrico é uma ferramenta muito útil para se ter o conhecimento aprofundado do consumo de água na cultura do cafeeiro. O balanço hídrico pode ser medido em campo ou estimado através de modelos, estes são mais usados devido a sua rapidez e facilidade, porém os modelos são em muitas vezes aplicados em condições agronômicas e ambientais diferentes das que foram concebidos. Já o balanço hídrico de campo que é demasiado trabalhoso.

3.3 Importância da evapotranspiração

Com o crescente aumento da população e das intervenções antrópicas no meio ambiente, há uma necessidade de se aprimorar e aumentar a produção agrícola e os conhecimentos sobre os impactos hidrológicos no sistema solo-água-planta-atmosfera.

Assim as informações na área de agroclimatologia, hidrologia, irrigação e drenagem, têm um papel fundamental para tornar as atividades agropecuárias e industriais mais eficientes, tanto sob o ponto de vista ambiental e econômico.

Nas regiões onde a disponibilidade hídrica é insuficiente ou baixa, o manejo racional e equilibrado hidrológicamente é fundamental em atividades de irrigação e mineração, garantindo ainda a preservação do recurso hídrico para utilização futura. Desta forma a determinação do consumo de água pelas culturas torna-se requisito fundamental ao sucesso da irrigação.

Um dos processos fundamentais relacionado ao balanço hídrico no solo é a evapotranspiração, pois, é considerado o maior desafio prever e quantificar essa etapa dos processos hidrológicos (WANG; BRAS 2011).

A determinação da evapotranspiração das culturas é importante para se aperfeiçoar o uso da água nos processos produtivos e auxiliar na determinação da pegada hídrica dos produtos agrícolas.

O conhecimento da evapotranspiração permite a estimar o equilíbrio de água no solo e avaliar as flutuações do nível de água subterrânea, auxiliando na determinação da recarga de aquíferos (WESSOLEK et al. 2011).

No ano de 1948 foi dado um passo importante foi dado para lançar as bases dos atuais conceitos físicos que regem os fenômenos de evaporação e evapotranspiração. Warren Thornthwaite e Howard Penman lançaram as maiores contribuições no campo da modelagem físico-matemática para estimar esses processos. Assim o estudo da evapotranspiração a partir dessas publicações evoluiu de forma acelerada e consistente em todas as áreas de ciências ambientais, meteorologia, engenharias, física, matemática, geografia e fisiologia vegetal (AMORIM, 1998).

Sentelhas (1998) cita que existe diversas maneiras de se determinar a evapotranspiração de uma cultura, porém existe na literatura uma multiplicidade de termos relacionados à evapotranspiração que são, muitas vezes, vagos e dúbios.

3.4 Conceitos, definições e considerações sobre a evapotranspiração

A transpiração das plantas mais a evaporação de água do solo constituem a perda d' água pelas superfícies vegetadas denominadas de evapotranspiração. Porém a transpiração e evaporação quantificadas separadamente não são equivalentes a evapotranspiração, sendo mais conveniente considerar esta com uma única perda isolada (GANGOPADHYAYA 1966).

O termo evapotranspiração foi utilizado por Thornthwaite, no início da década de 40, para expressar essa ocorrência simultânea.

A evapotranspiração é a variável de maior importância na gestão da irrigação nas culturas agrícolas. Pois o maior interesse é dado aos sistemas e métodos que estimam com simplicidade e funcionalidade o consumo de água pelas culturas, também denominado de evapotranspiração.

De acordo com Pereira; Nova e Sedyama, (1997) evaporação é o fenômeno pelo qual uma substância passa da fase líquida para a fase gasosa (vapor). A evaporação de água ocorre tanto numa massa continua (mar, lago, rio, poça) como numa superfície úmida (planta, solo). Sendo um fenômeno que exige o suprimento de energia externa e a transforma em calor latente.

Quando a evaporação da água acontece através dos estômatos, que são estruturas de dimensões microscópicas ($< 50 \mu\text{m}$) que ocorrem nas folhas e que permitem a comunicação entre a parte interna da planta e a atmosfera, sendo utilizada nos diversos processos metabólicos necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas é denominada transpiração (PEREIRA; NOVA; SEDIYAMA, 1997).

Segundo Silva (1996) a planta transfere para a atmosfera cerca de 98% da água retirada do solo. Por isso, o consumo hídrico das plantas normalmente se refere a água perdida pela evaporação da superfície do solo e pela transpiração. As fases da evapotranspiração são apresentadas na Figura 3.8.

Figura 3.8 Fases da evapotranspiração (THORNTHWAITE; HARE, 1965)

A evapotranspiração possui uma série de nomes e termos, a seguir serão definidos alguns desses termos.

Figura 3.9 Evapotranspiração e as suas principais variações

A evapotranspiração de referência (ET_o) é aquela que ocorre em uma cultura hipotética que cobre todo o solo, em crescimento ativo, sem restrição hídrica e nutricional tendo ótimas condições de desenvolvimento, com altura média de 0,12 m, albedo de 0,23 e resistência da superfície de 70 s.m^{-1} (ALLEN et al., 1998).

Em 1944 Thornthwaite definiu o conceito de evapotranspiração potencial (EP) como sendo a perda de água de uma superfície de solo úmido e completamente coberta de vegetação. Não especificando o tipo de vegetação e sendo esta suficientemente grande para tornar desprezível o efeito oásis (THORNTHWAITE; HARE, 1965).

Pereira; Nova e Sedyama, (1997) descrevem a evapotranspiração potencial (EO) quando há uma pequena área com umidade disponível circundada por uma extensa área seca e quando área tampão não é suficiente para remover os efeitos advectivos do calor sensível.

A evapotranspiração real ou atual (ER) é a perda de água que a superfície vegetada está tendo naquele instante, independente do seu estágio vegetativo e do meio que a envolve e relata o débito de água que houve. Se a superfície vegetada estiver em condições descritas na evapotranspiração potencial (EP), a evapotranspiração real é a potencial ($ER = EP$) (OMETTO, 1981).

Bernardo; Soares; Mantovani, (2008) citam que a evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}) ocorre quando há ótimas condições de umidade e nutriente do solo, de forma a permitir a produção potencial desta cultura no campo. Os mesmos autores relatam que a evapotranspiração da cultura (ET_c) é a quantidade de água evapotranspirada por uma determinada cultura, sob condições normais de cultivo. Deve-se destacar a não obrigatoriedade do teor de umidade permanecer sempre próximo à capacidade de campo, o que leva a concluir que a ET_c é menor ou, no máximo, igual à ET_{pc} ($ET_c \leq ET_{pc}$).

A evapotranspiração diária de uma superfície coberta com vegetal rasteiro, na ausência de energia advectiva, dificilmente excede a evaporação de um recipiente raso que contém água com a superfície exposta às mesmas condições climáticas (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008). Porém Mcilroy e Angus (1964) em seu trabalho concluíram que a evapotranspiração de uma superfície plantada com gramínea bem suprida de água pode exceder a evaporação de um tanque.

Existem muitos métodos e metodologias para estimar a evapotranspiração, que possuem vantagens e desvantagens. Assim é imprescindível que se tenha o conhecimento necessário para analisar essas metodologias e também as técnicas de coleta de dados climáticos, com o objetivo de obter valores representativos e consistentes das condições locais (AMORIM, 1998).

Em um área de várzea com solo argiloso e clima semi árido na Eslováquia, MATI et al., (2011) estimou valores entre 2,69 e 3,89 mm.dia⁻¹ de evapotranspiração. Nesse mesmo estudo foram aplicados cenários de mudanças climáticas indicando um aumento no déficit da evapotranspiração para a região.

Abtew (1996) utilizando lisímetros determinou taxas de evapotranspiração na faixa de 3,7 a 4,1 mm.dia⁻¹ para solos pantanosos e úmidos na Florida, os resultados serviram para calibrar um modelo.

Machado (1996) na bacia do Ribeirão do Lobo em Itirapina-SP determinou a evapotranspiração de referência média entre fevereiro e junho de 1996 como sendo 2,6 mm.dia⁻¹. Este local é uma região de afloramento do Sistema Aquífero Guarani e apresenta clima temperado devido a altitude, com inverno seco e pouca deficiência de água.

Allen et al., (1998) através da Tabela 3.1 descreve valores de evapotranspiração média em mm.dia⁻¹ para diferentes locais.

Tabela 3.1 Evapotranspiração média diária em milímetros para diferentes regiões do mundo

Região e Clima	Temperatura média diária (°C)		
	Frio < 10°C	Moderado 20°C	Quente >30°C
Trópicos e subtropicais			
Úmido e sub-úmido	2-3	3-5	5-7
Árido e semi-árido	2-4	4-6	6-8
Regiões temperadas			
Úmido e sub-úmido	1-2	2-4	4-7
Árido e semi-árido	1-3	4-7	6-9

Algumas literaturas escolhidas como Blaney e Criddle (1952); Hargreaves e Samani (1985); Linacre (1977) afirmam que vários métodos desenvolvidos localmente para determinação da evapotranspiração, por meio de simples correlação de um ou mais elementos climáticos com registros da evapotranspiração de referência (grama), produzem resultados mais significativos quando comparados a métodos mais complexos e com fundamentação física.

3.5 Métodos de estimativa da evapotranspiração

Na atualidade, há várias metodologias para medir a evapotranspiração ou a perda de água pelas superfícies vegetadas. Sedyama (1990) cita quantidades maiores que 50 metodologias de estimativa ou medição da evaporação e da evapotranspiração.

Pereira; Nova e Sedyama, (1997) afirmam que, dependendo dos princípios envolvidos no desenvolvimento do método de estimativa, os métodos podem ser agrupados em cinco categorias: i) empíricos; ii) aerodinâmicos; iii) baseados no balanço de energia; iv) combinados; e v) correlações de turbilhões.

Existem vários métodos para determinar a evapotranspiração, podendo ser classificados como diretos ou indiretos. Um dos métodos diretos amplamente usados e difundidos é a lisimetria (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 Métodos de estimativa da evapotranspiração (BERNARDO et al., 2008)

Métodos Diretos	Lisímetros	Lisímetros Não Pesáveis (Drenagem ou de Percolação)	
		Lisímetros Pesáveis	Pesagem Mecânica
			Flutuante
			Hidráulico
	Parcelas Experimentais de Campo		
	Controle da Umidade do Solo		
	Método de “Entrada-Saída”		
Métodos Indiretos	Evaporímetros	Tanques de Evaporação	
		Atmômetros	
	Equações		

3.6 Métodos Diretos (lisímetros)

A lisimetria é um dos métodos diretos para medição da evapotranspiração de maior aceitabilidade dentre o meio acadêmico, sendo muito utilizado para ajustar métodos indiretos. Porém o seu alto custo de implantação limita seu uso a estudos acadêmicos (MEDEIROS 2008).

O único dispositivo capaz de medir a evapotranspiração com razoável eficiência é o lisímetro. Black (1968) recomenda a lisimetria como o único método praticável para determinar a evapotranspiração com boa precisão.

Tanner (1962) descreve que lisímetros são dispositivos constituídos de um volume de solo isolado do solo circundante local, de forma a medir todas as variáveis hidrológicas ou suprimir alguns termos da equação geral do balanço de água.

A palavra lisímetro é derivada do grego; *lysis* significa dissolução ou movimento e *metron*, significa mensurar. Lisímetros são caixas preenchidas com solos desagregados ou blocos inteiros de solo, enterrados em campo para representar as características do ambiente. Possuem a função de determinar a evapotranspiração ou evaporação, depende se estão cobertos por vegetação ou apenas com o solo desprovido de cobertura vegetal (ABOUKHALED et al. 1982). A vegetação dentro e imediatamente fora da caixa devem apresentar a mesma altura e índice de área foliar. Os lisímetros permitem isolar a zona radicular das culturas a partir do seu ambiente, controlando os processos de entrada/saída e medindo com maior precisão os diferentes termos na equação do balanço de água no solo (ALLEN et al., 1998).

Os lisímetros são classificados de acordo com seu funcionamento. Silva (1996) descreve que os lisímetros utilizados em pesquisas de evapotranspiração, podem ser agrupados em três modalidades: Lisímetros pesáveis, sendo a variação de massa do sistema determinada por um mecanismo de pesagem; Lisímetros não-pesáveis com drenagem livre, são os mais utilizados em locais de alta precipitação e Lisímetros não-pesáveis com lençol freático de nível constante, mais utilizado em áreas onde o nível de água subterrânea é elevado. O mesmo autor destaca que os lisímetros também são classificados, quanto ao perfil do solo utilizado (reconstruído ou monolítico) e ao sistema de drenagem: a vácuo ou gravidade.

Segundo Sentelhas (1998) o lisímetro de pesagem é o mais utilizado no meio científico. Esse tipo de instrumento emprega a medida automatizada de células de carga instaladas sob uma caixa impermeável, medindo a variação de peso do conjunto caixa e solo. Assim com o consumo de água pelas plantas do lisímetro ocorre uma diminuição de peso do volume de controle, sendo proporcional a evapotranspiração. A Figura 3.10 e a Figura 3.11 ilustram o lisímetro de pesagem mecânica.

Figura 3.10 Representação esquemática de um lisímetro de pesagem mecânica (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI 2008)

Figura 3.11 Lisímetro de pesagem mecânica instalado numa cultura de Citrus e células de carga do lisímetro que está localizado em Piracicaba (ESALQ) imagem Edmilson Dias de Freitas

Silva (1996) destaca que existem vários mecanismos de pesagem, os mais modernos são as células de carga. O mesmo autor escreve que, os lisímetros de pesagem apresentam uma grande variabilidade no “design” que está relacionada diretamente com os objetivos de pesquisa e refinamento dos sistemas de pesagem.

Pereira; Nova e Sedyama, (1997) citam que os lisímetros de pesagem permitem mensurar de forma direta a evapotranspiração em períodos curtos, horários ou diários, destacando que alguns permitem medir variações da ordem de 0,01 mm, porém ressalta o alto custo deste tipo de lisímetro devido aos sistemas sofisticados.

Em Davis, há um lisímetro de pesagem mecânica instalado na Universidade da Califórnia, tendo 6,07 m de diâmetro e 0,96 m de profundidade, totalizando uma área de 29 m². Esse lisímetro utiliza uma balança com capacidade para 50 toneladas e sensibilidade de 900 gramas, com leituras automáticas a cada dois minutos (PRUITT; ANGUS, 1960).

Trabalho realizado por Silva (1996) nas condições climáticas de Piracicaba – SP, mostra que o lisímetro de pesagem apresentou boa concordância com os dados de *ET_o* estimados pelo método de Penman-Monteith.

Lisímetros de drenagem são grandes vasos com paredes impermeáveis enterrados até o nível do solo e plantados com vegetação idêntica à do terreno circundante, constituindo amostra representativa da área vegetada. A Figura 3.12, Figura 3.13 e a Figura 3.14 ilustram lisímetros de drenagem. O lisímetro de drenagem é o mais usado devido a suas características simples, baixo custo, sem partes móveis e fácil operação.

O movimento de água no solo um processo relativamente lento, os lisímetros de drenagem funcionam adequadamente apenas em períodos longos de observação (7 a 10 dias) e requer cuidados especiais, como irrigação periódica para manter a variação do conteúdo de água no solo próximo a zero (PEREIRA; NOVA e SEDIYAMA, 1997).

Nos lisímetros de percolação ou drenagem Bernardo; Soares e Mantovani (2008) destacam que a irrigação deve ser diária ou a cada dois dias, com determinada quantidade de água, de forma que a água percolada seja em torno de 10% do total aplicado nas irrigações.

Figura 3.12 Representação de um lisímetro de drenagem (MEDEIROS, 2008)

Figura 3.13 Lisímetros de drenagem na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) imagem Leandro M. Biondo

Figura 3.14 Lisímetros de drenagem e galões para coleta do percolado, localizados em Jaboticabal-SP na Estação Agrometeorológica da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) (PERUCHI, 2009)

Oliveira (2006) para obter uma melhor representatividade das condições de campo no estudo das variáveis hidrológicas do balanço hídrico, elaborou um lisímetro de drenagem com uma amostra indeformada de 1 m³ de solo. Este tipo de lisímetro com amostra de solo indeformada é denominado de monolítico. A Figura 3.15 ilustra a implantação dos lisímetros monolíticos.

Figura 3.15 Lisímetros monolíticos de drenagem (OLIVEIRA, 2006)

Thornthwaite em 1945 propôs um tipo de lisímetro denominado evapotranspirômetro. Esse dispositivo consiste de um tanque com 4 m² com 70 cm de profundidade, com caixas auxiliares de suprimento e percolação de água, sendo o nível de água no interior do lisímetro mantido constante por meio de um sistema de válvula e boia (THORNTHWAITE e MATHER, 1955).

Uma revisão relatando e discutindo sucessivas modificações introduzidas no modelo original de Thornthwaite é apresentada nos trabalhos de Gangopadhyaya (1966).

Esse tipo de lisímetro proposto por Thornthwaite é o lisímetro de percolação com lençol freático constante. Assis (1978) descreve esse tipo de lisímetro como possuindo um sistema automático de alimentação e registro da água repostada, de modo a manter o nível de água constante, sendo a evapotranspiração diretamente proporcional à água que sai do sistema de alimentação. Esse tipo de lisímetro é ilustrado na Figura 3.16.

Figura 3.16 Esquema do lisímetro com nível constante e sistema de registro (ASSIS, 1978)

Silva (1996) analisou o desempenho de lisímetros, tanque classe A e o método de Penman-Monteith na determinação da evapotranspiração de referência (ET_o). A Tabela 3.3 descreve os valores obtidos nesse estudo. O mesmo autor concluiu que a ET_o medida com o lisímetro de pesagem, apresentou boa concordância com os valores diários estimados pelo modelo de Penman-Monteith, já para os lisímetros de drenagem e de nível constante os resultados se apresentaram inconsistentes em base diária e quinquidiária de cálculo. Porém o período de análise foi pequeno, com apenas 41 dias de coleta de dados.

Tabela 3.3 Valores de evapotranspiração de referência acumulada (ET_o) medidos e estimados durante o período de 21/02/96 a 01/04/96 (SILVA, 1996)

Dispositivo e/ou método		Evapotranspiração de referência (ET_o) (mm.dia ⁻¹)	Evapotranspiração de referência (ET_o) (mm)
Métodos Diretos	Lisímetro de pesagem	3,04	124,84
	Lisímetro de drenagem	3,59	147,42
	Lisímetro de nível constante	3,38	138,76
Métodos Indiretos	Penman-Monteith	3,39	139,14
	Tanque Classe A	1,95	80,33

Assis (1978) comparou 184 valores de ET_o obtido através de um lisímetro de nível constante com os valores estimados pelo método de Penman, obtendo um coeficiente de correlação de 0,83, altamente significativo.

Machado (1996) analisou 150 medidas de evapotranspiração em um lisímetro de nível constante com aquelas obtidas através da equação de Penman-Monteith, concluindo que para valores médios decendiais apresentaram uma concordância muito boa, com coeficiente de correlação igual a 0,91.

O lisímetro com nível constante foi escolhido para ser utilizado nessa pesquisa, devido a sua boa precisão e a facilidade de variar o nível de água em seu interior. Esse tipo de lisímetro também é muito utilizado na determinação do coeficiente de cultura (K_c) e também da ET_c . Há ainda outros aspectos considerados na escolha como, por exemplo, baixo custo e simples manutenção em relação ao lisímetro de pesagem.

3.7 Métodos Indiretos

Dentre os métodos indiretos as equações e os tanques são os mais utilizados na determinação da evapotranspiração e da evaporação.

3.7.1 Penman-Monteith FAO-56

Este método determina a evapotranspiração de referencia (ET_o) baseando-se em uma equação de formulação teórica em conceitos puramente físicos. Este método tem como uma exigência a disponibilidade de vários dados climatológicos.

A Tabela 3.4 descreve a quantidade de dados climáticos exigidos em algumas equações para estimar a evapotranspiração.

Tabela 3.4 Dados climáticos requeridos para alguns métodos na determinação da evapotranspiração (DOORENBOS; PRUITT, 1977)

Método	Temperatura	Umidade Relativa	Velocidade do Vento	Insolação	Evaporação
FAO Blaney-Criddle	*	°	°	°	
FAO Radiação	*	°	°	*	
FAO Penman	*	*	*	*	
Classe A		°	°	°	*

*medição essencial °estimação requerida

O método de Penman-Monteith apesar de exigir a medição de vários dados climatológicos, apresenta o melhor desempenho em relação a outros métodos indiretos, como pode ser verificado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 Performance de vários métodos na determinação da *ET_o* (JENSEN; BURMAN e ALLEN, 1990)

Localização (Condição)	Região úmida			Região árida		
Indicador de classificação	Classificação	Superestimação ¹	Erro ² padrão	Classificação	Superestimação ¹	Erro ² padrão
Métodos combinados						
Penman-Monteith	1	+4%	0,32	1	-1%	0,49
FAO-24 Penman (c=1)	14	+29%	0,93	6	+12%	0,69
FAO-24 Penman (corrigido)	19	+35%	1,14	10	+18%	1,1
FAO-PPP-17 Penman	4	+16%	0,67	5	+6%	0,68
Penman (1963)	3	+14%	0,60	7	-2%	0,70
Penman 1963, VPD #3	6	+20%	0,69	4	+6%	0,67
1972 Kimberley Penman	8	+18%	0,71	8	+6%	0,73
1982 Kimberley Penman	7	+10%	0,69	2	+3%	0,54
Businger-van Bavel	16	+32%	1,03	11	+11%	1,12
Métodos Baseados na Radiação						
Priestley Taylor	5	-3%	0,68	19	-27%	1,89
FAO-Radiação	11	+22%	0,79	3	+6%	0,62
Métodos baseados na temperatura						
Jensen-Haise	12	-18%	0,84	12	-12%	1,13
Hargreaves	10	+25%	0,79	13	-9%	1,17
Turc	2	+5%	0,56	18	-26%	1,88
SCS Blaney- Criddle	15	+17%	1,01	15	-16%	1,29
FAO Blaney- Criddle	9	+16%	0,79	9	0%	0,76
Thornwaite	13	-4%	0,86	20	-37%	2,4
Métodos com tanque de evaporação						
Tanque Classe A	20	+14%	1,29	17	+21%	1,54
Christiansen	18	-10%	1,12	16	-6%	1,41
FAO Classe A	17	-5%	1,09	14	+5%	1,25

¹ superestimação ou subestimação em percentagem quando comparado com dados locais de 11 lisímetros, corrigida para o tipo de referência

² erro padrão ponderada das estimativas em mm.dia⁻¹

3.7.2 *Evaporímetros*

Ometto (1981) relata a dificuldade de obtenção da informação do total diário da evaporação de uma superfície d'água de grande extensão (lago, represa, reservatório) devido a falta de controle nos processos de entrada e saída de água, infiltração no solo, consumo de água por animais, etc., foi conveniente estabelecer, em condições de absoluto controle, um dispositivo (evaporímetro) que respondesse igualmente a superfície livre d'água de grande extensão. Assim esse evaporímetro viria a substituir a superfície livre d'água natural com a vantagem de se eliminar a maioria das fontes de erro na leitura da evaporação.

Um evaporímetro com 20 m² de superfície evaporante, quando comparado com o lago Hefner (EUA), possibilitou medidas idênticas no tempo e espaço. Evaporímetros são instrumentos que possibilitam medir diretamente a evaporação de uma superfície livre d'água sendo, portanto pequenos reservatórios de água (OMETTO, 1981).

O tanque Classe A possui vantagens na determinação da evaporação direta de uma superfície livre, quando comparado com o tanque padrão. Pois esse tanque, para fins práticos é inconveniente pelo fato de possuir grande dimensão (superfície evaporante igual a 20 m², 2,0 m de profundidade) e enterrado no solo. Já o tanque classe A possui dimensões pequenas (0,25 m de altura e 1,20 m de diâmetro) e não precisa ser enterrado.

A Organização Meteorológica Mundial (OMM) adotou o tanque Classe A como um dos seus padrões de evaporímetros. Amorim (1998) cita que os instrumentos mais comuns no Brasil para determinação da evapotranspiração e da evaporação são o lisímetro de nível constante e o tanque Classe A. O mesmo autor destaca que o tanque Classe A apresenta problemas tais como a contaminação da água por material em suspensão no ar, formação de algas, desenvolvimento de larvas e consumo de água por animais.

Devido a suas características e condições de trabalho (paredes metálicas e expostas a radiação solar global e na forma de albedo), o tanque classe A apresenta uma perda excessiva de água por evaporação.

A ET_o pode ser determinada com valores de evaporação direta do tanque Classe A, utilizando apenas um coeficiente adequado. Doorenbos e Kassan, (1979) em seu trabalho estimaram a ET_o através da relação:

$$ET_o = EV_A \cdot K_p \quad (3)$$

Sendo:

ET_o a evapotranspiração de referência (mm.dia^{-1}), EV_A a evaporação observada no tanque Classe A em mm.dia^{-1} e K_p um coeficiente de conversão da evaporação do tanque Classe A em evapotranspiração de referência, que é função de fatores meteorológicos e condições de exposição do tanque.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Estação Climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA)

O presente trabalho foi desenvolvido na Estação Climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) do Departamento de Hidráulica e Saneamento, da Escola de Engenharia de São Carlos, representada nas Figura 4.1 e Figura 4.2. A estação, cujas coordenadas geográficas são: Latitude 22° 01' 22" S, Longitude 43° 57' 38" W e altitude 733 metros, está localizada no km 13 da rodovia Domingos Innocentini, município de Itirapina (SP), às margens da Represa do Lobo e distante cerca de 23 km do Campus 1 da USP, no centro da cidade de São Carlos.

A área da Estação Climatológica é de 10.000 m², onde está instalada a aparelhagem para coleta de dados meteorológicos.

O clima da região de acordo com a classificação de Wilhem Köppen, é Cwa, clima temperado, devido à altitude, com inverno seco, apresentando pouca deficiência de água (MACHADO 1996).

A região possui temperatura média de 20,5 °C, com a predominância de chuvas nos meses de outubro a abril. A precipitação média anual oscila entre 1300 a 1400 mm.

Figura 4.1 Estação Climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada no dia 02/02/2011

Figura 4.2 Estação Climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada em junho de 1981 (Foto cedida por José Roberto Maramarque)

A Estação é operada por observadores realizando leitura dos instrumentos todos os dias às 7:00 horas, como pode ser observado na Figura 4.3.

Figura 4.3 Observador realizando leituras dos valores registrados pelo anemômetro e equipamentos instalados dentro do abrigo termométrico

Na estação encontram-se instrumentos para medição das variáveis físicas relacionadas ao clima. As seguintes variáveis meteorológicas são observadas e medidas na estação:

- Temperatura (Ar, Solo e Água);
- Pressão Atmosférica;
- Umidade Relativa do Ar;
- Evaporação da Água;
- Velocidade e Direção do Vento;
- Precipitação;
- Radiação Solar;
- Horas de Brilho Solar.

As medições de temperatura do ar são feitas através da observação do termômetro convencional, termômetro de máxima e termômetro de mínima pelo responsável da estação. A medição continua da temperatura é registrada nos gráficos dos aparelhos termógrafo bimetalico e termohigrógrafo. Todas as temperaturas observadas na estação são registradas em °C, e os aparelhos podem ser vistos na Figura 4.4.

Figura 4.4 Termômetros de máxima e de mínima, levemente inclinados e termógrafo bimetalico Fuess dentro do abrigo termométrico localizado na Estação Climatológica

As oscilações da pressão atmosférica são medidas através do barômetro de mercúrio e registradas no barógrafo, sendo as unidades em milibar ou mmHg, dependendo do gráfico utilizado no tambor do aparelho mostrado na Figura 4.5.

Figura 4.5 Barógrafo e barômetro

O registro contínuo da umidade relativa do ar é feito pelo termohigrógrafo. O psicrômetro através da medição da temperatura do termômetro de bulbo seco e bulbo úmido fornece a indicação da umidade relativa do ar através de um cálculo utilizando uma tabela. Os instrumentos estão representados na Figura 4.6.

Figura 4.6 Termohigrógrafo e termômetros de bulbo seco e úmido componentes do psicrômetro

Na Figura 4.7 e Figura 4.8 são mostrados o tanque Classe A e o tanque padrão (20 m²), com a finalidade de medir a evaporação de água, através de leituras diárias em um parafuso micrométrico situado dentro de um poço tranquilizador, sendo a unidade de medida em milímetros.

Figura 4.7 Tanque classe A e poço tranquilizador com parafuso micrométrico

Figura 4.8 Tanque padrão com área de 20 m² e poço tranquilizador com parafuso micrométrico

A velocidade do vento à 2,0 m de altura do solo é monitorada através dos valores registrados por um anemômetro de canecas, representado na Figura 4.9. O registro contínuo da direção e velocidade do vento à 10 metros do solo é efetuado por um anemógrafo universal descrito também na Figura 4.9. A unidade de velocidade do vento extraída é em quilômetros por dia.

Figura 4.9 Anemômetro à 2,0 metros do solo e anemógrafo com registro da direção e velocidade do vento à 10,0 metros do solo

A precipitação é monitorada através de três aparelhos, os pluviômetros Ville de Paris e Paulista, que fornecem apenas o total precipitado em milímetros durante o tempo entre as leituras efetuadas, com auxílio de uma proveta. Já o pluviógrafo 1H registra continuamente o total precipitado e a duração da precipitação em um gráfico. Os aparelhos estão representados na Figura 4.10.

Figura 4.10 Pluviômetro Ville de Paris, Paulista e pluviógrafo 1H

A radiação solar na superfície é observada através do registro continuo em um gráfico dentro do aparelho actinógrafo, ilustrado na Figura 4.11. O gráfico pode ter duração de um dia ou uma semana, a unidade é caloria por centímetro quadrado por minuto.

Figura 4.11 Actinógrafo e o sistema de registro da radiação solar na superfície ao longo do dia

A duração do brilho solar ou insolação é registrada pelo heliógrafo, através da queima de uma fita carbonada, ocasionada pela incidência dos raios solares em uma esfera de vidro. Conforme o período do ano adota-se fitas com diferentes curvaturas. O instrumento é representado pela Figura 4.12.

Figura 4.12 Heliógrafo com as fitas carbonadas para registro do brilho solar

4.2 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados no experimento foram coletados durante 213 dias (7 meses) compreendendo o período de 14/10/2010 até 14/05/2011.

Esses dados foram obtidos através dos equipamentos convencionais da Estação Climatológica, e serviram para estimar a evapotranspiração e realizar uma análise em conjunto com os dados lisímetricos. Sendo os seguintes dados utilizados: evaporação do tanque Classe A (EV_A), evaporação do tanque padrão (EV_{20}), precipitação (P), temperatura máxima do ar ($T_{máx}$), temperatura mínima do ar ($T_{mín}$), temperatura média do ar (T_{med}) pressão atmosférica (P_{atm}), velocidade média do vento a 2,0 m de altura (U_2), velocidade média do vento à 10,0 m de altura (U_{10}) umidade relativa máxima ($UR_{máx}$), umidade relativa mínima ($UR_{mín}$), umidade relativa média (UR_{med}) radiação solar na superfície (Rs) e insolação ou duração do brilho solar (n). Na Tabela 4.1 estão descritos as variáveis meteorológicas medidas e a escala temporal.

Tabela 4.1 Descrição dos dados meteorológicos utilizados com a unidade de medição, tempo e horário de observação

Variável Meteorológica			Unidade	Escala Temporal
Evaporação	Tanque Classe A	EV_A	mm	Evaporação obtida no período de 24 horas
	Tanque Padrão	EV_{20}		
Precipitação		P		Total precipitado durante 24 horas
Temperatura do ar	Máxima	$T_{máx}$	°C	Temperatura máxima observada durante 24 horas
	Mínima	$T_{mín}$		Temperatura mínima observada durante 24 horas
	Média	T_{med}		Temperatura média observada, que compreende as temperaturas máxima e mínima juntamente com as temperaturas medidas as 09:00 e 21:00.
Pressão atmosférica		P_{atm}	mbar	Pressão atmosférica obtida as 10:00, 16:00 e as 22:00
Velocidade média do vento	2,0 m de altura do solo	U_2	Km.h ⁻¹	Velocidade média do vento obtida durante 24 horas
	10,0 m de altura do solo	U_{10}		
Umidade relativa	Máxima	$UR_{máx}$	%	Umidade relativa máxima observada durante 24 horas
	Mínima	$UR_{mín}$		Umidade relativa mínima observada durante 24 horas
	Média	UR_{med}		Umidade relativa média observada, que compreende a umidade relativa medida as 09:00, 15:00 e 21:00
Radiação solar na superfície		R_s	Cal.cm ⁻²	Radiação solar global horária
Insolação ou duração do brilho solar		n	Horas	Insolação horária

4.3 Lisímetros e tanque de evaporação com nível constante

Nesta pesquisa foram construídos um tanque de evaporação (*tenc*) e dois lisímetros todos adotando como princípio de funcionamento a manutenção do nível de água constante. Foi utilizado também um lisímetro que já estava construído e implantado na Estação Climatológica, porém o mesmo estava sem uso e foi reativado. Todos os lisímetros foram preenchidos com solos reconstituídos.

Um dos lisímetros foi preenchido com solo argiloso e sua superfície evaporante vegetada com grama batatais (*lis-arg*), os demais foram preenchidos com solos arenosos, sendo que um lisímetro foi coberto com grama batatais (*lis-aren*) e o outro ficou com o solo exposto (*lis-aren-nv*).

4.3.1 Funcionamento dos lisímetros e do tanque de evaporação

O funcionamento ocorre do seguinte modo: com a evapotranspiração ou evaporação há um abaixamento do nível de água dentro dos lisímetros e do tanque de evaporação, porém cada sistema é ligado diretamente com uma caixa reguladora de nível, esta caixa, através do princípio físico dos vasos comunicantes, supre de água os lisímetros e tanque de evaporação até estabelecer o equilíbrio, esse suprimento, por sua vez, provoca um abaixamento no nível de água dentro da caixa reguladora de nível, fazendo com que a torneira de boia libere água do reservatório de alimentação no mesmo volume correspondente a evaporação ou evapotranspiração, volume esse transformado em lâmina correspondente à área de exposição do lisímetro ou do tanque de evaporação.

Durante a ocorrência de precipitações, o nível de água nos lisímetros e tanque de evaporação tende a elevar. Esse aumento de nível será transmitido também para caixa do sistema de drenagem, fazendo com que o conjunto de tubos na posição vertical dentro da caixa, direcione o volume de água excedente para o tanque coletor graduado. Dessa forma, o nível de água permanece constante independente do acréscimo de água proveniente das precipitações.

4.3.2 Descrição dos lisímetros (lis-arg e lis-aren) e tanque de evaporação (tenc)

Os lisímetros e o tanque de evaporação consistem de caixas enterradas; fabricadas de fibra de vidro com 1,52 m de diâmetro inferior, 1,88 m de diâmetro superior e 1,32 m de profundidade, tendo uma área de exposição de 2,78 m².

Na parte inferior dos lisímetros e do tanque de evaporação, foram acoplados tubos de PVC de 32 mm, por onde se dá o abastecimento de água. Esses tubos são ligados a uma caixa reguladora de nível localizada no abrigo subterrâneo, contendo uma torneira de boia para manter o nível de água. As caixas reguladoras de níveis dos lisímetros são ligadas através de tubos a reservatórios com volume de 90 litros, porém o reservatório ligado ao tanque de evaporação possui uma capacidade maior de 360 litros. Nesses reservatórios são feitas as leituras diárias do volume de água consumida pelo processo de evapotranspiração ou evaporação. O nível de água dentro dos reservatórios é verificado através de mangueiras transparentes de silicone, com graduação e localizadas na parte externa. A Figura 4.17 e a Figura 4.18 ilustram os lisímetros, tanque de evaporação e os reservatórios graduados.

O sistema de drenagem dos lisímetros consiste de dois tubos de PVC de 50 mm, independentes, localizados na camada de brita. A estes dois tubos, são interligados lateralmente outros quatro tubos de igual diâmetro, formando uma rede de drenagem na forma de “espinha de peixe” com orifícios, por onde o excesso de água escoar até uma caixa localizada no abrigo subterrâneo.

O nível de água dos lisímetros está à 1,0 m abaixo da superfície do terreno, mas para o tanque de evaporação este nível está na mesma altura da superfície evaporante dos lisímetros.

A Figura 4.13, Figura 4.14, Figura 4.15 e a Figura 4.16 representam os desenhos esquemáticos dos lisímetros e tanque de evaporação. A Figura 4.19 e a Figura 4.20 ilustram os lisímetros e tanque de evaporação.

Figura 4.13 Planta dos lisímetros e tanque de evaporação, ilustrando as caixas principais dos lisímetros com sistema de drenagem na forma de “espinha de peixe”. Dentro do abrigo subterrâneo está representada as caixas auxiliares de cada sistema com a finalidade de manter o nível constante de água, independente da precipitação ou evapotranspiração. Representação sem escala e com valores em metros.

Figura 4.14 Perfil do tanque de evaporação e do abrigo subterrâneo com a caixa reguladora de nível, caixa do sistema de drenagem e tanque coletor graduado. A caixa reguladora possui uma torneira de boia para suprimento contínuo de água, independente da evaporação. A caixa do sistema de drenagem possui dois tubos na posição vertical (tulipas) para direcionar o excedente de água proveniente das precipitações no tanque de evaporação. Representação sem escala e com valores em metros.

Figura 4.15 Perfil do lisímetro e do abrigo subterrâneo com a caixa reguladora de nível, caixa do sistema de drenagem e tanque coletor graduado. O nível de água no interior dos lisímetros foi mantido a 1,0 m abaixo da superfície do terreno. A caixa reguladora possui uma torneira de boia para suprimento contínuo de água, independente da evapotranspiração. A caixa do sistema de drenagem possui dois tubos na posição vertical (tulipas) para direcionar o excedente de água proveniente das precipitações nos lisímetros. Representação sem escala e com valores em metros.

Figura 4.16 Planta detalhada do abrigo subterrâneo e reservatórios de alimentação. Cada sistema possui uma caixa reguladora de nível, uma caixa de drenagem e um tanque coletor para armazenar o volume de água proveniente das precipitações. O tanque de evaporação possui um tanque auxiliar que entra em funcionamento após o enchimento do tanque coletor graduado principal. Representação sem escala e com valores em metros.

Figura 4.17 Visão geral dos lisímetros e tanque de evaporação

Figura 4.18 Reservatórios com mangueira incolor, tubo de vidro transparente e escala graduada para verificação de nível. Os reservatórios são abastecidos com água geralmente uma vez por mês.

Figura 4.19 Lisímetros e tanque de evaporação dentro da Estação Climatológica do CRHEA

Figura 4.20 Visão superior da caixa do sistema de drenagem, caixa reguladora de nível e tanque coletor graduado do *lis-arg*

4.3.3 Descrição do lisímetro sem cobertura vegetal (*lis-aren-nv*)

Valendo-se do trabalho efetuado por Machado (1996) este descreve o *lis-aren-nv*

O lisímetro consiste de um tanque metálico, com dimensões de 1,5 por 2,4 m e 1,5 m de profundidade, tendo uma área de exposição de 3,6 m²; fabricado com chapa de ferro, reforçado internamente por cantoneiras. O lisímetro foi impermeabilizado para evitar vazamento.

Na parte inferior do lisímetro, foi acoplado um tubo de PVC de 1", por onde se dá o abastecimento de água. Esse tubo é ligado através de uma mangueira a uma caixa de passagem localizada em um abrigo subterrâneo, contendo um sistema de boias para regular o nível de água no lisímetro. A caixa de passagem é ligada através de mangueira ao sistema de alimentação, que consiste de um reservatório de volume 0,09 m³, por onde se faz a leitura do volume de água consumida pelo processo de evapotranspiração.

O sistema de drenagem consiste de 2 tubos de PVC de 2", independentes, localizados na camada de brita, no sentido do comprimento da caixa do lisímetro. A estes dois tubos, são interligados lateralmente outros 6 tubos de igual diâmetro, formando uma rede de drenagem na forma de "espinha de peixe" com orifícios, por onde o excesso de água escoar até uma caixa localizada no abrigo subterrâneo.

O esquema de montagem do *lis-aren-nv* está apresentado na Figura 4.21 e Figura 4.22.

Figura 4.21 Sistema de drenagem na forma de "espinha de peixe" e representação esquemática do abrigo subterrâneo (MACHADO 1996)

Figura 4.22 Vista de perfil da caixa principal e do abrigo subterrâneo do *lis-aren-nv* (MACHADO 1996)

O *lis-aren-nv* está representado pela Figura 4.23 e Figura 4.24.

Figura 4.23 Lisímetro com solo arenoso e sem cobertura vegetal (*lis-aren-nv*)

Figura 4.24 Visão geral do abrigo subterrâneo com o tanque coletor graduado, caixa do sistema de drenagem e caixa de passagem

O *lis-aren-nv* já estava instalado na Estação Climatológica do CRHEA, porém o mesmo estava sem uso. Foram feitos alguns reparos para colocá-lo em funcionamento, que são citados a seguir:

- Limpeza da área superficial do lisímetro, com remoção da cobertura vegetal;
- Reparos na borda da caixa principal do lisímetro;
- Inserção das tulipas na caixa do sistema de drenagem;
- Verificação do funcionamento das torneiras de boias;
- Ajuste do nível de água para 1,0 m abaixo da superfície, nas caixas auxiliares e caixa principal;
- Testes com água para verificação de vazamento nas tubulações e caixas;
- Substituição da mangueira entre a caixa de passagem e reservatório de alimentação, pois a mesma estava com vazamentos.

A Figura 4.25 representa a superfície evaporante do *lis-aren-nv* antes e depois dos reparos realizados e a construção da nova tubulação de alimentação.

Figura 4.25 Reparos realizados no *lis-aren-nv* para colocá-lo em funcionamento

4.4 Retirada do solo argiloso

O *lis-arg* foi preenchido com solo argiloso desagregado proveniente de uma área minerada nas várzeas do rio Uberabinha em Uberaba–MG. A amostra de 5 m³ de solo foi disponibilizada e transportada por uma mineradora a partir do seu pátio de estocagem.

4.5 Preenchimento do lisímetro com solo argiloso (*lis-arg*)

Na parte inferior do lisímetro primeiro foi colocado um conjunto de tubos furados na forma de espinha de peixe, em seguida uma camada de brita para encobrir os tubos e por cima desta camada uma manta geotêxtil com uma fina camada de areia grossa. O *lis-arg* foi preenchido com solo argiloso em camadas de 30 cm de espessura. Após o enchimento completo da caixa principal do lisímetro para fins de adensamento do solo, o mesmo foi irrigado até a saturação e em seguida o lisímetro foi drenado. A Figura 4.26 ilustra o preenchimento do lisímetro.

Figura 4.26 Imagens da implantação do sistema de drenagem em sequência, o preenchimento do *lis-aren* com o umedecimento completo do solo para fins de adensamento

4.6 Retirada do solo arenoso

O *lis-aren* foi preenchido com solo arenoso proveniente de uma área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG) localizada no município de Brotas-SP, pertencente a bacia hidrográfica do Ribeirão da Onça. A Figura 4.27 indica o local de obtenção do solo arenoso, a área era coberta por pasto.

Figura 4.27 Localização do ponto de coleta do solo arenoso para preencher o *lis-aren*

O procedimento utilizado para a retirada do solo arenoso do local de origem constitui-se das seguintes etapas:

- Retirada da cobertura vegetal e abertura de vala com área de 1,5 m x 1,5 m;
- Retirada do solo em camadas com 0,30 m de espessura;
- Disposição do material desagregado em sacos e ordenados em sequência.

A Figura 4.28 ilustra a escavação para retirada do solo arenoso.

Figura 4.28 Escavação em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani para retirada do solo arenoso

4.7 Preenchimento do lisímetro com solo arenoso (*lis-aren*)

Na parte inferior do lisímetro primeiro foi colocado um conjunto de tubos furados na forma de espinha de peixe, em seguida uma camada de brita para encobrir os tubos e por cima desta camada uma manta geotêxtil com uma fina camada de areia grossa. O *lis-aren* foi preenchido com solo arenoso em camadas de 30 cm de espessura. Após o enchimento completo da caixa principal do lisímetro para fins de adensamento do solo, o mesmo foi irrigado até a saturação e em seguida o lisímetro foi drenado. A Figura 4.29 ilustra o preenchimento do lisímetro.

Figura 4.29 Imagens da implantação do sistema de drenagem em sequência, o preenchimento do *lis-aren* com o umedecimento completo do solo para fins de adensamento

4.8 Caracterização física dos solos

O *lis-arg* e *lis-aren* foram preenchidos com solos desagregados e reconstituídos. O *lis-aren-nv* já estava com solo.

4.8.1 Solo do *lis-arg*

Foi coletada uma amostra composta com três diferentes profundidades (20, 40 e 80 cm) no *lis-arg*. A granulometria é apresentada na Tabela 4.2 e Figura 4.30.

Tabela 4.2 Granulometria do solo argiloso no *lis-arg*

Diâmetro das Partículas (mm) ABNT	Granulometria (%)
Pedregulho > 2,0	0,7
2,0 > Areia Grossa > 0,6	2,6
0,6 > Areia Média > 0,2	8,8
0,2 > Areia Fina > 0,06	2,4
0,06 > Silte > 0,002	20,1
0,002 > Argila	65,4

Figura 4.30 Curva granulométrica do solo argiloso no *lis-arg*

O solo do *lis-arg* possui predominância de partículas finas (65,4% de argila e 20,1% de silte) em sua composição, apresentando característica marcante de plasticidade. Quando suficientemente úmido, molda-se facilmente de diferentes formas; quando seco, apresenta coesão suficiente para construir torrões dificilmente desagregáveis por pressão dos dedos. A fração grosseira do solo 14,5% das partículas, é constituída de areia, grãos de gibsita e grumos (argila não destorroada). Através da curva granulométrica, conclui-se que o solo do *lis-arg* é uma argila siltosa.

4.8.2 Solo do *lis-aren*

Foi coletada uma amostra composta com três diferentes profundidades (20, 40 e 80 cm) no *lis-aren*. A granulometria é apresentada na Tabela 4.3 e Figura 4.31.

Tabela 4.3 Granulometria do solo arenoso no <i>lis-aren</i>	
Diâmetro das Partículas (mm) ABNT	Granulometria (%)
Pedregulho > 2,0	0,3
2,0 > Areia Grossa > 0,6	8,8
0,6 > Areia Média > 0,2	63,6
0,2 > Areia Fina > 0,06	16,4
0,06 > Silte e Argila	10,9

Figura 4.31 Curva granulométrica do solo arenoso no *lis-aren*

O solo do *lis-aren* é denominado areia fina a média, possuindo a predominância de partículas com diâmetro de 0,06 a 0,6 mm em sua composição. Apresenta característica não coesiva e não plástica sendo formado por minerais ou partículas de rochas.

4.8.3 Solo do *lis-aren-nv*

Foi coletada uma amostra composta com três diferentes profundidades (20, 40 e 80 cm) no *lis-aren-nv*. A granulometria é apresentada na Tabela 4.4 e Figura 4.32.

Tabela 4.4 Granulometria do solo arenoso no *lis-aren-nv*

Diâmetro das Partículas (mm) ABNT	Granulometria (%)
Pedregulho > 2,0	0,1
2,0 > Areia Grossa > 0,6	6,4
0,6 > Areia Média > 0,2	66,9
0,2 > Areia Fina > 0,06	17,2
0,06 > Silte e Argila	9,4

Figura 4.32 Curva granulométrica do solo arenoso no *lis-aren-nv*

O solo do *lis-aren-nv* é denominado areia fina a média, possuindo a predominância de partículas com diâmetro de 0,06 a 0,6 mm em sua composição. Apresenta característica não coesiva e não plástica sendo formado por minerais ou partículas de rochas.

Os solos arenosos (*lis-aren* e *lis-aren-nv*) apresentaram curvas granulométricas idênticas.

4.9 Caracterização da cobertura vegetal

Os lisímetros construídos e a área da Estação Climatológica do CRHEA são vegetados com grama Batatais (*Paspalum notatum flugge*) com uma altura média de 5-15 cm, variando entre cortes de manutenção. A profundidade das raízes está em torno de 20 a 30 cm. A grama do *lis-aren* está ilustrada na Figura 4.33.

Figura 4.33 Grama batatais no *lis-aren*

4.10 Equipamentos de monitoramento

Dentro dos reservatórios de alimentação dos lisímetros e tanque de evaporação, foram colocados sensores de pressão para monitorar o nível de água. Esses sensores facilitam o monitoramento e permitem aumentar a frequência de medições sem a presença de um observador, possibilitando registrar variações de nível em um curto intervalo de tempo nos horários menos favoráveis a observação humana, como, por exemplo, períodos noturnos, feriados e finais de semana.

Um equipamento de medição de nível utilizando uma boia e um contrapeso também foi empregado no monitoramento de nível de água no reservatório *lis-arg*.

A Figura 4.34, Figura 4.35 e Figura 4.36 ilustram os equipamentos e a Tabela 4.5 descreve as especificações.

Tabela 4.5 Descrição dos equipamentos utilizados no interior dos reservatórios

Nome e fabricante	Quantidade empregada	Tipo	Faixa de atuação	Tipo de Alimentação	Acurácia	Interface
MSR145B MSR Dataloggers and measuring instruments (www.msr.ch)	4	Sensor de pressão e temperatura	-10°C a 58°C 0 a 2500 mbar	Bateria recarregada via USB	+/- 0,1 °C (5 a 45°C) +/- 2,5 mbar (750 a 1100 mbar)	Cabo USB
MINI DIVER DI 505 Schlumberger Water Services (www.water.slb.com)	1	Sensor de pressão e temperatura	-20°C a 80°C (armazenamento de dados) 0°C a 50°C temperatura de operação 0 a 50 m H ₂ O	Bateria vida útil (10 anos)	+/- 0,2°C 0 a 2,5 cm H ₂ O	Ótica com cabo USB
MINI DIVER DI 500 Barodiver Schlumberger Water Services (www.water.slb.com)	1	Sensor de pressão e temperatura	-20°C a 80°C (armazenamento de dados) 0°C a 50°C temperatura de operação 0 a 1,5 m H ₂ O	Bateria vida útil (10 anos)	+/- 0,2°C 0 a 0,5 m H ₂ O	Ótica com cabo USB
MDS FLOATER Seba hydrometrie (www.seba.de)	1	Medição de nível através de boia e contrapeso com polia	-20°C a 70°C (exceção glaciação)	Bateria vida útil (15 anos)	Evitar fricção entre o cabo e a parede	Cabo conector áudio fêmea 6.35 mm serial-USB

Figura 4.34 Sensor de pressão e temperatura MiniDiver e Barodiver. Leitura ótica do Barodiver para armazenamento de dados no computador

Figura 4.35 Sensor de pressão e temperatura MSR145 e escala graduada em centímetros. Cabos USB para transferência de dados

Figura 4.36 Equipamento de medição de nível com boia e contrapeso.

4.11 Operação e manutenção dos lisímetros e tanque de evaporação

Os seguintes procedimentos foram efetuados para operação e manutenção do experimento:

- Leitura manual do nível de água todos os dias às 07:00 na escala graduada dos reservatórios alimentadores;
- Leitura manual do nível de água de segunda a sexta às 15:00, exceto feriados, sábados, domingos e dias sem expediente no CRHEA, na escala graduada dos reservatórios alimentadores;
- Reposição de água nos reservatórios alimentadores sempre que necessário;
- Transferência de dados, obtidos através dos sensores de nível, pressão e temperatura, para o computador portátil;
- Recarga da bateria do sensor MSR145 com auxílio do computador portátil;
- Leituras na régua da água percolada através dos lisímetros e da água drenada pelo tanque de evaporação nos tanques coletores graduados;

- Esvaziamento dos tanques coletores graduados periodicamente ou após eventos chuvosos significativos;
- Remoção de palhas e folhas da superfície evaporante do tanque de evaporação;
- Retirada de vegetação invasora e indesejada nas proximidades e na superfície exposta dos lisímetros;
- Limpeza da mangueira de silicone e tubo de vidro juntamente com a escala graduada dos reservatórios de alimentação;
- Monitoramento do nível de água na caixa principal dos lisímetros, através do tubo verificador de nível e com auxílio de um medidor de nível;
- Remoção de vegetação na superfície evaporante do *lis-aren-nv*;
- Controle de formigueiros na superfície exposta dos lisímetros.

4.12 Processamento dos dados obtidos com os sensores de pressão e temperatura

Os sensores eletrônicos instalados dentro dos reservatórios alimentadores forneceram valores de pressão e temperatura. Esses dados foram processados conforme as etapas ilustradas na Figura 4.37, para obter o nível de água dentro dos reservatórios. A descrição dos parâmetros e variáveis envolvidos nas etapas está descrita na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 Caracterização das variáveis e parâmetros para obtenção do nível de água

P_{atm} = Pressão Atmosférica observada na parte superior do reservatório lis-aren-nv	
P_{total} = Pressão Total registrada através dos sensores imersos em água e instalados ao fundo de cada reservatório	
T = Temperatura da água observada no fundo de cada reservatório	$H_{INICIAL}$ = Nível inicial de água
ρ = Massa específica da água	H_{FINAL} = Nível final de água
γ = Peso específico da água	V = Volume
g = aceleração da gravidade	A_{BASE} = Área da base do reservatório
H = Nível de água no interior do reservatório	$A_{SUP. EVAP}$ = Área da superfície evaporante
ΔH = Diferença de nível de água

Figura 4.37 Etapas para obtenção dos valores de nível de água nos reservatórios através dos dados de pressão e temperatura

4.13 Método de Penman-Monteith FAO-56

A equação de Penman-Monteith (equação 4) foi padronizada pelo boletim número 56 da FAO e é utilizada por vários pesquisadores em diversos países, para estabelecer um padrão em relação a outras metodologias no cálculo de evapotranspiração de referência (ET_o) (ALLEN et al., 1998).

Sendo:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a C_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad (4)$$

Δ = declividade da curva de pressão de vapor versus temperatura (kPa.C^{-1})

R_n = radiação líquida ($\text{MJ.m}^{-1}.\text{d}^{-1}$)

G = fluxo de calor no solo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)

ρ_a = massa específica do ar (kg.m^{-3})

C_p = calor específico do ar a pressão constante ($\text{MJ.kg}^{-1}.\text{d}^{-1}$)

$(e_s - e_a)$ = déficit de pressão de vapor do ar para a altura de referencia medida (kPa)

r_s = resistência de superfície (s.m^{-1})

r_a = resistência aerodinâmica (s.m^{-1})

γ = constante psicrométrica (kPa.C^{-1})

Com o objetivo de descrever uma vegetação hipotética de referência, foram combinadas as equações de resistência aerodinâmica e de superfície com a equação de Penman-Monteith. A vegetação de referencia hipotética é descrita como sendo uma superfície gramada com altura de 0,12 m, albedo de 0,23 e resistência de superfície de 70 s.m^{-1} definida pela FAO. Combinando expressões generalizadas de densidade do ar (ρ_a), com equações simplificadas de r_a e r_s para grama, de acordo com a parametrização proposta pela FAO-56, a equação 4 reduz para equação 5 expressa a seguir:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \frac{\gamma 900}{(T_{med} + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34)U_2} \quad (5)$$

Sendo:

Δ = declividade da curva de pressão de vapor versus temperatura (kPa.C^{-1})

R_n = saldo de radiação total ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)

G = fluxo de calor no solo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)

γ = coeficiente psicométrico (kPa.C^{-1})

900 = valor aproximado das constantes que constam na equação ($\text{kJ}^{-1}.\text{kg.K.d}^{-2}$)

T_{med} = temperatura média diária ($^{\circ}\text{C}$)

U_2 = velocidade média do vento medida a 2 m de altura do solo (m.s^{-1})

$(e_s - e_a)$ = déficit de pressão de vapor do ar para a altura de referencia medida (kPa)

A sequência de cálculo do método é descrita a seguir. A declividade da curva de pressão de vapor é dada pela equação 6:

$$\Delta = \frac{4098 \cdot \left[0,6108 e_s^{\frac{17,27 T_{med}}{T_{med} + 237,3}} \right]}{(T_{med} + 237,3)^2} \quad (6)$$

A equação 7 descreve a temperatura média diária (T_{med}) em graus Celsius (°C).

$$T = \frac{T_{máx} + T_{mín}}{2} \quad (7)$$

$T_{máx}$ = temperatura máxima do dia (°C)

$T_{mín}$ = temperatura mínima do dia (°C)

No entanto foi utilizada a temperatura média compensada como descreve a equação 8.

$$T_{med} = \frac{T_9 + T_{máx} + T_{mín} + 2 \cdot T_{21}}{5} \quad (8)$$

T_9 = temperatura medida às 9 horas da manhã medida pelo termógrafo bimetalico

$T_{máx}$ = temperatura máxima do dia medida através do termômetro de máxima (°C)

$T_{mín}$ = temperatura mínima do dia medida através do termômetro de mínima (°C)

T_{21} = temperatura medida às 21 horas da noite pelo termógrafo bimetalico

A pressão de saturação de vapor média (e_s) é relacionada pela equação 9.

$$e_s = \frac{[e^o(T_{máx}) + e^o(T_{mín})]}{2} \quad (9)$$

$e^o(T_{máx})$ = pressão de vapor a temperatura máxima (kPa)

$e^o(T_{mín})$ = pressão de vapor a temperatura mínima (kPa)

As pressões de vapor $e^o(T_{máx})$ e $e^o(T_{mín})$ são expressas através das equações 10 e 11.

$$e^o(T_{máx}) = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot T_{máx}}{T_{máx} + 237,3}\right)} \quad (10)$$

$$e^o(T_{mín}) = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot T_{mín}}{T_{mín} + 237,3}\right)} \quad (11)$$

Para o cálculo do déficit de pressão de vapor ($e_s - e_a$), têm-se a pressão parcial de vapor, e_a (kPa) estabelecida pela equação 12.

$$e_a = \frac{e^o(T_{\min}) \frac{UR_{\max}}{100} + e^o(T_{\max}) \frac{UR_{\min}}{100}}{2} \quad (12)$$

e_a = pressão parcial de vapor (kPa)

$e^o(T_{\min})$ = pressão de vapor a temperatura mínima (kPa)

$UR_{\max}$ = umidade relativa máxima obtida através do termohigrógrafo de cabelo (%)

$e^o(T_{\max})$ = pressão de vapor a temperatura máxima (kPa)

$UR_{\min}$ = umidade relativa mínima obtida através do termohigrógrafo de cabelo (%)

A equação 13 também serve para cálculo da pressão parcial de vapor (e_a), porém é menos recomendável pela FAO.

$$e_a = e_s \left(\frac{UR_{med}}{100} \right) \quad (13)$$

e_a = pressão parcial de vapor (kPa)

UR_{med} = umidade relativa média (%)

A umidade relativa média UR_{med} (%) foi calculada utilizando a equação 14 com as medições obtidas através do termohigrógrafo de cabelo.

$$UR_{med} = \frac{UR_9 + UR_{15} + 2 UR_{21}}{4} \quad (14)$$

UR_9 = umidade relativa às 9:00 da manhã (%)

UR_{15} = umidade relativa às 15:00 da tarde (%)

UR_{21} = umidade relativa às 21:00 da noite (%)

Nesta metodologia foram usadas, as duas equações 12 e 13 para determinar a pressão parcial de vapor, e_a (kPa).

A pressão atmosférica foi estimada por duas equações diferentes. Uma delas utilizando a equação 15 com base na altitude do local, sendo obtido o valor de 92,93 kPa. Já a equação 16 estimou a pressão atmosférica média diária através de medições efetuadas pelo barógrafo e barômetro.

A equação 15 não reproduz as oscilações ocorridas na pressão atmosférica.

$$P_{atm2} = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065 Z}{293} \right)^{5,26} \quad (15)$$

P_{atm2} = pressão atmosférica (kPa)

Z = altitude do local, corresponde a 733 m

$$P_{atm} = \frac{P_{atm,7} + P_{atm,10} + P_{atm,16} + P_{atm,22}}{4} \quad (16)$$

P_{atm} = pressão atmosférica (kPa)

$P_{atm,7}$ = pressão atmosférica às 7:00 da manhã, medida pelo barômetro (kPa)

$P_{atm,10}$ = pressão atmosférica às 10:00 da manhã, medida pelo barógrafo (kPa)

$P_{atm,16}$ = pressão atmosférica às 16:00 da tarde, medida pelo barógrafo (kPa)

$P_{atm,22}$ = pressão atmosférica às 22:00 da noite, medida pelo barógrafo (kPa)

O coeficiente psicrométrico é estimado através da equação 17.

$$\gamma = \frac{C_p P_{atm}}{\varepsilon \lambda} \quad (17)$$

γ = coeficiente psicrométrico (kPa.°C⁻¹)

$C_p = 1,013 \times 10^{-3}$ (MJ.Kg⁻¹.°C⁻¹) calor específico à pressão constante

P_{atm} = pressão atmosférica (kPa)

$\varepsilon = 0,622$ é a relação entre o peso molecular do vapor d'água e do ar seco

$\lambda = 2,45 \times 10^{-3}$ (MJ.Kg⁻¹) calor latente de evaporação da água

Nesta metodologia adotaram-se dois procedimentos relacionados à velocidade do vento. Um deles utilizando valores obtidos com auxílio de um anemômetro conchas instalado à 2,0 m de altura do solo e outro através da equação 18.

$$U_2 = U_{10} \frac{4,87}{\ln(67,8 z - 5,42)} \quad (18)$$

U_2 = velocidade do vento estimada à 2,0 m da superfície (m.s^{-1})

$z = 10$ (m) altura de medição sobre a superfície

U_{10} = velocidade do vento medida a 10,0 m da superfície (m.s^{-1}) através do anemógrafo

O saldo de radiação (R_n) pode ser medido ou estimado através da equação 19.

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (19)$$

Sendo, R_{ns} , o saldo de radiação de ondas curtas e R_{nl} , o saldo de radiação de ondas longas.

R_{ns} é dado pela equação 20.

$$R_{ns} = (1 - r) \cdot R_s \quad (20)$$

Sendo r é o albedo ou coeficiente de reflexão, cujo valor recomendado em literatura para cultura padrão (grama batatais) é 0,23, e R_s é a radiação solar global que pode ser medida em superfície ou estimada através da equação 21.

$$R_s = \left(a_s + b_s \cdot \frac{n}{N} \right) \cdot R_a \quad (21)$$

a_s e b_s são constantes de valores 0,25 e 0,50, respectivamente, a soma dessas constantes corresponde à transmissividade atmosférica, n é a insolação diária ou duração do brilho solar, obtido através do heliógrafo e N são as horas de fotoperíodo.

Nesta metodologia para os dias de 2010 em que houve ausência de nebulosidade, a razão de insolação ($n \cdot N^{-1}$) é igual à 1,0 e a partir desses registros obteve-se o valor médio de 0,85 para a soma de $a_s + b_s$, utilizando em conjunto valores de radiação solar global (R_s) medidos pelo actinógrafo e radiação solar no topo da atmosfera (R_a) calculada através da equação 25.

As horas de fotoperíodo (N) são obtidas através da equação 22.

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (22)$$

ω_s é o ângulo horário do pôr do sol, em radianos, estimado pela equação 23.

$$\omega_s = \arccos[-tg(\varphi).tg(\delta)] \quad (23)$$

Assim φ é a latitude do local em radianos e δ a declinação solar também em radianos, obtida através da equação 24:

$$\delta = 0,4093 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot J - 1,39\right) \quad (24)$$

J é a ordem dos dias no ano.

A radiação solar no topo da atmosfera (R_a) em MJ.m⁻².d⁻¹ é obtida através da equação 25.

$$R_a = \frac{24 \cdot (60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s)] \quad (25)$$

G_{sc} a constante solar igual a 0,0820 MJ.m⁻².min⁻¹

d_r é a distancia relativa do sol a Terra em radianos, cuja expressão é dada pela equação 26.

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{365} J\right) \quad (26)$$

O saldo de radiação de ondas longas (R_{nl}) é calculado com auxilio da equação 27.

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{(T_{máx} + 273,16)^4 + (T_{mín} + 273,16)^4}{2} \right] \cdot (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \cdot \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (27)$$

R_{nl} é o saldo de radiação de ondas longas (MJ.m⁻².dia⁻¹)

σ é a constante de Stefan-Boltzmann com o valor de 4,903x10⁻⁹ (MJ.K⁻⁴.m⁻².dia⁻¹)

$T_{máx}$ é a temperatura máxima registrada pelo termômetro de máxima (°C)

$T_{mín}$ é a temperatura mínima registrada pelo termômetro de mínima (°C)

e_a é a pressão parcial de vapor (kPa)

R_s é a radiação solar na superfície (MJ.m⁻².dia⁻¹) pode ser medida através de actinógrafo ou piranômetro como também estimada calculada pela equação 28

$$R_s = \left(a_s + b_s \cdot \frac{n}{N} \right) \cdot R_a \quad (28)$$

R_{so} é a radiação solar, quando $n.N^{-1}$ é igual a 1,0 e foi calculada através das equações 29 e 30.

$$R_{so} = 0,85 \cdot R_a \quad (29)$$

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot Z) R_a \quad (30)$$

Z = altitude do local, corresponde a 733 m

O fluxo de calor no solo (G) pode ser considerado nulo para períodos diários conforme recomendação do boletim da FAO-56.

Testaram-se duas formas de cálculo da ET_o por Penman-Monteith, variando as medições de velocidade do vento às alturas de 2,0 m e 10,0 m, bem como a pressão atmosférica (P_{atm}) estimada por equação e medida por aparelhos. A radiação solar em superfície (R_s) e radiação solar (R_{so}) também foram estimadas por roteiros de calculo e medidas com auxilio do actinógrafo. A pressão parcial de vapor (e_a) foi determinada através de valores de umidade relativa média (UR_{med}), máxima ($UR_{máx}$) e mínima ($UR_{mín}$).

A ET_oM corresponde a ET_o sendo a radiação solar global em superfície (R_s) medida pelo actinógrafo, a radiação solar quando $n.N^{-1}$ estimada por $R_{so}=0,85.R_a$, a velocidade do vento à 2,0 m de altura registrada por anemômetro, a pressão atmosférica (P_{atm}) registrada por barômetro e barógrafo e a pressão parcial de vapor (e_a) obtida através de valores de umidade relativa máxima ($UR_{máx}$) e mínima ($UR_{mín}$).

A ET_oE corresponde a ET_o sendo a radiação solar global em superfície (R_s) estimada por roteiro de calculo, a radiação solar quando $n.N^{-1}$ estimada por $R_{so}=(0,75+2 \times 10^{-5} Z) R_a$, a velocidade do vento medida à 10,0 m de altura e transportada através de equação para a altura de 2,0 m, a pressão atmosférica (P_{atm2}) estimada por equação e a pressão parcial de vapor (e_a) obtida através de valores de umidade relativa média (UR_{med}).

A Tabela 4.7 descreve as diferenças entre a *EToM* e *EToE*.

Tabela 4.7 Diferentes métodos empregados para obtenção de variáveis meteorológicas necessárias à equação de Penman-Monteith FAO-56 para determinação da evapotranspiração de referência

Variável Meteorológica	Diferenças entre as duas formas de cálculo para obter a Evapotranspiração de Referência (mm.dia ⁻¹)	
	<i>EToM</i>	<i>EToE</i>
Radiação Solar Global (R_s)	Actinógrafo	$R_s = \left(a_s + b_s \cdot \frac{n}{N}\right) \cdot R_a$ Equação 28
Radiação Solar na ausência de nebulosidade $n \cdot N^{-1} = 1$ (R_{so})	$R_{so} = 0,85 \cdot R_a$ Equação 29	$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot Z) R_a$ Equação 30
Pressão Parcial de Vapor (e_a)	$e_a = \frac{e^o(T_{\min}) \frac{UR_{\max}}{100} + e^o(T_{\max}) \frac{UR_{\min}}{100}}{2}$ Equação 12	$e_a = e_s \left(\frac{UR_{med}}{100}\right)$ Equação 13
Velocidade do Vento (U)	Anemômetro conchas à 2,0 m de altura do solo	$U_2 = U_{10} \frac{4,87}{\ln(67,8 z - 5,42)}$ Equação 18
Pressão Atmosférica (P_{atm})	Barógrafo e Barômetro Equação 16	$P_{atm2} = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065 Z}{293}\right)^{5,26}$ Equação 15

4.14 Tanque Classe A e tanque Padrão (20 m²)

A evaporação de uma superfície livre de água foi estimada com o *tenc* e também com auxílio de um tanque Classe A e um tanque Padrão (20 m²).

OMETTO (1981) descreve as características do tanque Classe A:

Tanque circular, 1,20 m de diâmetro por 0,25 m de altura, construído de chapa galvanizada nº22. É assentado no solo sobre um estrado de caibros de 0,10 x 0,05 x 1,24 m, nivelado sobre o terreno, com os vãos cheios de terra.

O tanque é cheio de água pura até 5 cm de borda superior. O nível mínimo de medida permitido é de 7,5 cm a partir da borda, ou seja, a cada 25 mm (2,5 cm) de evaporação devemos restaurar o volume. A variação de nível é medida com auxílio de um parafuso micrométrico, que trabalha com uma ponta de medida tipo gancho assentada em cima de um poço tranquilizador devidamente nivelado, sendo a precisão de medida cerca de 0,02 mm. A leitura de nível é realizada todos os dias às 7:00 horas da manhã e a diferença de duas leituras consecutivas dá o valor de evaporação.

A Figura 4.38 e Figura 4.39 ilustram o tanque Classe A e seus componentes.

Figura 4.38 Desenho do tanque Classe A, poço tranquilizador, parafuso micrométrico em forma de gancho e estrado de madeira (ASSIS, 1978)

Figura 4.39 Tanque Classe A, estrado de madeira, poço tranquilizador e parafuso micrométrico em forma de gancho

No trabalho de Sleight (1917) citado por Pereira; Nova e Sediya (1997) o autor analisou resultados de evaporação através de tanques enterrados, em Denver, Colorado, EUA e concluiu que a evaporação ocorrida em um tanque de 20 m^2 pode ser tomada como representativa de um lago.

Pereira; Nova e Sediya (1997) citam as características do tanque Padrão a seguir:

O tanque Padrão é um tanque cilíndrico, com 5 m de diâmetro, 2 m de profundidade, resultando numa superfície de evaporação igual a 20 m^2 . O fundo é plano, construído de chapa de ferro de $\frac{1}{4}$ " de espessura, e parede lateral de $\frac{3}{16}$ ". O tanque é enterrado, deixando-se uma borda de 0,075 m acima do solo, sendo pintado internamente de branco. As medidas são feitas num poço tranquilizador que se comunica com a água do tanque através de um tubo de $\frac{3}{4}$ " de diâmetro, cuja extremidade se localiza no fundo do tanque, para minimizar a agitação da água pelos ventos.

A variação de nível no tanque Padrão é medida com auxílio de um parafuso micrométrico, que possui uma ponta de medida tipo gancho assentada em cima de um poço tranquilizador devidamente nivelado e fixado na parede lateral do tanque, sendo a precisão de medida cerca de 0,02 mm. A leitura de nível é realizada todos os dias às 7:00 horas da manhã e a diferença de duas leituras consecutivas dá o valor de evaporação. A Figura 4.40 ilustra o tanque Padrão (20 m²).

Figura 4.40 Conjunto de tanques 20 m² (Padrão) localizado na Estação Climatológica do CRHEA em Itirapina - SP

A determinação da lamina de água evaporada (EV_A) no tanque Classe A e no tanque Padrão (EV_{20}) são calculadas com auxílio da equação 31.

$$EV_A = L_I + P - L_F \quad (31)$$

EV_A é a evaporação obtida no tanque Classe A ou tanque Padrão (mm)

L_I é a leitura inicial no parafuso micrométrico (mm)

P é a precipitação ocorrida no período considerado (mm)

L_F é a leitura final no parafuso micrométrico (mm)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Período de coleta de dados

Os dados obtidos nos lisímetros, tanque de evaporação e Estação Climatológica foram coletados durante o período de 7 meses (início em 14/10/2010 e término em 14/05/2011).

O período com a maior incidência pluviométrica na região abrange os meses de outubro até abril. A precipitação acumulada nos meses de outubro a maio em ordem decrescente pode ser observada nos dados pluviométricos desde 1971 (Figura 5.1).

Figura 5.1 Precipitação entre os meses de outubro à maio, desde 1971, na Estação Climatológica do CRHEA

Na Figura 5.1 observa-se que a maior precipitação no período analisado ocorreu de outubro/1982 a maio/1983 com um total de 2140,7 mm e a menor no período de outubro/1999 a maio/2000. No período analisado nesse trabalho (outubro/2010 a maio/2011) observou-se um total pluviométrico de 1702,9 mm sendo um dos maiores desde 1971.

Na Tabela 5.1 encontra-se descrita a precipitação acumulada. O total precipitado (1702,9 mm) entre os meses de outubro/2010 a maio/2011 foi o quinto maior observado desde 01 de junho de 1971, data em que se iniciaram as medições pluviométricas na estação do CRHEA.

Tabela 5.1 Totais pluviométricos observados durante o período de outubro à maio desde 1971 até 2011

out/1982 à mai/1983	2140,7	out/2003 à mai/2004	1268,5
out/1994 à mai/1995	1751,6	out/2002 à mai/2003	1252,6
out/1975 à mai/1976	1745	out/1989 à mai/1990	1249,1
out/1981 à mai/1982	1738,6	out/2007 à mai/2008	1242,4
out/2010 à mai/2011	1702,9	out/1992 à mai/1993	1238,8
out/1977 à mai/1978	1686,5	out/1971 à mai/1972	1230,4
out/2001 à mai/2002	1584,4	out/1984 à mai/1985	1203
out/1973 à mai/1974	1573,4	out/1986 à mai/1987	1201,8
out/1976 à mai/1977	1519,8	out/1987 à mai/1988	1198,2
out/2000 à mai/2001	1506,3	out/1996 à mai/1997	1188,8
out/2006 à mai/2007	1481,1	out/1972 à mai/1973	1179,5
out/1995 à mai/1996	1477,8	out/2008 à mai/2009	1143,1
out/1990 à mai/1991	1450,5	out/1974 à mai/1975	1114
out/2009 à mai/2010	1406	out/1979 à mai/1980	1098,3
out/1997 à mai/1998	1391,1	out/1983 à mai/1984	1078,6
out/1980 à mai/1981	1359,9	out/2005 à mai/2006	1056,8
out/2004 à mai/2005	1345	out/1985 à mai/1986	1025,3
out/1978 à mai/1979	1341,8	out/1993 à mai/1994	1018,1
out/1998 à mai/1999	1330,9	out/1988 à mai/1989	973,9
out/1991 à mai/1992	1282,3	out/1999 à mai/2000	889,8

5.2 Consumo de água nos dispositivos de monitoramento

5.2.1 Lisímetro com solo argiloso (*Lis-arg*)

Durante o período de estudo o *lis-arg* apresentou um excelente aproveitamento hídrico da água oriunda das precipitações, não exigindo reposições de água no reservatório. Isso demonstra a grande capacidade de retenção de água pelo solo argiloso. Este comportamento pode ser observado através da Figura 5.2 que apresenta a variação do nível dentro do reservatório. O período de análise compreendeu a época chuvosa na região, podendo isto ser verificado no alto índice de pluviosidade observada nos meses de outubro a abril, sendo que durante esta época não se observa grandes períodos de estiagem, acima de sete dias seguidos sem chuva.

Figura 5.2 Precipitação e nível de água no reservatório que supre de água o lisímetro com solo argiloso no período de 14/10/2010 à 14/05/2011

Os valores de nível obtidos com o sensor MSR145 foram corrigidos a partir de 05/11/2010 com dados de pressão fornecidos pelo BaroDiver instalado na parte superior do reservatório que supre de água o *lis-aren-nv*.

Na Figura 5.2 a reta que descreve o nível de água apresenta baixa declividade. No início de março/2011 foi retirado um volume de água do reservatório para a instalação do equipamento de monitoramento de nível, boia e contra peso (Floater SEBA). Os dados de nível de água obtidos através dos sensores de pressão e temperatura apresentaram uma boa concordância com aqueles obtidos manualmente por um observador.

O reservatório que alimenta o *lis-arg* não apresentou variação no nível de água em seu interior durante o período de análise. Sendo assim não foi necessário realizar reposições periódicas de água no reservatório. Portanto reposição diária ou a irrigação necessária para manter o nível de água constante no interior do lisímetro em mm.dia^{-1} foi nula. A reposição diária ou a irrigação é obtida a partir do volume de água perdido no reservatório dividido pela superfície evaporante do lisímetro.

O crescimento da grama batatais que cobre a superfície evaporante do lisímetro foi registrado através de uma série de imagens representadas na Figura 5.3.

Figura 5.3 Superfície evaporante do lisímetro com solo argiloso no período de 21/10/2010 a 13/05/2011

A grama batatais não apresentou uma boa adaptação ao solo argiloso, sendo observada a existência de espaços descobertos de vegetação na superfície do lisímetro e um desenvolvimento foliar não satisfatório, resultando uma grama rala e sem a necessidade de corte periódica, mesmo com irrigações frequente devida às chuvas.

O fraco desenvolvimento da vegetação na superfície do *lis-arg*, resultou em baixas taxas de evapotranspiração. Essas taxas aliadas a características físicas do solo e ao fornecimento de água através das precipitações frequentes regulam o estoque de água no solo. Assim essa quantidade de água no interior do *lis-arg* não diminuiu até acionar a torneira de boia, para realizar a reposição hídrica proveniente dos reservatórios externos visando manter o nível constante.

5.2.2 Lisímetro com solo arenoso (*lis-aren*)

O *lis-aren* apresentou comportamento diferente do *lis-arg*, sendo necessária a reposição de água no reservatório para manter o nível constante durante o período estudado (Figura 5.4).

O período de análise dos dados referente ao *lis-aren* encerrou-se no dia 05/05/2011, quando foram verificados problemas na torneira de boia.

Figura 5.4 Precipitação e nível de água no reservatório que supre de água o lisímetro com solo arenoso coberto por grama batatais no período de 14/10/2010 à 05/05/2011

Na Figura 5.4, os picos representam o momento que houve a reposição de água no reservatório. As linhas descendentes representam o decaimento do nível de água dentro do reservatório, ocasionado pela liberação de água na torneira de boia, através desse processo repõe-se a água perdida por evapotranspiração no lisímetro, mantendo o nível de água constante. Os dados de nível de água obtidos através dos sensores de pressão e temperatura apresentaram uma boa concordância com aqueles obtidos manualmente por um observador.

Como o *lis-aren* exigiu reposições periódicas de água no reservatório e também foi observado um decaimento acentuado do nível, assim foi calculada a reposição para a manutenção do nível de água. Essa reposição foi obtida a partir do volume de água perdido no reservatório, dividido pela superfície evaporante do lisímetro, com unidade em mm.dia^{-1} . A Figura 5.5 ilustra a reposição de água com a precipitação.

Figura 5.5 Precipitação e reposição de água aplicada ao *lis-aren* durante o período de 14/10/2010 à 05/05/2011

O *lis-aren* durante o período analisado (14/10/2010 a 05/05/2011) apresentou uma reposição hídrica superior a zero e inferior a $2,0 \text{ mm.dia}^{-1}$ para se manter o nível constante de água em seu interior, isso pode ser visto na Figura 5.5. Esse resultado indica que o *lis-aren* apresentou uma maior demanda hídrica quando comparado com o *lis-arg*.

Essa reposição de água não é a evapotranspiração real ocorrida no *lis-aren*, e sim uma irrigação diária de água influenciada pela evapotranspiração, esta que por sua vez, depende dos estoques de água no solo. Esse armazenamento de água é função das características físicas do solo aliada a ocorrência de precipitações.

O crescimento da grama batatais que cobre a superfície evaporante do *lis-aren* foi registrado através de uma série de imagens representadas na Figura 5.6.

Figura 5.6 Superfície evaporante do *lis-aren* no período de 14/10/2010 a 13/05/2011

A grama batatais teve uma boa adaptação ao solo arenoso, cobrindo de maneira uniforme toda a superfície evaporante um mês após o plantio e apresentou um desenvolvimento satisfatório, necessitando de cortes periódicos. A ocorrência com frequência das chuvas na época de estudo em conjunto com as características do solo contribuíram de maneira fundamental para o desenvolvimento da vegetação.

A vegetação do *lis-arg* teve um baixo desenvolvimento em comparação com o *lis-aren*, isto é devido a falta de nutrientes no solo argiloso. A extração deste solo foi feita pela mineradora, sendo assim a mesma descartou o horizonte superficial do solo, rico em matéria orgânica, para aproveitar a argila, restando um solo estéril. Já a camada superficial do solo arenoso foi retirada em campo e mantida no *lis-aren*.

5.2.3 Lisímetro com solo arenoso e sem cobertura vegetal (*lis-aren-nv*)

O *lis-aren-nv* foi manejado sem cobertura vegetal na superfície evaporante. A análise dos dados provenientes desse lisímetro iniciou-se apenas no dia 25/01/2011, pois o lisímetro apresentava vazamentos na tubulação de alimentação e caixa do sistema de drenagem. Foram analisados dados coletados até 14/05/2011.

A variação do nível dentro do reservatório que alimenta o *lis-aren-nv* com as reposições de água está detalhada na Figura 5.7.

Figura 5.7 Precipitação e nível de água no reservatório que abastece o *lis-aren-nv* no período de 25/01/2011 à 14/05/2011

A Figura 5.7 apresenta os três instantes que o reservatório foi abastecido com água, representado pelos picos no gráfico e mostra o decaimento do nível, devido à evaporação ocorrida na superfície exposta do lisímetro. Os dados de nível de água obtidos através dos sensores de pressão e temperatura apresentaram uma boa concordância com aqueles obtidos manualmente por um observador.

Para o *lis-aren-nv*, também foi calculada a reposição para a manutenção do nível de água na caixa principal do lisímetro. Essa reposição foi obtida a partir do volume de água perdido no reservatório, dividido pela superfície evaporante do lisímetro, com unidade em mm.dia^{-1} .

Figura 5.8 Precipitação (mm) e reposição de água (mm.dia⁻¹) no *lis-aren-nv* no período de 25/01/2011 à 14/05/2011

As taxas de reposição hídrica no *lis-aren-nv* não atingiram valores superiores a 1,4 mm.dia⁻¹ como pode ser observado na Figura 5.8. A Figura 5.9 ilustra a reposição hídrica acumulada por período de 10 dias para os lisímetros com solos arenosos idênticos, pode se observar que a reposição acumulada do *lis-aren-nv* é inferior ao *lis-aren* embora o primeiro possua uma área superficial 0,82 m² maior. A ausência de vegetação na superfície do *lis-aren-nv* é um fator que contribuiu para o resultado observado.

Figura 5.9 Reposição acumulada (mm) a cada 10 dias para o lis-aren e lis-aren-nv

A superfície evaporante do *lis-aren-nv* em alguns períodos apresentou plantas indesejadas e formigueiros, sendo removidos da superfície (Figura 5.10).

Figura 5.10 *Lis-aren-nv* nos dias 27/01/2011 e 13/05/2011

5.2.4 Tanque de evaporação (*tenc*)

A evaporação de uma superfície líquida foi medida com auxílio de um tanque de evaporação com estrutura idêntica ao *lis-arg* e *lis-aren*, submetido as mesmas condições meteorológicas. A variação temporal do nível de água e as reposições dentro do reservatório que abastece e mantém o nível no *tenc* podem ser observadas através na Figura 5.11.

Figura 5.11 Precipitação e flutuações do nível de água dentro do reservatório que alimenta o *tenc*

A Figura 5.11 mostra a boa concordância entre os dados de nível obtidos manualmente e através do sensor de pressão e temperatura (MSR145). Pode-se notar que para diminuir a frequência de abastecimento houve uma mudança para um reservatório com capacidade de 358 litros ao invés de 90 litros.

A reposição no *tenc* foi processada em termos diários para efetuar a comparação com os tanques Classe A, Padrão (20 m^2) e com os lisímetros. A reposição foi definida como volume de água perdido no reservatório, dividido pela superfície evaporante do tanque, com unidade em mm.dia^{-1} (Figura 5.12).

Figura 5.12 Precipitação e reposição observadas no tanque de evaporação no período de 14/10/2010 à 14/05/2011

Na Figura 5.12 observam-se períodos com altas precipitações em dias seguidos (02/01/2011 a 14/01/2011 e 26/02/2011 a 08/03/2011) durante esses dias as condições meteorológicas não favoreceram a evaporação. Sendo que a partir do dia 02 até o dia 04 de janeiro a reposição foi abaixo de $1,0 \text{ mm.dia}^{-1}$. Para o período 02 a 07 de março a reposição diária foi inferior a $0,3 \text{ mm}$.

Essa pequena taxa de reposição nos primeiros dias de março foi devida a união da elevada umidade relativa do ar com a ausência de insolação e aos pequenos índices de radiação solar global.

A Figura 5.13 ilustra o gráfico do termohigrógrafo durante o período de 28/02/2011 a 06/03/2011. A umidade relativa média diária para esses dias não atingiu valores inferiores a 89% sendo que a temperatura média diária não superou os 20°C , com exceção do dia 28.

Os três menores valores de radiação solar na superfície foram registrados nesse período, esses índices podem ser observados na Figura 5.14.

Figura 5.13 Gráfico do termohigrógrafo com a oscilação da temperatura (°C) e umidade relativa (%) entre os dias 28/02/2011 a 06/03/2011

Figura 5.14 Gráfico do actinógrafo com a oscilação da radiação solar na superfície ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$) entre os dias 28/02/2011 a 06/03/2011

Na Tabela 5.2 está descrito os valores de radiação solar na superfície e insolação. No dia 03/03 ocorreu o menor valor de radiação dentre os registros analisados. No período de 28/02 até 05/03 não houve brilho solar, esses dias foram completamente nublados e chuvosos.

Tabela 5.2 Radiação solar na superfície e duração do brilho solar (insolação) no período de 28/02/2011 a 08/03/2011

Data	Radiação Solar na Superfície ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}$)	Duração do Brilho Solar (horas)
28/02/2011	109,25	0,00
01/03/2011	121,28	
02/03/2011	130,79	
03/03/2011	83,23	
04/03/2011	130,79	
05/03/2011	96,31	0,25
06/03/2011	268,72	
07/03/2011	296,66	
08/03/2011	242,56	

A Figura 5.15 ilustra a superfície evaporante do tanque de evaporação nos dias 14/10/2010, 28/10/2010, 04/02/2011 e 13/05/2011.

Figura 5.15 Superfície líquida livre do tanque de evaporação

5.3 Sistema de drenagem

O sistema de drenagem na forma de “espinha de peixe” foi montado para cobrir toda a área ao fundo da caixa do *lis-arg* e *lis-aren* para proporcionar uma maior rapidez na drenagem da água.

A precipitação incidente na superfície do *tenc* que foi capaz de elevar o nível de água na caixa do sistema de drenagem e gerar escoamento dentro das tulipas até o tanque coletor graduado, foi armazenada temporariamente para quantificação.

Após um evento chuvoso capaz de gerar escoamento vertical, verificou-se que a infiltração no solo e o fluxo de água pelo sistema de drenagem continuaram ocorrendo por algum tempo, sendo maior ou menor, em função da intensidade da precipitação e da umidade atual do solo. Já para o *tenc* assim que a precipitação encerrava o escoamento no sistema de drenagem também terminava.

A Figura 5.16 e Figura 5.17 representam o volume drenado em litros, normalizado pela área da superfície evaporante, e a precipitação nos lisímetros e *tenc*.

Figura 5.16 Precipitação e drenagem acumulada nos lisímetros e tanque de evaporação durante o período de 08/11/2010 à 14/05/2011. A linha indicativa do acumulado no *lis-arg* foi sobreposta pela linha do *lis-aren*

Figura 5.17 Precipitação e drenagem acumulada no lisímetro com solo arenoso e sem cobertura vegetal durante o período de 07/02/2011 à 14/05/2011

A Figura 5.17 representa a drenagem observada no *lis-aren-nv*. Foi observado que os volumes drenados se aproximaram significativamente da precipitação acumulada durante o período de estudo. Isto ocorreu devido a problemas de estanqueidade na caixa do sistema de drenagem que proporcionou uma liberação excessiva de água para o tanque coletor, havendo assim uma superestimação da drenagem.

Os lisímetros (*lis-arg* e *lis-aren*) apresentaram drenagem acumulada semelhante, como pode ser observado pela sobreposição das linhas no gráfico. O valor acumulado para o *lis-arg* é 1155,9 mm e para o *lis-aren* é 1156,9 mm, enquanto que a precipitação total foi de 1628,4 mm. Isso indica que a umidade do solo argiloso esteve próxima do ponto de saturação durante o período de estudo, drenando volumes de água na mesma proporção que o solo arenoso.

A drenagem acumulada do *tenc* segue a tendência da precipitação acumulada até o dia 05/01/2011. A partir desse dia, a linha representando a drenagem acumulada do *tenc* não atinge mais o patamar da precipitação acumulada, devido ao transbordamento dos tanques coletores ocasionado pelas precipitações frequentes nos primeiros dias de janeiro.

No dia 02/01/2011 ocorreu a máxima precipitação observada na Estação Climatológica do CRHEA totalizando 158,4 mm de chuva em 24 horas. Este fato causou o transbordamento do tanque coletor graduado do sistema de drenagem. A água coletada no sistema de drenagem do *lis-arg*, não apresentou turbidez em nenhum evento chuvoso, sendo transparente, indicando a ausência de grandes quantidades de sólidos dissolvidos ou em suspensão (Figura 5.18).

Figura 5.18 Água acumulada no tanque coletor graduado do *lis-arg*, não apresentando turbidez. A água drenada pelo *lis-aren* apresentou turbidez.

A drenagem do *lis-aren* durante as primeiras precipitações apresentou turbidez, como pode ser observada na Figura 5.18. Esta turbidez foi causada por partículas de argila contida no solo arenoso que atravessaram a manta geotêxtil juntamente com o percolado.

5.4 Evapotranspiração de referência (ET_oM e ET_oE)

Visando analisar a perda de água em uma situação hipotética como, por exemplo, em um gramado verde, de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo, e sem falta de água, foi obtida a ET_o através do método de Penman-Monteith. Os valores de ET_o serviram para comparar com os valores de água consumida nos lisímetros e *tenc*. As variações da ET_o diária é mostrada na Figura 5.19.

Figura 5.19 Evapotranspiração de referência e precipitação diária para o período de 14/10/2010 a 14/05/2011. A ET_{0M} é aquela obtida com os métodos mais recomendados pela FAO-56, sendo que a radiação solar global, a velocidade do vento a 2,0 m e a umidade relativa do ar foram registradas pela instrumentação adequada, enquanto que ET_{0E} foi calculada utilizando os métodos menos recomendados pela FAO-56, com a radiação solar global e a velocidade do vento a 2,0 m estimadas por equações.

As duas medidas de ET_0 foram adotadas visando verificar diferenças nos valores e métodos de cálculo evapotranspiração.

No período de outubro à março, os valores de ET_{0E} em geral foram inferiores aos de ET_{0M} . Exceção ocorre, por exemplo, nos primeiros dias de março. A partir de abril verifica-se uma tendência inversa a esse processo, sendo os valores de ET_{0E} superiores. A diferença entre os valores observados de ET_0 , é explicada pelos métodos adotados para obtenção da radiação solar na superfície (R_s) e velocidade do vento (U). Essas variáveis meteorológicas em conjunto com a umidade relativa do ar influenciam diretamente a evapotranspiração.

Figura 5.20 Radiação solar na superfície estimada por equação, medida através do actinógrafo e a diferença entre os valores para o período de 14/10/2010 à 14/05/2011

A Figura 5.20 ilustra a R_s , medida através do actinógrafo e estimada. A partir de março/2011 a diferença entre os valor medidos e estimados se torna negativa, indicando a superestimação do valor estimado em relação ao medido através do aparelho.

A ET_oM foi calculada com R_s medida e registrada pelo actinógrafo. Já a ET_oE a R_{ss} utilizada foi obtida através de equação. A diferença entre os valores de radiação é explicada nas características de cada método, em um deles a R_s é obtida e registrada através de instrumentação adequada, no outro a R_s é calculada com equação baseada na duração do brilho solar, constantes empíricas de transmissividade atmosférica e radiação no topo da atmosfera. A FAO recomenda a utilização desse método apenas quando a radiação solar na superfície não é medida diretamente.

Figura 5.21 Velocidade do vento medida à 2,0 m e obtida por equação com base em medições de velocidade do vento efetuadas à 10,0 m do solo. Essa medição a 2,0 m não é comum em estações meteorológicas e sim a medição à 10,0 conforme recomendação da Organização Meteorológica Mundial.

Na Figura 5.21 observa-se a variação da velocidade do vento (U_2) medida à 2,0 m do solo com auxílio do anemômetro e representada pela cor azul. A cor vermelha indica valores de U_2 obtidos através de equação empírica. Esta equação utiliza valores de velocidade do vento medida à 10,0 m do solo (U_{10}) e transporta-os para a altura de 2,0 m do solo.

O gradiente de velocidade do vento decresce a medida que se aproxima do solo. Devido a essa característica, a velocidade do vento medida a 10,0 m é maior em relação com aquela medida à 2,0 m. Mesmo com o uso dessa equação, U_2 obtido é superior ao U_2 medido com anemômetro, indicando uma superestimação da variável. A FAO recomenda a utilização dessa equação para transportar U apenas quando a variável em questão não é medida diretamente.

5.5 Análise comparativa dos dados referentes aos lisímetros e tanques

Os valores de reposição hídrica no *tenc*, evapotranspiração de referência obtidos através da equação de Penman Monteith FAO-56 e a reposição de água necessária para manter o nível constante dos lisímetros foram processados de forma a obter acumulados durante o período de análise, para avaliar os diferentes comportamentos hídricos dos sistemas durante o período chuvoso.

Figura 5.22 – Reposição hídrica no *tenc*, evapotranspiração de referência estimada por Penman-Monteith FAO e reposição de água para os lisímetros durante o período de 14/10/2010 a 14/05/2011

A Figura 5.22 indica que a *EToM* acumulada apresenta um comportamento muito semelhante à reposição hídrica no *tenc* para a região e período estudados. Embora o *lis-arg* e *lis-aren* foram submetidos as mesmas condições meteorológicas e apresentaram volumes drenados semelhantes, a reposição hídrica nos dois se comportou diferente como pode ser observado no gráfico da Figura 5.22. Essa reposição hídrica diferente para cada lisímetro, embora a precipitação e drenagem sejam semelhantes, indica a interferência das propriedades do solo na evapotranspiração.

Durante o período chuvoso o lisímetro com argila não necessitou de reposições para manter o nível, aproveitando-se exclusivamente do fornecimento de água pelas precipitações. Porém a grama batatais não se adaptou bem ao solo argiloso, não apresentando crescimento satisfatório, quando comparada com o crescimento da grama verificado no lisímetro com solo arenoso.

A reposição hídrica observada no *tenc* foi comparada com a evaporação nos outros tanques instalados na Estação Climatológica, como o tanque Classe A e o tanque Padrão (20 m²), que é o mais indicado para representar a evaporação de lagos (OMETTO, 1981). O gráfico está representado na Figura 5.23.

Figura 5.23 Reposição hídrica no *tenc* e evaporação observada no tanque classe A e tanque Padrão (20 m²) durante o período de 14/10/2010 a 14/05/2011

A evaporação acumulada no tanque Classe A foi a maior entre os tanques, fato este devido a sua própria característica estrutural e de instalação que facilita o aquecimento da água e a evaporação, como por exemplo, com as paredes laterais expostas e sobre a superfície do solo.

O tanque Padrão (20 m²) obteve uma evaporação acumulada inferior ao tanque Classe A e muito próxima aos valores de reposição hídrica observados no *tenc*.

5.6 Balanço hídrico

Uma análise do balanço hídrico nos lisímetros e tanque de evaporação foi efetuado em cinco períodos distintos com início dia 26/01/2011 até 04/05/2011. A Tabela 5.3 descreve esses períodos.

Tabela 5.3 Períodos selecionados para análise do balanço hídrico. As variáveis meteorológicas são expressas em termos médios para o período considerado

Período	Dias	Dias sem precipitação	Temperatura (°C)	Umidade Relativa do Ar (%)	Radiação Solar (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	Duração Brilho Solar (horas)	Velocidade do Vento à 2,0 m (m.s ⁻¹)
1	16	9	24,8	77,0	418,1	7,0	1,9
2	14	4	24,6	76,5	451,3	7,5	2,1
3	19	4	21,7	87,4	259,1	4,3	1,2
4	40	26	23,3	81,9	351,6	5,8	1,5
5	10	7	20,0	81,2	272,2	4,5	1,3

O lisímetro com solo argiloso (*lis-arg*) durante os períodos não necessitou de uma reposição de água, sendo a reposição hídrica desconsiderada para cálculo do balanço hídrico. Os componentes do balanço hídrico (precipitação, drenagem e evapotranspiração com a variação de água no solo) para os períodos analisados podem ser vistos na Figura 5.24.

Figura 5.24 Balanço hídrico no lisímetro com solo argiloso (*lis-arg*)

O período 3 apresentou a maior incidência pluviométrica e consequentemente a maior drenagem. Nesse período observou-se ainda o menor valor para a evapotranspiração em conjunto com a variação de água no solo (EVT+ARM SOLO). Esse valor indica que durante este período o solo argiloso encontrou-se próximo a saturação completa, drenando toda a precipitação, não ocorrendo significativa variação no teor de água no solo e sendo a baixa taxa de evapotranspiração determinada pelas condições meteorológicas não favoráveis e desenvolvimento restrito da grama no solo.

O maior valor de EVT+ARM SOLO foi observado no período 4, pois nesse período foram analisados 40 dias seguidos, devido as precipitações ocorridas, que não cessavam o escoamento para o tanque de coletor.

O balanço hídrico para o lisímetro com solo arenoso (*lis-aren*) é apresentado na Figura 5.25. Reposições hídricas diárias, independentes das precipitações, foram necessárias para manter o nível de água no lisímetro. Devido a este fato o calculo do balanço hídrico, em comparação com o *lis-arg*, foi feito utilizando a reposição além da precipitação e drenagem.

Figura 5.25 Balanço hídrico no lisímetro com solo arenoso (*lis-aren*)

A drenagem do *lis-aren* foi inferior a do *lis-arg*, e essa diferença não foi superior a 10 mm. A união da reposição nula para o *lis-arg* com valores de drenagem próximos ao *lis-aren*, contribui no balanço hídrico para que os índices de EVT + ARM SOLO do *lis-arg* fossem inferiores ao *lis-aren*.

Na Figura 5.26 o balanço hídrico aplicado ao *tenc* é ilustrado. A precipitação é a mesma dos lisímetros, sendo que os valores representando a drenagem e reposição foram maiores em comparação com os lisímetros.

Figura 5.26 Balanco hídrico no tanque de evaporação (*tenc*)

A evaporação obtida no *tenc* foi comparada com os tanques Classe A e Padrão. Os valores estão representados na Figura 5.27.

Figura 5.27 Evaporação nos tanques

O tanque Classe A apresentou os maiores valores de evaporação, com exceção do período 1. Em períodos chuvosos é comum ocorrer o transbordamento dos tanques Classe A e Padrão devido a não retirada da água e ajuste do parafuso micrométrico. Sendo assim não se obtém o registro da evaporação em dias que isso ocorre.

Com base nos valores de evaporação dos tanques têm-se os coeficientes de correlação apresentados Tabela 5.4.

Tabela 5.4 Coeficiente de correlação entre a evaporação observada nos tanques

Período	Tenc/Padrão	Tenc/Classe A	Padrão/Classe A
1	1,22	1,02	0,83
2	1,05	0,85	0,80
3	1,01	0,73	0,71
4	1,09	0,86	0,91
5	1,06	1,06	1,0

Na Figura 5.28 é apresentada em milímetros a evaporação medida no *tenc* em conjunto com a evapotranspiração e variação de água nos solos dos lisímetros.

Figura 5.28 Precipitação, evaporação no *tenc* e evapotranspiração com a variação de armazenamento de água no solo dos lisímetros

Como pode ser observado na Figura 5.28, através dos índices de precipitação, os períodos foram analisados em estação chuvosa na região. O balanço hídrico aplicado aos sistemas analisados indica que um tanque repleto de água perde mais água para atmosfera em comparação com a evapotranspiração de superfícies vegetadas (grama) em diferentes tipos de solo. Dependendo do período, do tipo e condição do solo a evaporação pode ser mais que o dobro da quantidade de água utilizada para satisfazer a evapotranspiração e alterar o grau de umidade do solo. Isso pode ser verificado nos períodos 1 e 3 da Figura 5.28.

6 CONCLUSÕES

As superfícies vegetadas em solo argiloso apresentaram um baixo desenvolvimento da grama, sendo possível dispensar a reposição hídrica durante os meses de outubro a maio. As superfícies vegetadas em solo arenoso necessitaram de reposição de água frequente mesmo durante o período chuvoso na região.

Dessa forma o sistema com solo argiloso quando substituído por um espelho de água, ocasiona uma alteração maior no regime hídrico em períodos chuvosos da região quando comparado com aquele sistema com solo arenoso, isto porque o solo argiloso consegue manter o nível constante, sem a adição de água das precipitações, por um período maior em comparação com o solo arenoso, este período é suficiente para tolerar os intervalos sem chuva durante os meses de alta pluviosidade na região que se estende de outubro a maio.

Para cada 1 m² de superfície livre criada, em substituição à um solo argiloso vegetado, haverá um aumento de 237 mm de perda de água, durante o período chuvoso. Se a superfície livre estiver substituindo um solo arenoso essa perda será aumentada para 200 mm por m².

6.1 Recomendações para trabalhos futuros

Para analisar melhor a perda de água em superfície vegetada nos lisímetros recomenda-se a utilização de equipamento para monitorar a umidade do solo no interior das caixas principais de cada lisímetro, visando assim obter a evapotranspiração real ocorrida no lisímetro e o perfil de umidade do solo.

Uma recomendação é que seja avaliada a perda de água nas superfícies vegetadas e espelhos d'água durante os meses de maio a setembro, pois nesses meses a pluviosidade incidente na região apresenta os menores valores.

Para evitar falhas nos dados de evaporação no tanque Classe A, devido a precipitações intensas, recomenda-se a utilização desse mesmo tanque com nível constante.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. Lysimeters. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, v. 39, n. 1, p. 68, 1982.

ABTEW, W. Lysimeter study of evapotranspiration from a wetland., p. 54-60, 1996.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). **FAO, Rome**, v. 300, 1998.

AMORIM, M. C. **Avaliação da eficácia do lisímetro de lençol freático constante, do tanque classe “A” e do modelo de Penman-Monteith (FAO) para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)**. 56 f. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

ASSIS, F. N. **O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre evapotranspiração medida e estimada**. 74 f. Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP, 1978.

BARRETO, C. E. A. G. **Balanço hídrico em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa**. 249 f. São Carlos, 2006.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual De Irrigação**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2008.

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. 185 f. Tese – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BLACK, T. A. T. Hydraulic Load-Cell Lysimeter, Construction, Calibration, and Tests. **Soil Science Society of America Journal**, v. 32, n. 5, p. 623, 1968. Acesso em: 20/12/2011.

BLANEY, H. F. **Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data**. Slightly rev ed. U.S. Soil Conservation Service, 1952.

BRUNO, I. P. **Balanço hídrico e avaliação da chuva na cultura do cafeeiro** Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-27022007-144258/pt-br.php>>. Acesso em: 20/10/2011.

BRUSCHI, D. M.; PEIXOTO, M. C. D. **Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios - Extração de areia, cascalho e argila - Técnicas e controle ambiental**. Belo Horizonte, 1997.

DIAS, E. G. C. S. **Avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração no Estado de São Paulo: A etapa de acompanhamento**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

DNPM. **Anuário mineral brasileiro parte II – estatística unidades da federação**. 2006.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977.

EDWARD T., L. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. **Agricultural Meteorology**, v. 18, n. 6, p. 409-424, 1977. Acesso em: 20/10/2011.

GALVANI, E. Estudo comparativo dos elementos do Balanço Hídrico Climatológico para duas cidades do Estado de São Paulo e para Paris. (H. Théry & N. A. de Mello, Orgs.) **Confins**, Número 4., , n. 4, 2008. Disponível em: <<http://confins.revues.org/4733>>. Acesso em: 1/8/2011.

GANGOPADHYAYA, M. **Measurements and estimation of evaporation and evapotranspiration**. WMO (Technical Note 83), Geneva, 1966.

GOMES, L. H. **Determinação da recarga profunda na Bacia-Piloto do Ribeirão da Onça em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de balanço hídrico em zona saturada**. 167 f. São Carlos, 2008.

GOOGLE EARTH. Imagem de satélite. 2011.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from ambiente air temperature., , n. America Society Agriculture Engeering, 1985.

IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília, 1990.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. 70. ed. ASCE, 1990.

JOTHITYANGKOON, C.; SIVAPALAN, M.; FARMER, D. L. Process controls of water balance variability in a large semi-arid catchment: downward approach to hydrological model development. **Journal of Hydrology**, v. 254, n. 1-4, p. 174-198, 2001.

MACHADO, R. E. **Desenvolvimento e utilização de um lisímetro para a determinação da evapotranspiração de referência**. 93 f. Sao Carlos, 1996.

MATI, R.; KOTOROVÁ, D.; GOMBOŠ, M.; KANDRA, B. Development of evapotranspiration and water supply of clay-loamy soil on the East Slovak Lowland. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 7, p. 1133-1140, 2011. Acesso em: 20/10/2011.

MCILROY, I. C.; ANGUS, D. E. Grass, water and soil evaporation at Aspendale. **Agricultural Meteorology**, v. 1, n. 3, p. 201-224, 1964. Acesso em: 20/10/2011.

MEDEIROS, P. V. **Análise da evapotranspiração de referência a partir de medidas lisimétricas e ajuste estatístico de estimativas de nove equações empírico-teóricas com base na equação de Penman-Monteith**. 189 f. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MENESCAL, R. A.; PERINI, D. A.; WARREN, M. S. et al. Identificação de reservatórios naturais e artificiais no Brasil. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, n. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.

OLIVEIRA, N. T. DE. **Influência da palha no balanço hídrico em lisímetros** Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/11340>>. Acesso em: 10/10/2011.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981.

ONU. United Nations Millennium Declaration., p. 9, 2000. Acesso em: 30/3/2011.

PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997.

PERUCHI, F. **Evapotranspiração real a partir de medidas lisimétricas e sob diferentes condições de disponibilidade hídrica** Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-12112009-152605/pt-br.php>>. Acesso em: 15/10/2011.

PRUITT, W. O.; ANGUS, D. E. Large weighing lysimeter for measuring evapotranspiration., p. 13-15, 1960.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2. ed. Piracicaba - SP, 1996.

REIS, B. J.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. S.; CATELANI, C. S. Influência das cavas de extração de areia no balanço hídrico do vale do Paraíba do Sul. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 59, n. 4, p. 391-396, 2006. Acesso em: 28/7/2011.

SCHUOL, J.; ABBASPOUR, K. C.; YANG, H.; SRINIVASAN, R.; ZEHNDER, A. J. . Modeling blue and green water availability in Africa. **Water Resour. Res.**, v. 44, p. W07406, 2008.

SEDIYAMA, G. C. **Necessidade de água para os cultivos**. Brasília: ABEAS, 1990.

SENTELHAS, P. . **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática**. 96 f. Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP, 1998.

SILVA, F. C. **Uso de dispositivos lisimétricos para medida da evapotranspiração de referência**. 68 f. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

SLEIGHT, R. . Evaporation from the surfaces of water and river-bed materials., n. 10, p. 209-262, 1917.

TANNER, C. B. L. Radiant Energy Utilized in Evapotranspiration. **Agronomy Journal**, v. 54, n. 3, p. 207, 1962. Acesso em: 20/12/2011.

TANNO, L. .; SINTONI, A. **Mineração & município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais**. São Paulo - SP: IPT, 2003.

THORNTHWAITE, C. . An approach toward a rational classification of climate., v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. .; HARE, F. . **The loss of water to the air Meteorol.** 1965.

THORNTHWAITE, C. .; MATHER, J. . The water balance., p. 104, 1955.

TUCCI, E. . **Hidrologia ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre - RS, 2009.

WANG, E.; YU, Q.; WU, D.; XIA, J. Climate, agricultural production and hydrological balance in the North China Plain. **International Journal of Climatology**, v. 28, n. 14, p. 1959-1970, 2008.

WANG, J.; BRAS, R. L. A model of evapotranspiration based on the theory of maximum entropy production. **Water Resources Research**, v. 47, p. 10 PP., 2011. Acesso em: 19/3/2011.

WESSOLEK, G.; BOHNE, K.; DUIJNISVELD, W.; TRINKS, S. Development of hydro-pedotransfer functions to predict capillary rise and actual evapotranspiration for grassland sites. **Journal of Hydrology**, v. 400, n. 3-4, p. 429-437, 2011. Acesso em: 26/3/2011.

YANG, D.; SHAO, W.; YEH, P. J. . et al. Impact of vegetation coverage on regional water balance in the nonhumid regions of China. **Water Resources Research**, v. 45, n. 7, p. W00A14, 2009.

8 APÊNDICES

8.1 DETALHES DOS LISÍMETROS, TANQUE DE EVAPORAÇÃO E MONTAGEM

8.1.1 Instalação do experimento

8.1.1.1 Montagem estrutural, hidráulica e movimentos de terra

A abertura da vala na Estação Climatológica do CRHEA para instalação dos lisímetros, tanque de evaporação e abrigo subterrâneo foi a primeira etapa a ser realizada e após a sua concretização deu-se início aos trabalhos de implantação das fundações em seguida a confecção das paredes de alvenaria do abrigo e na sequência a instalação do telhado sobre o abrigo subterrâneo (Figura 8.1 e Figura 8.2). A colocação das caixas principais na vala ocorreu após o adensamento da região de contato com a área da base das caixas e disposição de uma camada de areia grossa sobre essa região (Figura 8.3).

Figura 8.1 Início das escavações e abertura da vala

Figura 8.2 Construção do abrigo subterrâneo e montagem do telhado

Figura 8.3 Preparação da base e colocação das caixas principais dos lisímetros e tanque de evaporação

Após a disposição das caixas principais no local adequado foi preenchido os vazios entre as caixas e o abrigo subterrâneo além de coberto com grama batatais as superfícies dos lisímetros e as regiões circunvizinhas (Figura 8.4).

Figura 8.4 Preenchimento dos espaços entre as caixas principais e a parede do abrigo subterrâneo e revestimento com grama batatais

As ligações hidráulicas, montagem das conexões e posicionamento das caixas auxiliares dentro do abrigo foram efetuadas após a implantação dos reservatórios alimentadores externos. Foram realizados testes com água nas tubulações e caixas para verificar a estanqueidade dos sistemas e para ajustar o nível de água nas caixas principais. Após a realização desses testes procedeu-se a implantação do sistema de drenagem ao fundo dos lisímetros. Com o sistema de drenagem ao fundo dos lisímetros já instalados, as caixas principais foram preenchidas com solo arenoso e solo argiloso (Figura 8.5 e Figura 8.6).

Figura 8.5 Montagem das tubulações e testes com água nas caixas auxiliares

Figura 8.6 Implantação dos reservatórios alimentadores dos lisímetros e tanque de evaporação

Grama batatais foi plantada nas superfícies dos lisímetros e também nas áreas circunvizinhas que tiveram a vegetação morta em virtude das escavações. Nos dias seguintes após o plantio realizou-se uma sequência de irrigações superficiais para auxiliar na fixação e desenvolvimento da grama. Com a vegetação desenvolvida e adaptada ao novo local, a irrigação foi suspensa (Figura 8.7).

Um fluxograma com a sequência das atividades desenvolvidas está representado na Figura 8.8.

Figura 8.7 Revestimento das áreas superficiais lisimétricas e regiões vizinhas com grama batatais

Figura 8.8 Fluxograma descrevendo os processos estruturais, hidráulicos e movimentos de terra para montagem do experimento

8.2 TABELAS

Tabela 8.1 Reposição de água nos lisímetros e *tenc* durante o período de 14/10/2010 à 14/05/2011

Data	TENC		LIS-AREN			LIS-AREN-NV	
	MANUAL (mm.dia ⁻¹)	MSR145 (mm.dia ⁻¹)	MSR145 (mm.dia ⁻¹)	MANUAL (mm.dia ⁻¹)	MINIDIVER (mm.dia ⁻¹)	MANUAL (mm.dia ⁻¹)	MINIDIVER (mm.dia ⁻¹)
14/10/2010		1,33	0,82				
15/10/2010		0,92	0,78				
16/10/2010		3,15	1,00				
17/10/2010		3,26	0,90				
18/10/2010		4,81	0,73				
19/10/2010		6,67	0,86				
20/10/2010		5,84	0,95				
21/10/2010		8,32	1,93				
22/10/2010		4,36	1,62				
23/10/2010		1,77	1,46				
24/10/2010		4,04	1,24				
25/10/2010		2,82	1,22				
26/10/2010		6,46	1,43				
27/10/2010		5,23	1,25				
28/10/2010		5,84	0,78				
29/10/2010		6,82	1,54				
30/10/2010	3,96	3,72	0,80				
31/10/2010	1,17	1,24	1,16	1,17			
01/11/2010	1,79	1,64	1,01	1,11			
02/11/2010	4,43	4,48	1,10	1,22			
03/11/2010	3,65	3,94	1,20	0,94			
04/11/2010	4,46	4,22	0,71	0,67			
05/11/2010	2,82	3,94	0,86	0,42			
06/11/2010	2,93	3,12	0,29	0,26			
07/11/2010	4,59	4,52	0,23	0,16			
08/11/2010	6,37	5,16	0,19	0,20			
09/11/2010	2,33	2,61	0,19	0,29			
10/11/2010	6,83	6,59	0,17	0,15			
11/11/2010	8,13	8,87	0,24	0,16			
12/11/2010	3,65	5,31	0,15	0,21			
13/11/2010	6,12	5,29	0,15	0,18			
14/11/2010	2,93		0,23	0,18			
15/11/2010	4,25		0,23	0,28			
16/11/2010	1,08		0,27	0,24			
17/11/2010	4,09		0,22	0,20			
18/11/2010	8,34		0,52	0,50			
19/11/2010	5,54		0,54	0,47			
20/11/2010	3,93		0,44	0,59			
21/11/2010	1,50		0,52	0,59			
22/11/2010	0,93		0,32	0,23			
23/11/2010	4,58	4,65	0,21				
24/11/2010	4,97	4,56	0,13				

Data	TENC		LIS-AREN		LIS-AREN-NV		
	MANUAL (mm.dia ⁻¹)	MSR145 (mm.dia ⁻¹)	MSR145 (mm.dia ⁻¹)	MANUAL (mm.dia ⁻¹)	MINIDIVER (mm.dia ⁻¹)	MANUAL (mm.dia ⁻¹)	MINIDIVER (mm.dia ⁻¹)
25/11/2010	4,35		0,12	0,11			
26/11/2010	4,76		0,12	0,15			
27/11/2010	6,35		0,20	0,11			
28/11/2010	5,80	5,45	0,28	0,29			
29/11/2010	2,82	2,97	0,13	0,31			
30/11/2010	4,04	4,24	0,39	0,41			
01/12/2010	2,26	2,24	0,55	0,49			
02/12/2010	0,57	0,53	0,52	0,62			
03/12/2010	4,06	4,13	0,63	0,52			
04/12/2010	4,20	4,05	0,62	0,60			
05/12/2010	6,84	6,22	0,64	0,85			
06/12/2010	5,38	6,03	0,62	0,54			
07/12/2010	7,40	7,22	0,75				
08/12/2010	7,04	5,62	0,77				
09/12/2010	6,34	7,47	0,95				
10/12/2010	5,91	6,28		1,86			
11/12/2010	4,45	4,26	1,96	1,12			
12/12/2010	4,09	4,23					
13/12/2010	1,04	0,97	0,47	0,44			
14/12/2010			0,49	0,49			
15/12/2010	3,37	3,65	0,51	0,55			
16/12/2010			0,78	0,65			
17/12/2010	7,73	7,53	0,57	0,60			
18/12/2010			0,68	0,57			
19/12/2010	3,22	3,03	0,58	0,62			
20/12/2010	4,00	3,67	0,51	0,54			
21/12/2010	6,19	6,60	0,88	0,70			
22/12/2010	2,84	2,28	0,64				
23/12/2010	2,84	2,89	0,57				
24/12/2010	3,74	3,68	0,58	0,50			
25/12/2010	4,51	4,47	0,55	0,54			
26/12/2010	1,55	1,74	0,47	0,49			
27/12/2010	5,93	5,83	0,47	0,49			
28/12/2010	5,16	5,96	0,47	0,39			
29/12/2010	7,48	7,61	0,37	0,41			
30/12/2010	6,70	6,48		0,65			
31/12/2010	5,16	4,99		0,60			
01/01/2011	3,74	3,80		0,70			
02/01/2011	0,26	0,58		0,47			
03/01/2011	0,00	0,65		0,24			
04/01/2011	0,90	0,09		0,33			
05/01/2011				0,05			
06/01/2011	1,42	1,43		0,24			

Data	TENC		LIS-AREN		LIS-AREN-NV		
	MANUAL (mm.dia ⁻¹)	MSR145 (mm.dia ⁻¹)	MSR145 (mm.dia ⁻¹)	MANUAL (mm.dia ⁻¹)	MINIDIVER (mm.dia ⁻¹)	MANUAL (mm.dia ⁻¹)	MINIDIVER (mm.dia ⁻¹)
07/01/2011	4,90	3,15		0,13			
08/01/2011	3,87	1,74		0,15			
09/01/2011	1,55	2,00		0,10			
10/01/2011	5,16	3,19		0,13			
11/01/2011	1,68	2,64		0,08			
12/01/2011	0,90	0,38	0,28	0,33			
13/01/2011	0,00	0,64	0,15	0,10			
14/01/2011	0,77	0,95	0,13	0,10			
15/01/2011	7,09	5,12	0,16	0,08			
16/01/2011		1,18	0,10	0,15			
17/01/2011	2,96	4,72	0,58	0,47			
18/01/2011	2,32	1,89		0,47			
19/01/2011	1,16	0,79		0,34			
20/01/2011	1,16	1,71	0,37	0,20			
21/01/2011	5,41	4,99	0,14	0,24			
22/01/2011	5,41	5,80	0,23	0,16			
23/01/2011	3,35	3,45	0,20	0,24			
24/01/2011	3,09	2,63	0,53	0,59			
25/01/2011	4,13	3,32	0,47	0,50		0,23	0,31
26/01/2011	6,96	6,34	0,18	0,20		0,74	0,71
27/01/2011	4,38	3,56	0,16	0,29			1,03
28/01/2011	4,64	5,41	0,60	0,44		0,98	0,77
29/01/2011	2,06	2,92	0,76	0,67		0,82	1,02
30/01/2011	4,77	4,23	0,66	0,78		0,77	0,61
31/01/2011	2,58	3,18	0,59	0,62		1,27	1,35
01/02/2011	2,58	2,51	0,50	0,49		1,03	1,12
02/02/2011	1,29	0,53	0,57	0,60		0,59	0,43
03/02/2011	1,29	0,92	0,31	0,42		0,18	0,25
04/02/2011	5,29	6,09	0,62	0,42		0,13	0,24
05/02/2011	1,80	1,98	1,05	0,98		0,13	0,37
06/02/2011	4,25	4,21	0,26	0,29			0,03
07/02/2011			0,00	0,03			0,80
08/02/2011	6,32	6,20	0,01	0,02		0,84	0,77
09/02/2011	5,16	5,04	0,05	0,03		0,70	0,67
10/02/2011	4,13	4,61	0,11	0,10		0,69	0,78
11/02/2011	2,71	5,41	0,22	0,15		0,63	0,54
12/02/2011	7,86	5,02	0,60	0,60		0,63	0,69
13/02/2011	2,32	2,26	0,63			0,54	0,63
14/02/2011	6,32	5,42				0,59	0,59
15/02/2011	2,58	2,77	1,25	1,27		0,54	0,60
16/02/2011	1,68	3,07	1,09	1,01		0,49	0,59
17/02/2011	2,06	1,18	0,38	0,46		0,49	0,31
18/02/2011	0,77	0,67	0,42	0,47		0,43	0,46

Data	TENC		LIS-AREN		LIS-AREN-NV		
	MANUAL (mm.dia ⁻¹)	MSR145 (mm.dia ⁻¹)	MSR145 (mm.dia ⁻¹)	MANUAL (mm.dia ⁻¹)	MINIDIVER (mm.dia ⁻¹)	MANUAL (mm.dia ⁻¹)	MINIDIVER (mm.dia ⁻¹)
19/02/2011	4,64	4,61	0,47	0,49		0,44	0,54
20/02/2011	5,03	5,40	0,97			0,35	0,11
21/02/2011	2,71	6,48	0,69				0,53
22/02/2011	6,45	2,93	0,60				0,42
23/02/2011	2,71	1,72	0,54	0,39		0,35	0,36
24/02/2011	2,58	2,62	0,68	0,70		0,33	0,27
25/02/2011	2,96			1,43		0,50	0,48
26/02/2011	1,03		0,74	0,78		0,82	0,79
27/02/2011	1,03		0,33				0,88
28/02/2011	0,77		0,93				1,01
01/03/2011	1,03					0,87	0,81
02/03/2011	0,26		0,64	0,68		0,53	0,59
03/03/2011	0,26		0,57				0,82
04/03/2011	0,26	0,27	0,83				0,84
05/03/2011	0,00	0,40				0,40	0,40
06/03/2011	0,26	0,26	0,96	0,00		0,38	0,50
07/03/2011	0,26	0,65				0,45	0,23
08/03/2011	0,52	0,26	0,68	0,81		0,45	0,60
09/03/2011	1,03	1,58	0,40	0,28		0,38	0,33
10/03/2011	3,09	4,09	0,25	0,21		0,78	0,64
11/03/2011	7,48	6,60	0,58	0,62		0,58	0,87
12/03/2011	3,61	4,25	0,73	0,77		0,35	0,43
13/03/2011	4,64	3,84		0,57		0,33	0,27
14/03/2011	4,00	3,27					0,46
15/03/2011	4,00	4,11					0,18
16/03/2011				0,42		0,67	0,76
17/03/2011	1,68	2,44					0,39
18/03/2011	1,42	0,31					0,20
19/03/2011	3,35	2,26		0,00		0,20	0,20
20/03/2011	5,16	5,01		0,10		0,14	0,18
21/03/2011	1,42	5,13		0,02		0,74	0,49
22/03/2011	1,16	0,79		0,20		0,62	
23/03/2011	4,00	4,20				0,46	
24/03/2011	2,84	2,65		0,91		0,30	
25/03/2011	2,45	1,98		0,20		0,25	
26/03/2011	2,32	1,97	0,37	0,41		0,35	
27/03/2011	1,80	2,50	0,45	0,49		0,25	
28/03/2011	2,45	2,90	0,17	0,26		0,28	
29/03/2011	1,42	1,08	0,03	0,05		0,29	
30/03/2011	5,03	5,17		0,02			
31/03/2011	5,03	4,62		0,03		0,25	
01/04/2011	3,87	3,69		0,94		0,31	0,63
02/04/2011	0,77	0,15	0,42	0,49		0,25	0,40

Data	TENC		LIS-AREN		LIS-AREN-NV		
	MANUAL (mm.dia ⁻¹)	MSR145 (mm.dia ⁻¹)	MSR145 (mm.dia ⁻¹)	MANUAL (mm.dia ⁻¹)	MINIDIVER (mm.dia ⁻¹)	MANUAL (mm.dia ⁻¹)	MINIDIVER (mm.dia ⁻¹)
03/04/2011	0,26	0,53	0,18	0,16		0,28	0,31
04/04/2011	1,29	2,90	0,18			0,24	0,45
05/04/2011	3,09	2,78	0,07			0,20	0,09
06/04/2011	2,58	2,90	0,07	0,05		0,23	0,13
07/04/2011	5,03	4,75	0,03	0,10		0,51	0,20
08/04/2011	4,25	3,30	2,20	0,13		0,72	0,63
09/04/2011	3,74	3,45					0,83
10/04/2011	1,42	1,58					0,55
11/04/2011	2,19	1,98	0,66			0,48	0,26
12/04/2011	1,16	0,93	0,19			0,41	0,40
13/04/2011	0,26	1,57	0,17			0,31	0,48
14/04/2011	2,45	1,97	0,02	0,08		0,28	0,23
15/04/2011	2,45	1,85	0,04	0,02		0,26	0,32
16/04/2011	3,87	3,43	0,03	0,08		0,11	0,03
17/04/2011	2,58	3,42	0,05	0,00		0,16	0,28
18/04/2011	5,93	6,64	0,31	0,18		0,26	0,18
19/04/2011	1,55	2,00		0,20		0,11	0,13
20/04/2011	5,03	4,09		0,44		0,31	0,33
21/04/2011	4,90	5,02		0,57		0,31	0,39
22/04/2011	3,35	3,19		0,64		0,38	0,26
23/04/2011	4,64	4,74		0,88		0,29	0,26
24/04/2011	4,00	3,82		0,98		0,34	0,32
25/04/2011	4,77	5,01		0,80		0,40	0,32
26/04/2011	4,38	5,03		0,72			0,63
27/04/2011	1,16	1,09					
28/04/2011	1,03	0,66			0,40		
29/04/2011	1,93	1,72		0,36	0,50	0,28	
30/04/2011	4,13	3,29		0,24	0,21	0,19	
01/05/2011	0,64	1,45		0,47	0,38	0,24	
02/05/2011	1,29	2,14		0,39	0,74	0,24	
03/05/2011	3,87	3,42		0,47	0,33	0,21	
04/05/2011	2,71	2,64		0,41	0,51	0,20	
05/05/2011	3,48	2,76		0,42	0,38	0,23	
06/05/2011	2,96	4,35				0,13	
07/05/2011	3,35	3,44				0,19	
08/05/2011	2,84	3,04				0,18	
09/05/2011	2,71	1,31				0,20	
10/05/2011	3,48	3,03				0,15	
11/05/2011	4,13	4,23				0,18	
12/05/2011	2,58	2,78				0,15	
13/05/2011	3,61	3,16				0,15	
14/05/2011	3,35	3,58				0,19	

Tabela 8.2 Drenagem em litros e normalizada (mm) pela área superficial dos lisímetros, junto com a precipitação acumulada

Data	LIS-ARG			LIS-AREN			Precip.
	Dren. Efetuada?	Dren. (Litros)	Dren. (mm)	Dren. Efetuada?	Dren. (litros)	Dren. (mm)	Precip. (mm)
08/11/2010	sim	65,33	23,52	sim	81,62	29,38	29,40
17/11/2010	sim	60,00	21,60	sim	46,00	16,56	45,80
27/11/2010	sim	102,00	36,72	sim	96,00	34,56	60,20
02/12/2010	sim	2,53	0,91	sim	4,27	1,54	12,80
16/12/2010	sim	198,37	71,41	sim	192,98	69,47	124,60
17/12/2010	não	41,83		não	35,04		
18/12/2010	não	48,81		não	46,89		
21/12/2010	sim	55,39	19,94	sim	60,38	21,73	21,50
29/12/2010	sim	171,36	61,69	sim	166,92	60,09	83,90
05/01/2011*	sim	288,24	103,76	sim	287,58	103,52	182,00
11/01/2011*	sim	288,24	103,76	sim	287,58	103,52	154,90
12/01/2011	não	49,81		não	46,14		
13/01/2011	sim	117,47	42,29	sim	107,63	38,74	42,70
14/01/2011	sim	138,10	49,71	sim	159,73	57,50	42,40
17/01/2011	sim	132,43	47,67	sim	115,37	41,53	56,10
19/01/2011	não	75,22		não	85,89		
20/01/2011	não	81,93		não	100,56		
21/01/2011	não	87,91		não	108,48		
24/01/2011	não	93,14		não	114,50		
26/01/2011	não	95,36		não	119,13		
27/01/2011	não	95,36		não	119,13		
28/01/2011	não	98,14		não	120,88		
31/01/2011	não	101,78		não	123,80		
02/02/2011	sim	165,39	59,53	sim	179,93	64,77	95,70
04/02/2011	não	49,56		não	50,41		
07/02/2011	sim	175,17	63,06	sim	176,10	63,39	69,10
09/02/2011	não	6,23		não	6,91		
11/02/2011	não	7,80		não	6,91		
14/02/2011	não	8,48		não	7,36		
16/02/2011	não	8,48		não	13,28		
18/02/2011	não	47,55		não	41,66		
21/02/2011	não	99,82		não	95,81		
23/02/2011	não	103,19		não	100,28		
25/02/2011	não	103,76		não	101,40		
28/02/2011	sim	188,98	68,03	sim	153,54	55,27	115,80
03/03/2011	sim	234,48	84,40	sim	238,65	85,91	98,50
04/03/2011	não	74,95		não	83,16		
07/03/2011	sim	274,75	98,90	sim	282,45	101,67	91,30
07/03/2011	não	26,05		não	0,00		
10/03/2011	não	58,28		não	51,42		
11/03/2011	não	63,19		não	57,54		

Data	LIS-ARG			LIS-AREN			Precip.
	Dren. Efetuada?	Dren. (Litros)	Dren. (mm)	Dren. Efetuada?	Dren. (litros)	Dren. (mm)	Precip. (mm)
15/03/2011	não	68,16	68,54	não	67,94	74,89	80,80
16/03/2011	não	68,16		não	67,94		
18/03/2011	não	70,17		não	67,94		
21/03/2011	sim	190,40		sim	208,05		
21/03/2011	não	0,00		não	0,00		
23/03/2011	não	3,55		não	6,23		
25/03/2011	não	6,24		não	20,46		
28/03/2011	não	7,60		não	20,93		
30/03/2011	não	24,25		não	27,07		
01/04/2011	não	38,73		não	41,63		
05/04/2011	não	45,67	65,85	não	51,64	63,01	120,20
08/04/2011	não	52,73		não	56,74		
11/04/2011	não	55,27		não	70,27		
13/04/2011	sim	182,92		sim	175,05		
13/04/2011	não	0,00		não	0,00		
15/04/2011	não	27,35		não	36,47		
18/04/2011	não	31,22		não	46,91		
20/04/2011	não	34,64		não	47,16		
25/04/2011	não	34,64		não	49,94		
27/04/2011	não	35,13		não	52,48		
29/04/2011	não	168,32	64,73	não	172,20	69,89	78,80
04/05/2011	sim	179,82		sim	194,15		
06/05/2011	não	1,33					
09/05/2011	não	1,33					
11/05/2011	não	1,33					
13/05/2011	não	1,33					

*transbordamento do tanque coletor graduado

Tabela 8.3 Drenagem em litros e normalizada (mm) pela área superficial do *tenc* e lisímetro, junto com a precipitação acumulada

Data	TENC				LIS-AREN-NV		
	Dren. Efetuada?	Dren. (litros)	Dren. (mm)	Prec. (mm)	Dren. Efetuada?	Dren. (litros)	Dren. (mm)
08/11/2010	sim	113,00	40,68	29,4			
17/11/2010	sim	116,00	41,76	45,8			
27/11/2010	sim	159,00	57,24	60,2			
02/12/2010	sim	30,00	10,80	12,8			
16/12/2010	sim			124,6			
17/12/2010	não	37,18					
18/12/2010	não	49,09					
21/12/2010	sim	77,67	27,96	21,5			
29/12/2010	sim	230,81	83,09	83,9			
05/01/2011*	sim	287,65	103,55	182			
11/01/2011*	sim	287,65	103,55	154,9			
12/01/2011	sim	57,73	20,78	22			
13/01/2011	sim	97,36	35,05	20,7			
14/01/2011	sim	116,96	42,10	42,4			
17/01/2011	sim	138,78	49,96	56,1			
19/01/2011	não	63,67					
20/01/2011	não	64,45					
21/01/2011	não	64,45					
24/01/2011	não	91,82					
26/01/2011	não	109,21					
27/01/2011	não	109,21					
28/01/2011	não	109,78			não	0,00	0,00
31/01/2011	não	138,48			não	29,76	
02/02/2011	sim	211,16	76,01	95,7	sim	130,94	36,37
04/02/2011	não	62,63			não	65,47	
07/02/2011	sim	173,99	62,63	69,1	sim	249,98	69,44
09/02/2011	não	3,99			não	17,86	
11/02/2011	não	3,99			não	35,71	
14/02/2011	não	18,11			não	41,66	
16/02/2011	não	20,44			não	47,62	
18/02/2011	não	110,92			não	130,94	
21/02/2011	não	150,00			não	214,27	
23/02/2011	não	169,88			não	226,18	
25/02/2011	não	176,22			não	232,13	
28/02/2011	sim	321,41	115,70	115,8	sim	321,41	89,28
03/03/2011	sim	222,96	80,26	98,5	sim	339,26	94,24
04/03/2011	não	72,34			não	136,90	
07/03/2011	sim	258,09	92,90	91,3	sim	401,76	111,60
07/03/2011	não	0,00			não	0,00	
10/03/2011	não	13,24			não	71,42	
11/03/2011	não	13,24			não	89,28	

Data	TENC				LIS-AREN-NV		
	Dren. Efetuada?	Dren. (litros)	Dren. (mm)	Prec. (mm)	Dren. Efetuada?	Dren. (litros)	Dren. (mm)
15/03/2011	não	60,96			não	105,95	
16/03/2011	não	65,90			não	107,14	
18/03/2011	não	106,18			não	130,94	
21/03/2011	sim	252,69	90,96	80,8	sim	363,07	100,85
21/03/2011	não	0,00			não	0,00	
23/03/2011	não	0,00			não	11,90	
25/03/2011	não	1,77			não	23,81	
28/03/2011	não	47,58			não	35,71	
30/03/2011	não	78,21			não	68,45	
01/04/2011	não	78,21			não	95,23	
05/04/2011	não	113,79			não	107,14	
08/04/2011	não	114,37			não	130,94	
11/04/2011	não	130,73			não	142,85	
13/04/2011	sim	298,73	107,53	120,2	sim	303,55	84,32
13/04/2011	não	0,00			não	0,00	
15/04/2011	não	0,00			não	59,52	
18/04/2011	não	0,00			não	77,38	
20/04/2011	não	0,00			não	80,35	
25/04/2011	não	0,00			não	89,28	
27/04/2011	não	2,89			não	89,28	
29/04/2011	não	208,72			não	309,50	
04/05/2011	sim	217,80	78,40	78,8	sim	339,26	94,24
04/05/2011	não	0,00			não	0,00	
06/05/2011	não	0,00			não	0,00	
09/05/2011	não	0,00			não	0,00	
11/05/2011	não	0,00			não	0,00	
13/05/2011	não	0,00			não	0,00	

*transbordamento do tanque coletor graduado

Tabela 8.4 Pressão atmosférica

Data	Pressão Atmosférica - P_{atm} (mbar)				
	Barômetro		Barógrafo		Média
	07:00	10:00	16:00	22:00	
14/10/2010	927,60	929	930	934	930,15
15/10/2010	928,90	928	930	933	929,98
16/10/2010	928,10	932	930	931	930,28
17/10/2010	928,30	931	927	936	930,58
18/10/2010	928,20	931	929	932	930,05
19/10/2010	927,90	933	929	932	930,48
20/10/2010	926,60	932	928	930	929,15
21/10/2010	926,60	931	927	929	928,40
22/10/2010	927,80	929	925	926	926,95
23/10/2010	928,70	928	926	928	927,68
24/10/2010	927,60	929	925	928	927,40
25/10/2010	928,20	928	924	928	927,05
26/10/2010	927,70	927	924	927	926,43
27/10/2010	928,10	928	926	928	927,53
28/10/2010	928,60	930	926	928	928,15
29/10/2010	928,20	929	925	927	927,30
30/10/2010	928,60	931	929	930	929,65
31/10/2010	927,40	933	930	932	930,60
01/11/2010	927,80	933	929	931	930,20
02/11/2010	927,20	932	928	930	929,30
03/11/2010	927,40	930	927	930	928,60
04/11/2010	928,50	931	928	930	929,38
05/11/2010	928,80	931	926	928	928,45
06/11/2010	928,20	927	926	928	927,30
07/11/2010	927,80	930	928	930	928,95
08/11/2010	928,20	932	929	931	930,05
09/11/2010	929,10	932	926	930	929,28
10/11/2010	928,10	931	929	933	930,28
11/11/2010	927,10	934	932	935	932,03
12/11/2010	927,20	935	931	934	931,80
13/11/2010	927,50	934	931	932	931,13
14/11/2010	927,80	932	929	932	930,20
15/11/2010	927,80	931	930	930	929,70
16/11/2010	927,20	931	927	930	928,80
17/11/2010	929,10	930	925	927	927,78
18/11/2010	928,10	928	925	927	927,03
19/11/2010	928,10	929	927	929	928,28
20/11/2010	927,90	930	928	931	929,23
21/11/2010	928,10	931	926	928	928,28
22/11/2010	928,60	928	924	930	927,65

Data	Pressão Atmosférica -P _{atm} (mbar)				
	Barômetro	Barógrafo			Média
		07:00	10:00	16:00	22:00
23/11/2010	928,20	926	923	925	925,55
24/11/2010	928,60	926	923	925	925,65
25/11/2010	927,80	929	926	930	928,20
26/11/2010	928,10	931	927	930	929,03
27/11/2010	927,40	932	928	931	929,60
28/11/2010	927,60	931	928	930	929,15
29/11/2010	928,40	932	929	932	930,35
30/11/2010	928,20	932	929	932	930,30
01/12/2010	928,10	932	928	931	929,78
02/12/2010	928,90	930	925	929	928,23
03/12/2010	928,40	930	927	930	928,85
04/12/2010	927,80	930	926	931	928,70
05/12/2010	928,50	929	926	929	928,13
06/12/2010	927,90	931	928	930	929,23
07/12/2010	927,80	928	924	927	926,70
08/12/2010	928,70	927	924	925	926,18
09/12/2010	928,40	926	924	927	926,35
10/12/2010	927,90	928	925	928	927,23
11/12/2010	928,20	928	925	929	927,55
12/12/2010	928,30	926	922	924	925,08
13/12/2010	928,60	922	923	923	924,15
14/12/2010	928,80	925	924	928	926,45
15/12/2010	926,90	929	927	930	928,23
16/12/2010	927,70	931	928	931	929,43
17/12/2010	928,30	931	928	930	929,33
18/12/2010	927,90	931	928	930	929,23
19/12/2010	927,80	931	928	930	929,20
20/12/2010	927,60	933	930	933	930,90
21/12/2010	928,40	933	929	933	930,85
22/12/2010	927,70	932	928	929	929,18
23/12/2010	927,60	929	926	929	927,90
24/12/2010	927,90	928	926	929	927,73
25/12/2010	927,70	929	926	928	927,68
26/12/2010	927,90	929	926	928	927,73
27/12/2010	928,40	929	925	928	927,60
28/12/2010	927,40	928	924	927	926,60
29/12/2010	926,80	927	923	926	925,70
30/12/2010	926,60	927	924	927	926,15
31/12/2010	926,60	926	923	927	925,65
01/01/2011	927,10	926	923	925	925,28
02/01/2011	927,60	926	923	925	925,40

Data	Pressão Atmosférica -P _{atm} (mbar)				
	Barômetro	Barógrafo			Média
		07:00	10:00	16:00	22:00
03/01/2011	927,40	925	923	925	925,10
04/01/2011	927,40	926	923	928	926,10
05/01/2011	928,20	931	927	931	929,30
06/01/2011	927,40	931	930	931	929,85
07/01/2011	927,20	932	929	931	929,80
08/01/2011	927,20	932	930	931	930,05
09/01/2011	927,10	930	927	929	928,28
10/01/2011	927,20	928	926	925	926,55
11/01/2011	928,80	926	924	925	925,95
12/01/2011	927,40	927	923	925	925,60
13/01/2011	928,20	927	925	927	926,80
14/01/2011	928,20	929	927	928	928,05
15/01/2011	926,40	929	926	926	926,85
16/01/2011	927,10	928	925	929	927,28
17/01/2011	928,20	932	928	931	929,80
18/01/2011	928,20	931	928	929	929,05
19/01/2011	928,40	929	926	928	927,85
20/01/2011	927,20	929	927	929	928,05
21/01/2011	927,40	929	925	929	927,60
22/01/2011	927,80	931	928	931	929,45
23/01/2011	927,70	933	929	933	930,68
24/01/2011	927,20	933	930	931	930,30
25/01/2011	927,60	933	929	931	930,15
26/01/2011	927,40	932	929	931	929,85
27/01/2011	927,90	931	928	931	929,48
28/01/2011	928,60	932	930	932	930,65
29/01/2011	927,60	933	930	934	931,15
30/01/2011	927,10	934	930	932	930,78
31/01/2011	928,20	932	929	934	930,80
01/02/2011	927,40	932	930	932	930,35
02/02/2011	927,60	932	930	933	930,65
03/02/2011	927,20	932	929	932	930,05
04/02/2011	927,40	932	927	929	928,85
05/02/2011	927,10	931	928	930	929,03
06/02/2011	926,50	931	928	931	929,13
07/02/2011	929,20	933	930	933	931,30
08/02/2011	927,20	934	929	932	930,55
09/02/2011	928,10	931	928	929	929,03
10/02/2011	929,60	929	926	930	928,65
11/02/2011	929,10	932	929	932	930,53
12/02/2011	928,90	933	928	931	930,23

Data	Pressão Atmosférica -P _{atm} (mbar)				
	Barômetro	Barógrafo			Média
		07:00	10:00	16:00	22:00
13/02/2011	929,10	932	928	932	930,28
14/02/2011	929,80	932	929	931	930,45
15/02/2011	928,90	932	928	932	930,23
16/02/2011	930,20	933	930	933	931,55
17/02/2011	931,10	933	931	935	932,53
18/02/2011	929,90	933	930	931	930,98
19/02/2011	928,10	933	930	932	930,78
20/02/2011	928,40	933	929	933	930,85
21/02/2011	931,30	934	931	932	932,08
22/02/2011	931,60	933	929	930	930,90
23/02/2011	930,20	929	925	929	928,30
24/02/2011	928,30	929	927	930	928,58
25/02/2011	929,30	931	928	929	929,33
26/02/2011	928,50	930	926	929	928,38
27/02/2011	928,70	929	927	929	928,43
28/02/2011	928,20	931	928	930	929,30
01/03/2011	927,80	931	928	930	929,20
02/03/2011	929,20	931	929	932	930,30
03/03/2011	928,60	932	930	932	930,65
04/03/2011	928,80	932	930	931	930,45
05/03/2011	928,20	931	928	930	929,30
06/03/2011	927,10	930	928	930	928,78
07/03/2011	928,30	931	929	931	929,83
08/03/2011	932,10	932	929	931	931,03
09/03/2011	931,20	931	927	929	929,55
10/03/2011	929,60	930	927	929	928,90
11/03/2011	929,20	930	926	929	928,55
12/03/2011	927,50	930	925	927	927,38
13/03/2011	925,20	926	923	925	924,80
14/03/2011	929,20	927	924	928	927,05
15/03/2011	932,10	931	929	932	931,03
16/03/2011	931,40	935	930	933	932,35
17/03/2011	930,30	932	929	931	930,58
18/03/2011	931,10	931	928	931	930,28
19/03/2011	932,90	932	929	932	931,48
20/03/2011	928,20	934	931	933	931,55
21/03/2011	927,40	934	931	932	931,10
22/03/2011	929,60	933	932	932	931,65
23/03/2011	928,20	935	932	934	932,30
24/03/2011	927,60	935	932	934	932,15
25/03/2011	928,20	933	930	931	930,55

Data	Pressão Atmosférica -P _{atm} (mbar)				
	Barômetro	Barógrafo			Média
		07:00	10:00	16:00	22:00
26/03/2011	927,60	932	929	931	929,90
27/03/2011	931,40	931	929	931	930,60
28/03/2011	931,90	934	930	933	932,23
29/03/2011	927,40	933	931	934	931,35
30/03/2011	927,80	934	930	933	931,20
31/03/2011	927,10	932	930	932	930,28
01/04/2011	932,20	932	929	931	931,05
02/04/2011	930,10	931	928	931	930,03
03/04/2011	929,80	930	928	929	929,20
04/04/2011	929,20	930	927	930	929,05
05/04/2011	929,80	931	929	932	930,45
06/04/2011	927,40	933	931	933	931,10
07/04/2011	930,60	934	932	934	932,65
08/04/2011	929,30	935	932	934	932,58
09/04/2011	934,10	934	932	934	933,53
10/04/2011	933,20	933	930	933	932,30
11/04/2011	929,30	934	931	932	931,58
12/04/2011	931,60	932	928	933	931,15
13/04/2011	930,90	934	932	933	932,48
14/04/2011	933,20	934	932	934	933,30
15/04/2011	934,10	935	932	934	933,78
16/04/2011	934,40	935	932	934	933,85
17/04/2011	934,70	935	932	934	933,93
18/04/2011	935,10	935	932	934	934,03
19/04/2011	933,20	935	932	933	933,30
20/04/2011	933,50	932	930	931	931,63
21/04/2011	931,30	932	929	930	930,58
22/04/2011	931,20	932	929	930	930,55
23/04/2011	931,10	932	930	931	931,03
24/04/2011	930,80	932	929	931	930,70
25/04/2011	932,10	933	931	933	932,28
26/04/2011	935,50	935	933	935	934,63
27/04/2011	935,20	936	935	930	934,05
28/04/2011	931,10	931	928	929	929,78
29/04/2011	932,20	929	925	927	928,30
30/04/2011	932,10	927	924	926	927,28
01/05/2011	926,80	927	925	927	926,45
02/05/2011	931,50	929	927	930	929,38
03/05/2011	931,20	931	929	931	930,55
04/05/2011	929,60	931	927	929	929,15
05/05/2011	928,30	929	926	928	927,83

Data	Pressão Atmosférica - P_{atm} (mbar)				
	Barômetro	Barógrafo			Média
	07:00	10:00	16:00	22:00	
06/05/2011	928,20	930	928	929	928,80
07/05/2011	929,50	931	928	929	929,38
08/05/2011	929,10	930	927	928	928,53
09/05/2011	927,10	929	926	928	927,53
10/05/2011	928,20	930	927	928	928,30
11/05/2011	928,40	930	928	930	929,10
12/05/2011	928,50	929	926	928	927,88
13/05/2011	927,20	929	926	928	927,55
14/05/2011	928,90	929	926	928	927,98

Tabela 8.5 Umidade relativa do ar

Data	Umidade Relativa do Ar (%)					
	Termohigrógrafo de Cabelo					
	mín	máx	09:00	15:00	21:00	Média 9,15 e 21
15/10/2010	50	91	91	53	90	81,0
16/10/2010	42	91	74	43	83	70,8
17/10/2010	45	89	75	75	88	81,5
18/10/2010	52	89	95	73	78	81,0
19/10/2010	38	87	87	75	63	72,0
20/10/2010	33	90	79	71	61	68,0
21/10/2010	20	89	75	64	61	65,3
22/10/2010	21	89	74	66	60	65,0
23/10/2010	61	90	89	62	84	79,8
24/10/2010	50	90	90	54	66	69,0
25/10/2010	42	95	84	91	92	89,8
26/10/2010	48	95	87	80	88	85,8
27/10/2010	40	97	77	74	65	70,3
28/10/2010	30	95	55	39	80	63,5
29/10/2010	22	95	46	47	70	58,3
30/10/2010	47	95	92	67	86	82,8
31/10/2010	62	95	78	62	92	81,0
01/11/2010	55	96	65	68	92	79,3
02/11/2010	37	94	42	40	88	64,5
03/11/2010	36	92	51	40	70	57,8
04/11/2010	38	92	52	38	91	68,0
05/11/2010	45	96	50	80	95	80,0
06/11/2010	61	95	80	62	90	80,5
07/11/2010	31	95	49	32	93	66,8
08/11/2010	38	93	56	40	85	66,5
09/11/2010	51	95	63	55	80	69,5
10/11/2010	54	95	72	70	82	76,5
11/11/2010	58	92	68	60	85	74,5
12/11/2010	61	94	66	62	84	74,0
13/11/2010	67	89	75	68	86	78,8
14/11/2010	61	93	68	61	80	72,3
15/11/2010	67	93	67	58	82	72,3
16/11/2010	70	93	89	76	93	87,8
17/11/2010	47	94	65	52	88	73,3
18/11/2010	32	93	49	33	84	62,5
19/11/2010	27	94	35	30	85	58,8
20/11/2010	36	95	38	50	87	65,5
21/11/2010	44	94	53	86	87	78,3
22/11/2010	63	94	93	70	87	84,3
23/11/2010	49	94	93	57	69	72,0

Data	Umidade Relativa do Ar (%)					
	Termohigrógrafo de Cabelo					
	máx	mín	09:00	15:00	21:00	Média 9,15 e 21
24/11/2010	92	48	80	50	78	71,5
25/11/2010	94	42	78	43	93	76,8
26/11/2010	91	49	76	53	84	74,3
27/11/2010	91	33	68	38	67	60,0
28/11/2010	89	26	50	27	64	51,3
29/11/2010	89	55	78	94	87	86,5
30/11/2010	87	59	83	82	95	88,8
01/12/2010	90	50	85	82	85	84,3
02/12/2010	89	63	83	75	92	85,5
03/12/2010	89	57	98	59	93	85,8
04/12/2010	90	45	62	56	91	75,0
05/12/2010	90	48	61	60	92	76,3
06/12/2010	95	54	80	65	86	79,3
07/12/2010	95	49	86	52	83	76,0
08/12/2010	97	51	63	52	75	66,3
09/12/2010	95	51	60	52	75	65,5
10/12/2010	95	45	63	46	66	60,3
11/12/2010	95	51	63	57	93	76,5
12/12/2010	95	47	55	48	88	69,8
13/12/2010	96	61	62	94	93	85,5
14/12/2010	94	88	90	88	92	90,5
15/12/2010	92	71	82	72	86	81,5
16/12/2010	92	63	92	77	93	88,8
17/12/2010	96	57	88	92	91	90,5
18/12/2010	95	63	91	87	88	88,5
19/12/2010	95	51	64	65	94	79,3
20/12/2010	93	41	65	44	83	68,8
21/12/2010	95	41	67	43	94	74,5
22/12/2010	95	57	79	59	80	74,5
23/12/2010	92	59	77	60	92	80,3
24/12/2010	94	55	75	73	91	82,5
25/12/2010	89	60	88	62	94	84,5
26/12/2010	93	76	85	78	89	85,3
27/12/2010	93	55	73	60	87	76,8
28/12/2010	93	55	70	62	83	74,5
29/12/2010	94	32	59	38	79	63,8
30/12/2010	93	49	63	54	82	70,3
31/12/2010	94	56	62	58	83	71,5
01/01/2011	95	58	68	66	92	79,5
02/01/2011	94	63	75	94	94	89,3
03/01/2011	94	78	84	90	91	89,0

Data	Umidade Relativa do Ar (%)					
	Termohigrógrafo de Cabelo					
	máx	mín	09:00	15:00	21:00	Média 9,15 e 21
04/01/2011	94	60	92	73	79	80,8
05/01/2011	92	55	92	63	65	71,3
06/01/2011	94	53	93	68	94	87,3
07/01/2011	94	66	92	78	79	82,0
08/01/2011	94	68	93	88	80	85,3
09/01/2011	94	60	70	68	92	80,5
10/01/2011	94	58	85	69	89	83,0
11/01/2011	94	67	87	71	94	86,5
12/01/2011	95	67	94	77	93	89,3
13/01/2011	94	76	91	68	92	85,8
14/01/2011	94	66	92	66	93	86,0
15/01/2011	94	56	67	57	92	77,0
16/01/2011	93	51	67	54	93	76,8
17/01/2011	94	63	89	63	88	82,0
18/01/2011	94	69	71	94	93	87,8
19/01/2011	94	68	75	89	92	87,0
20/01/2011	94	63	80	85	93	87,8
21/01/2011	94	43	61	45	83	68,0
22/01/2011	94	45	58	42	88	69,0
23/01/2011	94	45	62	47	92	73,3
24/01/2011	95	53	62	91	88	82,3
25/01/2011	95	51	58	83	84	77,3
26/01/2011	94	50	58	58	94	76,0
27/01/2011	95	47	55	54	80	67,3
28/01/2011	96	50	53	67	92	76,0
29/01/2011	95	49	53	56	93	73,8
30/01/2011	95	49	60	48	92	73,0
31/01/2011	95	45	63	53	93	75,5
01/02/2011	95	62	83	68	93	84,3
02/02/2011	94	58	75	74	93	83,8
03/02/2011	93	68	88	78	93	88,0
04/02/2011	94	57	94	65	90	84,8
05/02/2011	94	47	63	55	94	76,5
06/02/2011	94	41	58	45	91	71,3
07/02/2011	94	53	74	72	91	82,0
08/02/2011	95	58	62	51	82	69,3
09/02/2011	95	46	65	47	93	74,5
10/02/2011	95	50	68	54	91	76,0
11/02/2011	95	51	68	61	93	78,8
12/02/2011	94	43	52	43	93	70,3
13/02/2011	95	54	76	57	86	76,3

Data	Umidade Relativa do Ar (%)					
	Termohigrógrafo de Cabelo					
	máx	mín	09:00	15:00	21:00	Média 9,15 e 21
14/02/2011	94	56	70	89	93	86,3
15/02/2011	94	54	75	58	86	76,3
16/02/2011	94	57	68	69	93	80,8
17/02/2011	94	59	62	80	93	82,0
18/02/2011	94	54	69	61	94	79,5
19/02/2011	93	38	60	45	89	70,8
20/02/2011	95	34	56	44	81	65,5
21/02/2011	94	37	53	43	80	64,0
22/02/2011	95	50	65	52	87	72,8
23/02/2011	95	52	65	57	94	77,5
24/02/2011	95	51	70	65	93	80,3
25/02/2011	94	69	67	80	92	82,8
26/02/2011	95	54	73	63	92	80,0
27/02/2011	95	59	71	93	94	88,0
28/02/2011	94	83	91	85	90	89,0
01/03/2011	95	86	90	91	92	91,3
02/03/2011	95	89	90	92	94	92,5
03/03/2011	95	90	93	93	90	91,5
04/03/2011	93	90	92	92	93	92,5
05/03/2011	93	92	92	93	93	92,8
06/03/2011	94	71	79	92	93	89,3
07/03/2011	94	82	88	92	93	91,5
08/03/2011	93	74	90	75	90	86,3
09/03/2011	93	63	81	68	87	80,8
10/03/2011	94	51	79	53	92	79,0
11/03/2011	94	61	72	71	93	82,3
12/03/2011	94	71	87	79	94	88,5
13/03/2011	93	62	73	66	93	81,3
14/03/2011	93	61	92	85	88	88,3
15/03/2011	91	63	70	67	87	77,8
16/03/2011	96	63	75	68	88	79,8
17/03/2011	94	56	74	63	92	80,3
18/03/2011	94	66	75	93	88	86,0
19/03/2011	92	80	89	86	88	87,8
20/03/2011	94	65	75	73	88	81,0
21/03/2011	95	55	80	57	93	80,8
22/03/2011	93	71	87	80	92	87,8
23/03/2011	94	62	78	65	90	80,8
24/03/2011	94	59	72	73	94	83,3
25/03/2011	95	52	66	57	93	77,3
26/03/2011	95	59	65	55	88	74,0

Data	Umidade Relativa do Ar (%)					
	Termohigrógrafo de Cabelo					
	máx	mín	09:00	15:00	21:00	Média 9,15 e 21
27/03/2011	95	49	65	70	93	80,3
28/03/2011	95	50	75	66	94	82,3
29/03/2011	94	57	78	87	94	88,3
30/03/2011	94	67	81	69	87	81,0
31/03/2011	94	55	66	70	91	79,5
01/04/2011	95	48	74	52	92	77,5
02/04/2011	94	64	81	90	93	89,3
03/04/2011	95	75	90	78	91	87,5
04/04/2011	94	67	90	74	94	88,0
05/04/2011	95	66	94	68	93	87,0
06/04/2011	95	37	94	41	90	78,8
07/04/2011	94	46	62	50	88	72,0
08/04/2011	94	45	71	49	93	76,5
09/04/2011	95	44	63	50	92	74,3
10/04/2011	95	55	63	78	93	81,8
11/04/2011	95	59	73	60	94	80,3
12/04/2011	94	56	72	60	94	80,0
13/04/2011	95	67	89	74	92	86,8
14/04/2011	95	47	82	47	95	79,8
15/04/2011	95	56	75	85	94	87,0
16/04/2011	95	44	90	44	93	80,0
17/04/2011	94	51	80	60	92	81,0
18/04/2011	94	47	57	48	93	72,8
19/04/2011	95	54	73	64	85	76,8
20/04/2011	96	48	62	59	92	76,3
21/04/2011	94	45	55	46	95	72,8
22/04/2011	95	43	56	43	94	71,8
23/04/2011	95	43	51	47	93	71,0
24/04/2011	95	58	74	63	86	77,3
25/04/2011	94	55	67	64	88	76,8
26/04/2011	89	67	81	68	83	78,8
27/04/2011	97	74	82	97	95	92,3
28/04/2011	95	68	82	68	92	83,5
29/04/2011	95	51	75	81	94	86,0
30/04/2011	95	37	50	45	90	68,8
01/05/2011	95	63	61	85	94	83,5
02/05/2011	95	74	94	81	93	90,3
03/05/2011	95	44	88	45	85	75,8
04/05/2011	94	47	73	48	92	76,3
05/05/2011	95	40	83	42	90	76,3
06/05/2011	95	42	65	47	92	74,0

Data	Umidade Relativa do Ar (%)					
	Termohigrógrafo de Cabelo					
	máx	mín	09:00	15:00	21:00	Média 9,15 e 21
07/05/2011	95	49	72	54	92	77,5
08/05/2011	95	45	71	48	93	76,3
09/05/2011	97	53	69	62	91	78,3
10/05/2011	94	54	78	58	93	80,5
11/05/2011	94	53	68	54	93	77,0
12/05/2011	95	54	70	58	88	76,0
13/05/2011	92	57	70	63	84	75,3
14/05/2011	95	63	79	66	88	80,3

Tabela 8.6 Temperatura do ar

Tabela 8.8 Temperatura do ar						
Data	Temperatura do Ar (°C)					Média
	Termômetros		Termógrafo			
	Máxima	Mínima	09:00	15:00	21:00	
14/10/2010	33,2	15,0	23,0	32,0	23,5	23,64
15/10/2010	29,3	15,3	20,8	29,0	22,5	22,08
16/10/2010	30,6	15,6	23,0	29,2	21,6	22,48
17/10/2010	31,2	15,0	25,0	30,0	21,0	22,64
18/10/2010	25,4	10,1	18,2	25,0	19,0	18,34
19/10/2010	26,5	6,40	19,0	26,0	19,0	17,98
20/10/2010	27,4	7,40	18,7	26,5	16,8	17,42
21/10/2010	32,4	11,4	22,0	31,5	21,0	21,56
22/10/2010	34,4	16,1	26,0	33,0	22,0	24,10
23/10/2010	25,2	13,9	20,8	23,6	20,2	20,06
24/10/2010	29,2	11,7	23,0	28,2	22,5	21,78
25/10/2010	31,6	13,4	26,8	31,0	20,0	22,36
26/10/2010	27,8	9,50	21,0	26,6	18,0	18,86
27/10/2010	28,4	9,00	21,5	28,4	18,0	18,98
28/10/2010	31,0	8,00	24,5	30,0	18,5	20,10
29/10/2010	34,4	13,4	28,0	34,0	20,0	23,16
30/10/2010	28,4	14,3	28,0	20,8	19,0	21,74
31/10/2010	26,0	16,2	21,2	26,0	22,0	21,48
01/11/2010	25,8	14,4	22,82	25,0	20,6	20,84
02/11/2010	27,6	8,20	20,8	26,5	18,0	18,52
03/11/2010	30,3	11,0	23	30,0	20,8	21,18
04/11/2010	32,4	13,5	26,2	31,5	21,8	23,14
05/11/2010	31,4	15,0	26,5	28,0	19,2	22,26
06/11/2010	26,0	11,5	20,5	25,0	21,5	20,20
07/11/2010	30,2	11,3	24,5	29,0	21,5	21,80
08/11/2010	33,0	16,6	26,5	32,0	22,5	24,22
09/11/2010	31,3	15,6	26,0	30,0	21,8	23,30
10/11/2010	29,2	13,2	24,0	28,2	19,6	21,12
11/11/2010	25,9	10,4	20,2	25,0	17,5	18,30
12/11/2010	26,2	12,3	22,0	25,0	19,0	19,70
13/11/2010	23,8	11,4	19,8	23,0	18,0	18,20
14/11/2010	26,1	11,4	21,0	25,2	20,0	19,70
15/11/2010	29,4	13,6	19,5	29,0	19,2	20,18
16/11/2010	24,2	14,0	19,0	23,2	19,8	19,30
17/11/2010	28,2	11,7	22,0	27,5	19,8	20,3,
18/11/2010	28,8	12,4	24,0	28,0	15,6	19,28
19/11/2010	31,2	11,2	26,0	30,8	20,0	21,68
20/11/2010	31,8	15,0	19,5	31,0	22,0	22,06
21/11/2010	32,2	17,0	23,5	32,0	22,0	23,34
22/11/2010	26,2	16,0	18,5	23,0	18,4	19,50

Data	Temperatura do Ar (°C)					Média
	Termômetros		Termógrafo			
	Máxima	Mínima	09:00	15:00	21:00	
23/11/2010	29,8	15,6	19,2	27,5	24,5	22,72
24/11/2010	31,4	15,4	24,0	30,4	23,8	23,68
25/11/2010	32,4	17,0	24,8	31,0	20,0	22,84
26/11/2010	30,3	15,6	25,0	29,9	21,0	22,58
27/11/2010	32,8	16,5	24,3	31,0	22,0	23,52
28/11/2010	34,0	16,3	26,8	33,0	23,5	24,82
29/11/2010	30,4	20,2	27,0	24,0	21,8	24,24
30/11/2010	31,6	20,0	25,5	25,0	20,5	23,62
01/12/2010	31,6	20,0	26,0	30,5	23,5	24,92
02/12/2010	29,4	20,8	23,0	28,0	21,0	23,04
03/12/2010	31,5	20,0	26,0	27,8	21,5	24,10
04/12/2010	33,4	19,9	29,0	31,5	23,0	25,66
05/12/2010	33,2	19,4	29,0	31,5	21,5	24,92
06/12/2010	30,2	17,2	22,5	28,0	22,0	22,78
07/12/2010	31,4	20,0	25,0	30,2	23,5	24,68
08/12/2010	31,4	15,4	27,5	30,2	24,0	24,46
09/12/2010	31,0	13,8	27,0	30,0	23,5	23,76
10/12/2010	32,4	16,3	25,0	31,8	23,5	24,14
11/12/2010	32,9	17,6	28,5	30,8	23,0	25,00
12/12/2010	33,0	17,0	28,5	32,2	25,0	25,70
13/12/2010	30,5	17,0	26,0	20,0	19,5	22,50
14/12/2010	22,0	14,2	19,8	20,0	16,8	17,92
15/12/2010	25,4	16,0	20,0	24,0	20,0	20,28
16/12/2010	29,0	16,8	19,0	26,0	20,2	21,04
17/12/2010	28,9	16,4	21,2	27,8	20,0	21,30
18/12/2010	27,6	16,3	21,0	25,0	20,1	21,02
19/12/2010	30,4	15,6	26,0	26,0	19,2	22,08
20/12/2010	32,7	16,4	27,0	31,2	22,8	24,34
21/12/2010	33,6	15,5	27,0	33,0	20,5	23,42
22/12/2010	29,8	16,4	18,8	29,0	22,0	21,80
23/12/2010	29,2	16,6	23,2	28,2	20,1	21,84
24/12/2010	29,7	17,4	24,0	26,0	21,6	22,86
25/12/2010	29,9	17,4	22,0	28,0	21,3	22,38
26/12/2010	26,8	17,5	24,0	25,0	21,5	22,26
27/12/2010	29,8	15,4	24,0	28,5	21,8	22,56
28/12/2010	30,2	13,5	25,0	28,0	22,0	22,54
29/12/2010	30,3	14,4	24,0	28,5	20,5	21,94
30/12/2010	29,4	12,4	25,0	27,8	19,5	21,16
31/12/2010	29,6	15,3	26,0	28,0	21,0	22,58
01/01/2011	29,7	17,1	24,8	27,5	21,0	22,72
02/01/2011	26,6	16,6	24,0	19,0	19,8	21,36

Data	Temperatura do Ar (°C)					Média
	Termômetros		Termógrafo			
	Máxima	Mínima	09:00	15:00	21:00	
03/01/2011	24,0	17,5	23,0	21,0	19,6	20,74
04/01/2011	29,2	16,9	20,0	26,0	21,5	21,82
05/01/2011	30,7	15,3	23,0	29,2	19,8	21,72
06/01/2011	31,6	17,0	24,5	30,5	19,2	22,30
07/01/2011	27,5	16,6	21,0	26,0	21,2	21,50
08/01/2011	27,8	17,1	19,0	24,0	21,0	21,18
09/01/2011	29,0	15,9	19,0	27,0	21,0	21,18
10/01/2011	30,0	16,0	25,2	27,0	21,5	22,84
11/01/2011	28,8	16,7	22,0	26,0	22,5	22,50
12/01/2011	27,6	22,5	22,0	26,5	21,2	22,90
13/01/2011	26,8	17,5	19,5	24,8	20,5	20,96
14/01/2011	29,5	14,4	21,0	28,0	20,0	20,98
15/01/2011	30,2	16,1	27,0	29,0	20,8	22,98
16/01/2011	32,3	16,8	27,0	29,0	20,6	23,46
17/01/2011	28,4	17,9	22,0	27,0	23,0	22,86
18/01/2011	27,4	16,9	26,0	19,5	19,8	21,98
19/01/2011	28,9	16,7	25,0	22,0	22,0	22,92
20/01/2011	28,2	16,5	22,0	24,0	21,5	21,94
21/01/2011	33,0	17,2	28,0	32,2	23,5	25,04
22/01/2011	33,1	16,6	27,5	32,0	22,0	24,24
23/01/2011	33,2	16,2	27,8	32,5	20,8	23,76
24/01/2011	32,6	17,8	25,0	30,8	24,0	24,68
25/01/2011	32,8	16,2	27,0	32,2	22,0	24,00
26/01/2011	32,4	16,8	27,0	31,2	22,5	24,24
27/01/2011	32,8	17,0	27,8	31,0	24,5	25,32
28/01/2011	32,5	17,6	28,5	30,6	23,0	24,92
29/01/2011	33,9	15,2	27,8	32,5	20,0	23,38
30/01/2011	32,9	16,7	26,0	32,0	24,0	24,72
31/01/2011	33,1	16,1	27,0	32,5	20,0	23,24
01/02/2011	27,1	16,2	21,0	25,5	20,5	21,06
02/02/2011	29,3	16,1	23,5	27,0	19,2	21,46
03/02/2011	26,5	15,9	20,5	24,2	21,5	21,18
04/02/2011	30,4	15,4	18,5	27,0	22,5	21,86
05/02/2011	32,1	15,5	27,0	31,0	19,0	22,52
06/02/2011	32,9	16,3	27,5	31,0	23,0	24,54
07/02/2011	31,3	15,9	23,5	24,0	20,8	22,46
08/02/2011	32,3	16,0	26,0	30,8	22,8	23,98
09/02/2011	31,7	16,1	28,5	30,0	21,6	23,90
10/02/2011	31,8	16,5	25,0	30,0	20,0	22,66
11/02/2011	31,9	16,2	25,2	29,0	22,0	23,46
12/02/2011	33,0	16,3	27,5	32,0	20,0	23,36

Data	Temperatura do Ar (°C)					Média
	Termômetros		Termógrafo			
	Máxima	Mínima	09:00	15:00	21:00	
13/02/2011	31,2	16,8	24,0	30,2	21,6	23,04
14/02/2011	29,8	17,2	24,0	21,2	21,0	22,60
15/02/2011	29,0	17,2	22,5	27,2	22,5	22,74
16/02/2011	30,2	16,0	25,0	28,0	19,2	21,91
17/02/2011	29,2	15,6	26,0	27,8	19,9	22,12
18/02/2011	30,4	15,2	24,2	28,0	18,2	21,24
19/02/2011	31,5	15,6	26,0	30,0	22,0	23,42
20/02/2011	33,2	15,4	28,0	32,0	23,0	24,52
21/02/2011	33,4	15,6	28,5	32,2	20,0	23,50
22/02/2011	31,6	17,2	25,0	30,0	22,0	23,56
23/02/2011	31,7	16,3	27,5	30,2	19,5	22,90
24/02/2011	31,7	16,9	26,0	28,5	21,5	23,52
25/02/2011	29,4	17,8	28,0	25,0	22,2	23,92
26/02/2011	31,8	16,6	25,5	29,0	21,0	23,18
27/02/2011	31,2	17,6	26,0	20,8	20,5	23,16
28/02/2011	24,2	18,6	22,6	21,0	19,5	20,88
01/03/2011	22,6	16,0	20,0	20,5	20,0	19,72
02/03/2011	22,4	15,6	19,5	20,0	18,6	18,94
03/03/2011	20,5	15,3	18,8	18,3	17,8	18,04
04/03/2011	20,6	15,4	18,0	19,	18,0	18,00
05/03/2011	22,0	14,1	18,0	18,4	18,0	18,02
06/03/2011	25,4	15,6	20,5	23,0	19,0	19,90
07/03/2011	22,4	14,4	20,5	20,6	19,0	19,06
08/03/2011	25,5	15,9	18,5	24,0	20,0	19,98
09/03/2011	28,7	16,0	22,0	26,0	22,0	22,14
10/03/2011	30,0	16,4	23,0	29,0	20,0	21,88
11/03/2011	28,9	17,8	24,5	27,0	21,5	22,84
12/03/2011	27,9	17,1	22,5	26,0	21,0	21,90
13/03/2011	29,0	15,4	24,0	27,0	22,0	22,48
14/03/2011	30,2	16,4	21,5	29,0	22,0	22,42
15/03/2011	27,6	16,2	22,5	26,5	22,2	22,14
16/03/2011	27,8	15,0	22,5	25,3	21,0	21,46
17/03/2011	29,8	17,5	21,0	29,8	22,8	22,78
18/03/2011	28,9	16,3	25,0	22,3	22,0	22,84
19/03/2011	25,3	15,7	22,2	24,8	20,6	20,88
20/03/2011	26,8	15,4	21,5	26,2	20,9	21,10
21/03/2011	28,0	15,5	21,5	27,5	20,8	21,32
22/03/2011	23,9	16,0	21,5	23,0	20,8	20,60
23/03/2011	26,8	16,2	22,3	25,5	22,0	21,86
24/03/2011	28,3	15,5	25,0	26,0	21,0	22,16
25/03/2011	30,9	15,3	27,0	30,0	23,0	23,84

Data	Temperatura do Ar (°C)					Média
	Termômetros		Termógrafo			
	Máxima	Mínima	09:00	15:00	21:00	
26/03/2011	32,4	16,6	27,5	32,0	23,5	24,70
27/03/2011	33,0	17,0	29,0	32,0	22,8	24,92
28/03/2011	30,2	18,0	24,0	28,0	22,5	23,44
29/03/2011	31,4	17,0	25,0	22,5	22,0	23,48
30/03/2011	27,8	14,9	24,0	26,8	21,0	21,74
31/03/2011	29,1	13,8	24,0	27,0	23,0	22,58
01/04/2011	31,2	15,1	24,2	30,5	22,0	22,90
02/04/2011	29,1	15,5	25,0	22,5	22,0	22,72
03/04/2011	24,7	16,0	22,0	24,7	21,2	21,02
04/04/2011	26,9	16,8	21,8	26,0	21,0	21,50
05/04/2011	26,8	15,0	20,5	26,0	20,0	20,46
06/04/2011	29,4	14,5	25,0	29,0	19,8	21,70
07/04/2011	28,0	14,2	24,0	27,8	19,0	20,84
08/04/2011	29,4	14,5	24,5	27,0	19,6	21,52
09/04/2011	29,1	15,0	25,0	25,0	19,5	21,62
10/04/2011	27,8	13,8	23,0	25,0	18,0	20,12
11/04/2011	28,4	16,0	23,5	27,5	19,8	21,50
12/04/2011	29,9	18,0	25,0	27,5	19,8	22,50
13/04/2011	24,0	17,0	20,3	23,0	20,0	20,26
14/04/2011	31,5	15,0	23,0	31,2	21,4	22,46
15/04/2011	30,4	17,8	25,5	24,3	22,0	23,54
16/04/2011	30,8	18,6	23,0	30,2	20,85	22,82
17/04/2011	30,4	16,2	23,5	30,0	21,0	22,42
18/04/2011	30,8	16,5	22,5	29,4	19,0	21,56
19/04/2011	28,6	16,0	23,0	26,5	20,5	21,72
20/04/2011	29,2	17,0	23,0	26,2	24,5	23,64
21/04/2011	30,4	16,2	25,0	28,7	17,0	21,12
22/04/2011	31,2	14,6	25,6	30,0	17,5	21,28
23/04/2011	30,9	16,7	27,0	29,3	18,0	22,12
24/04/2011	28,2	17,2	24,0	26,5	20,5	22,08
25/04/2011	28,7	17,8	24,0	27,5	20,8	22,42
26/04/2011	23,3	15,9	20,7	23,5	19,2	19,66
27/04/2011	19,8	15,0	18,5	16,9	17,0	17,46
28/04/2011	22,0	13,8	19,0	22,0	18,0	18,16
29/04/2011	27,6	12,9	19,8	27,5	19,0	19,66
30/04/2011	28,5	15,3	20,0	28,0	19,6	20,60
01/05/2011	26,4	14,8	22,5	19,0	18,8	20,26
02/05/2011	21,2	8,40	20,0	21,0	16,0	16,32
03/05/2011	24,0	11,1	16,5	24,0	17,2	17,20
04/05/2011	26,2	11,4	17,5	26,0	18,0	18,22
05/05/2011	29,2	12,5	18,5	29,0	18,7	19,52

Data	Temperatura do Ar (°C)					Média
	Termômetros		Termógrafo			
	Máxima	Mínima	09:00	15:00	21:00	
06/05/2011	28,8	12,9	19,0	28,2	18,5	19,54
07/05/2011	27,4	12,0	20,5	26,8	18,	19,18
08/05/2011	28,2	12,6	19,0	28,0	19,0	19,56
09/05/2011	27,0	15,6	21,9	26,5	20,0	20,90
10/05/2011	27,1	15,0	21,0	26,2	18,5	20,02
11/05/2011	27,5	13,4	22,0	26,5	19,0	20,18
12/05/2011	27,4	16,8	20,0	26,7	19,9	20,8
13/05/2011	25,6	14,8	20,2	24,3	18,4	19,48
14/05/2011	24,8	12,5	18,5	24,5	17,5	18,16

Tabela 8.7 Velocidade do vento

Velocidade Média do Vento (Km.h ⁻¹)			Velocidade Média do Vento (Km.h ⁻¹)		
Data	Anemômetro	Anemógrafo	Data	Anemômetro	Anemógrafo
	2,0 m	10,0 m		2,0 m	10,0 m
14/10/2010	5,58	9,48	21/11/2010	2,52	5,64
15/10/2010	5,70	9,21	22/11/2010	3,85	6,46
16/10/2010	3,79	6,58	23/11/2010	6,05	9,25
17/10/2010	4,02	7,16	24/11/2010	3,10	5,96
18/10/2010	7,38	11,71	25/11/2010	4,29	7,17
19/10/2010	8,35	12,25	26/11/2010	3,49	7,60
20/10/2010	6,14	8,96	27/11/2010	2,16	5,36
21/10/2010	3,14	5,92	28/11/2010	2,37	5,23
22/10/2010	5,02	7,40	29/11/2010	3,75	7,38
23/10/2010	3,89	6,08	30/11/2010	3,10	6,21
24/10/2010	5,27	8,61	01/12/2010	4,44	7,29
25/10/2010	5,61	8,75	02/12/2010	3,11	6,25
26/10/2010	7,15	11,6	03/12/2010	3,12	6,42
27/10/2010	4,70	6,00	04/12/2010	4,52	6,71
28/10/2010	4,02	4,50	05/12/2010	6,91	11,1
29/10/2010	4,77	7,18	06/12/2010	5,97	10,08
30/10/2010	5,83	9,26	07/12/2010	3,50	6,54
31/10/2010	1,26	3,06	08/12/2010	5,83	8,67
01/11/2010	1,64	2,92	09/12/2010	7,43	11,00
02/11/2010	2,95	4,33	10/12/2010	5,41	7,92
03/11/2010	2,56	5,29	11/12/2010	6,10	9,67
04/11/2010	4,26	6,58	12/12/2010	4,79	6,54
05/11/2010	5,83	8,96	13/12/2010	4,43	7,88
06/11/2010	3,97	7,17	14/12/2010	5,85	9,63
07/11/2010	2,79	5,38	15/12/2010	10,5	15,2
08/11/2010	4,25	7,08	16/12/2010	2,72	6,00
09/11/2010	5,26	8,25	17/12/2010	3,07	5,85
10/11/2010	11,7	15,2	18/12/2010	1,90	4,42
11/11/2010	11,0	15,0	19/12/2010	2,38	5,45
12/11/2010	9,72	12,6	20/12/2010	3,21	5,75
13/11/2010	9,20	12,3	21/12/2010	5,84	7,63
14/11/2010	4,85	8,20	22/12/2010	2,07	6,75
15/11/2010	5,44	8,74	23/12/2010	2,56	6,83
16/11/2010	1,66	4,96	24/12/2010	2,26	4,88
17/11/2010	3,19	7,00	25/12/2010	3,33	6,83
18/11/2010	5,49	9,25	26/12/2010	1,74	4,68
19/11/2010	4,52	7,29	27/12/2010	5,91	9,21
20/11/2010	3,58	6,04	28/12/2010	5,83	9,12

Velocidade Média do Vento (Km.h ⁻¹)			Velocidade Média do Vento (Km.h ⁻¹)		
Data	Anemômetro	Anemógrafo	Data	Anemômetro	Anemógrafo
	2,0 m	10,0 m		2,0 m	10,0 m
29/12/2010	8,36	11,9	05/02/2011	2,17	6,68
30/12/2010	9,63	13,4	06/02/2011	3,30	6,50
31/12/2010	8,47	12,1	07/02/2011	2,76	4,54
01/01/2011	4,39	7,56	08/02/2011	3,65	6,54
02/01/2011	3,22	6,26	09/02/2011	2,89	6,58
03/01/2011	3,64	7,72	10/02/2011	2,02	5,54
04/01/2011	1,46	5,46	11/02/2011	1,48	4,70
05/01/2011	3,93	7,83	12/02/2011	2,45	5,54
06/01/2011	1,79	5,88	13/02/2011	1,33	4,78
07/01/2011	0,92	4,46	14/02/2011	1,17	4,79
08/01/2011	0,58	3,16	15/02/2011	2,11	5,75
09/01/2011	2,00	5,43	16/02/2011	3,30	7,58
10/01/2011	4,81	8,08	17/02/2011	2,10	6,25
11/01/2011	4,82	8,25	18/02/2011	1,96	6,73
12/01/2011	4,09	8,00	19/02/2011	2,96	7,88
13/01/2011	1,52	5,50	20/02/2011	2,41	6,78
14/01/2011	1,45	5,84	21/02/2011	3,53	6,13
15/01/2011	1,57	5,50	22/02/2011	2,89	6,46
16/01/2011	3,28	6,67	23/02/2011	2,75	7,50
17/01/2011	1,73	4,38	24/02/2011	2,05	5,96
18/01/2011	0,67	4,33	25/02/2011	0,93	4,15
19/01/2011	0,75	4,00	26/02/2011	1,55	6,40
20/01/2011	0,48	3,88	27/02/2011	2,50	7,39
21/01/2011	2,94	7,17	28/02/2011	4,35	8,83
22/01/2011	4,12	7,75	01/03/2011	4,67	9,71
23/01/2011	3,37	7,50	02/03/2011	5,12	9,67
24/01/2011	1,88	5,92	03/03/2011	3,41	9,13
25/01/2011	1,90	6,00	04/03/2011	6,11	10,31
26/01/2011	2,44	5,83	05/03/2011	6,04	10,63
27/01/2011	2,87	6,42	06/03/2011	3,74	8,09
28/01/2011	1,97	5,00	07/03/2011	5,20	9,65
29/01/2011	2,92	6,72	08/03/2011	1,95	5,76
30/01/2011	1,40	5,52	09/03/2011	2,38	6,50
31/01/2011	3,27	7,42	10/03/2011	2,56	6,17
01/02/2011	2,28	3,58	11/03/2011	3,25	5,84
02/02/2011	2,11	5,58	12/03/2011	2,38	5,60
03/02/2011	2,59	5,21	13/03/2011	2,50	5,57
04/02/2011	3,29	4,76	14/03/2011	4,77	7,96

Data	Velocidade Média do Vento (Km.h ⁻¹)		Data	Velocidade Média do Vento (Km.h ⁻¹)	
	Anemômetro	Anemógrafo		Anemômetro	Anemógrafo
	2,0 m	10,0 m		2,0 m	10,0 m
15/03/2011	10,5	14,58	15/04/2011	1,22	5,25
16/03/2011	8,44	12,25	16/04/2011	2,03	5,50
17/03/2011	1,90	4,38	17/04/2011	1,55	6,41
18/03/2011	3,70	6,73	18/04/2011	2,35	4,67
19/03/2011	11,1	16,8	19/04/2011	3,88	7,25
20/03/2011	10,3	16,1	20/04/2011	2,83	5,88
21/03/2011	3,93	7,79	21/04/2011	2,11	5,52
22/03/2011	2,17	5,83	22/04/2011	1,11	2,27
23/03/2011	1,90	4,46	23/04/2011	1,39	3,25
24/03/2011	2,81	6,00	24/04/2011	4,53	6,63
25/03/2011	1,74	4,48	25/04/2011	4,22	6,92
26/03/2011	2,20	4,84	26/04/2011	7,28	10,2
27/03/2011	3,08	6,09	27/04/2011	3,90	6,06
28/03/2011	1,48	4,33	28/04/2011	1,52	1,89
29/03/2011	3,35	6,54	29/04/2011	1,06	1,62
30/03/2011	7,14	10,63	30/04/2011	1,28	2,04
31/03/2011	5,25	8,50	01/05/2011	2,18	1,63
01/04/2011	3,26	5,88	02/05/2011	0,94	0,87
02/04/2011	1,88	4,56	03/05/2011	1,90	2,80
03/04/2011	0,87	3,22	04/05/2011	1,33	2,76
04/04/2011	2,01	5,54	05/05/2011	0,89	2,30
05/04/2011	1,06	5,50	06/05/2011	1,16	2,00
06/04/2011	2,15	5,29	07/05/2011	1,58	3,22
07/04/2011	3,38	7,08	08/05/2011	1,13	2,80
08/04/2011	2,43	5,35	09/05/2011	4,10	6,23
09/04/2011	3,78	7,54	10/05/2011	1,52	2,95
10/04/2011	3,45	6,22	11/05/2011	1,29	2,51
11/04/2011	2,99	6,42	12/05/2011	2,76	4,53
12/04/2011	3,93	9,29	13/05/2011	4,84	7,25
13/04/2011	1,23	6,13	14/05/2011	2,17	3,56
14/04/2011	0,34	4,96			

Tabela 8.8 Evaporação no tanque Classe A e Padrão

Data	Evaporação (mm)		Data	Evaporação (mm)		Data	Evaporação (mm)	
	Classe A	Padrão		Classe A	Padrão		Classe A	Padrão
14/10/2010	6,8	4,92	28/11/2010	6,86	5,16	12/1/2011	1,69	***
15/10/2010	4,81	0,57	29/11/2010	4,76	4,00	13/1/2011	2,50	0,20
16/10/2010	6,59	3,24	30/11/2010	3,12	3,66	14/1/2011	4,09	3,88
17/10/2010	3,78	2,92	1/12/2010	7,82	4,04	15/1/2011	***	2,80
18/10/2010	5,26	4,73	2/12/2010	4,03	3,47	16/1/2011	5,76	3,48
19/10/2010	7,11	6,62	3/12/2010	4,71	3,66	17/1/2011	2,64	5,6
20/10/2010	7,27	6,13	4/12/2010	7,92	4,84	18/1/2011	2,76	2,36
21/10/2010	6,88	5,31	5/12/2010	7,15	6,76	19/1/2011	2,10	1,98
22/10/2010	6,94	4,64	6/12/2010	6,00	5,78	20/1/2011	2,60	2,92
23/10/2010	3,87	2,13	7/12/2010	5,61	5,52	21/1/2011	7,96	6,28
24/10/2010	5,57	4,25	8/12/2010	7,65	7,57	22/1/2011	6,99	5,79
25/10/2010	7,52	5,74	9/12/2010	8,46	8,90	23/1/2011	3,61	4,61
26/10/2010	6,96	6,74	10/12/2010	7,91	7,38	24/1/2011	6,28	4,62
27/10/2010	6,1	6,04	11/12/2010	6,01	5,34	25/1/2011	6,49	4,65
28/10/2010	7,26	6,02	12/12/2010	***	***	26/1/2011	6,53	4,65
29/10/2010	8,02	6,69	13/12/2010	4,10	3,46	27/1/2011	7,88	5,66
30/10/2010	4,18	4,20	14/12/2010	2,16	2,02	28/1/2011	6,80	6,04
31/10/2010	2,44	4,86	15/12/2010	3,74	4,24	29/1/2011	7,26	6,03
1/11/2010	3,56	4,74	16/12/2010	1,70	0,75	30/1/2011	5,62	5,37
2/11/2010	4,61	4,33	17/12/2010	5,50	2,99	31/1/2011	***	***
3/11/2010	5,83	4,43	18/12/2010	3,45	2,53	1/2/2011	2,32	3,56
4/11/2010	6,92	4,16	19/12/2010	3,83	3,65	2/2/2011	7,18	5,42
5/11/2010	7,36	6,14	20/12/2010	7,15	4,03	3/2/2011	2,06	2,50
6/11/2010	1,68	2,85	21/12/2010	***	***	4/2/2011	3,29	4,08
7/11/2010	8,18	7,69	22/12/2010	5,77	4,58	5/2/2011	***	***
8/11/2010	6,12	5,98	23/12/2010	***	***	6/2/2011	7,23	4,54
9/11/2010	***	***	24/12/2010	5,18	4,01	7/2/2011	3,66	4,07
10/11/2010	6,41		25/12/2010	2,92	2,25	8/2/2011	7,64	5,07
11/11/2010	7,06	6,41	26/12/2010	0,32	2,54	9/2/2011	6,19	5,21
12/11/2010	6,84	***	27/12/2010	7,59	6,16	10/2/2011	6,93	5,40
13/11/2010	5,24	3,81	28/12/2010	6,19	5,94	11/2/2011	6,64	5,10
14/11/2010	5,52	5,02	29/12/2010	8,11	7,87	12/2/2011	6,42	6,27
15/11/2010	3,62	4,80	30/12/2010	8,01	7,75	13/2/2011	5,31	4,00
16/11/2010	2,68	3,38	31/12/2010	7,64	7,21	14/2/2011	3,91	4,76
17/11/2010	3,64	4,64	1/1/2011	4,13	3,89	15/2/2011	5,00	4,20
18/11/2010	6,80	6,22	2/1/2011	***	***	16/2/2011	***	***
19/11/2010	7,51	7,06	3/1/2011	***	***	17/2/2011	3,98	3,25
20/11/2010	7,88	7,16	4/1/2011	***	0,20	18/2/2011	7,30	6,41
21/11/2010	7,17	6,76	5/1/2011	***	***	19/2/2011	7,25	5,33
22/11/2010	4,47	4,28	6/1/2011	***	***	20/2/2011	7,23	3,88
23/11/2010	7,83	6,7	7/1/2011	0,29	***	21/2/2011	6,60	5,43
24/11/2010	6,47	5,50	8/1/2011	0,25	***	22/2/2011	6,74	3,96
25/11/2010	7,32	4,48	9/1/2011	1,02	***	23/2/2011	5,87	5,80
26/11/2010	8,04	5,87	10/1/2011	***	***	24/2/2011	6,34	4,92
27/11/2010	7,40	4,59	11/1/2011	6,74	5,20	25/2/2011	3,08	3,23

Data	Evaporação (mm)		Data	Evaporação (mm)		Data	Evaporação (mm)	
	Classe A	Padrão		Classe A	Padrão		Classe A	Padrão
26/2/2011	6,33	6,11	24/3/2011	4,60	2,27	19/4/2011	4,38	3,56
27/2/2011	5,65	5,00	25/3/2011	5,26	5,87	20/4/2011	4,75	4,11
28/2/2011	4,15	3,56	26/3/2011	6,07	5,03	21/4/2011	4,74	4,29
1/3/2011	1,56	1,60	27/3/2011	6,95	3,90	22/4/2011	5,54	3,59
2/3/2011	***	***	28/3/2011	3,82	3,00	23/4/2011	3,57	3,97
3/3/2011	1,92	2,40	29/3/2011	4,58	3,78	24/4/2011	4,83	4,74
4/3/2011	***	***	30/3/2011	4,92	3,84	25/4/2011	5,35	4,47
5/3/2011	3,05	***	31/3/2011	4,59	4,02	26/4/2011	4,17	6,25
6/3/2011	1,70	***	1/4/2011	5,53	5,12	27/4/2011	***	***
7/3/2011	0,14	1,36	2/4/2011	1,96	1,02	28/4/2011	2,47	2,48
8/3/2011	1,86	0,37	3/4/2011	1,12	***	29/4/2011	3,31	3,19
9/3/2011	3,37	1,97	4/4/2011	2,20	***	30/4/2011	5,20	3,45
10/3/2011	4,97	2,86	5/4/2011	1,24	2,34	1/5/2011	1,54	0,84
11/3/2011	4,66	1,76	6/4/2011	6,06	5,78	2/5/2011	1,19	2,35
12/3/2011	3,41	1,20	7/4/2011	6,37	5,00	3/5/2011	3,84	4,18
13/3/2011	3,66	2,74	8/4/2011	5,44	2,59	4/5/2011	3,05	3,11
14/3/2011	3,84	3,05	9/4/2011	4,44	4,41	5/5/2011	3,73	3,14
15/3/2011	6,50	5,89	10/4/2011	3,69	5,22	6/5/2011	4,26	2,98
16/3/2011	5,02	4,95	11/4/2011	4,94	3,11	7/5/2011	3,69	2,88
17/3/2011	3,94	2,88	12/4/2011	***	***	8/5/2011	3,09	2,11
18/3/2011	***	***	13/4/2011	2,26	***	9/5/2011	3,58	3,19
19/3/2011	3,67	***	14/4/2011	3,96	2,48	10/5/2011	3,5	2,66
20/3/2011	4,85	5,82	15/4/2011	3,45	3,05	11/5/2011	3,27	2,40
21/3/2011	3,76	2,97	16/4/2011	3,73	2,76	12/5/2011	3,79	3,02
22/3/2011	2,38	1,5	17/4/2011	2,86	2,38	13/5/2011	4,86	4,21
23/3/2011	0,82	1,92	18/4/2011	4,82	2,84	14/5/2011	2,14	3,03

*** leitura errada ou transbordamento do tanque devido a precipitações

Tabela 8.9 Precipitação em milímetros

Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)
	Pluviômetro		Pluviômetro		Pluviômetro
14/10/2010	10,2	27/11/2010	0,00	10/1/2011	26,2
15/10/2010	1,40	28/11/2010	0,00	11/1/2011	22,0
16/10/2010	0,00	29/11/2010	8,00	12/1/2011	20,7
17/10/2010	4,00	30/11/2010	0,00	13/1/2011	42,4
18/10/2010	2,60	1/12/2010	4,80	14/1/2011	16,6
19/10/2010	0,00	2/12/2010	6,30	15/1/2011	0,00
20/10/2010	0,00	3/12/2010	0,60	16/1/2011	39,5
21/10/2010	0,00	4/12/2010	0,30	17/1/2011	3,00
22/10/2010	1,30	5/12/2010	13,6	18/1/2011	21,7
23/10/2010	0,10	6/12/2010	0,00	19/1/2011	2,20
24/10/2010	0,00	7/12/2010	0,00	20/1/2011	0,70
25/10/2010	5,40	8/12/2010	0,00	21/1/2011	0,00
26/10/2010	0,00	9/12/2010	0,00	22/1/2011	0,00
27/10/2010	0,00	10/12/2010	0,00	23/1/2011	13,5
28/10/2010	0,00	11/12/2010	5,00	24/1/2011	2,40
29/10/2010	0,00	12/12/2010	37,1	25/1/2011	7,60
30/10/2010	17,1	13/12/2010	31,0	26/1/2011	0,00
31/10/2010	1,20	14/12/2010	28,2	27/1/2011	0,00
1/11/2010	0,00	15/12/2010	2,50	28/1/2011	0,00
2/11/2010	0,00	16/12/2010	17,5	29/1/2011	14,6
3/11/2010	0,00	17/12/2010	0,20	30/1/2011	0,00
4/11/2010	28,0	18/12/2010	0,00	31/1/2011	30,0
5/11/2010	0,20	19/12/2010	3,80	1/2/2011	0,00
6/11/2010	0,00	20/12/2010	0,00	2/2/2011	21,5
7/11/2010	0,00	21/12/2010	19,2	3/2/2011	4,40
8/11/2010	0,00	22/12/2010	22,3	4/2/2011	2,10
9/11/2010	30,6	23/12/2010	36,1	5/2/2011	41,1
10/11/2010	0,00	24/12/2010	0,00	6/2/2011	0,00
11/11/2010	0,00	25/12/2010	0,00	7/2/2011	0,00
12/11/2010	1,00	26/12/2010	6,30	8/2/2011	0,00
13/11/2010	0,00	27/12/2010	0,00	9/2/2011	0,00
14/11/2010	0,00	28/12/2010	0,00	10/2/2011	0,70
15/11/2010	7,00	29/12/2010	0,00	11/2/2011	0,00
16/11/2010	7,20	30/12/2010	0,00	12/2/2011	1,80
17/11/2010	0,00	31/12/2010	0,00	13/2/2011	6,10
18/11/2010	0,00	1/1/2011	0,00	14/2/2011	0,00
19/11/2010	0,00	2/1/2011	158,4	15/2/2011	0,00
20/11/2010	0,00	3/1/2011	12,8	16/2/2011	34,3
21/11/2010	5,80	4/1/2011	10,8	17/2/2011	5,60
22/11/2010	49,00	5/1/2011	58,2	18/2/2011	17,5
23/11/2010	0,00	6/1/2011	21,9	19/2/2011	0,30
24/11/2010	0,00	7/1/2011	0,20	20/2/2011	0,00
25/11/2010	5,40	8/1/2011	20,6	21/2/2011	1,80
26/11/2010	0,00	9/1/2011	27,8	22/2/2011	6,50

Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)
	Pluviômetro Ville de Paris		Pluviômetro Ville de Paris		Pluviômetro Ville de Paris
23/2/2011	3,80	22/3/2011	0,30	18/4/2011	0,0
24/2/2011	1,40	23/3/2011	0,00	19/4/2011	0,0
25/2/2011	1,60	24/3/2011	0,00	20/4/2011	0,0
26/2/2011	22,0	25/3/2011	0,00	21/4/2011	0,0
27/2/2011	12,4	26/3/2011	10,1	22/4/2011	0,0
28/2/2011	23,5	27/3/2011	10,6	23/4/2011	0,0
1/3/2011	31,5	28/3/2011	0,00	24/4/2011	0,0
2/3/2011	43,5	29/3/2011	13,2	25/4/2011	0,0
3/3/2011	18,6	30/3/2011	0,00	26/4/2011	0,0
4/3/2011	19,2	31/3/2011	0,00	27/4/2011	76,1
5/3/2011	32,0	1/4/2011	0,00	28/4/2011	0,0
6/3/2011	21,5	2/4/2011	1,60	29/4/2011	0,0
7/3/2011	2,30	3/4/2011	4,00	30/4/2011	0,0
8/3/2011	2,90	4/4/2011	0,00	1/5/2011	4,5
9/3/2011	0,00	5/4/2011	9,70	2/5/2011	0,3
10/3/2011	0,00	6/4/2011	0,00	3/5/2011	0,0
11/3/2011	0,40	7/4/2011	0,00	4/5/2011	0,0
12/3/2011	5,90	8/4/2011	0,00	5/5/2011	0,0
13/3/2011	0,00	9/4/2011	0,00	6/5/2011	0,0
14/3/2011	3,60	10/4/2011	8,50	7/5/2011	0,0
15/3/2011	0,00	11/4/2011	1,20	8/5/2011	0,0
16/3/2011	10,4	12/4/2011	59,8	9/5/2011	0,0
17/3/2011	0,00	13/4/2011	2,7	10/5/2011	0,0
18/3/2011	55,3	14/4/2011	0,0	11/5/2011	0,0
19/3/2011	0,00	15/4/2011	0,0	12/5/2011	0,0
20/3/2011	0,00	16/4/2011	0,0	13/5/2011	0,0
21/3/2011	1,20	17/4/2011	0,0	14/5/2011	0,0

Tabela 8.10 Radiação solar na superfície

Data	Radiação Solar (cal.cm².dia⁻¹)														Soma	Total
	Actinógrafo															
	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00			
14/10/2010	0,00	0,22	0,52	0,75	0,90	1,00	1,01	1,02	0,85	0,45	0,43	0,23	0,09	7,47	435,48	
15/10/2010	0,00	0,02	0,05	0,08	0,17	1,00	0,95	0,60	0,98	0,70	0,35	0,20	0,09	5,19	302,56	
16/10/2010	0,00	0,14	0,28	0,30	0,93	1,10	1,07	1,10	1,00	0,75	0,40	0,23	0,13	7,43	433,15	
17/10/2010	0,00	0,26	0,60	0,83	0,93	0,80	1,03	1,10	0,85	0,35	0,21	0,20	0,15	7,31	426,15	
18/10/2010	0,00	0,01	0,02	0,08	0,95	0,50	1,21	0,90	1,07	0,92	0,47	0,25	0,12	6,50	378,93	
19/10/2010	0,00	0,25	0,62	0,80	0,98	1,09	1,12	1,10	0,85	0,65	0,66	0,35	0,09	8,56	499,02	
20/10/2010	0,00	0,25	0,74	0,87	1,02	1,10	1,15	1,15	1,10	0,95	0,65	0,35	0,10	9,43	549,74	
21/10/2010	0,00	0,25	0,58	0,80	0,97	1,05	1,10	1,11	1,05	0,90	0,63	0,30	0,10	8,84	515,35	
22/10/2010	0,00	0,28	0,55	0,75	0,95	1,06	1,08	1,11	1,00	0,70	0,54	0,35	0,10	8,47	493,78	
23/10/2010	0,00	0,00	0,05	0,20	0,90	0,35	0,60	0,55	0,35	0,23	0,22	0,15	0,12	3,72	216,87	
24/10/2010	0,00	0,05	0,18	0,93	1,23	1,28	1,21	1,04	0,90	0,65	0,50	0,25	0,14	8,36	487,36	
25/10/2010	0,00	0,05	0,54	0,70	0,86	1,05	0,38	1,10	1,07	0,80	0,65	0,27	0,15	7,62	444,22	
26/10/2010	0,00	0,04	0,62	0,85	0,99	1,08	1,10	1,12	1,16	0,90	0,50	0,49	0,15	9,00	524,67	
27/10/2010	0,00	0,26	0,60	0,89	1,00	1,15	1,21	1,12	1,00	0,87	0,62	0,20	0,12	9,04	527,01	
28/10/2010	0,00	0,25	0,62	0,80	0,99	1,10	1,08	1,14	1,12	0,95	0,67	0,35	0,10	9,17	534,59	
29/10/2010	0,00	0,25	0,53	0,80	0,96	1,08	1,11	1,12	1,08	0,95	0,70	0,36	0,15	9,09	529,92	
30/10/2010	0,00	0,15	0,45	0,50	0,11	0,10	1,07	0,94	0,65	0,09	0,37	0,25	0,11	4,79	279,24	
31/10/2010	0,00	0,03	0,17	0,18	0,20	0,22	0,35	0,45	0,72	0,37	0,37	0,25	0,13	3,44	200,54	
01/11/2010	0,00	0,15	0,20	0,45	0,65	0,37	0,45	0,30	0,37	0,37	0,38	0,27	0,13	4,09	245,52	
02/11/2010	0,00	0,05	0,25	0,55	0,58	0,73	0,70	0,95	1,00	0,85	0,40	0,25	0,28	6,59	395,59	
03/11/2010	0,00	0,18	0,60	0,87	1,18	1,12	1,13	1,18	1,08	0,92	0,35	0,30	0,10	9,01	540,86	
04/11/2010	0,00	0,35	0,63	0,83	1,00	1,18	1,15	1,20	1,10	0,90	0,58	0,45	0,10	9,47	568,47	
05/11/2010	0,00	0,30	0,63	0,78	1,05	1,10	1,07	1,18	1,07	1,00	0,13	0,14	0,10	8,55	513,25	
06/11/2010	0,00	0,05	0,07	0,60	0,78	1,00	0,70	1,05	0,95	0,55	0,68	0,33	0,12	6,88	413,00	

Data	Radiação Solar (cal.cm².dia⁻¹)													Soma	Total
	Actinógrafo														
	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00		
07/11/2010	0,00	0,32	0,72	1,05	1,15	1,20	1,25	1,20	1,02	0,82	0,62	0,40	0,10	9,85	591,28
08/11/2010	0,00	0,28	0,50	0,70	0,94	1,13	1,19	1,22	1,07	0,89	0,76	0,30	0,11	9,09	545,66
09/11/2010	0,00	0,04	0,55	0,75	1,00	1,11	1,19	1,18	0,80	0,50	0,45	0,37	0,15	8,09	485,63
10/11/2010	0,00	0,04	0,30	0,86	0,99	1,25	1,43	1,24	0,85	0,55	0,30	0,23	0,15	8,19	491,64
11/11/2010	0,00	0,40	0,60	0,85	1,06	1,00	1,10	1,28	1,11	0,90	0,55	0,43	0,17	9,45	567,27
12/11/2010	0,00	0,28	0,60	1,03	1,07	1,17	1,23	1,00	1,01	0,50	0,48	0,34	0,20	8,91	534,86
13/11/2010	0,00	0,02	0,35	0,55	1,23	0,90	0,55	0,35	0,45	0,59	0,70	0,45	0,20	6,34	380,58
14/11/2010	0,00	0,05	0,30	0,91	0,63	0,50	0,65	1,05	1,04	0,60	0,61	0,31	0,11	6,76	405,79
15/11/2010	0,00	0,10	0,22	0,95	1,11	1,15	1,28	1,10	0,88	0,57	0,42	0,19	0,10	8,07	484,43
16/11/2010	0,00	0,03	0,03	0,04	0,07	0,76	0,55	0,65	0,25	0,39	0,30	0,15	0,07	3,29	197,49
17/11/2010	0,00	0,12	0,27	0,95	1,15	1,16	1,35	1,10	0,90	0,55	0,40	0,18	0,09	8,22	493,44
18/11/2010	0,10	0,45	0,71	0,95	1,09	1,17	1,25	1,10	1,04	0,75	0,65	0,35	0,10	9,71	582,88
19/11/2010	0,11	0,46	0,75	0,92	1,07	1,16	1,15	1,15	1,07	0,90	0,65	0,35	0,08	9,82	589,48
20/11/2010	0,04	0,38	0,81	0,90	0,86	0,85	1,00	0,95	0,60	0,49	0,35	0,29	0,09	7,61	456,82
21/11/2010	0,02	0,62	0,65	0,66	1,21	0,98	1,14	0,98	0,30	0,26	0,19	0,17	0,12	7,3	438,21
22/11/2010	0,00	0,00	0,02	0,03	0,05	0,60	1,15	0,90	0,55	0,35	0,34	0,30	0,13	4,42	265,33
23/11/2010	0,00	0,03	0,30	0,80	1,17	1,31	1,25	1,21	0,55	0,65	0,45	0,21	0,09	8,02	481,43
24/11/2010	0,00	0,40	0,55	0,72	0,88	1,07	1,15	1,05	0,85	0,55	0,73	0,25	0,14	8,34	500,64
25/11/2010	0,00	0,18	0,47	0,65	0,89	1,04	0,85	1,05	1,01	0,98	0,45	0,22	0,11	7,90	474,23
26/11/2010	0,02	0,44	0,82	1,11	1,12	1,00	1,2	1,14	1,05	0,85	0,61	0,37	0,19	9,92	595,49
27/11/2010	0,02	0,38	0,61	0,80	0,98	1,17	1,24	1,20	1,11	0,89	0,75	0,35	0,17	9,67	580,48
28/11/2010	0,10	0,45	0,65	0,90	1,02	1,19	1,14	1,15	1,00	0,95	0,70	0,35	0,10	9,70	582,28
29/11/2010	0,00	0,20	0,35	0,75	0,64	0,60	0,90	0,40	0,20	0,14	0,15	0,54	0,12	4,99	299,54
30/11/2010	0,01	0,05	0,20	0,48	0,60	0,46	0,93	0,55	1,05	0,48	0,14	0,30	0,13	5,38	322,95

Data	Radiação Solar (cal.cm ² .dia ⁻¹)													Soma	Total
	Actinógrafo														
	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00		
01/12/2010	0,01	0,16	0,8	0,87	1,05	1,2	1,12	0,85	1,00	0,87	0,52	0,20	0,09	8,74	524,65
02/12/2010	0,19	0,19	0,31	0,32	0,30	0,50	0,45	1,09	0,98	0,71	0,45	0,20	0,13	5,82	349,37
03/12/2010	0,01	0,03	0,15	0,65	1,05	1,15	1,20	1,09	0,78	0,43	0,19	0,12	0,12	6,967	418,22
04/12/2010	0,02	0,15	0,75	1,05	1,15	1,22	1,26	1,10	1,10	0,73	0,50	0,30	0,11	9,44	566,67
05/12/2010	0,15	0,37	0,69	0,75	1,20	0,95	0,98	1,12	1,00	0,65	0,30	0,10	0,09	8,35	501,24
06/12/2010	0,00	0,01	0,51	0,52	0,80	1,18	1,19	1,17	1,00	0,80	0,80	0,42	0,25	8,65	519,25
07/12/2010	0,00	0,03	0,64	0,77	0,96	1,14	1,20	1,15	1,00	0,89	0,67	0,25	0,15	8,85	531,25
08/12/2010	0,00	0,31	0,75	0,81	1,23	1,20	1,15	1,10	1,00	0,85	0,50	0,35	0,12	9,37	562,47
09/12/2010	0,00	0,27	0,60	0,85	0,30	0,90	1,12	1,22	1,04	0,92	0,75	0,45	0,15	8,57	514,45
10/12/2010	0,00	0,25	0,64	0,82	0,95	1,06	1,19	1,20	1,20	0,95	0,79	0,50	0,18	9,73	584,08
11/12/2010	0,00	0,23	0,52	0,83	1,10	1,20	1,21	1,11	0,70	0,35	0,40	0,21	0,14	8,00	480,23
12/12/2010	0,00	0,43	0,61	0,85	0,98	1,10	1,20	1,04	0,99	0,85	0,52	0,20	0,13	8,90	534,26
13/12/2010	0,00	0,03	0,65	0,87	1,00	0,86	0,50	1,01	0,21	0,19	0,18	0,06	0,05	5,61	336,76
14/12/2010	0,00	0,03	0,05	0,15	0,25	0,19	0,16	0,32	0,20	0,12	0,19	0,15	0,07	1,88	112,85
15/12/2010	0,00	0,02	0,07	0,52	0,58	0,40	0,45	0,35	1,21	0,8	0,47	0,30	0,13	5,30	318,15
16/12/2010	0,00	0,02	0,04	0,14	0,51	1,10	0,50	1,00	1,20	0,71	0,29	0,15	0,14	5,80	348,17
17/12/2010	0,02	0,05	0,35	1,05	1,15	1,00	1,16	0,81	0,70	0,23	0,17	0,16	0,15	70	420,20
18/12/2010	0,00	0,04	0,09	0,31	0,45	0,46	0,55	1,35	0,60	0,16	0,16	0,15	0,13	4,45	267,13
19/12/2010	0,00	0,49	0,81	0,90	1,15	1,30	0,55	0,44	0,35	0,87	0,25	0,17	0,09	7,37	442,41
20/12/2010	0,00	0,21	0,55	0,65	1,00	1,02	1,14	1,12	1,04	0,96	0,83	0,50	0,25	9,27	556,47
21/12/2010	0,00	0,12	0,60	0,80	0,90	1,02	1,21	1,10	1,07	0,95	0,70	0,66	0,13	9,26	555,87
22/12/2010	0,00	0,04	0,26	0,44	0,60	1,05	1,21	0,75	1,15	0,65	0,25	0,39	0,15	6,94	416,60
23/12/2010	0,00	0,03	0,23	0,25	1,35	0,85	1,45	0,57	1,05	0,85	0,75	0,60	0,07	8,05	483,23
24/12/2010	0,00	0,01	0,45	0,41	0,57	1,29	1,28	0,95	0,75	0,40	0,25	0,22	0,10	6,68	400,99

Data	Radiação Solar (cal.cm ² .dia ⁻¹)													Soma	Total
	Actinógrafo														
	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00		
25/12/2010	0,00	0,12	0,50	0,42	0,31	0,30	1,31	1,17	1,05	0,85	0,65	0,30	0,13	7,11	426,80
26/12/2010	0,00	0,11	0,28	0,39	0,57	0,35	0,25	0,30	0,30	0,70	0,31	0,25	0,12	3,93	235,91
27/12/2010	0,00	0,03	0,12	0,45	0,95	1,00	1,20	1,30	1,05	0,95	0,55	0,40	0,20	8,20	492,24
28/12/2010	0,00	0,03	0,28	0,30	1,00	1,18	1,30	1,05	1,01	1,00	0,65	0,47	0,25	8,52	511,45
29/12/2010	0,00	0,35	0,63	0,92	1,00	1,10	1,11	1,12	1,11	0,98	0,83	0,50	0,20	9,85	591,28
30/12/2010	0,00	0,30	0,65	0,85	1,05	1,20	1,22	1,15	1,08	1,06	0,64	0,50	0,20	9,9	594,29
31/12/2010	0,00	0,32	0,62	0,80	1,05	1,30	0,45	0,55	0,83	0,05	0,65	0,46	0,12	7,20	432,21
01/01/2011	0,00	0,04	0,41	0,25	0,49	0,35	0,80	0,98	0,75	0,65	0,45	0,20	0,15	5,52	331,36
02/01/2011	0,00	0,04	0,41	0,60	0,50	0,85	0,72	0,75	0,90	0,76	0,15	0,10	0,00	5,78	346,97
03/01/2011	0,00	0,00	0,00	0,02	0,20	0,28	0,40	0,40	0,30	0,46	0,88	0,30	0,25	3,49	209,50
04/01/2011	0,00	0,04	0,15	0,40	0,72	1,40	0,60	1,05	0,25	0,86	0,50	0,35	0,06	6,38	382,98
05/01/2011	0,00	0,00	0,00	0,08	0,48	0,80	1,00	0,90	1,20	1,20	1,01	0,85	0,59	8,11	486,83
06/01/2011	0,00	0,00	0,12	0,48	0,75	0,60	1,10	1,13	1,10	1,20	0,40	0,09	0,05	7,02	421,40
07/01/2011	0,00	0,00	0,04	0,30	0,05	0,25	0,60	0,59	0,60	0,72	0,63	0,38	0,10	4,26	255,72
08/01/2011	0,00	0,00	0,03	0,45	0,60	0,85	0,55	0,50	0,15	0,08	0,06	0,05	0,02	3,34	200,50
09/01/2011	0,00	0,03	0,80	0,95	0,97	1,15	1,25	0,95	0,55	0,32	0,11	0,05	0,04	7,17	430,41
10/01/2011	0,00	0,00	0,02	0,38	0,52	0,72	0,90	1,15	1,29	1,20	1,02	0,90	0,45	8,55	513,25
11/01/2011	0,00	0,00	0,02	0,03	0,05	0,36	0,60	0,90	0,55	1,10	0,80	0,45	0,40	5,26	315,75
12/01/2011	0,00	0,00	0,03	0,04	0,20	0,25	0,32	0,30	0,90	0,40	1,05	0,45	0,25	4,19	251,52
13/01/2011	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,04	0,05	0,55	0,50	0,85	0,41	2,5	150,07
14/01/2011	0,00	0,05	0,55	0,75	0,40	1,40	1,38	1,12	0,95	0,71	0,55	0,22	0,07	8,15	489,23
15/01/2011	0,00	0,03	0,20	0,85	0,98	1,05	1,15	1,11	1,05	0,45	0,47	0,25	0,15	7,74	464,62
16/01/2011	0,00	0,00	0,10	0,38	0,61	0,75	1,00	1,20	1,31	1,01	0,60	0,36	0,15	7,47	448,42
17/01/2011	0,00	0,01	0,10	0,05	0,39	0,45	0,50	0,78	1,00	0,90	0,65	0,25	0,25	5,33	319,95

Data	Radiação Solar (cal.cm².dia⁻¹)													Soma	Total
	Actinógrafo														
	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00		
18/01/2011	0,00	0,10	0,67	0,60	0,30	0,35	0,43	0,10	0,08	0,08	0,09	0,11	0,15	3,06	183,69
19/01/2011	0,00	0,22	0,22	0,80	1,09	0,40	0,34	0,21	0,15	0,12	0,83	0,63	0,20	5,21	312,75
20/01/2011	0,00	0,01	0,37	0,36	1,15	1,20	1,31	0,20	0,17	0,25	0,27	0,21	0,19	5,69	341,56
21/01/2011	0,00	0,25	0,55	0,73	0,91	1,02	1,25	1,10	1,00	0,97	0,55	0,30	0,15	8,78	527,05
22/01/2011	0,00	0,20	0,41	0,70	0,93	1,03	1,11	1,14	1,10	0,91	0,50	0,40	0,15	8,58	515,05
23/01/2011	0,00	0,18	0,55	0,75	1,00	1,2	1,29	1,10	1,05	1,04	0,80	0,30	0,09	9,35	561,27
24/01/2011	0,00	0,05	0,20	0,72	0,82	1,00	1,04	1,25	0,9	0,94	0,25	0,70	0,19	8,06	483,83
25/01/2011	0,00	0,20	0,47	0,70	0,95	1,05	1,25	1,10	0,95	0,98	0,17	0,10	0,08	8,00	480,23
26/01/2011	0,00	0,10	0,50	0,75	1,03	0,67	1,10	1,11	1,04	0,80	0,19	0,16	0,10	7,55	453,22
27/01/2011	0,00	0,15	0,50	0,62	0,90	0,98	1,05	1,09	1,00	0,65	0,5	0,5	0,09	8,03	482,03
28/01/2011	0,00	0,33	0,45	0,68	0,97	0,80	1,15	1,20	0,94	0,21	0,85	0,35	0,27	8,20	492,24
29/01/2011	0,00	0,20	0,50	0,65	0,90	1,10	1,10	0,55	0,97	0,90	0,75	0,57	0,300	8,49	509,64
30/01/2011	0,00	0,25	0,62	0,80	0,96	1,02	1,2	1,05	0,80	0,40	0,65	0,55	0,15	8,45	507,24
31/01/2011	0,00	0,10	0,47	0,73	0,90	1,00	1,15	1,17	1,00	0,98	0,15	0,09	0,05	7,79	467,62
01/02/2011	0,00	0,02	0,05	0,39	0,31	0,34	0,35	0,70	0,40	0,55	0,40	0,28	0,18	3,97	238,31
02/02/2011	0,00	0,05	0,35	0,61	0,62	1,05	1,10	0,40	0,85	0,50	0,08	0,06	0,05	5,72	343,36
03/02/2011	0,00	0,02	0,17	0,16	0,20	0,22	0,36	0,35	0,47	0,46	0,44	0,30	0,15	3,30	198,10
04/02/2011	0,00	0,00	0,01	0,32	0,37	0,40	1,45	0,28	0,15	0,88	0,50	0,40	0,16	4,92	295,34
05/02/2011	0,00	0,26	0,64	0,80	1,07	1,15	1,15	1,19	1,00	0,70	0,15	0,09	0,05	8,25	495,24
06/02/2011	0,00	0,35	0,60	0,80	1,01	1,08	1,07	1,10	0,98	0,86	0,70	0,17	0,09	8,81	528,85
07/02/2011	0,00	0,20	0,20	0,30	0,32	0,75	1,05	0,94	0,25	0,24	0,25	0,20	0,15	4,85	291,14
08/02/2011	0,00	0,05	0,45	0,70	0,90	1,00	1,05	1,06	0,88	0,70	0,55	0,10	0,05	7,49	449,62
09/02/2011	0,00	0,11	0,48	0,83	0,89	1,08	1,15	1,11	1,05	0,64	0,40	0,25	0,15	8,14	488,63
10/02/2011	0,00	0,01	0,50	0,45	1,03	1,07	1,32	0,50	0,50	0,79	0,64	0,55	0,11	7,47	448,42

Data	Radiação Solar (cal.cm ² .dia ⁻¹)													Soma	Total
	Actinógrafo														
	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00		
11/02/2011	0,00	0,00	0,52	0,55	0,87	1,00	1,15	0,80	0,95	0,47	0,26	0,22	0,17	6,96	417,80
12/02/2011	0,17	0,45	0,70	0,90	1,00	0,98	1,15	1,05	0,95	0,80	0,61	0,18	0,10	9,04	542,66
13/02/2011	0,00	0,20	0,23	0,27	0,45	0,57	1,19	0,71	1,00	0,92	0,91	0,39	0,14	6,98	419,00
14/02/2011	0,00	0,03	0,43	0,70	0,85	1,10	1,14	0,50	0,35	0,36	0,17	0,20	0,20	6,03	361,97
15/02/2011	0,00	0,03	0,40	0,80	0,75	1,09	0,75	0,90	1,20	0,60	0,45	0,40	0,18	7,55	453,22
16/02/2011	0,00	0,00	0,32	0,88	1,00	0,95	1,15	0,50	1,300	0,78	0,35	0,19	0,11	7,53	452,02
17/02/2011	0,00	0,05	0,38	0,70	0,94	0,60	0,95	0,39	1,20	0,75	0,60	0,20	0,10	6,86	411,80
18/02/2011	0,00	0,02	0,53	0,75	0,57	0,55	0,67	0,80	0,50	0,92	0,30	0,17	0,07	5,85	351,17
19/02/2011	0,00	0,02	0,45	0,65	0,83	1,20	1,29	1,15	0,95	0,65	0,55	0,20	0,15	8,09	485,63
20/02/2011	0,00	0,10	0,45	0,75	0,85	0,95	1,05	1,10	0,94	0,85	0,62	0,52	0,17	8,35	501,24
21/02/2011	0,00	0,20	0,48	0,62	0,90	0,98	1,10	1,16	1,11	0,80	0,74	0,62	0,15	8,86	531,86
22/02/2011	0,00	0,16	0,16	0,45	0,95	0,99	1,04	1,06	0,95	0,78	0,65	0,45	0,15	7,79	467,62
23/02/2011	0,00	0,17	0,50	0,65	0,91	1,05	1,17	1,50	1,12	1,00	0,65	0,15	0,10	8,97	538,46
24/02/2011	0,00	0,15	0,45	0,70	0,80	1,03	1,15	1,05	0,96	0,98	0,55	0,20	0,11	8,13	488,03
25/02/2011	0,00	0,17	0,47	0,65	0,70	0,85	0,31	0,22	0,21	0,65	0,45	0,25	0,15	5,08	304,95
26/02/2011	0,00	0,05	0,55	0,55	0,51	1,04	1,25	1,01	1,05	1,00	0,78	0,30	0,12	8,206	492,60
27/02/2011	0,00	0,03	0,60	0,91	0,95	1,22	1,11	1,06	0,70	0,10	0,08	0,07	0,05	6,88	413,00
28/02/2011	0,00	0,02	0,03	0,09	0,35	0,15	0,11	0,10	0,23	0,25	0,24	0,15	0,10	1,82	109,25
01/03/2011	0,00	0,02	0,20	0,19	0,20	0,20	0,15	0,12	0,14	0,19	0,23	0,25	0,15	2,04	121,28
02/03/2011	0,00	0,02	0,05	0,10	0,24	0,34	0,31	0,30	0,15	0,25	0,20	0,14	0,10	2,20	130,79
03/03/2011	0,00	0,02	0,04	0,05	0,11	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	1,40	83,23
04/03/2011	0,00	0,01	0,03	0,06	0,12	0,20	0,30	0,30	0,28	0,26	0,27	0,22	0,15	2,20	130,79
05/03/2011	0,00	0,02	0,05	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,19	0,18	0,18	0,14	0,10	1,62	96,31
06/03/2011	0,00	0,05	0,10	0,30	0,63	0,62	0,35	0,85	0,86	0,40	0,15	0,12	0,09	4,52	268,72

Data	Radiação Solar (cal.cm ² .dia ⁻¹)													Soma	Total
	Actinógrafo														
	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00		
07/03/2011	0,00	0,09	0,17	0,28	0,65	0,61	0,55	0,88	0,91	0,38	0,25	0,14	0,08	4,99	296,66
08/03/2011	0,00	0,11	0,18	0,30	0,30	0,26	0,40	0,35	0,75	0,80	0,35	0,20	0,08	4,08	242,56
09/03/2011	0,00	0,10	0,17	0,50	0,38	0,56	0,80	1,18	0,60	0,38	0,50	0,34	0,10	5,61	333,52
10/03/2011	0,00	0,15	0,3	0,62	1,00	0,50	1,00	1,20	1,00	0,80	0,36	0,19	0,07	7,19	427,46
11/03/2011	0,00	0,02	0,35	0,80	0,76	0,60	0,50	1,27	1,10	0,81	0,20	0,10	0,02	6,53	388,22
12/03/2011	0,00	0,00	0,10	0,55	0,30	0,26	0,45	1,25	1,12	0,75	0,25	0,10	0,03	5,16	306,77
13/03/2011	0,00	0,00	0,04	0,15	0,84	1,06	1,04	1,21	1,16	0,91	0,69	0,58	0,30	7,98	474,42
14/03/2011	0,00	0,00	0,04	0,22	0,70	1,14	0,15	1,21	1,05	0,60	0,21	0,21	0,06	5,59	332,33
15/03/2011	0,00	0,00	0,35	0,70	0,90	0,94	1,11	0,90	0,45	0,78	0,35	0,25	0,09	6,82	405,46
16/03/2011	0,00	0,12	0,40	0,65	0,96	0,65	1,15	1,02	0,95	0,80	0,28	0,25	0,13	7,36	437,56
17/03/2011	0,00	0,01	0,42	0,55	1,02	1,15	1,25	1,30	0,95	0,65	0,25	0,20	0,06	7,81	464,32
18/03/2011	0,00	0,04	0,25	0,95	0,35	1,25	1,20	1,05	0,17	0,14	0,12	0,10	0,08	5,7	338,87
19/03/2011	0,00	0,02	0,09	0,10	0,15	0,30	0,35	0,27	0,41	0,40	0,20	0,15	0,09	2,53	150,41
20/03/2011	0,00	0,12	0,43	0,85	1,2	1,15	0,95	0,65	0,85	0,70	0,35	0,16	0,10	7,51	446,48
21/03/2011	0,00	0,00	0,03	0,30	0,91	1,30	1,09	0,35	0,35	0,25	0,16	0,09	0,07	4,9	291,31
22/03/2011	0,00	0,00	0,03	0,08	0,39	0,40	0,40	0,39	0,40	0,39	0,19	0,15	0,10	2,92	173,60
23/03/2011	0,00	0,01	0,05	0,19	0,34	0,45	0,63	0,44	0,44	0,43	0,30	0,18	0,06	3,52	209,27
24/03/2011	0,00	0,00	0,30	0,60	0,45	1,00	0,85	0,85	0,25	0,25	0,55	0,12	0,05	5,27	313,31
25/03/2011	0,00	0,16	0,41	0,55	0,80	1,00	0,95	0,83	1,05	0,50	0,75	0,35	0,08	7,43	441,73
26/03/2011	0,00	0,15	0,50	0,70	0,88	0,95	1,00	1,02	0,80	0,56	0,25	0,21	0,08	7,10	422,11
27/03/2011	0,00	0,26	0,45	0,70	0,95	1,05	1,10	1,12	1,00	0,90	0,25	0,19	0,07	8,04	477,99
28/03/2011	0,00	0,00	0,25	0,30	0,62	0,75	1,12	1,00	0,93	0,55	0,40	0,25	0,05	6,22	369,79
29/03/2011	0,00	0,00	0,05	0,55	0,90	1,00	0,55	1,05	0,09	0,10	0,35	0,22	0,08	4,94	293,69
30/03/2011	0,00	0,00	0,17	0,35	0,45	0,90	1,00	1,20	1,15	1,02	0,50	0,15	0,08	6,97	414,38

Data	Radiação Solar (cal.cm².dia⁻¹)													Soma	Total
	Actinógrafo														
	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00		
31/03/2011	0,00	0,02	0,50	0,70	0,80	0,88	0,95	0,80	0,65	0,5	0,40	0,14	0,08	6,415	381,38
01/04/2011	0,00	0,04	0,20	0,35	0,45	0,25	0,5	0,18	0,05	0,15	0,20	0,16	0,07	2,60	154,57
02/04/2011	0,00	0,02	0,10	0,13	0,20	0,3	0,35	0,35	0,29	0,25	0,16	0,10	0,06	2,31	137,33
03/04/2011	0,00	0,01	0,08	0,12	0,35	0,55	0,42	0,56	0,65	0,18	0,13	0,10	0,05	3,20	190,25
04/04/2011	0,00	0,00	0,02	0,22	0,63	0,7	0,32	0,44	0,22	0,16	0,14	0,12	0,08	3,05	181,33
05/04/2011	0,00	0,01	0,04	0,25	0,65	0,72	0,30	0,48	0,25	0,15	0,16	0,10	0,06	3,17	188,46
06/04/2011	0,00	0,00	0,25	0,51	0,73	1,00	1,00	1,00	0,98	0,90	0,60	0,12	0,05	7,14	424,48
07/04/2011	0,00	0,00	0,15	0,45	0,62	0,80	0,95	1,04	0,85	0,55	0,15	0,05	0,01	5,62	334,12
08/04/2011	0,00	0,00	0,23	0,5	0,70	0,85	1,07	0,94	0,55	0,45	0,30	0,15	0,02	5,76	342,44
09/04/2011	0,00	0,00	0,34	0,60	0,75	0,44	0,90	0,75	0,79	0,55	0,40	0,30	0,05	5,87	348,98
10/04/2011	0,00	0,00	0,25	0,55	0,65	0,90	1,00	1,07	0,97	0,75	0,25	0,01	0,05	6,452	383,58
11/04/2011	0,00	0,00	0,25	0,50	0,72	0,82	0,9	0,95	0,85	0,82	0,58	0,20	0,08	6,67	396,54
12/04/2011	0,00	0,00	0,15	0,60	0,68	0,92	1,01	0,95	0,56	0,25	0,18	0,09	0,06	5,45	324,01
13/04/2011	0,00	0,00	0,01	0,04	0,05	0,06	0,35	0,35	0,34	0,40	0,34	0,25	0,10	2,29	136,14
14/04/2011	0,00	0,00	0,40	0,58	0,70	0,75	0,92	0,90	0,85	0,78	0,62	0,35	0,05	6,90	410,22
15/04/2011	0,00	0,00	0,28	0,50	0,70	0,79	0,8	0,65	0,32	0,18	0,05	0,05	0,03	4,35	258,61
16/04/2011	0,00	0,00	0,02	0,35	0,70	0,78	0,86	0,85	0,78	0,70	0,35	0,16	0,10	5,65	335,90
17/04/2011	0,00	0,00	0,03	0,20	0,40	0,68	0,85	0,88	0,82	0,73	0,42	0,22	0,09	5,32	316,28
18/04/2011	0,00	0,00	0,36	0,60	0,78	0,86	1,00	0,85	0,90	0,71	0,50	0,20	0,01	6,77	402,49
19/04/2011	0,00	0,01	0,05	0,25	0,80	0,94	1,05	0,09	0,85	0,55	0,31	0,12	0,04	5,87	348,98
20/04/2011	0,00	0,02	0,40	0,65	0,85	0,93	0,95	0,90	0,55	0,20	0,32	0,15	0,03	5,95	353,74
21/04/2011	0,00	0,10	0,44	0,65	0,83	0,92	0,95	0,97	0,85	0,61	0,29	0,10	0,02	6,73	400,11
22/04/2011	0,00	0,10	0,43	0,65	0,85	0,92	0,95	0,89	0,70	0,65	0,28	0,11	0,02	6,55	389,41
23/04/2011	0,00	0,15	0,45	0,69	0,84	1,00	1,00	0,92	0,85	0,58	0,35	0,15	0,02	7,00	416,16

Data	Radiação Solar (cal.cm ² .dia ⁻¹)													Soma	Total
	Actinógrafo														
	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00		
24/04/2011	0,00	0,00	0,61	0,75	0,77	0,91	0,94	0,86	0,75	0,45	0,25	0,05	0,01	6,35	377,52
25/04/2011	0,00	0,04	0,45	0,74	0,85	0,55	0,55	0,65	0,85	0,70	0,38	0,11	0,03	5,90	350,76
26/04/2011	0,00	0,00	0,10	0,39	0,25	0,26	0,26	0,50	0,40	0,40	0,25	0,12	0,03	2,96	175,98
27/04/2011	0,00	0,01	0,04	0,46	0,75	0,30	0,15	0,06	0,04	0,03	0,04	0,02	0,01	1,91	113,55
28/04/2011	0,00	0,00	0,15	0,28	0,27	0,30	0,45	0,55	0,45	0,35	0,25	0,10	0,04	3,19	189,65
29/04/2011	0,00	0,00	0,35	0,60	0,75	0,90	0,95	0,91	0,90	0,70	0,35	0,10	0,02	6,53	388,22
30/04/2011	0,00	0,04	0,35	0,60	0,81	0,90	1,00	0,95	0,80	0,55	0,40	0,10	0,02	6,52	387,62
01/05/2011	0,00	0,10	0,45	0,82	1,00	0,55	0,79	0,30	0,12	0,15	0,27	0,09	0,03	4,67	261,47
02/05/2011	0,00	0,00	0,05	0,57	0,80	0,35	0,30	0,37	0,25	0,15	0,09	0,09	0,02	3,04	170,20
03/05/2011	0,00	0,07	0,48	0,35	0,90	0,91	0,93	0,85	0,75	0,51	0,20	0,05	0,00	6,00	335,93
04/05/2011	0,00	0,10	0,50	0,70	0,83	0,90	0,90	0,83	0,70	0,50	0,23	0,03	0,00	6,22	348,25
05/05/2011	0,00	0,02	0,43	0,65	0,80	0,89	0,90	0,90	0,77	0,54	0,35	0,09	0,00	6,34	354,97
06/05/2011	0,00	0,08	0,35	0,60	0,75	0,82	0,88	0,88	0,70	0,60	0,29	0,15	0,00	6,10	341,53
07/05/2011	0,00	0,06	0,35	0,69	0,83	0,88	0,45	0,90	0,65	0,55	0,30	0,06	0,00	5,72	320,25
08/05/2011	0,00	0,15	0,39	0,65	0,80	0,50	0,90	0,85	0,70	0,50	0,30	0,05	0,00	5,79	324,17
09/05/2011	0,00	0,02	0,2	0,45	0,65	0,80	0,85	0,86	0,84	0,69	0,35	0,14	0,02	5,87	328,65
10/05/2011	0,00	0,00	0,100	0,50	0,65	0,85	0,90	0,80	0,70	0,57	0,40	0,12	0,02	5,61	314,09
11/05/2011	0,00	0,00	0,19	0,52	0,65	0,65	0,79	0,65	0,55	0,54	0,25	0,08	0,01	4,88	273,22
12/05/2011	0,00	0,00	0,15	0,50	0,67	0,80	0,85	0,89	0,79	0,59	0,25	0,15	0,02	5,66	316,89
13/05/2011	0,00	0,01	0,29	0,50	0,70	0,80	0,88	0,89	0,70	0,60	0,31	0,1	0,03	5,81	325,29
14/05/2011	0,00	0,00	0,16	0,50	0,75	0,80	0,70	0,85	0,71	0,60	0,35	0,11	0,03	5,56	311,30

Tabela 8.11 Duração do brilho solar ou insolação diária

Data	Duração do Brilho Solar ou Insolação Diária														Total (min)	Total (h)
	Heliógrafo															
	6 a 7	7 a 8	8 a 9	9 a 10	10 a 11	11 a 12	12 a 13	13 a 14	14 a 15	15 a 16	16 a 17	17 a 18	18 a 19			
14/10/2010	10	60	60	60	60	60	60	60	60	20	5	0	0	515	8,58	
15/10/2010	0	0	0	0	20	35	25	20	45	50	10	0	0	205	3,42	
16/10/2010	10	30	60	35	60	60	60	60	60	60	60	20	0	575	9,58	
17/10/2010	0	0	0	45	45	35	40	60	60	50	0	0	0	335	5,58	
18/10/2010	0	0	0	0	5	0	20	55	20	60	60	60	40	320	5,33	
19/10/2010	45	60	60	60	60	60	60	60	50	60	60	60	0	695	11,58	
20/10/2010	30	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	0	690	11,50	
21/10/2010	35	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	0	695	11,58	
22/10/2010	40	55	60	60	60	60	60	60	60	55	60	60	0	690	11,50	
23/10/2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
24/10/2010	0	10	60	40	40	55	60	30	45	60	60	25	0	485	8,08	
25/10/2010	30	60	60	60	60	35	25	45	45	25	20	20	0	485	8,08	
26/10/2010	0	20	30	60	60	60	60	60	60	60	60	60	5	595	9,92	
27/10/2010	30	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	5	695	11,58	
28/10/2010	50	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	0	710	11,83	
29/10/2010	25	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	45	0	670	11,17	
30/10/2010	0	0	0	10	50	0	0	0	5	10	0	0	0	75	1,25	
31/10/2010	0	20	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0,58	
1/11/2010	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0,33	
2/11/2010	0	0	0	0	0	0	10	40	60	40	40	45	10	245	4,08	
3/11/2010	40	60	60	50	35	35	60	60	60	50	45	5	0	560	9,33	
4/11/2010	50	60	60	60	60	50	55	55	50	40	55	30	0	625	10,42	
5/11/2010	35	60	60	60	60	50	60	50	55	0	0	0	0	490	8,17	
6/11/2010	0	0	0	25	0	25	10	20	50	50	40	60	10	290	4,83	
7/11/2010	0	10	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	5	615	10,25	

Data	Duração do Brilho Solar ou Insolação Diária														Total (min)	Total (h)
	Heliógrafo															
	6 a 7	7 a 8	8 a 9	9 a 10	10 a 11	11 a 12	12 a 13	13 a 14	14 a 15	15 a 16	16 a 17	17 a 18	18 a 19			
8/11/2010	40	35	60	60	60	60	60	60	60	60	60	35	0	650	10,83	
9/11/2010	0	0	5	40	55	60	60	60	60	60	40	0	0	440	7,33	
10/11/2010	35	0	30	40	50	55	60	60	45	0	10	40	0	425	7,08	
11/11/2010	60	60	60	60	50	60	60	60	60	60	50	50	0	690	11,50	
12/11/2010	40	60	35	45	30	25	30	55	60	60	60	10	0	510	8,50	
13/11/2010	60	60	40	30	0	0	25	30	25	50	30	0	0	350	5,83	
14/11/2010	50	50	35	50	30	10	0	0	40	30	0	35	0	330	5,50	
15/11/2010	10	60	60	60	60	60	50	60	60	60	25	0	0	565	9,42	
16/11/2010	0	0	0	0	0	0	0	0	5	25	15	10	10	65	1,08	
17/11/2010	40	0	0	60	60	60	60	60	60	60	35	45	5	545	9,08	
18/11/2010	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	25	745	12,42	
19/11/2010	20	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	25	705	11,75	
20/11/2010	0	35	40	60	35	0	15	10	10	0	0	10	0	215	3,58	
21/11/2010	0	0	20	15	55	50	40	60	20	15	0	0	0	275	4,58	
22/11/2010	0	0	0	0	0	10	40	0	0	0	0	0	0	50	0,83	
23/11/2010	0	0	30	40	30	60	60	60	60	60	60	60	25	545	9,08	
24/11/2010	35	45	60	60	60	60	60	50	40	55	50	0	0	575	9,58	
25/11/2010	0	45	5	40	10	50	35	60	55	60	30	0	0	390	6,50	
26/11/2010	50	50	45	60	60	60	60	60	60	60	60	55	0	680	11,33	
27/11/2010	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	25	745	12,42	
28/11/2010	15	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	55	0	670	11,17	
29/11/2010	40	10	30	10	10	20	10	0	0	0	20	40	0	190	3,17	
30/11/2010	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	30	0,50	
1/12/2010	0	25	60	50	50	50	30	30	55	60	55	10	0	475	7,92	
2/12/2010	5	0	0	0	0	0	0	60	60	25	15	25	0	190	3,17	

Data	Duração do Brilho Solar ou Insolação Diária														Total (min)	Total (h)
	Heliógrafo															
	6 a 7	7 a 8	8 a 9	9 a 10	10 a 11	11 a 12	12 a 13	13 a 14	14 a 15	15 a 16	16 a 17	17 a 18	18 a 19			
3/12/2010	0	0	0	30	60	50	60	55	25	15	0	0	0	295	4,92	
4/12/2010	40	60	45	50	60	60	60	60	60	55	35	0	0	585	9,75	
5/12/2010	0	60	60	25	60	55	60	60	60	30	0	0	0	470	7,83	
6/12/2010	0	30	30	25	55	60	60	55	40	25	50	60	10	500	8,33	
7/12/2010	0	20	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	10	630	10,50	
8/12/2010	40	60	60	60	45	60	60	60	60	60	50	35	0	650	10,83	
9/12/2010	45	60	60	60	50	40	60	60	60	60	60	60	5	680	11,33	
10/12/2010	60	60	60	60	60	60	55	60	60	60	60	60	5	720	12,00	
11/12/2010	60	60	60	60	60	60	60	35	25	15	20	0	0	515	8,58	
12/12/2010	60	60	60	60	60	60	60	60	60	55	0	0	0	595	9,92	
13/12/2010	0	5	60	60	10	0	0	20	0	0	0	0	0	155	2,58	
14/12/2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
15/12/2010	0	0	0	0	0	0	0	5	10	15	5	0	0	35	0,58	
16/12/2010	0	0	0	0	0	30	0	30	35	10	0	0	0	105	1,75	
17/12/2010	0	0	5	55	30	20	10	0	10	0	0	0	0	130	2,17	
18/12/2010	0	60	30	0	0	0	0	30	20	0	0	0	0	140	2,33	
19/12/2010	0	0	50	60	60	60	20	25	5	10	0	0	0	290	4,83	
20/12/2010	55	60	60	50	60	60	60	60	60	60	60	60	30	735	12,25	
21/12/2010	30	60	55	60	60	60	60	60	60	60	60	30	0	655	10,92	
22/12/2010	35	45	35	60	30	0	55	30	0	0	0	0	0	290	4,83	
23/12/2010	0	30	60	60	60	10	50	50	25	0	10	0	0	355	5,92	
24/12/2010	60	0	25	55	60	60	40	60	5	0	25	5	0	395	6,58	
25/12/2010	20	5	55	60	60	30	40	10	0	5	35	0	0	320	5,33	
26/12/2010	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0,25	
27/12/2010	0	0	0	20	35	60	60	50	40	60	60	45	0	430	7,17	

Data	Duração do Brilho Solar ou Insolação Diária														Total (min)	Total (h)
	Heliógrafo															
	6 a 7	7 a 8	8 a 9	9 a 10	10 a 11	11 a 12	12 a 13	13 a 14	14 a 15	15 a 16	16 a 17	17 a 18	18 a 19			
28/12/2010	0	0	0	45	60	60	55	55	50	60	60	60	25	530	8,83	
29/12/2010	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	30	750	12,50	
30/12/2010	30	60	60	60	60	60	60	60	60	50	60	60	30	710	11,83	
31/12/2010	60	60	60	60	45	50	5	10	50	60	60	60	10	590	9,83	
1/1/2011	0	0	0	30	0	0	0	35	30	30	30	20	0	175	2,92	
2/1/2011	0	10	0	0	0	0	0	15	45	25	0	0	0	95	1,58	
3/1/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
4/1/2011	10	0	0	0	0	0	10	30	0	25	55	60	10	200	3,33	
5/1/2011	0	5	55	60	60	60	60	35	60	60	50	45	0	550	9,17	
6/1/2011	35	60	55	20	10	50	60	55	25	0	0	0	0	370	6,17	
7/1/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	5	0	0	20	0,33	
8/1/2011	0	0	0	10	30	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0,67	
9/1/2011	0	20	55	30	60	55	40	50	10	0	0	0	0	320	5,33	
10/1/2011	35	40	55	60	60	60	60	35	50	55	10	0	0	520	8,67	
11/1/2011	0	0	0	10	20	20	20	45	55	30	20	10	0	230	3,83	
12/1/2011	0	0	0	0	0	30	10	10	40	30	0	0	0	120	2,00	
13/1/2011	0	0	0	0	0	0	0	10	25	10	0	0	0	45	0,75	
14/1/2011	0	5	10	0	0	0	10	45	30	55	55	0	0	210	3,50	
15/1/2011	45	0	20	55	60	60	55	60	25	60	60	60	30	590	9,83	
16/1/2011	15	55	60	50	60	60	60	60	60	60	60	45	0	645	10,75	
17/1/2011	15	0	0	0	0	0	0	40	45	50	40	50	0	240	4,00	
18/1/2011	30	55	30	5	25	30	0	0	0	0	0	0	0	175	2,92	
19/1/2011	0	0	50	35	15	15	0	0	0	40	60	40	0	255	4,25	
20/1/2011	0	0	10	40	60	40	0	0	0	0	0	0	0	150	2,50	
21/1/2011	60	60	60	60	60	60	60	60	60	30	40	0	0	610	10,17	

Data	Duração do Brilho Solar ou Insolação Diária														Total (min)	Total (h)
	Heliógrafo															
	6 a 7	7 a 8	8 a 9	9 a 10	10 a 11	11 a 12	12 a 13	13 a 14	14 a 15	15 a 16	16 a 17	17 a 18	18 a 19			
22/1/2011	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	55	30	10	695	11,58	
23/1/2011	60	60	60	60	55	55	60	60	60	60	45	35	0	670	11,17	
24/1/2011	30	30	60	60	60	60	50	30	45	60	60	10	0	555	9,25	
25/1/2011	60	60	60	60	50	40	60	55	50	5	0	0	0	500	8,33	
26/1/2011	60	60	60	60	40	60	60	60	60	20	0	0	0	540	9,00	
27/1/2011	60	60	60	60	60	60	60	60	55	40	60	40	0	675	11,25	
28/1/2011	55	60	60	60	10	60	60	55	10	60	60	60	0	610	10,17	
29/1/2011	40	60	60	60	60	50	15	60	60	55	60	60	0	640	10,67	
30/1/2011	0	30	60	60	60	60	60	60	50	60	60	35	10	605	10,08	
31/1/2011	10	60	60	60	60	60	60	60	45	0	0	0	0	475	7,92	
1/2/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
2/2/2011	0	0	50	5	55	25	10	5	30	0	0	0	0	180	3,00	
3/2/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0,17	
4/2/2011	60	20	0	0	0	0	15	40	35	50	60	60	15	355	5,92	
5/2/2011	50	60	60	50	60	60	60	50	60	30	0	0	0	540	9,00	
6/2/2011	35	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	20	0	655	10,92	
7/2/2011	10	0	0	0	10	25	5	0	0	0	0	0	0	50	0,83	
8/2/2011	40	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	30	0	670	11,17	
9/2/2011	30	60	60	60	60	60	60	60	60	0	0	0	0	510	8,50	
10/2/2011	0	60	35	40	60	40	10	35	60	60	60	35	0	495	8,25	
11/2/2011	55	60	5	60	55	60	40	10	10	0	0	0	0	355	5,92	
12/2/2011	40	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	35	0	675	11,25	
13/2/2011	0	0	0	0	0	25	5	60	60	60	60	25	0	295	4,92	
14/2/2011	0	30	60	60	45	30	0	0	5	0	35	0	0	265	4,42	
15/2/2011	0	0	0	20	45	15	20	60	20	30	40	0	0	250	4,17	

Data	Duração do Brilho Solar ou Insolação Diária														Total (min)	Total (h)
	Heliógrafo															
	6 a 7	7 a 8	8 a 9	9 a 10	10 a 11	11 a 12	12 a 13	13 a 14	14 a 15	15 a 16	16 a 17	17 a 18	18 a 19			
16/2/2011	10	30	60	60	45	50	5	20	35	25	0	0	0	340	5,67	
17/2/2011	55	60	60	60	40	10	10	35	50	55	0	0	0	435	7,25	
18/2/2011	25	60	30	0	0	0	25	20	30	0	0	0	0	190	3,17	
19/2/2011	45	60	60	55	40	40	60	50	50	30	10	10	0	510	8,50	
20/2/2011	30	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	30	10	670	11,17	
21/2/2011	40	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	30	0	670	11,17	
22/2/2011	15	0	10	45	60	60	60	50	60	60	60	35	0	515	8,58	
23/2/2011	30	60	60	60	60	60	60	60	60	60	10	0	0	580	9,67	
24/2/2011	50	60	60	60	60	60	60	60	60	60	40	0	0	630	10,50	
25/2/2011	35	60	60	55	40	25	0	0	10	0	40	25	0	350	5,83	
26/2/2011	30	45	60	55	55	50	60	60	60	55	0	0	0	530	8,83	
27/2/2011	25	60	60	60	60	60	60	60	20	0	0	0	0	465	7,75	
28/2/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
1/3/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
2/3/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
3/3/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
4/3/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
5/3/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
6/3/2011	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	15	0,25	
7/3/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
8/3/2011	0	0	30	40	30	0	0	0	0	20	0	0	0	120	2,00	
9/3/2011	30	35	30	20	20	40	0	0	5	0	0	0	0	180	3,00	
10/3/2011	0	5	60	60	5	35	35	50	60	10	10	0	0	330	5,50	
11/3/2011	0	10	45	35	0	0	10	60	40	30	0	0	0	230	3,83	
12/3/2011	0	0	30	0	0	0	10	60	40	0	0	0	0	140	2,33	

Data	Duração do Brilho Solar ou Insolação Diária														Total (min)	Total (h)
	Heliógrafo															
	6 a 7	7 a 8	8 a 9	9 a 10	10 a 11	11 a 12	12 a 13	13 a 14	14 a 15	15 a 16	16 a 17	17 a 18	18 a 19			
13/3/2011	0	40	60	55	50	40	30	60	60	60	60	0	0	515	8,58	
14/3/2011	0	0	0	10	35	5	10	50	55	0	10	0	0	175	2,92	
15/3/2011	15	20	25	60	40	60	55	5	35	55	50	30	0	450	7,50	
16/3/2011	10	60	60	40	5	20	60	60	60	20	0	0	0	395	6,58	
17/3/2011	0	0	10	40	50	55	30	50	60	30	20	15	0	360	6,00	
18/3/2011	0	0	35	10	25	20	20	20	0	0	0	0	0	130	2,17	
19/3/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
20/3/2011	0	10	25	30	60	60	60	60	60	25	0	0	0	390	6,50	
21/3/2011	0	0	5	35	60	10	20	25	5	0	0	0	0	160	2,67	
22/3/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
23/3/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
24/3/2011	0	0	0	10	0	25	55	40	0	10	20	30	0	190	3,17	
25/3/2011	10	60	60	60	60	40	20	40	30	60	50	40	0	530	8,83	
26/3/2011	0	30	60	60	60	60	60	60	60	20	0	0	0	470	7,83	
27/3/2011	0	30	60	60	60	60	60	60	60	30	30	0	0	510	8,50	
28/3/2011	0	0	0	0	10	50	60	10	10	40	60	0	0	240	4,00	
29/3/2011	0	0	0	50	60	50	50	30	0	0	0	0	0	240	4,00	
30/3/2011	0	0	0	50	20	60	40	45	50	45	30	5	0	345	5,75	
31/3/2011																
1/4/2011	20	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	10	0	630	10,50	
2/4/2011	0	0	0	10	10	40	0	0	0	0	0	0	0	60	1,00	
3/4/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
4/4/2011	0	0	0	0	0	0	0	20	30	60	10	0	0	120	2,00	
5/4/2011	10	0	0	0	0	30	30	30	10	60	60	30	0	260	4,33	
6/4/2011	10	60	60	60	60	60	60	60	60	60	50	0	0	600	10,00	

Data	Duração do Brilho Solar ou Insolação Diária														Total (min)	Total (h)
	Heliógrafo															
	6 a 7	7 a 8	8 a 9	9 a 10	10 a 11	11 a 12	12 a 13	13 a 14	14 a 15	15 a 16	16 a 17	17 a 18	18 a 19			
7/4/2011	0	60	60	60	60	60	40	60	60	60	60	30	0	610	10,17	
8/4/2011	10	60	60	60	60	60	60	60	40	30	60	10	0	570	9,50	
9/4/2011	10	50	60	50	60	50	60	60	50	40	50	0	0	540	9,00	
10/4/2011	20	60	60	60	60	60	50	60	10	0	0	0	0	440	7,33	
11/4/2011	50	60	60	60	60	60	60	60	60	60	50	30	0	670	11,17	
12/4/2011	0	40	60	60	60	60	60	60	20	0	0	0	0	420	7,00	
13/4/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	50	30	0	120	2,00	
14/4/2011	0	30	60	60	60	60	60	60	60	50	10	0	0	510	8,50	
15/4/2011	0	55	60	60	60	60	60	15	0	0	0	0	0	370	6,17	
16/4/2011	0	0	40	60	60	25	60	60	60	60	15	20	0	460	7,67	
17/4/2011	0	0	0	55	60	60	45	60	40	60	5	0	0	385	6,42	
18/4/2011	0	0	5	60	60	60	60	60	60	60	60	25	0	510	8,50	
19/4/2011	0	0	0	55	60	60	40	55	60	25	30	25	0	410	6,83	
20/4/2011	15	60	60	60	60	60	60	60	50	10	60	25	0	580	9,67	
21/4/2011	10	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	20	0	630	10,50	
22/4/2011	30	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	30	0	660	11,00	
23/4/2011	5	45	60	60	60	60	60	60	60	60	50	25	0	605	10,08	
24/4/2011	0	0	15	55	25	60	60	60	60	60	55	20	0	470	7,83	
25/4/2011	10	35	55	50	45	5	5	0	45	20	20	0	0	290	4,83	
26/4/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
27/4/2011	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0,08	
28/4/2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
29/4/2011	0	10	60	60	60	60	60	50	60	60	60	55	25	620	10,33	
30/4/2011	20	60	60	60	60	60	60	60	60	40	55	20	0	615	10,25	
1/5/2011	0	0	20	60	50	0	20	0	0	5	25	0	0	180	3,00	

Data	Duração do Brilho Solar ou Insolação Diária														Total (min)	Total (h)
	Heliógrafo															
	6 a 7	7 a 8	8 a 9	9 a 10	10 a 11	11 a 12	12 a 13	13 a 14	14 a 15	15 a 16	16 a 17	17 a 18	18 a 19			
2/5/2011	0	0	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0,25	
3/5/2011	0	10	55	40	60	60	60	60	60	60	40	0	0	505	8,42	
4/5/2011	0	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	20	0	620	10,33	
5/5/2011	0	30	60	60	60	60	60	60	60	60	60	20	0	590	9,83	
6/5/2011	0	60	60	60	60	60	60	60	60	60	30	0	0	570	9,50	
7/5/2011	0	55	60	60	60	60	45	60	55	60	60	5	0	580	9,67	
8/5/2011	0	0	0	55	60	45	60	60	60	60	60	20	0	480	8,00	
9/5/2011	0	60	60	60	60	60	60	60	60	60	40	0	0	580	9,67	
10/5/2011	0	0	60	60	60	60	60	25	40	60	30	0	0	455	7,58	
11/5/2011	5	60	60	60	45	55	60	25	30	60	5	0	0	465	7,75	
12/5/2011	0	20	60	60	60	60	40	60	60	15	0	0	0	435	7,25	
13/5/2011	0	25	60	55	60	60	60	60	40	60	40	0	0	520	8,67	
14/5/2011	0	50	60	30	60	60	60	50	60	60	60	0	0	550	9,17	