

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INTEGRIDADE DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA USO
EM MODELO HIDROLÓGICO**

Nivaldo Carleto

Engenheiro Eletricista/Docente

2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INTEGRIDADE DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA USO
EM MODELO HIDROLÓGICO**

Nivaldo Carleto

**Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Pitelli Turco
Coorientadora: Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo)

2016

C279i Carleto, Nivaldo
Integridade de dados meteorológicos para uso em modelo
hidrológico / Nivaldo Carleto. -- Jaboticabal, 2016
viii, 68 p. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016
Orientador: José Eduardo Pitelli Turco
Coorientadora: Teresa Cristina Tarlé Pissarra
Banca examinadora: Vera Lúcia Adbala, David Luciano Rosalen,
Carlos Eduardo Angeli Furlani, Anáira Denise Caramelo
Bibliografia

1. Bacia hidrográfica. 2. Modelo swat. 3. Sensor meteorológico. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.67:556.5

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: INTEGRIDADE DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA USO EM MODELO
HIDROLÓGICO

AUTOR: NIVALDO CARLETO

ORIENTADOR: JOSÉ EDUARDO PITELLI TURCO

CO-ORIENTADORA: TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA
(CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Profa. Dra. VERA LUCIA ABDALA
IFTM - Uberaba, MG



Prof. Dr. DAVID LUCIANO ROSALEN
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Profa. Dra. ANAÍRA DENISE CAMELO
UNIARA - Araraquara/SP

Jaboticabal, 09 de junho de 2016.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Nivaldo Carleto – Nascido no município de Taquaritinga/SP no dia 23 de fevereiro de 1970, graduou-se em Engenharia Elétrica em dezembro de 1996 pela Universidade de Marília (UNIMAR). Em 1999, finalizou o curso de Licenciatura Plena pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo e, em 2000, concluiu o curso de Especialização em Engenharia de Produção na Universidade Estadual Paulista (Câmpus Bauru/SP). No ano de 2002 terminou o curso de Especialização em Sistemas de Informações Geográficas pela UFSCar (Universidade Federal de São Carlos). No mesmo ano, ingressou no Mestrado em Ciências (Área de Concentração: Tecnologia Nuclear – Materiais) no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN); autarquia vinculada a Universidade de São Paulo. Com o fim do Mestrado em 2005, iniciou o curso de Doutorado em Educação Escolar (Linha de Pesquisa: Política, Gestão e Tecnologia Educacional) na Universidade Estadual Paulista (Câmpus Araraquara/SP), o qual foi finalizado em 2009. Em 2012 ingressou no curso de Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (Câmpus Jaboticabal/SP). Como docente, iniciou as atividades em fevereiro de 1998 na ETEC Dr. Adail Nunes da Silva (Taquaritinga/SP). Atualmente é professor da Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga (nos cursos de Produção Industrial, Sistemas para Internet, Análise e Desenvolvimento de Sistemas e Agronegócio) e coordenador dos cursos de Engenharia de Controle e Automação e Engenharia de Produção da Faculdade Anhanguera de Matão/SP.

“Eu tentei 99 vezes e falhei. Mas na centésima tentativa eu consegui. Nunca desista de seus objetivos, mesmo que eles pareçam impossíveis. A próxima tentativa pode ser a vitoriosa.”

Albert Einstein (1879-1955)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Nildo e Aparecida; à quem devo as minhas conquistas e, sobretudo, a minha vida.

À minha querida e amada esposa Natália e ao meu ilustre filho Benicio, que iluminam o meu coração de amor e felicidade, fortificando-me a cada dia para enfrentar as adversidades da vida.

À minha querida irmã Márcia e a minha inestimável Tia Lourdes; pelo carinho e apoio em minha trajetória acadêmica/profissional.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por iluminar os meus caminhos e proteger meus entes queridos, dando-me tranquilidade, discernimento, saúde e persistência; principalmente nos momentos mais difíceis de minha vida. Sou eternamente grato!

Ao meu orientador e amigo Profº Drº José Eduardo Pitelli Turco, pela sua paciência, dedicação, confiança, respeito e, sobretudo, por proporcionar esta oportunidade ímpar em minha vida. Os seus ensinamentos foram essenciais para mais esta conquista; portanto, meus sinceros agradecimentos!

À minha coorientadora Profª Drª Teresa Cristina Tarlé Pissarra, pela sua atenção, dedicação, respeito, confiança e auxílio na estruturação do trabalho. Portanto, muito obrigado!

Ao Profº Luis Elias Miguel (*in memoriam*) que, em 1998, me auxiliou no preparo da primeira aula para os formandos do curso Técnico em Informática da ETEC Dr. Adail Nunes da Silva de Taquaritinga/SP. Muito obrigado pela sua atenção e, sobretudo, pela sua amizade. Esteja com Deus!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Estação meteorológica automática (EMA).....	3
2.2 Variáveis e sensores meteorológicos.....	4
2.2.1 Precipitação pluviométrica: pluviômetros de báscula e Ville de Paris.....	4
2.2.2 Velocidade do vento: anemômetro.....	7
2.2.3 Temperatura do ar: termopar.....	8
2.2.4 Umidade relativa do ar: sensor capacitivo.....	8
2.2.5 Radiação solar: piranômetro.....	9
2.3 Sistema automático de aquisição de dados.....	10
2.4 Conceitos, aplicações e estado da arte: EMA.....	11
2.4.1 Conceitos e aplicações.....	12
2.4.2 Estado da arte.....	13
2.5 Conceitos, aplicações e estado da arte: modelo SWAT.....	14
2.5.1 Conceitos e aplicações.....	14
2.5.2 Estado da arte.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Caracterização da área de estudo.....	18
3.1.1 Material.....	19
3.1.1.1 Estações meteorológicas automáticas utilizadas na pesquisa.....	19
3.1.1.2 Coleta de dados meteorológicos das EMAs.....	21
3.1.2 Métodos.....	22
3.1.2.1 Radiação solar.....	22
3.1.2.2 Radiação solar líquida.....	25

3.1.3 Umidade relativa do ar.....	26
3.1.3.1 Duplicação dos sensores de umidade relativa do ar.....	26
3.1.3.2 Umidade relativa diária máxima.....	26
3.1.4 Velocidade do vento.....	27
3.1.5 Técnica da análise de dupla massa.....	27
3.2 Material.....	28
3.2.1 Modelo SWAT (<i>Soil and Water Assessment Tool</i>).....	28
3.2.1.1 Requisitos do sistema: computador, sistema operacional e <i>softwares</i> ..	29
3.2.1.2 Cartas planialtimétricas.....	29
3.2.1.3 Imagem de satélite.....	29
3.2.1.4 Modelo digital de elevação do terreno.....	30
3.3 Métodos.....	30
3.3.1 Estrutura do banco de dados do modelo SWAT.....	31
3.3.2 Mapas temáticos.....	32
3.3.3 Mapa da hidrografia.....	32
3.3.4 Mapa de compartimentos hidrológicos.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1 Análise da integridade dos dados meteorológicos das EMAs.....	37
4.1.1 Precipitação pluviométrica.....	37
4.1.2 Velocidade do vento.....	42
4.1.3 Temperatura do ar.....	45
4.1.4 Umidade relativa do ar.....	49
4.1.5 Radiação solar.....	52
4.2 Análise dos parâmetros hidrológicos de saída do modelo SWAT.....	56
5. CONCLUSÃO.....	60
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
REFERÊNCIAS.....	62

INTEGRIDADE DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA USO EM MODELO HIDROLÓGICO

RESUMO – No Brasil, as Estações Meteorológicas Automáticas (EMA) vêm sendo utilizadas no setor agrícola, em universidades e institutos de pesquisa. Porém, é fundamental garantir a confiabilidade dos dados meteorológicos coletados pelos sensores destas estações. Diante disso, objetivou-se neste trabalho verificar a influência da integridade dos dados (velocidade do vento, radiação solar, temperatura e umidade do ar e precipitação pluviométrica) sobre os parâmetros hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP utilizando o modelo SWAT. Os dados foram obtidos por três estações meteorológicas automáticas; uma da Campbell Scientific e outra da Davis Instruments instaladas no Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP (Câmpus de Jaboticabal/SP) e uma outra do Sistema Integrado de Dados Ambientais (SINDA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), localizada próxima ao Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP. Foram aplicadas técnicas para verificar a integridade dos dados destas estações e o modelo SWAT para analisar os parâmetros hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP. De acordo com os resultados, verificou-se que os dados dos sensores de precipitação, de velocidade do vento, de umidade relativa do ar e de radiação solar da EMA do SINDA/INPE não foram aceitáveis devido à falta de calibração, manutenção e inspeção da estação. Como consequência, houve diferenças significativas nos parâmetros hidrológicos de saída do modelo SWAT, o que compromete o planejamento e a gestão de recursos hídricos e naturais.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, modelo swat, sensor meteorológico

METEOROLOGICAL DATA INTEGRITY FOR USE IN MODEL HYDROLOGICAL

ABSTRACT – In Brazil, Automatic Weather Stations (EMA) have been used in the agricultural sector, universities and research institutes. However, it is essential to ensure the reliability of meteorological data collected by the sensors of these stations. The research objective of this study was to investigate the influence of data integrity (wind speed, solar radiation, temperature and humidity and precipitation) on the hydrological parameters Basin Stream Rico/SP using the SWAT model. The data were obtained for three automatic weather stations; one of Campbell Scientific and another from Davis Instruments installed in the Department of Rural Engineering FCAV/UNESP (Jaboticabal/SP Campus) and another of the Integrated Environmental Data (SINDA) of the National Institute for Space Research (INPE), located near the Department of Exact Sciences FCAV/UNESP. Techniques were applied to verify the integrity of the data from these stations and the SWAT model to analyze the hydrological parameters Basin Stream Rico/SP. According to the results, it was found that the data precipitation sensors, wind speed, relative air humidity, and solar radiation EMA SINDA/INPE were not acceptable due to lack of calibration, maintenance and inspection season. As a result, there were significant differences in the output parameters of the SWAT hydrologic model, which undertakes the planning and management of water and natural resources.

Keywords: watersheds, swat model, meteorological sensor

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1: Comparação dos resultados dos parâmetros hidrológicos de saída do SWAT obtidos com os dados mundiais e com os dados das estações meteorológicas automáticas (Campbell, Davis e SINDA/INPE).....	57

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Estação meteorológica automática.....	3
Figura 2: Pluviômetro de báscula. Detalhe construtivo da báscula.....	5
Figura 3: Pluviômetro Ville de Paris.....	6
Figura 4: Anemômetro de três copos.....	7
Figura 5: Termopar.....	8
Figura 6: Sensor capacitivo.....	9
Figura 7: Piranômetro.....	9
Figura 8: <i>Datalogger</i> (Modelo CR 10X).....	10
Figura 9: Relação entre as variáveis de entrada e saída de dados do SWAT.....	15
Figura 10: Localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP...	19
Figura 11: Estação meteorológica automática da Campbell. Piranômetro.....	20
Figura 12: Estação meteorológica automática da Davis Instruments.....	20
Figura 13: Estação meteorológica automática do SINDA/INPE.....	21
Figura 14: Imagem de satélite da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP.....	30
Figura 15: Tela da entrada de dados climatológicos no Modelo SWAT.....	31
Figura 16: Mapa da hidrografia da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP.....	33
Figura 17: Compartimentos hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP.....	35
Figura 18: Análise da sensibilidade: calibração e validação do SWAT.....	36
Figura 19: Soma acumulativa da precipitação pluviométrica das EMAs SINDA/INPE, Campbell Scientific e Davis Instruments (ano 2009).....	38
Figura 20: Soma acumulativa da precipitação pluviométrica das EMAs SINDA/INPE, Campbell Scientific e Davis Instruments (ano 2010).....	39
Figura 21: Soma acumulativa da precipitação pluviométrica das EMAs SINDA/INPE, Campbell Scientific e Davis Instruments (ano 2011).....	40
Figura 22: Soma acumulativa da precipitação pluviométrica das EMAs SINDA/INPE, Campbell Scientific e Davis Instruments (ano 2012).....	41

Figura 23: Soma acumulativa da velocidade do vento das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparadas com a EMA da Campbell Scientific (referência) (ano 2009).....	42
Figura 24: Soma acumulativa da velocidade do vento das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparadas com a EMA da Campbell Scientific (referência) (ano 2010).....	43
Figura 25: Soma acumulativa da velocidade do vento das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparadas com a EMA da Campbell Scientific (referência) (ano 2011).....	44
Figura 26: Soma acumulativa da velocidade do vento das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparadas com a EMA da Campbell Scientific (referência) (ano 2012).....	44
Figura 27: Soma acumulativa das temperaturas mínima e máxima das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparada com a estação de referência Campbell Scientific (ano 2009).....	45
Figura 28: Soma acumulativa das temperaturas mínima e máxima das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparada com a estação de referência Campbell Scientific (ano 2010).....	46
Figura 29: Soma acumulativa das temperaturas mínima e máxima das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparada com a estação de referência Campbell Scientific (ano 2011).....	47
Figura 30: Soma acumulativa das temperaturas mínima e máxima das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparada com a estação de referência Campbell Scientific (ano 2012).....	48
Figura 31: Valores diários da umidade relativa do ar (máxima e mínima) das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2009).....	49
Figura 32: Valores diários da umidade relativa do ar (máxima e mínima) das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2010).....	50
Figura 33: Valores diários da umidade relativa do ar (máxima e mínima) das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2011).....	51
Figura 34: Valores diários da umidade relativa do ar (máxima e mínima) das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2012).....	52

Figura 35: Radiação solar das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2009).....	53
Figura 36: Radiação solar das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2010).....	54
Figura 37: Radiação solar das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2011).....	55
Figura 38: Radiação solar das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2012).....	56
Figura 39: Análise da precipitação pluviométrica entre as EMAs do SINDA/INPE, da Davis Instruments e da Campbell Scientific.....	59

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as Estações Meteorológicas Automáticas (EMAs) vêm sendo utilizadas com frequência nas universidades para a realização de pesquisas climatológicas, no setor agrícola para auxiliar na gestão de recursos hídricos, bem como por alguns institutos de pesquisa, tais como o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), o CIIAGRO (Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas) e o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Os principais fabricantes de EMAs, considerados referências mundiais, são: a Campbell Scientific e a Davis Instruments. Essas estações fornecem dados meteorológicos de modo prático e funcional. Porém, é essencial analisar a integridade destes dados para garantir a confiabilidade das informações climatológicas.

Na literatura, existem alguns autores que vêm pesquisando sobre a integridade de dados meteorológicos. Exemplo disso é Estévez, Galiván e Giráldez (2011), que apresentaram diretrizes para aplicar técnicas que verificam a confiabilidade dos dados da *Red de Información Agroclimática de Andalucía* (RIAA), bem como Estévez, Galiván e García-Marín (2011) que desenvolveram um sistema de controle de qualidade para quantificar a Evapotranspiração de Referência (ET_o) e auxiliar no processo de irrigação. Os autores concluíram que é necessário analisar cada estação meteorológica para detectar erros de medida, bem como estabelecer melhorias na análise de dados para validar a sua confiabilidade.

O *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) é uma ferramenta computacional utilizada para avaliar as condições do solo e da água por meio da modelagem da superfície de Bacias Hidrográficas. Desenvolvido por Jeff Arnold no início da década de 90, do Departamento de Pesquisa Agrícola (EUA), o modelo tem como objetivo auxiliar no planejamento, no manejo e na gestão de recursos hídricos, bem como no uso e ocupação do solo. A literatura apresenta alguns autores que utilizaram o SWAT como ferramenta de auxílio na gestão de Bacias Hidrográficas. Exemplo disso é Mutenyo et al. (2013) que utilizaram o SWAT para modelar a hidrologia de águas montanhosas de bacias tropicais do rio Manafwa no leste de Uganda (África). Como resultado, os autores concluíram que o SWAT é adequado para a gestão de

recursos hídricos em regiões com escassez de água.

Diante dessas considerações, pode-se dizer que o problema de pesquisa foi identificar quais os fatores que interferem na integridade dos dados coletados pelas estações da Campbell Scientific, da Davis Instruments e do SINDA/INPE. Nestas condições, o objetivo deste trabalho foi verificar a influência da integridade dos dados meteorológicos de entrada sobre os parâmetros hidrológicos de saída do modelo SWAT, tendo como área de estudo a Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Estação meteorológica automática (EMA)

Uma Estação Meteorológica Automática (Figura 1) é constituída, basicamente, pelos seguintes componentes: sensores para medir os dados meteorológicos (temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar e precipitação pluviométrica, por exemplo), um *datalogger* para registrar estes dados, um painel fotovoltaico para fornecer energia à estação, bem como hastes metálicas para instalar os equipamentos.

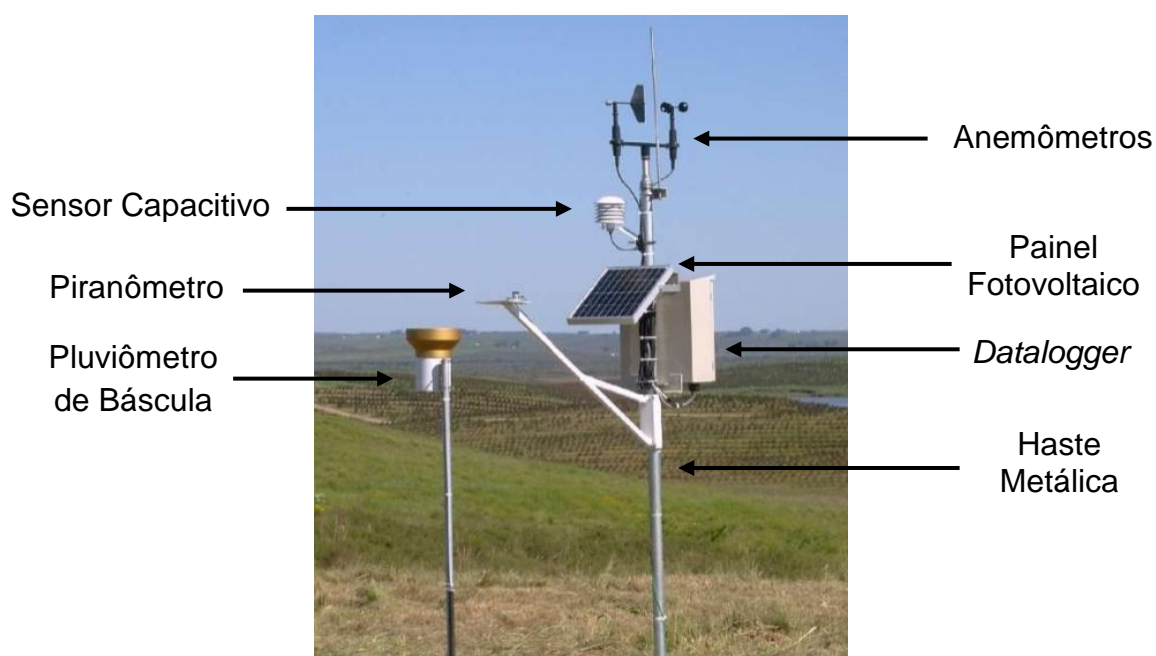


Figura 1: Estação meteorológica automática.
Fonte: Adaptado de Campbell Scientific (2016).

Na área agrícola, a aplicação mais notória, e talvez a pioneira na evolução da tecnologia digital, é a automação da medição de dados meteorológicos, a qual passou de um processo manual rudimentar, para um sistema de medida automatizado. Desde então, os trabalhos que utilizam este tipo de sistema têm contribuído não somente para o aumento da produtividade da área interessada, mas também para a melhoria da qualidade dos produtos agrícolas (TURCO; BARBOSA, 2008). Nesse sentido, Cunha e Martins (2004) ressaltam que os sistemas de

aquisição automática de dados têm representado um avanço significativo, pois além de sua importância na área da meteorologia, vem ganhando espaço na área da agronomia, favorecendo o monitoramento de recursos hídricos.

2.2 Variáveis e sensores meteorológicos

Variável meteorológica é uma grandeza física que influencia no comportamento termodinâmico da atmosfera. As variáveis meteorológicas analisadas neste trabalho foram a precipitação pluviométrica, a velocidade do vento, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a radiação solar.

Sensores são dispositivos eletroeletrônicos que têm a propriedade de transformar em sinal elétrico uma determinada grandeza física. Os sensores analisados neste trabalho foram: o pluviômetro de báscula (precipitação), o anemômetro (vento), o termopar (temperatura), o sensor capacitivo (umidade relativa do ar) e o radiômetro ou piranômetro (radiação solar). A seguir, apresenta-se uma breve descrição de cada variável, bem como de cada sensor meteorológico.

2.2.1 Precipitação pluviométrica: pluviômetros de báscula e Ville de Paris

A precipitação pluviométrica consiste na água que chega à superfície terrestre, proveniente do vapor d'água na atmosfera, sob a forma de chuva, granizo, neve ou orvalho (TUCCI, 2007). As grandezas das medidas pluviométricas são:

Altura pluviométrica: é a medida em milímetros (mm) realizada no pluviômetro. Representa a lâmina d'água que se forma sobre o solo em razão da chuva.

Duração: é o período de tempo contado desde o início até o final da precipitação.

Intensidade da precipitação: é a relação entre a altura pluviométrica e a duração da chuva expressa em mm/hora ou mm/minuto.

- **Pluviômetro de báscula**

Os pluviômetros de báscula são os sensores mais utilizados em EMAs em razão de seu custo e de sua simplicidade. No entanto, quando o sensor está registrando a precipitação, a báscula está em movimento (do tipo gangorra). Neste

instante, se a precipitação for intensa, certo volume de água não será conduzido de forma adequada à balsa, havendo assim uma submedida na altura pluviométrica. Esse tipo de erro é proporcional a intensidade da chuva. Ou seja, quanto mais intensa for a precipitação, o movimento da balsa ocorre com maior frequência e, conseqüentemente, certa quantidade de chuva não será registrada pelo *datalogger* (sistema de aquisição de dados). Outros fatores que interferem na confiabilidade da medida neste tipo de sensor são: poeira e sujeira na área de captação do pluviômetro (que podem obstruir o canal de escoamento da água) e a ação de rajadas de vento (SEIBERT; MORÉN, 1999).

Segundo Tanner (1990), erros de até 10% podem ocorrer com certa frequência nestes tipos de sensores. Por esta razão, a Organização Mundial de Meteorologia (*World Meteorological Organization* – WMO) recomenda que os pluviômetros de balsa tenham resoluções de 0,2 mm por terem maior capacidade de armazenamento (em cada recipiente da balsa). Na verdade, o objetivo é reduzir a velocidade do movimento para diminuir os erros de medida. Além disso, recomenda-se que o sensor seja instalado em local livre de obstáculos (árvores e construções rurais), sendo posicionado a uma altura de 1,5 m do plano horizontal, o qual deve ser recoberto por grama ou vegetação de baixo porte (WMO, 2008). A Figura 2 mostra um pluviômetro (a) e o detalhe construtivo da balsa (b).



Figura 2: Pluviômetro de balsa (a). Detalhe construtivo da balsa (b).
Fonte: Davis Instruments (2016).

O pluviômetro de balsa é constituído por uma balsa móvel dividida ao meio por um septo que, enquanto um de seus volumes é preenchido pela água da chuva, o outro é drenado por gravidade. O movimento pendular da balsa promove

um contato elétrico que, por sua vez, produz um sinal que é recebido e registrado por um *datalogger*. Este movimento ocorre da seguinte maneira: enquanto um de seus recipientes enche (posição posterior da balança), o outro permanece na posição inferior em contato com o transmissor eletrônico. Após o acúmulo de água no recipiente posterior, a balança se movimenta e altera as posições dos recipientes (ou seja, de posterior para inferior). Neste instante, ocorre o contato eletrônico e, conseqüentemente, a transmissão do sinal elétrico equivalente à quantidade de chuva precipitada (altura pluviométrica). Após o movimento, a quantidade de água que estava no recipiente superior é eliminada por um orifício localizado na parte inferior da base do pluviômetro. Este processo se repete enquanto houver precipitação (MARIN, 2005).

- **Pluviômetro Ville de Paris**

O pluviômetro Ville de Paris (pluviômetro padrão analógico) é o mais utilizado no Brasil. Sua estrutura é de aço inoxidável com 480 mm de comprimento, área coletora com 400 cm² de superfície e 22,57 cm de diâmetro, com capacidade de armazenamento em torno de 5 litros. O equipamento deve ser instalado em um suporte para facilitar o seu manuseio e a superfície de captação deve permanecer nivelada com o plano horizontal (CEZÁRIO, 2005). Recomenda-se que a sua instalação seja a uma altura de 1,5 m do solo gramado. No momento da leitura, o observador abre a torneira do receptor e mede o volume de água coletada com uma proveta graduada em milímetros de precipitação (WMO, 2008).



Figura 3: Pluviômetro Ville de Paris.
Fonte: Clima e Ambiente (2016).

É importante ressaltar que o estudo e a análise de precipitações pluviométricas são essenciais para a gestão de bacias hidrográficas; tendo em vista que no planejamento e na gestão incluem, entre outros fatores, o manejo de recursos hídricos e naturais, os modelos conservacionistas, o controle de enchentes, os estudos da erosão, os sistemas de irrigação, bem como o abastecimento de água para municípios e indústrias de modo geral.

2.2.2 Velocidade do vento: anemômetro

Vento pode ser definido como o movimento do ar em uma determinada direção. A sua medida é, em condições normais de clima, expressa em ms^{-1} . Para medir a velocidade do vento é necessário um anemômetro, conforme mostra a Figura 4. O anemômetro de copos é o mais utilizado nas EMAs. Ele gira em torno de um eixo vertical para quantificar o vento em todas as direções. No momento da escolha de um anemômetro, é importante considerar a durabilidade, a sensibilidade, o tempo de resposta (captação do vento e registro do sinal) e a sua acurácia (MARIN, 2005).



Figura 4: Anemômetro de três copos.
Fonte: Campbell Scientific (2016).

Os anemômetros de copos quantificam ventos em todas as direções, o que em algumas vezes pode levar a medidas superestimadas devido ao forte movimento convectivo (ventos ascendentes e descendentes). Desta forma, é fundamental

comparar a velocidade do vento de duas EMAs próximas (vizinhas) para analisar os dados meteorológicos e garantir a sua confiabilidade (ALLEN, 1996).

2.2.3 Temperatura do ar: termopar

A temperatura é uma grandeza física, expressa em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), que governa a transferência de energia térmica de um sistema para outro. Ela representa a energia cinética associada às moléculas que compõem o sistema no qual se realiza a medida e, de certa forma, a medida da temperatura representa a intensidade e a frequência de colisões dessas moléculas com o sensor. Os tipos mais comuns de sensores são: os termômetros de resistência de platina e os termopares. A radiação solar e a condução térmica dos fios são fatores que podem influenciar na medida do sensor (MARIN, 2005). A Figura 5 apresenta um termopar.



Figura 5: Termopar.
Fonte: Campbell Scientific (2016).

2.2.4 Umidade relativa do ar: sensor capacitivo

A umidade relativa do ar é considerada uma das variáveis mais difíceis de quantificar em razão da alta presença de contaminantes no ar. Para medir a sua intensidade, utiliza-se nas EMAs o sensor capacitivo; já que é de baixo custo, apresenta boa precisão e possui estabilidade temporal. Outro tipo de sensor é o psicrométrico, o qual possibilita acurácia nas medidas e baixo custo de operação.

É importante ressaltar que o sensor de umidade relativa do ar é sensível à presença de poluentes e, portanto, pode apresentar perda de acurácia, alteração do tempo de resposta e redução da vida útil (WHITE; ROSS, 1991 citado por MARIN, 2005).



Figura 6: Sensor capacitivo.
Fonte: Campbell Scientific (2016).

2.2.5. Radiação solar: piranômetro

Radiação solar pode ser definida como a energia emitida pelo sol e transmitida sob a forma de radiação eletromagnética. O sensor capaz de detectar a radiação solar é o piranômetro, também conhecido como radiômetro.

Os piranômetros mais comuns utilizados em EMAs são os constituídos por termopilhas, que detectam a elevação da temperatura como efeito da incidência de radiação. Este, quando exposto a radiação, produz uma corrente elétrica de baixa intensidade (da ordem μA) que é convertida em uma tensão elétrica (da ordem de μV). Ao longo do tempo, as medidas apresentadas por este tipo de sensor pode sofrer variações de 5% a 15%. Como consequência, o sensor perde a calibração, necessitando de manutenção ou mesmo de substituição (MARIN, 2005).



Figura 7: Piranômetro.
Fonte: Campbell Scientific (2016).

2.3 Sistema automático de aquisição de dados

Dados são definidos como símbolos brutos, sem significado maior além da sua própria existência, porém, constituem a base fundamental do conhecimento científico. Por outro lado, medida consiste em quantificar uma grandeza física desejada. Por exemplo, compreender os fenômenos naturais envolve medidas que devem ser obtidas por meio de um sensor. Para o estudo da atmosfera, considerada um sistema dinâmico e complexo, é necessário monitorar de forma contínua e simultânea as variáveis meteorológicas (MARIN, 2005).

Um sistema automático de aquisição de dados é constituído, basicamente, por três partes: a central de coleta, processamento e armazenamento de dados (*datalogger*), as vias de comunicação (*wireless*, satélite ou rádio) e a fonte para o suprimento de energia (bateria e o painel solar). Integrando-se a este sistema, existem os sensores para detectar e medir as variáveis meteorológicas. De modo geral, as medidas das grandezas físicas geram sinais elétricos que podem ser quantificados e registrados pelos sistemas de aquisição de dados; uma vez que a conversão dessas variáveis (dados) é realizada pelos sensores. A Figura 8 mostra um *datalogger* (modelo CR 10X) do fabricante Campbell Scientific (MARIN, 2005).

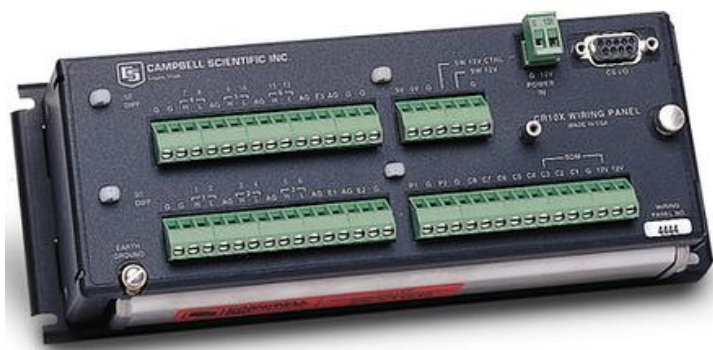


Figura 8: *Datalogger* (Modelo CR 10X).
Fonte: Campbell Scientific (2016).

Normalmente, um valor medido não é igual ao valor “real” da variável, tendo em vista os fatores que podem interferir na grandeza física de interesse. No caso das variáveis meteorológicas, os erros podem estar relacionados por inúmeros fatores, tais como: os ruídos eletrônicos do sistema automático de aquisição de dados e dos próprios sensores da estação, alterações abruptas da temperatura atmosférica, carência de inspeção na EMA e operação inadequada do sensor em

razão da falta de calibração ou de manutenção. Neste sentido, os conceitos de precisão, acurácia e erro são essenciais na área experimental. Desta forma, precisão é a variabilidade observada entre uma série de medidas, indicando o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média das medidas (MARIN, 2005). Por outro lado, acurácia representa a verificação de uma medida comparada com um valor de referência, já que este deve ser associado ao valor padrão da calibração do sensor, bem como em razão da sua rastreabilidade metrológica (FRITSCHEN; GAY, 1979).

2.4 Conceitos, aplicações e estado da arte: EMAs

Estudos recentes divulgados pela FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations* – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) mostram que nos últimos anos houve um aumento de 70% na produção mundial de alimento devido a maior produtividade agrícola; resultado da utilização de novas tecnologias de cultivo e de sistemas de irrigação. Diante disso, estima-se que em 2030 a área irrigada no mundo seja de 300 milhões de hectares; fato que reforça a necessidade do uso racional de recursos hídricos e naturais na agricultura (FAO, 2016).

A evolução das estações meteorológicas automáticas a partir da década de 60 tem facilitado a aquisição e a organização dos dados meteorológicos, simplificando, com isso, o cálculo da ETo (BAUSCH, 1990; WMO, 2008). Neste sentido, Oliveira (2003) complementa que a evolução da eletrônica e dos sistemas computacionais (*hardware* e *software*), associados à necessidade de monitorar o clima e os recursos hídricos, motivaram a ampliação das redes de EMAs no Brasil. O CIIAGRO (Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas), o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), o IPMet (Instituto de Pesquisa Meteorológica de Bauru/SP) e o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) são exemplos de institutos de pesquisa que disponibilizam em tempo real informações meteorológicas sobre o clima e o tempo.

Comparações na uniformidade dos dados registrados nas EMAs com relação às estações meteorológicas convencionais, têm demonstrado eficiência nas medidas das variáveis meteorológicas, especialmente na precipitação pluviométrica, na

temperatura do ar e na umidade relativa do ar para diferentes tipos de sensores disponíveis no mercado (OLIVEIRA, 2003; CUNHA; MARTINS, 2004; SCARPARE et al., 2006; ALMEIDA; SOUZA; ALCÂNTARA, 2007; OLIVEIRA et al., 2010). Entretanto, a substituição de uma Estação Meteorológica Convencional por uma Estação Meteorológica Automática não é simples, necessitando, sobretudo, da comparação de dados por um período de tempo representativo a fim de garantir a confiabilidade das informações.

2.4.1 Conceitos e aplicações

A evapotranspiração é um processo combinado de transferência de água do solo para atmosfera, incluindo a evaporação da água do solo e a transpiração da planta através dos tecidos vegetais. Ela é expressa como lâmina d'água por unidade de tempo (mm dia^{-1}) (BURMAN et al., 1983).

A ETo é definida como a taxa de evapotranspiração de uma superfície de referência, coberta por uma cultura hipotética com altura de 0,12 m, resistência aerodinâmica de superfície de 70 ms^{-1} e albedo de 0,23, com altura uniforme, sem restrições de água, crescendo ativamente e sombreando completamente o solo (ALLEN et al., 2006).

Uma estação meteorológica automática é aquela que mede e registra variáveis meteorológicas para serem transmitidas a um console. Tendo em vista que estes dados são disponibilizados em tempo real para diversas aplicações (pesquisa e agricultura, por exemplo), torna-se necessário analisar a sua integridade (WMO, 2008).

A confiabilidade dos dados meteorológicos está relacionada com a escolha, a calibração e a manutenção dos sensores utilizados na EMA. Sentelhas et al. (1997) complementa que a escolha do sensor estabelece a seguinte ordem de prioridade: acurácia, custo, manutenção, calibração e consumo de energia. A acurácia dos sensores é um fator determinante para utilização dos dados meteorológicos, já que dados não confiáveis podem levar a erros na determinação da ETo e, conseqüentemente, comprometer o planejamento e a gestão dos recursos hídricos (BARROS et al., 2009).

2.4.2 Estado da arte

Turco e Barbosa (2008) avaliaram a integridade de dados meteorológicos de duas EMAs, uma do fabricante Davis Instruments e outra do fabricante Campbell Scientific, para detectar possíveis erros nas medidas dos sensores. O período da coleta de dados foi de 13 de abril de 2005 até 31 de março de 2006. Como resultado, os autores identificaram que os dados da radiação solar e da temperatura do ar foram satisfatórios. Porém, os dados da umidade relativa do ar das duas EMAs não foram aceitáveis. Com relação a velocidade do vento, ambas EMAs não apresentaram boa correlação, necessitando, desta forma, verificar as condições operacionais do anemômetro.

Oliveira et al. (2010) compararam, no município de Jaboticabal/SP, dados meteorológicos obtidos em estação meteorológica convencional (EMC) e em EMA para detectar possíveis diferenças nas medidas dos sensores. Os autores concluíram que existiu boa concordância entre as estações, principalmente para as seguintes variáveis: temperatura média, temperatura mínima, temperatura máxima e precipitação pluviométrica.

Turco, Perecin e Pinto Jr. (2008) avaliaram quatro métodos de estimativa da ETo, são eles: Makking, Hargreaves, Tanque Classe A e Radiação Solar. Os autores compararam estes métodos com o Método de Penman-Montheit, recomendado pela FAO como método padrão para a estimativa da ETo. Como resultado, concluíram que erros da ETo, em razão de problemas com os sensores, podem comprometer o planejamento agrícola, a análise da precipitação pluviométrica, bem como a gestão de Bacias Hidrográficas.

Sharan (2014) desenvolveu um protótipo de EMA para medir dados meteorológicos de forma remota (*wireless*). Os resultados mostraram que os dados medidos são aceitáveis, quando comparados com EMAs existentes no mercado.

É fundamental conhecer tecnicamente os sensores meteorológicos para garantir a correta operação da EMA e, com isso, auxiliar na prevenção de enchentes. Como resultado, os autores verificaram que o bom funcionamento dos sensores auxilia na confiabilidade dos dados como forma de proteção à sociedade; já que os desastres naturais vêm aumentando (JAMIL et al., 2013).

Turco et al. (2014) avaliaram no município de Jaboticabal/SP o método de Hargreaves para estimativa da ETo e compararam com o método de Penman-Monteith. Os autores concluíram que o desvio padrão diário da ETo, na comparação com os métodos estudados, foi satisfatório.

Pereira et al. (2015) apresentaram um estudo sobre o cálculo da ETo pelo método de Penman-Monteith quando o coeficiente de cultura é alterado devido a transpiração da cultura e a evaporação do solo. Os autores observaram que as alterações no coeficiente podem ser utilizadas para controlar a qualidade na estimativa da ETo e, desta forma, auxiliar os agricultores e os pesquisadores no que se refere ao consumo de água.

2.5 Conceitos, aplicações e estado da arte: modelo SWAT

Considerar a Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento de recursos hídricos e naturais é de aceitação internacional, não apenas porque representa uma unidade física bem caracterizada, onde existe a integração e a funcionalidade de seus elementos; mas, sobretudo, devido a área que existe ao seu redor (PALLA, 1994; PISSARRA, 2002; SANTOS, 2005).

A modelagem hidrológica é uma ferramenta útil para propor estratégias de gestão em bacias hidrográficas, principalmente no que tange a análise da qualidade da água e o impacto da agricultura no meio ambiente. A modelagem infere vários cenários com diferentes tipos de manejo e práticas conservacionistas (GASSMAN et al., 2007). Na verdade, o modelo pode ser definido como um sistema de drenagem a partir de equações matemáticas que representam as variações espaciais e temporais dos parâmetros de entrada e de saída do modelo. Nesse caso, é importante identificar a variabilidade espacial da Bacia Hidrográfica dividindo a sua área em microbacias (GASSMAN et al., 2007; MIGLIACCIO; CHAUBEY, 2008).

2.5.1 Conceitos e aplicações

O conceito de microbacia está inserido no contexto da Lei Federal n. 9433 de 8 de janeiro de 1997, a qual instituiu a Bacia Hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional do Meio Ambiente e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Portanto, Bacia Hidrográfica pode

ser definida como a área compreendida por um rio principal (exutório) e seus afluentes (redes de drenagem) desde as nascentes. Já a rede fluvial, também chamada de rede de drenagem, é constituída pela integração de rios de uma Bacia Hidrográfica (PISSARRA, 2002; VENTURI, 2005).

Conforme já mencionado, o SWAT é uma ferramenta computacional utilizada para avaliar as condições do solo e da água. Tem como objetivo prever a prática do planejamento e da gestão dos recursos hídricos, bem como do uso e da ocupação do solo, além de analisar a produção de sedimentos e o transporte de nutrientes. O modelo ainda analisa parâmetros hidrológicos de saída, como por exemplo: escoamento superficial, percolação, evapotranspiração, fluxo de drenagem, análises em reservatórios, ciclo hidrossedimentológico, transporte de sedimentos e de nutrientes, entre outros parâmetros (NEITSCH et al., 2011).

Para descrever a relação entre as variáveis de entrada e de saída (Figura 9), o SWAT necessita dos dados meteorológicos, do uso e tipo de solo, do modelo de elevação digital do terreno e das redes de drenagem da Bacia Hidrográfica estudada. Na saída, o modelo apresenta os parâmetros hidrológicos a serem analisados e, conseqüentemente, utilizados para estabelecer políticas de gestão de Bacias Hidrográficas.

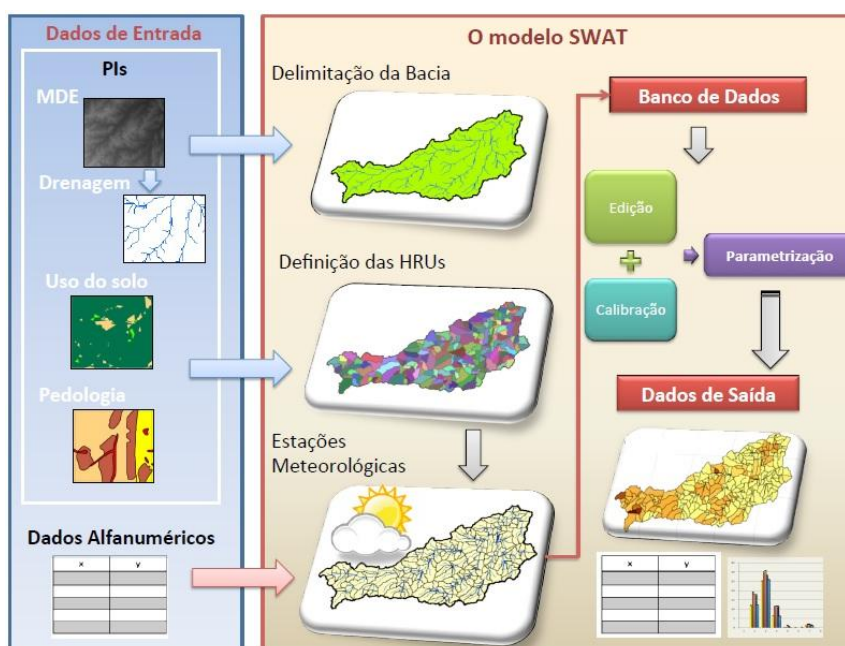


Figura 9: Relação entre as variáveis de entrada e saída de dados do SWAT.
Fonte: Adaptado de DI LUZIO et al. (2002).

2.5.2 Estado da arte

O modelo SWAT é muito utilizado por agências governamentais da Europa e dos Estados Unidos da América para avaliar mudanças climáticas e analisar efeitos do uso do solo sobre os recursos hídricos (GASSMAN et al., 2007).

Shrestha, Dibike e Prowse (2009) pesquisaram a resposta hidrológica em duas microbacias em Lake Winnipeg (EUA) utilizando o SWAT. Os resultados indicaram que o modelo é um instrumento eficaz, pois apresentou uma correspondência satisfatória entre a superfície observada e a simulada; principalmente na análise da produção de sedimentos.

Karolina et al. (2009) estudaram a aplicação do SWAT em pequenas represas entorno de áreas agrícolas na Polônia. Os resultados mostraram que a modelagem é uma ferramenta eficaz para definir áreas de risco ambiental e de manejo do solo.

Lopes (2008) utilizou o SWAT para modelar a produção de água e de sedimentos a fim de monitorar processos hidrossedimentológicos em sete microbacias no Estado de Santa Catarina. Como resultado, o modelo indicou as áreas mais suscetíveis ao processo erosivo, caracterizando as áreas mais críticas de assoreamento na rede de drenagem.

Pissarra et al. (2014) utilizaram o modelo SWAT para compreender o processo de erosão na Bacia Hidrográfica do Córrego Tijuco Preto (região de São Carlos/SP) em razão da precipitação pluviométrica. Como resultado, foram identificadas as principais áreas erosivas da referida Bacia Hidrográfica.

Sudjarit, Pukngam e Tangthan (2015) utilizaram o SWAT para analisar a água e a produção de sedimentos relacionados ao ecossistema de uma região montanhosa da Tailândia. Nestas condições, os autores identificaram possíveis desabamentos de terra e processos de erosão na região devido à precipitação e o escoamento superficial; tendo em vista que a entrada de água em determinadas áreas era maior que a quantidade de saída. Com isso, poderia haver perda de nitrogênio no solo e perda de carbono da vegetação.

Melo Neto et al. (2014) avaliaram o desempenho do SWAT na simulação do escoamento ao nível micro e meso na escala espacial em uma mesma região hidrográfica. Os autores concluíram que o modelo apresentou resultados satisfatórios com base nos índices estatísticos aplicados em sua análise.

Já Silva et al. (2014) estimaram a produção de sedimentos e nutrientes (nitrogênio e fósforo) transportados para os rios da microbacia do Ribeirão Canchim (São Carlos/SP), inserida no perímetro da bacia Canchim (sede da Embrapa Pecuária Sudeste), entre 1992 e 2012. Os autores observaram que a estimativa de perda anual do solo, quando comparado com outros trabalhos, não indicou valores significativos para comprometer a qualidade dos mananciais, assim como a qualidade da água na microbacia.

Estudos sobre a aplicação do modelo SWAT no Brasil, com o objetivo de descrever a variedade de biomas e zonas climáticas, bem como verificar relatos de publicações do SWAT, foram desenvolvidos por Bressiani et al. (2015). Os autores identificaram que os biomas brasileiros são caracterizados por uma grande diversidade de vegetação e clima, impondo desafios consideráveis no que diz respeito à aplicação de modelos hidrológicos. No entanto, o uso do SWAT no Brasil vem crescendo consideravelmente nos últimos anos na área acadêmica. Porém, governo, secretarias de meio ambiente e comitês de bacias hidrográficas ainda permanecem distantes da utilização do modelo como ferramenta de apoio à decisão na gestão de recursos hídricos.

Sadler et al. (2015) trabalharam com instrumentação, coleta de dados e documentação de apoio para melhorar as análises e as modelagens hidrológicas. Diante disso, os autores verificaram que existem diversas pesquisas sobre modelos utilizados na gestão de Bacias Hidrográficas, como por exemplo, o SWAT.

Li et al. (2015) investigaram os impactos da mudança do uso da terra devido ao escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Heihe (China). Os resultados indicaram que as florestas e as pastagens irão se expandir, reduzindo o escoamento superficial e a disponibilidade da água. Com isso, para alcançar o desenvolvimento sustentável, torna-se necessário informar as autoridades competentes para fins da gestão de recursos hídricos e o uso correto da terra.

Estudos sobre avaliação do desempenho do SWAT, quando utilizado para uso e ocupação do solo, em diferentes condições climáticas, foram realizados por Kiros, Shetty e Nandagiri (2015). Os autores observaram que o SWAT pode ser aplicado na gestão de terras, aceitando entrada de dados em diferentes cenários de solo e de clima; o que enfatiza a sua importância na gestão de bacias hidrográficas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta seção foi organizada em duas partes. A primeira aborda o material e métodos sobre a integridade de dados das Estações Meteorológicas Automáticas e, a segunda parte, descreve a modelagem do SWAT para o estudo da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP.

3.1 Caracterização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, afluente do Rio Mogi Guaçu, foi selecionada neste estudo devido a sua importância para o município de Jaboticabal/SP e região. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (subtropical, com inverno seco e chuvas de verão) (CEPAGRI, 2016). Na montante da Bacia Hidrográfica, ponto de captação de água, realizam-se atividades de plantio e lançamento de efluentes domésticos. Na jusante, os esgotos domésticos são coletados e afastados do município por interceptores localizados às margens dos córregos urbanos e, em seguida, despejados na Estação de Tratamento de Água e Esgoto para ser tratada e distribuída à população.

A Bacia Hidrográfica do Córrego Rico está localizada na região nordeste do Estado de São Paulo. Constituída pelos municípios de Jaboticabal, Taquaritinga, Monte Alto, Guariba e Santa Ernestina (Figura 10), ela ocupa uma área de aproximadamente 563 km² e está localizada na posição geográfica definida pelas coordenadas 21°10'S e 21°28'S (latitudes) e 48°10'W e 48°35'W (longitudes); conforme Folhas da Carta do Brasil, escala 1:50.000 (IBGE, 1971). Com altitude variando entre 754 a 498 metros, é considerada a principal fonte de captação de água para abastecer o município de Jaboticabal/SP (PISSARRA et al., 2009).

É importante ressaltar que a Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP é monitorada desde 1998 com projetos apoiados pela FAPESP, CNPq, CAPES e FUNDUNESP, tendo em vista a sua importância para o planejamento agrícola, ambiental, gestão de recursos hídricos e desenvolvimento econômico e social de Jaboticabal/SP e região.

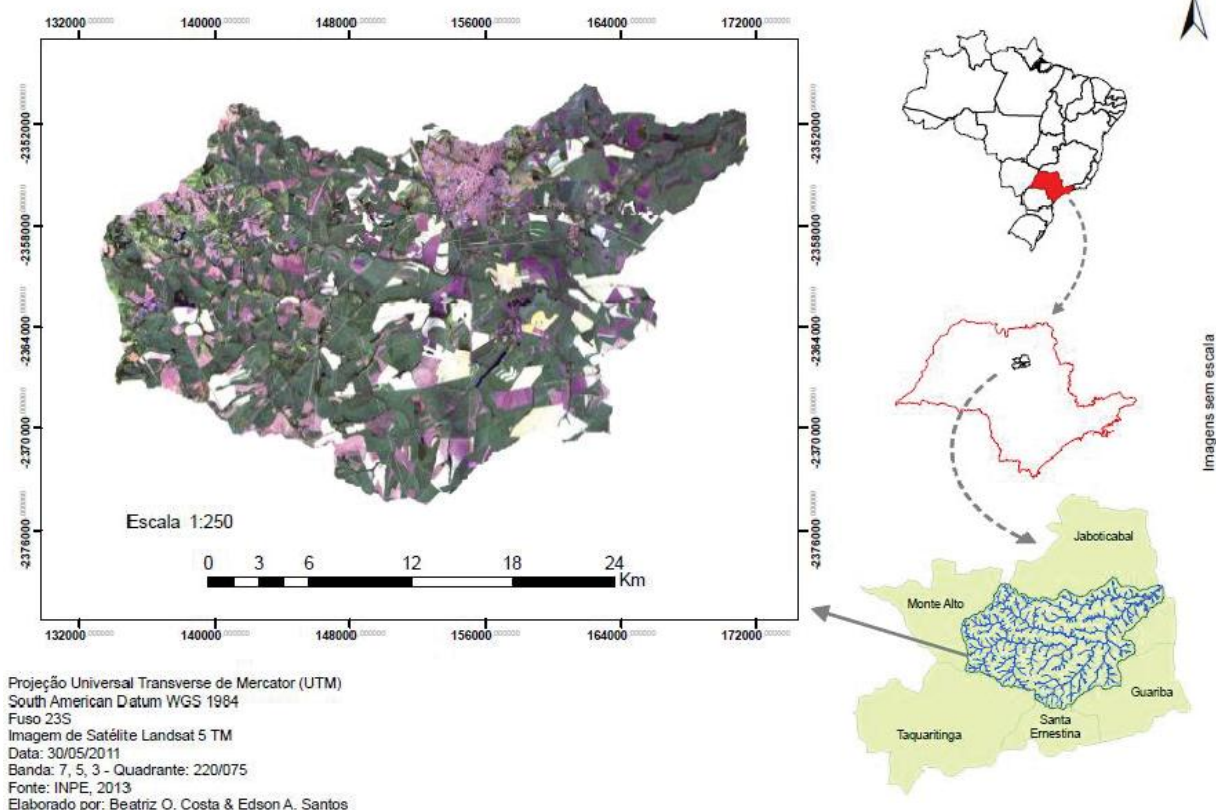


Figura 10: Localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP.
 Fonte: Rodrigues (2013).

3.1.1 Material

3.1.1.1 Estações meteorológicas automáticas utilizadas na pesquisa

As estações meteorológicas automáticas da Davis Instruments e da Campbell Scientific estão instaladas na área experimental do Departamento de Engenharia Rural (DER) da FCAV/UNESP – Câmpus de Jaboticabal/SP nas coordenadas: latitude $21^{\circ}14'05''\text{S}$, longitude $48^{\circ}17'09''\text{W}$ e altitude 613 m. A estação da Campbell (Figura 11) é constituída dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar (modelo HMP45C Vaisala), de velocidade do vento (modelo 03001 RM Young Co), de radiação solar (modelo CM3 Kipp e Zonen) e de um pluviômetro de báscula (TURCO; BARBOSA, 2008).

É importante ressaltar que na análise da integridade de dados da precipitação pluviométrica, adotou-se como referência o pluviômetro Ville de Paris por ser considerado padrão para realizar medidas de precipitação (VAREJÃO-SILVA, 2001). Com isso, foi possível comparar os dados do Ville de Paris com os dados dos pluviômetros de báscula das EMAs (Campbell, Davis e SINDA/INPE).



(a)



(b)

Figura 11: Estação meteorológica automática da Campbell (a). Piranômetro (b).

A estação da Davis Instruments (Figura 12) possui os sensores de temperatura e umidade relativa do ar (modelo 7859), de velocidade do vento (modelo 7911), de radiação solar global (modelo 6450) e de um pluviômetro de báscula. Os sensores são fabricados pela própria Davis Instruments (TURCO; BARBOSA, 2008).



Figura 12: Estação meteorológica automática da Davis Instruments.

A EMA do SINDA/INPE (Figura 13) surgiu da necessidade de algumas empresas coletarem dados climatológicos em lugares remotos. Como exemplo, pode-se mencionar o controle de barragens de grandes usinas hidroelétricas (Itaipu e Tucuruí). Instalada próxima do Departamento de Ciências Exatas no Câmpus da

FCAV, a sua operação teve início em 2 de junho de 2005. A EMA está localizada nas coordenadas: latitude 21°14'49,3"S, longitude 48°18'06,5"W e altitude 600 m.

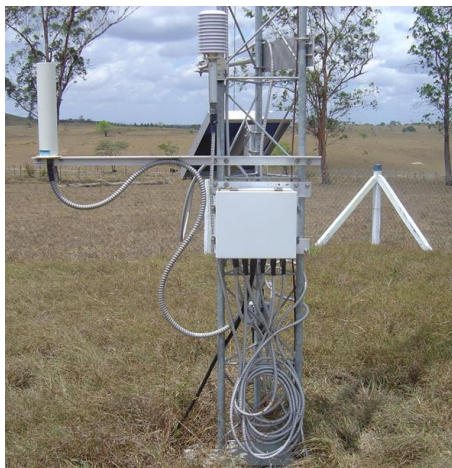


Figura 13: Estação meteorológica automática do SINDA/INPE.

3.1.1.2 Coleta de dados meteorológicos das EMAs

Os dados meteorológicos coletados das três EMAs referem-se ao período de janeiro de 2009 a dezembro de 2012. As estações possuem um sistema de aquisição de dados (*datalogger*) para fins de coleta, armazenamento e processamento. No caso da EMA da Davis, os dados são enviados via rádio para um console instalado no Laboratório de Instrumentação, Automação e Processamento (LIAP) do Departamento de Engenharia Rural (DER). As EMAs da Campbell e da Davis estão instaladas na área experimental do DER sobre a grama batatais (*Paspalum notatum* Flüggé) e protegidas por uma cerca elétrica para evitar possíveis avarias nos instrumentos. Nas três estações, os sensores de radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, bem como o pluviômetro de báscula estão instalados a 1,5 m acima da superfície gramada. Os sensores de velocidade do vento das EMAs da Campbell e da Davis estão instalados a 2 m da superfície e o sensor do SINDA/INPE a 10 m. Diante disso, foi necessário utilizar um fator de conversão (relação logarítmica) para corrigir a altura do sensor em razão do cálculo da ETo (ALLEN et al., 2006).

Para analisar a integridade dos dados, foram aplicadas as técnicas descritas por Allen (1996). A EMA da Campbell Scientific é considerada a mais adequada, pois apresenta o menor desvio padrão, quando comparado com as EMAs da Davis e

do SINDA/INPE. Desta forma, foi escolhida como referência para comparar os resultados. Após a análise, os dados foram inseridos no SWAT para investigar o comportamento dos parâmetros hidrológicos de saída (escoamento superficial, escoamento subsuperficial, ETo, percolação, evaporação do solo, reflúvio, recarga do aquífero e PET). Vale ressaltar que, periodicamente, os dados da estação de referência (Campbell Scientific) são aferidos em relação à Estação Convencional Agroclimatológica do Departamento de Ciências Exatas (FCAV/UNESP – Câmpus de Jaboticabal/SP). Isso é importante para manter a confiabilidade nas medidas, uma vez que registros de dados produzidos por estações meteorológicas podem ser comparados aos registros de estações vizinhas para verificar se houve alteração na operação dos sensores (ALLEN, 1996).

3.1.2 Métodos

Para avaliar a integridade dos dados meteorológicos, foram utilizadas as técnicas descritas por Allen (1996) apresentadas nas subseções a seguir.

3.1.2.1 Radiação solar

- **Comparações de céu limpo**

A operação do sensor (piranômetro) e a precisão da calibração podem ser avaliadas pela plotagem de hora em hora ou pela média diária da leitura do sensor, quando comparadas com as radiações de ondas curtas esperadas sob condições de céu limpo (R_{so}). Nestas condições,

$$R_{so} = K_T R_a \quad (1)$$

em que,

R_a : radiação extraterrestre; e

K_T : índice de claridade.

A R_a pode ser registrada por períodos diários ou de hora em hora como uma função da latitude, dia do ano e hora do dia. Para dados de 24 horas, o K_T pode

variar de 0,7 a 0,8; dependendo da claridade atmosférica (poeira em suspensão no ar, poluição, umidade, entre outros fatores), da altitude do local e do ângulo solar.

Uma simples previsão para o K_T , onde apenas a altitude (em que a EMA está instalada) é considerada, pode ser determinada pela equação:

$$K_T = 0,75 + (2 \times 10^{-5})z \quad (2)$$

na qual z é a altitude da estação em metros (m). A equação (2) foi desenvolvida para uma média do ângulo solar de 45° acima da linha do horizonte.

Estimativas das radiações de ondas curtas esperadas sob condições de céu limpo (R_{so}), para períodos ou dias com baixos ângulos solares, podem ser feitas por meio da equação:

$$K_T = \exp\left(\frac{-0,0018P}{K_{tb} \text{ sen}\Phi}\right) \quad (3)$$

em que, K_{tb} é o coeficiente de claridade, $0,5 < K_{tb} \leq 1,0$; onde $K_{tb} = 1,0$ para condições de ar limpo e $0,5$ para turbido ou pardo. Geralmente, K_{tb} é dado como $1,0$ para prever o limite mais alto de K_T para a maioria das áreas agrícolas. A variável P é a pressão atmosférica (kPa) e Φ é o ângulo solar (rad) acima do horizonte.

Uma porção da absorção ou a dispersão da radiação de luz direta (radiação de luz direta é definida como a densidade de fluxo de radiação de onda curta incidente em um plano paralelo da superfície da terra e, radiação difusa, é definida como a densidade de fluxo de radiação de onda curta, devido a dispersão da luz solar) na atmosfera é causada pelo vapor d'água. A função K_T pode ser melhorada incluindo a água precipitável como variável. A função K_B prevê o índice de claridade para radiação de luz direta sob condições de céu limpo com baixa turbidez. Diante disso, K_B pode ser expresso da forma:

$$K_B = 0,98 \exp\left[\frac{-0,00146P}{K_{tb} \text{ sen}\Phi} - 0,162\left(\frac{W}{\text{sen}\Phi}\right)^{0,25}\right] \quad (4)$$

em que,

P: pressão atmosférica, kPa; e

W: água precipitável na atmosfera, cm.

A água precipitável na atmosfera pode ser calculada por meio da equação:

$$W = 0,014e_d P + 0,21 \quad (5)$$

na qual e_d é a pressão de vapor próxima à superfície em kPa.

O índice de radiação difusa, K_D , pode ser estimado a partir de K_B , utilizando as seguintes expressões:

$$K_D = 0,35 - 0,33K_B \rightarrow \text{para } K_B \geq 0,15$$

e

$$K_D = 0,18 + 0,82K_B \rightarrow \text{para } K_B < 0,15 \quad (6)$$

Quando as equações (4) e (6) são utilizadas, o índice de claridade é calculado pela soma de K_B e K_D , ou seja:

$$K_T = K_B + K_D \quad (7)$$

Para períodos de hora em hora ou mais curtos, o $\text{sen}\Phi$ nas equações (3) e (4) é calculado como:

$$\text{sen}\Phi = \text{sen}\varphi \text{sen}\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\omega \quad (8)$$

na qual,

φ : latitude da estação, rad;

δ : declinação solar, rad; e

ω : ângulo de tempo solar, rad.

Para a aplicação das equações (3) e (4) para dados de 24 horas ou mensais, pode-se estimar uma média de 24 horas ponderada do $\text{sen}\Phi$ de acordo com a R_a incidente durante o período do dia. Desta forma, o resultado integrado e médio é:

$$(\text{sen}\Phi)_{24} = \frac{\left\{ \text{sen}^2\varphi \text{sen}^2\delta \omega_s + 2\text{sen}\varphi \text{sen}\delta \cos\varphi \cos\delta \text{sen}\omega_s + \cos^2\varphi \cos^2\delta \left[\frac{\omega_s}{2} + \frac{\text{sen}(2\omega_s)}{4} \right] \right\}}{\omega_s \text{sen}\varphi \text{sen}\delta + \cos\varphi \cos\delta \text{sen}\omega_s} \quad (9)$$

em que ω_s é o ângulo do horário do pôr-do-sol.

Simplificando a equação (9) por meio da regressão, temos:

$$(\text{sen}\Phi)_{24} = \text{sen} \left[0,85 + 0,3\varphi \text{sen} \left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39 \right) - 0,42\varphi^2 \right] \quad (10)$$

em que, J representa os dias do ano (1 a 365); e φ é a latitude da estação, rad.

A equação (10) estima para $(\text{sen}\Phi)_{24}$ um erro de aproximadamente 4% para os períodos da primavera, do verão e do outono, sobre uma faixa de -65° a 65° de latitude e, 6%, para todos os meses sobre uma faixa de -60° a 60° de **latitude**. Essa precisão é adequada para predizer K_T nos períodos de 24 horas.

3.1.2.2 Radiação solar líquida

- **Comparando a radiação estimada com a radiação medida pelo sensor**

As equações para estimar a média horária e a média diária (24h) de radiação líquida (R_n), utilizando as medidas de radiação de ondas curtas (R_s), são aceitáveis na maioria das condições. Contudo, dados de R_n medidos deveriam ser plotados contra a R_n estimada utilizando as equações baseadas na R_s , na temperatura do ar e na pressão do vapor. A maioria dessas equações pode ser aplicada mensalmente, diariamente, a cada hora ou em um pequeno intervalo de tempo (ALLEN, 1996).

Se os valores medidos da radiação solar líquida apresentarem um desvio de 3 a 5% dos valores estimados, então a calibração ou a operação do sensor deve ser investigado. Comparando a radiação solar líquida calculada com a medida (sensor), é possível identificar os dias ou períodos durante os quais o sensor apresentou problemas; supostamente em razão da sujeira, dejetos de pássaros, condensação da umidade dentro dos domos, perda de uniformidade ou perda de vegetação abaixo do sensor (ALLEN, 1996).

3.1.3 Umidade relativa do ar

É possível que ocorram problemas nos sensores de umidade relativa do ar (UR) devido aos erros por histerese, deslinearidade e de calibração. Alguns desses erros são devido ao projeto dos sensores e, outros, em razão da poeira, da umidade, da presença de insetos, da poluição e do próprio tempo de uso (ALLEN, 1996).

3.1.3.1 Duplicação dos sensores de umidade relativa do ar

Recomenda-se a duplicidade dos sensores de umidade relativa e de temperatura do ar. Esta prática é considerada de alto custo, porém, pode-se minimizar tempo de calibração e de manutenção, bem como questionamentos com relação à integridade dos dados. Diante disso, o custo do sensor torna-se relativamente baixo, quando comparado com a confiabilidade exigida nos dados climáticos que são utilizados no planejamento de irrigação, na gestão e nos modelos de recursos hídricos, assim como nos estudos relacionados ao aquecimento global. Quando sensores duplicados produzem dados similares, então ambos estão funcionando corretamente, desde que as equações de calibração estejam sendo empregadas. Diferenças significativas entre os sensores podem indicar algum tipo de problema com um ou com ambos (sensores) (ALLEN, 1996).

3.1.3.2 Umidade relativa diária máxima

Quando dados da umidade relativa máxima (UR_{max}) são medidos em um local de referência (sobre a grama aparada e irrigada adequadamente), a umidade no início da manhã irá se aproximar de 100%, mesmo em áreas semiáridas. Valores de umidade relativa máxima (UR_{max}) abaixo de 80 a 90% indicam problemas na

calibração do sensor, em seu funcionamento ou deficiência de irrigação (aridez) (ALLEN, 1996).

3.1.4 Velocidade do vento

Recomenda-se duplicar o sensor da velocidade do vento para obter maior confiabilidade dos dados. Então, é importante verificar registros de vento do local a ser medido para identificar se existe presença de ventos com baixa velocidade. Esta prática é fundamental quando se utiliza sensores eletrônicos, tendo em vista que esses registros podem representar um *offset* (desvio) numérico na equação de calibração do anemômetro, o qual representa um atrito no giro inicial do instrumento. O registro do *offset* indica tanto a presença de condições excepcionalmente calmas, com velocidade menor do que $0,5 \text{ m s}^{-1}$ durante o período inteiro de amostragem (o que é raro), ou o mau funcionamento do sensor devido a um curto circuito ou desgaste dos seus rolamentos. Vale ressaltar que esses problemas podem não ser notados pelo operador da estação (ALLEN, 1996).

Quando não for possível duplicar os sensores, pode ser utilizado um balanço de massa, no qual o vento acumulativo de um anemômetro é plotado contra o vento acumulativo de outro anemômetro presente em uma estação vizinha (próxima). Para verificar a integridade dos dados, os resultados para ambos os sensores não podem sofrer alterações ao longo do período analisado (ALLEN, 1996).

3.1.5 Técnica da análise de dupla massa

Registros produzidos por estações meteorológicas podem ser periodicamente comparados a registros de estações vizinhas para estimar se houve mudança no funcionamento do sensor ou problemas de calibração. Uma técnica que é utilizada para essa proposta é a da análise de dupla massa, em que somas acumulativas de um parâmetro em duas localidades são plotados um contra o outro (por exemplo, o vento acumulativo no local 1 versus o vento acumulativo no local 2). Qualquer alteração na inclinação da curva acumulativa em um período de tempo pode ser devido a problemas no sensor ou mesmo falta de calibração. Essa técnica é utilizada na hidrologia para avaliar níveis de precipitação, fluxo de água em correntezas ou

para estimar dados meteorológicos que não foram registrados pelo sensor em um determinado período de tempo (ALLEN, 1996).

A proximidade exigida entre as duas estações depende da variável meteorológica. Ou seja, a radiação solar na presença de vegetação similar deve-se correlacionar bem a distâncias de centenas de quilômetros em áreas não montanhosas. Por outro lado, a umidade relativa e a temperatura do ar devem-se correlacionar de forma aceitável com distâncias acima de 100 km; desde que as mudanças na topografia ou no clima não sejam abruptas e que a vegetação e a aridez das duas localidades sejam similares. A velocidade do vento é a variável menos provável de se correlacionar à longa distância devido às diferenças da topografia do terreno, do clima e da vegetação. Contudo, correlações analisadas semanal ou mensal podem indicar resultados satisfatórios (ALLEN, 1996).

3.2 Material

Conforme apresentado na seção 3.1, a área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP, a qual abrange os municípios de Jaboticabal, Taquaritinga, Guariba, Monte Alto e Santa Ernestina. Diante disso, foi necessário selecionar a área da Bacia Hidrográfica e gerar os mapas de interesse para este trabalho.

3.2.1 *Soil and Water Assessment Tool (SWAT)*

Os parâmetros hidrológicos simulados no modelo SWAT são importantes para compreender o armazenamento e o escoamento de água em uma Bacia Hidrográfica. A entrada de dados no SWAT é extensa, envolvendo, além dos dados climatológicos, informações a respeito do modelo digital de elevação do terreno, do uso e do tipo de solo, bem como da rede de drenagem (NEITSCH et al., 2011; ARNOLD et al., 2012). A partir da entrada desses dados, o modelo apresenta a trajetória do caminho percorrido pelas águas das chuvas na Bacia Hidrográfica, permitindo uma estimativa do escoamento em diferentes tipos e usos de solo, com base na precipitação pluviométrica e no armazenamento de água nas sub-bacias. Com isso, a retenção da água varia espacialmente com os tipos de solo, com as práticas agrícolas, bem como de acordo com a cobertura vegetal.

As simulações realizadas em cada sub-bacia refletem na rede de drenagem e na relação infiltração/deflúvio das águas das chuvas. Além disso, o resultado do comportamento hidrológico de cada sub-bacia tem influência significativa dos dados climatológicos de entrada, os quais interferem nos valores gerados nas HRUs. É importante ressaltar que a calibração e a validação do modelo são essenciais para reduzir a incerteza e aumentar a confiabilidade das respostas do modelo. Já com relação à análise estatística, o modelo SWAT aplica uma análise dos dados médios, conforme os desvios padrões das médias mensais observadas dos dados meteorológicos (NEITSCH et al., 2011).

3.2.1.1 Requisitos do sistema: computador, sistema operacional e softwares

O computador utilizado para as análises deve ter no mínimo um processador de 2 GHz, disco rígido de 500 MB e memória principal de 1 GB. O sistema operacional pode ser o Windows XP, 2000 ou superior. Os *softwares* utilizados neste trabalho foram: o ArcGIS 9®, versão ArcMap 9.3.1 com extensão ArcView para análise espacial, e o SWAT 2009.

3.2.1.2 Cartas planialtimétricas

Foram utilizadas cartas planialtimétricas referentes aos municípios de Taiuva, Jaboticabal, Pirangi, Taquaritinga, Pitangueiras e Guariba digitalizadas do IBGE (1971), Datum horizontal Córrego Alegre/MG e Datum vertical marégrafo Imbituba/MG com projeção Universal Transversa de Mercator – UTM (meridiano central 51°W). As cartas foram inseridas no ArcGIS 9® e, em seguida, foi realizada a entrada dos pontos de controle para o georreferenciamento. Foi repetido os passos para aproximadamente quatro (4) pontos de cada carta planialtimétrica. Em seguida, foi realizado o mosaico das cartas pela opção *Raster Dataset*. O limite da Bacia Hidrográfica foi realizado por vetorização e o seu recorte pela ferramenta *Extract*.

3.2.1.3 Imagem de satélite

A imagem de satélite (Figura 14) do ano de 2010 foi obtida do Programa Indiano de Sensoriamento Remoto (IRS), do sistema *Linear Self-Scanning System III* - LISS III, na versão aprimorada do sensor a bordo do IRS 1-D com quatro bandas

espectrais (Vermelho, Verde, Infra-Vermelho Próximo e *Short Wave Infrared*), todas com 23,5 metros de resolução geométrica, faixa de imagem de 141 km. O recorte da imagem da área da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP foi realizado com base no *BASIN* e pelo ArcGIS 9® utilizando a ferramenta *Extract*.

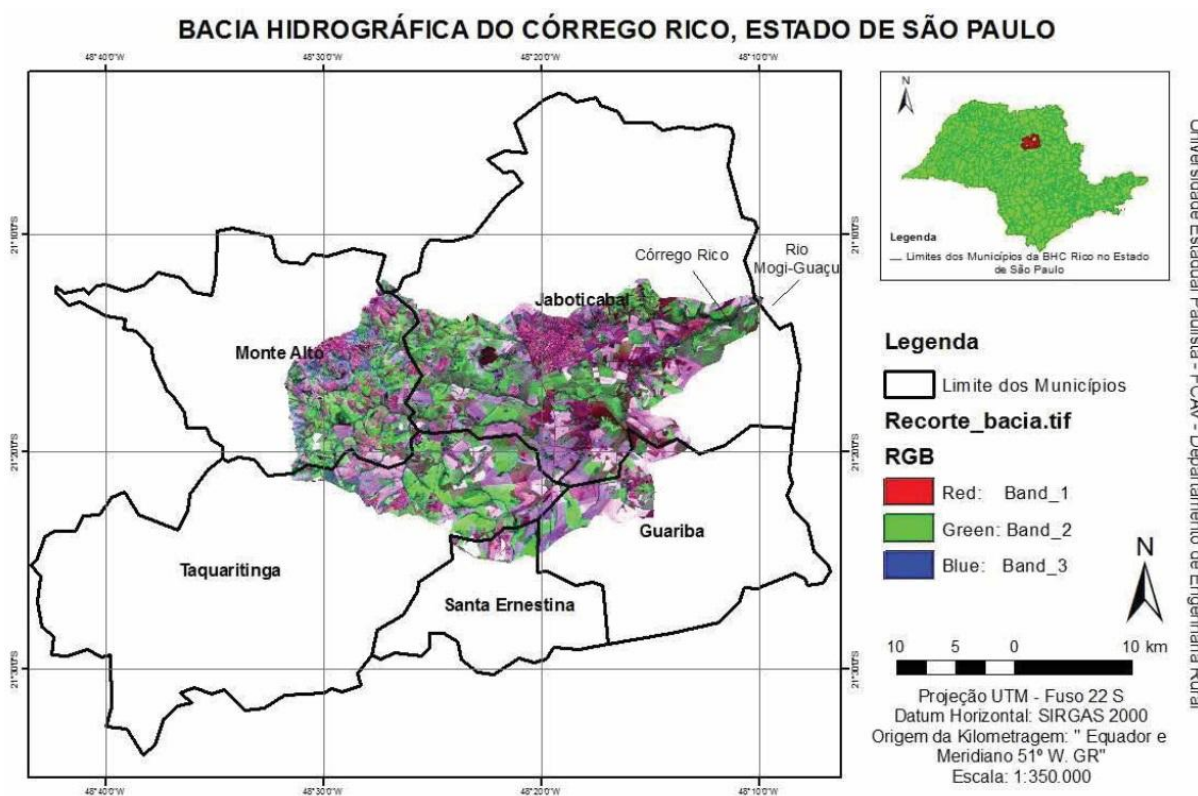


Figura 14: Imagem de satélite da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP.
Fonte: Rodrigues (2013).

3.2.1.4 Modelo digital de elevação do terreno

O modelo digital de elevação do terreno foi obtido do Projeto Embrapa Relevo (MIRANDA et al. 2011). O recorte da área da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP foi realizado com base no *BASIN* e pelo ArcGIS 9® utilizando a ferramenta *Extract*. Todos os recortes gerados foram atualizados para o Datum Horizontal SIRGAS 2000, com projeção UTM, Fuso 22 (Hemisfério Sul).

3.3 Métodos

A metodologia utilizada neste trabalho consiste na aplicação de recursos de geoprocessamento para a constituição de um Sistema de Informação Geográfica

(SIG) da área de estudo. Com isso, foi possível confeccionar os mapas necessários para analisar os parâmetros hidrológicos de saída da área de estudo.

3.3.1 Estrutura do banco de dados do modelo SWAT

O modelo SWAT requer grande quantidade de parâmetros de entrada (*input data*) que se relacionam com as características físicas da Bacia Hidrográfica. Então, para estruturar o banco de dados geográfico, utilizou-se o ArcGIS 9®, que é um Sistema de Informação Geográfica, composto de um sistema gerenciador de banco de dados relacional com interface geográfica, o qual possibilita a manipulação simultânea de dados (vetoriais e matriciais), a modelagem e a extração de informação dos dados georreferenciados.

A estruturação do banco de dados envolveu os dados climatológicos (precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento) da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP (*Weather Data Definition*) obtidos pelas EMAs da Campbell, da Davis e do SINDA/INPE. Os dados foram inseridos manualmente e separadamente no banco de dados do modelo SWAT (Figura 15).

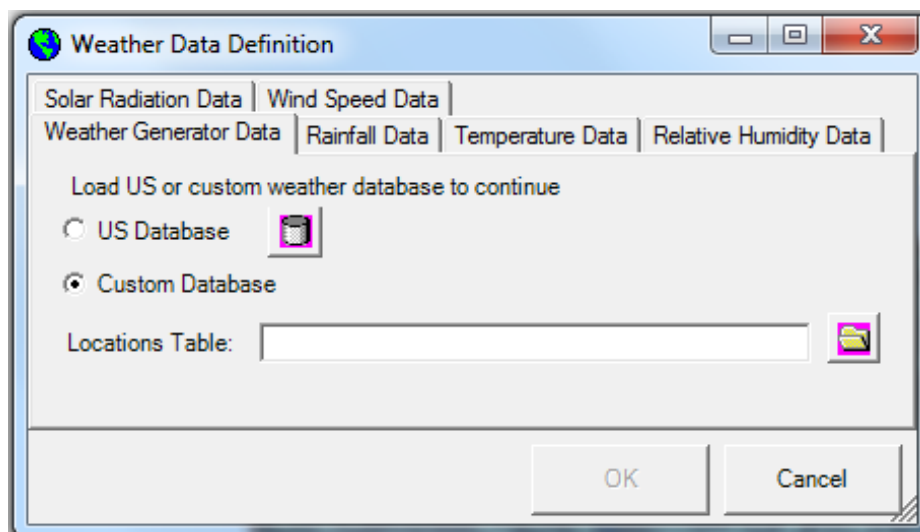


Figura 15: Tela da entrada de dados climatológicos no modelo SWAT.

Para cada variável, calculou-se os valores mínimos, máximos, média e desvio-padrão da média, com uma série histórica de no mínimo 10 anos para os

dados mundiais e para uma série histórica diária de 4 anos (de 2009 a 2012) para os dados das EMAs. Os dados mundiais foram adquiridos pelo sistema *Global Weather Data for SWAT* (<http://globalweather.tamu.edu/>) e, os dados do período entre 2009 a 2012, foram escolhidos em razão das EMAs (Campbell, Davis e SINDA/INPE) apresentarem dados diários sem nenhuma interrupção. Após a entrada destes dados, foi realizada a simulação dos parâmetros hidrológicos no modelo SWAT.

Para solicitar os dados mundiais, é necessário informar a latitude, a longitude, o período desejado, bem como as variáveis meteorológicas de interesse. Vale ressaltar que o sistema *Global Weather Data for SWAT* pode fornecer dados históricos referentes aos últimos 36 anos.

3.3.2 Mapas temáticos

Os mapas temáticos de hidrografia e compartimentos hidrológicos foram gerados empregando técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento, permitindo a quantificação e a distribuição na Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP. Todos os mapas temáticos gerados foram atualizados para o Datum Horizontal SIRGAS 2000, com projeção UTM, Fuso 22 (Hemisfério Sul).

3.3.3 Mapa da hidrografia

O estudo da hidrografia é fundamental para a identificação dos componentes naturais e antropogênicos envolvidos no fluxo hidráulico. Ele permite quantificar cada um dos componentes envolvidos na dinâmica da bacia hidrográfica a fim de considerar a sua importância para o planejamento e a gestão de recursos hídricos e naturais.

A rede de drenagem (Figura 16) foi gerada com base no modelo digital de elevação (Projeto Embrapa Relevo) utilizando o ArcGIS 9®, versão ArcMap 9.3.1. Como resultado, foi possível gerar, além da rede de drenagem (mapa da hidrografia), a direção do fluxo de água (escoamento) da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP.



Figura 16: Mapa da hidrografia da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP.
Fonte: Rodrigues (2013).

3.3.4 Mapa de compartimentos hidrológicos

O compartimento hidrológico (sub-bacia) deve ser considerado como uma unidade de trabalho quando se deseja a preservação e a gestão dos recursos hídricos, já que as atividades desenvolvidas no seu interior têm influência sobre a quantidade e a qualidade da água na Bacia Hidrográfica. Constitui-se na mais adequada unidade de planejamento dos recursos naturais, o que facilita o acompanhamento das alterações da própria natureza (vegetação e solo, por exemplo) ou proporcionadas pelo homem.

A configuração da Bacia Hidrográfica foi realizada em compartimentos hidrológicos, possuindo uma posição geográfica espacialmente relacionada nos pontos de confluência e vazão para outro curso do rio, convergindo toda a vazão para o exutório da Bacia do Córrego Rico no Rio Mogi Guaçu. Esse processo simula a fase hidrológica e determina o canal principal e seus tributários, permitindo a configuração do compartimento hidrológico. Cada compartimento hidrológico foi correlacionado a um banco de dados com informações relativas ao seu

comprimento, elevação (mínima, máxima e média), extensão, bem como algumas características; por exemplo: regiões com nascentes, matas nativas, área urbanizada, áreas de preservação ambiental e áreas agrícolas.

Na caracterização da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP foram coletadas as coordenadas de cada ponto de junção da rede de drenagem entre os principais córregos. Os pontos de controle nesse trabalho foram obtidos nas cartas topográficas (escala 1:50.000) e com GPS de navegação coletados no campo. Todas essas informações apresentam coordenadas que são armazenadas em um banco de dados e são trabalhadas em Planos de Informações (PIs), o que facilita a manipulação e o cruzamento de dados temáticos (PISSARRA, 2002).

Os arquivos de entrada para o SWAT foram definidos em três diferentes níveis de detalhe: Bacia Hidrográfica, sub-bacia e HRUs. Para delinear a Bacia Hidrográfica com as respectivas sub-bacias, foi necessário o mapa do modelo digital de elevação, o qual foi criado na resolução espacial de 30 m, na interpolação do plano de informação (PI) das curvas de nível com equidistância de 20 m (PISSARRA, 2002). O método foi de interpolação TIN por rede de triangulação, na representação matemática de superfície altimétrica, nas coordenadas X, Y e Z, em uma série de triângulos irregulares, gerados da interpolação de linhas e pontos, espaçadas irregularmente, no módulo 3D Analyst, do programa ArcGIS 9®. A direção do fluxo de água foi gerada, e a área-limite para definir as sub-bacias foi de 2.500 hectares (ha), perfazendo um total de 25 sub-bacias delineadas. No total, foi analisada uma área de 56.314 ha, com elevações de 754 m junto à Serra do Jabuticabal, com rede de drenagem ramificada e altitude de 498 m no exutório na calha do Rio Mogi Guaçu (Figura 17).



Figura 17: Compartimentos hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP.
Fonte: Rodrigues (2013).

O modelo SWAT para simular os parâmetros hidrológicos de saída foi baseado na equação de balanço hídrico do ciclo hidrológico conforme segue:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (11)$$

em que:

SW_t é o conteúdo final de água no solo (mm);

SW_0 é o conteúdo inicial de água no solo no dia i (mm);

t é o tempo (dias);

R_{day} é o volume de precipitação no dia i (mm);

Q_{surf} é a quantidade do escoamento superficial (runoff) no dia i (mm);

E_a é a quantidade de evapotranspiração no dia i ;

w_{seep} é a quantidade de água que infiltra no solo no dia i (mm); e

Q_{gw} é a quantidade do fluxo que retorna no dia i (mm).

A predição do escoamento superficial das águas das chuvas foi realizada em cada sub-bacia e em cada HRU (Unidade de Resposta Hidrológica) a partir dos dados climatológicos de precipitação pluviométrica. Estas análises foram realizadas para verificar o comportamento do modelo e interpretar o sistema hidrológico na Bacia Hidrográfica do Córrego Rico/SP. A avaliação utilizou o processo estocástico, que é uma família de variáveis aleatórias indexadas intuitivamente. Se uma variável aleatória é um número real que varia aleatoriamente, um processo estocástico é uma função temporal que varia aleatoriamente (GASSMAN et al., 2007; MIGLIACCIO; CHAUBEY, 2008). Por fim, realizou-se a análise de sensibilidade e os processos de validação e calibração (Figura 18) do modelo para aprimorar a qualidade dos dados (WHITE; CHAUBEY, 2005).

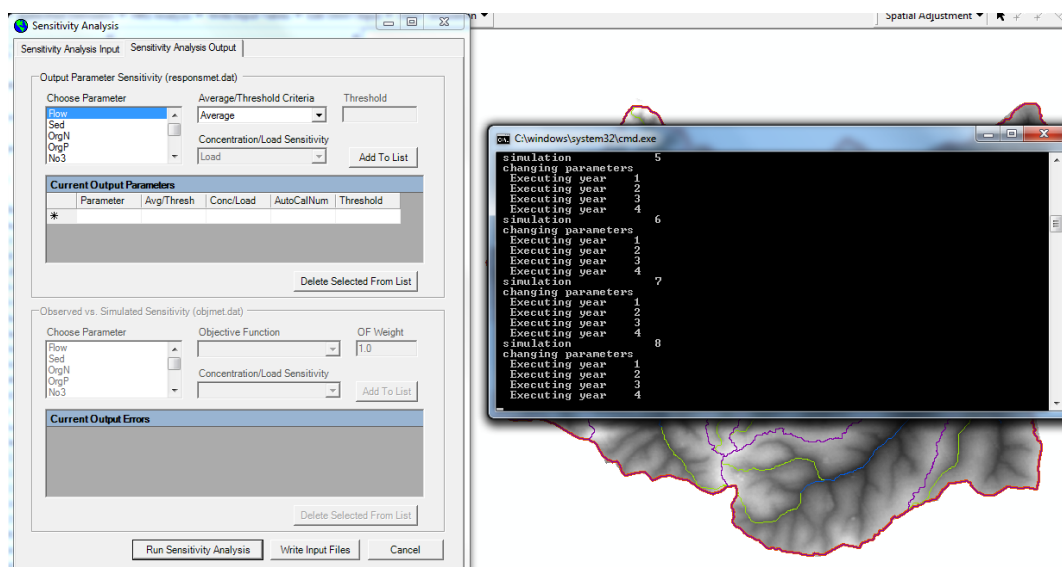


Figura 18: Análise da sensibilidade: calibração e validação do SWAT.

A análise da sensibilidade tem como objetivo determinar quais são os parâmetros mais importantes para uma determinada Bacia Hidrográfica. Já a calibração é um esforço para melhor parametrizar um modelo para um determinado conjunto de condições locais, reduzindo assim a incerteza de previsão. A calibração pode ser feita de forma manual ou automática. A validação para o parâmetro hidrológico de interesse é realizada para verificar a correlação entre as simulações e os valores medidos; o que caracteriza a validação ou não do modelo proposto (ROUHOLAHNEJAD et al., 2012).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção apresenta-se os resultados e a discussão da análise da integridade dos dados meteorológicos, bem como os resultados e a discussão referentes à simulação dos parâmetros hidrológicos de saída do SWAT.

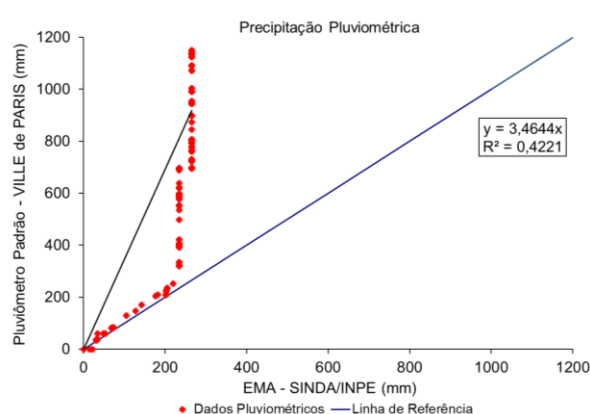
4.1 Análise da integridade dos dados meteorológicos das EMAs

A análise da integridade dos dados foi realizada utilizando as técnicas descritas por Allen (1996). A seguir mostram-se os resultados dos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012 relativos as variáveis meteorológicas das EMAs.

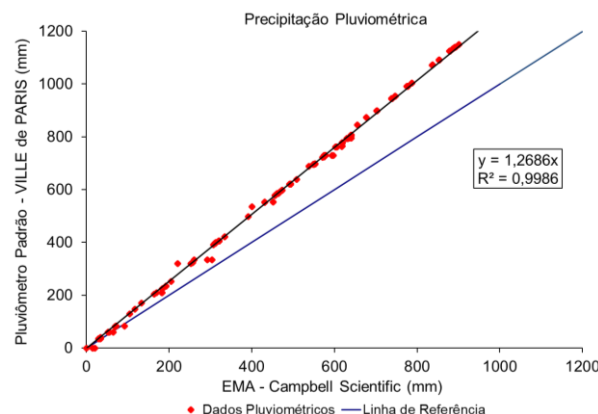
4.1.1 Precipitação pluviométrica

Os dados obtidos da precipitação pluviométrica, de forma acumulativa, foram analisados segundo a técnica de dupla massa; desenvolvida pelo *United States Geological Survey* (USGS) (TUCCI, 2007).

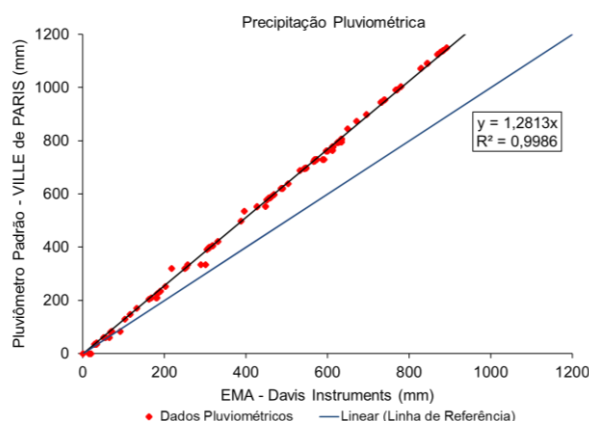
As Figuras 19, 20, 21 e 22 apresentam os resultados da precipitação pluviométrica medida com o pluviômetro de báscula comparada com a precipitação medida com o pluviômetro padrão VILLE de PARIS no período entre 2009 e 2012.



(a)



(b)



(c)

Figura 19: Soma acumulativa da precipitação pluviométrica das EMAs SINDA/INPE, Campbell Scientific e Davis Instruments (ano 2009).

A inclinação da reta na Figura 19a, diferente de 45° , não apresenta uma boa estimativa dos dados pela estação do SINDA/INPE, indicando que o sensor está com problemas devido à falta de manutenção e/ou calibração ou mesmo problemas de projeto (aspectos construtivos). Entretanto, a inclinação da reta apresentada nas Figuras 19b e 19c, diferente de 45° , não indicaria uma boa estimativa dos dados pelas EMAs da Campbell e da Davis, respectivamente. Porém, como estão instaladas uma ao lado da outra e, o pluviômetro padrão (VILLE de PARIS), próximo das duas, o motivo da inclinação ser diferente de 45° é devido ao problema construtivo do pluviômetro de báscula. Este problema é identificado quando ocorre precipitações de grande intensidade, sendo que, no momento de bascular, parte da água é perdida e não registrada pelo sensor.

Os resultados obtidos confirmam com os de Turco e Barbosa (2008), os quais avaliaram EMAs dos mesmos fabricantes (Davis e Campbell). Já Seibert e Morén (1999) testaram seis tipos de pluviômetros de báscula e concluíram que, para precipitações acima de 100 mm, há uma tendência do sensor não registrar na mesma velocidade em que a precipitação ocorre; uma vez que parte da água é desperdiçada no interior do pluviômetro.

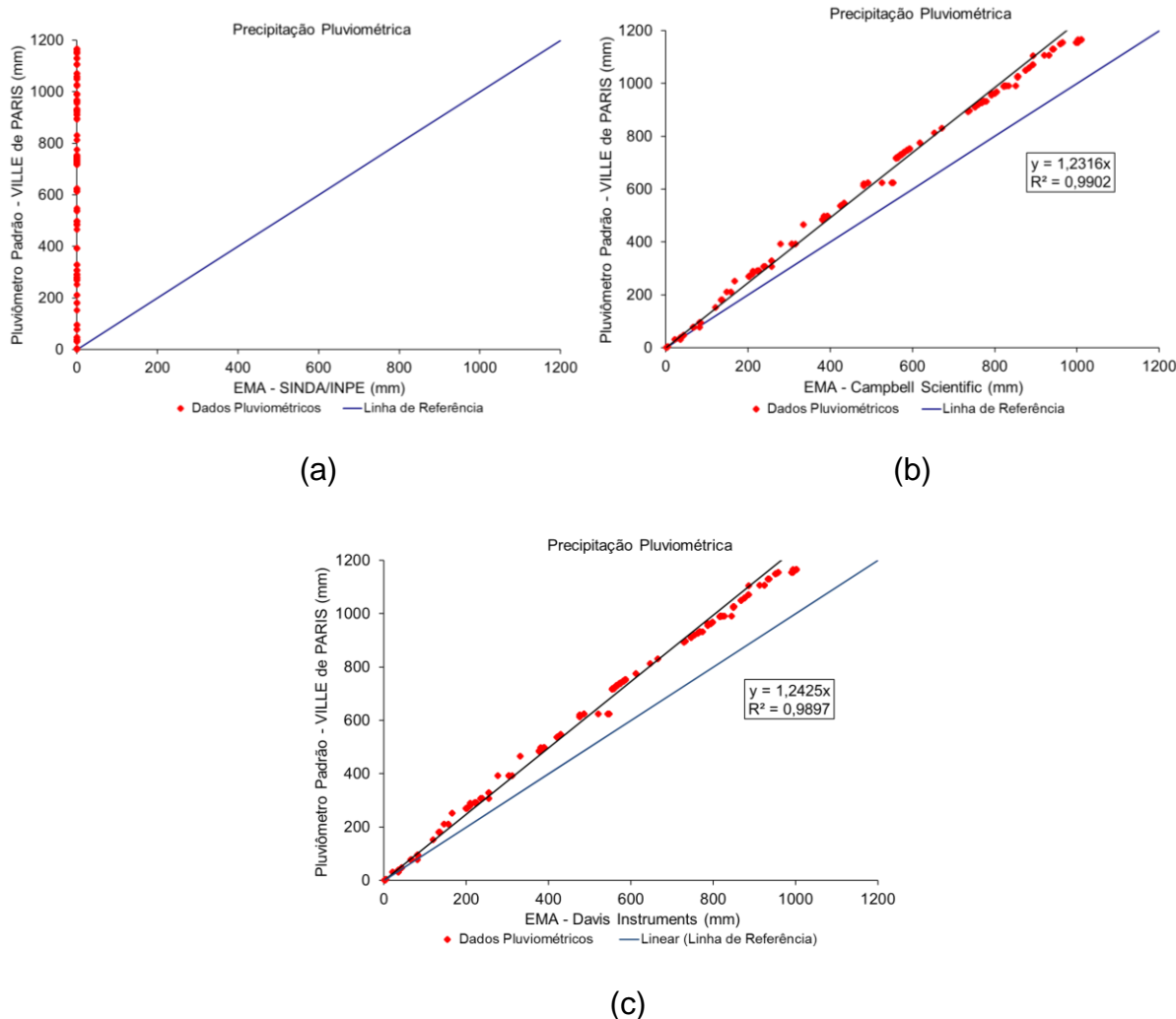


Figura 20: Soma acumulativa da precipitação pluviométrica das EMAs SINDA/INPE, Campbell Scientific e Davis Instruments (ano 2010).

As considerações apresentadas na Figura 19 (para as três estações) são análogas aos resultados obtidos para o ano de 2010 (Figura 20). Isto significa que após um ano de operação, a estação do SINDA/INPE continuou apresentando resultados insatisfatórios e, desta forma, a não confiabilidade dos dados de precipitação. Por outro lado, as EMAs da Campbell e da Davis mantiveram as suas condições operacionais satisfatórias, caracterizando, com isso, confiabilidade dos dados analisados.

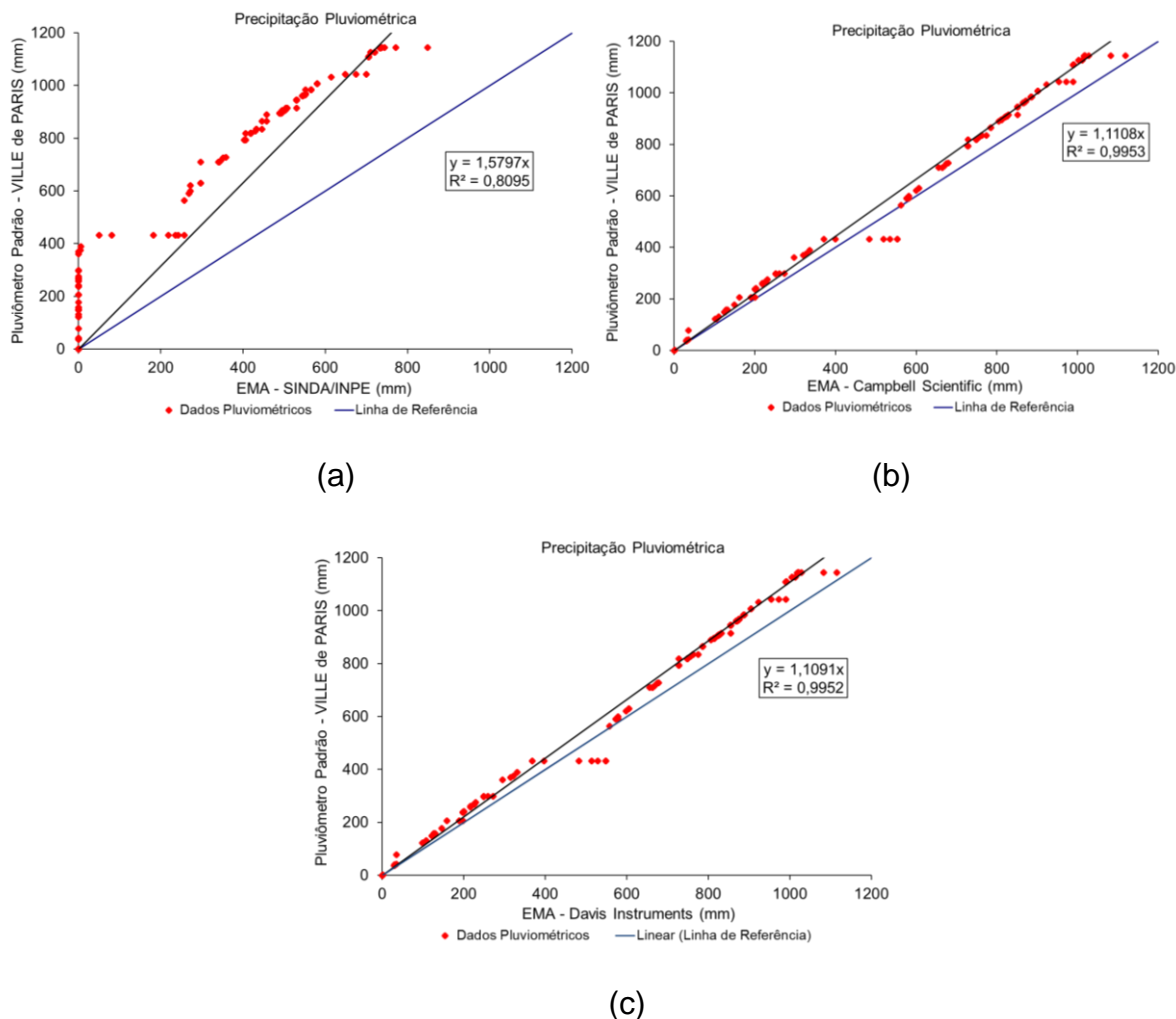


Figura 21: Soma acumulativa da precipitação pluviométrica das EMAs SINDA/INPE, Campbell Scientific, Davis Instruments (ano 2011).

Nota-se na Figura 21 que os resultados obtidos corroboram com os apresentados nas Figuras 19 e 20, respectivamente. Portanto, as EMAs da Campbell e da Davis vêm apresentando resultados satisfatórios no período analisado. Já a estação do SINDA/INPE, após um período de três anos, não apresentou dados aceitáveis para aplicações climatológicas, o que envolve o planejamento e a gestão de recursos hídricos e naturais.

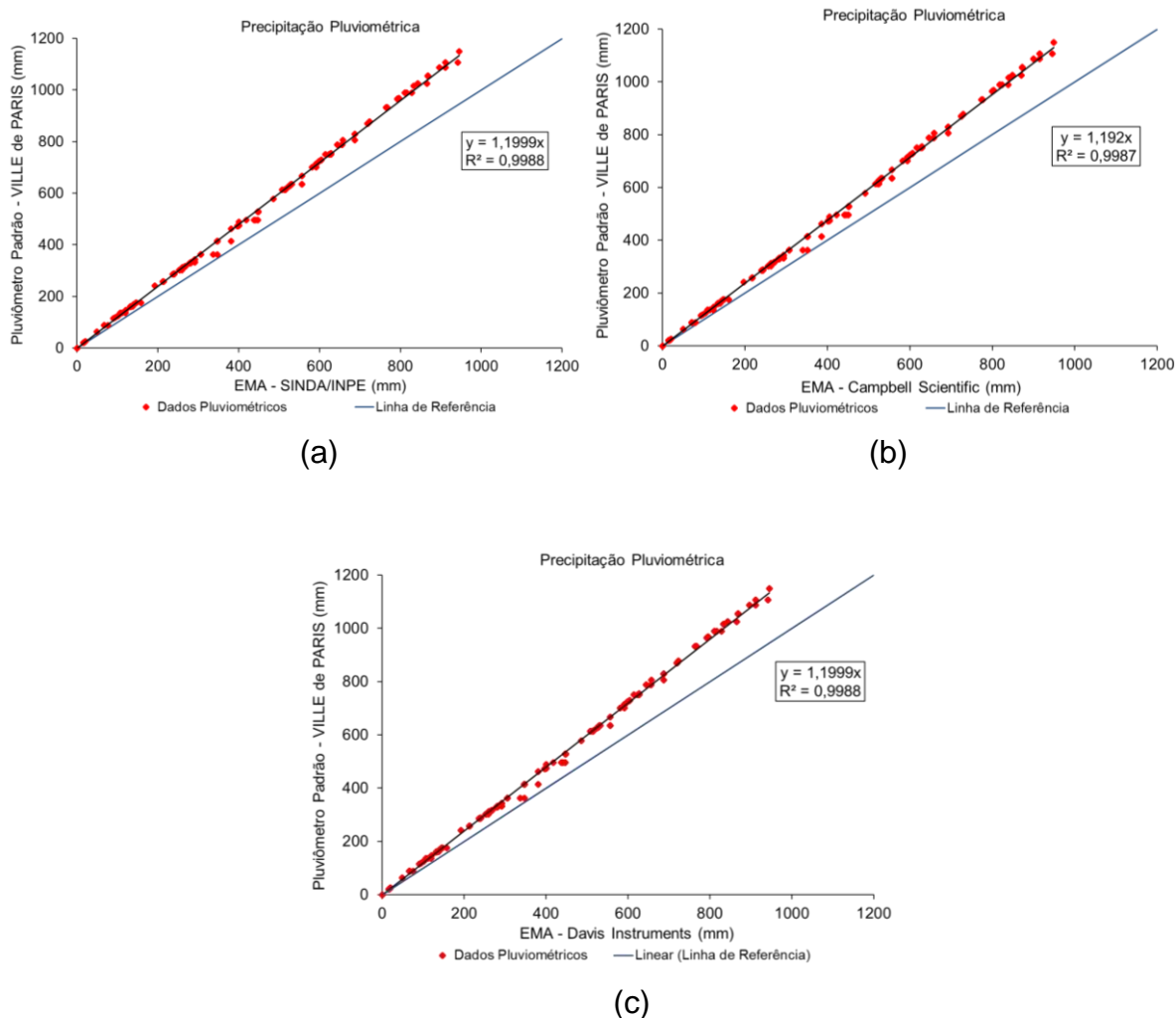


Figura 22: Soma acumulativa da precipitação pluviométrica das EMAs SINDA/INPE, Campbell Scientific, Davis Instruments (ano 2012).

De acordo com as Figuras 22b e 22c, verifica-se que a inclinação da reta, diferente de 45° , não indicaria uma boa estimativa dos dados pelas EMAs da Campbell e da Davis, respectivamente. Porém, como estão instaladas uma ao lado da outra e, o pluviômetro padrão, próximo das duas, o motivo da inclinação ser diferente de 45° é um problema construtivo do pluviômetro de báscula. A mesma condição é observada na Figura 22a que, mesmo não estando ao lado das EMAs (Campbell e Davis), o resultado apresentado configura-se como um problema construtivo do sensor (pluviômetro de báscula).

Para Sentelhas e Caramori (2002), erros associados à medida do pluviômetro de báscula estão relacionados com a dificuldade do sensor registrar precipitações intensas. Ou seja, no intervalo de tempo em que a báscula está em movimento,

certo volume de água não é adequadamente conduzido ao recipiente que se eleva, havendo assim uma submedida da altura pluviométrica. Esse tipo de erro tende a ser maior conforme aumenta a intensidade da chuva, já que o movimento da balança ocorre com maior frequência.

Em resumo, observa-se que as EMAs da Campbell e da Davis apresentaram resultados satisfatórios durante o período analisado (4 anos), o que torna as estações confiáveis para auxiliar no planejamento e na gestão de recursos hídricos e naturais.

4.1.2 Velocidade do vento

Os valores obtidos da velocidade do vento, de forma acumulativa, foram analisados segundo a técnica de dupla massa (TUCCI, 2007).

As Figuras 23, 24, 25 e 26 apresentam os resultados referentes a velocidade do vento. Os dados das EMAs do SINDA/INPE e da Davis Instruments foram comparados com os dados da EMA da Campbell Scientific (referência) no período entre 2009 e 2012.

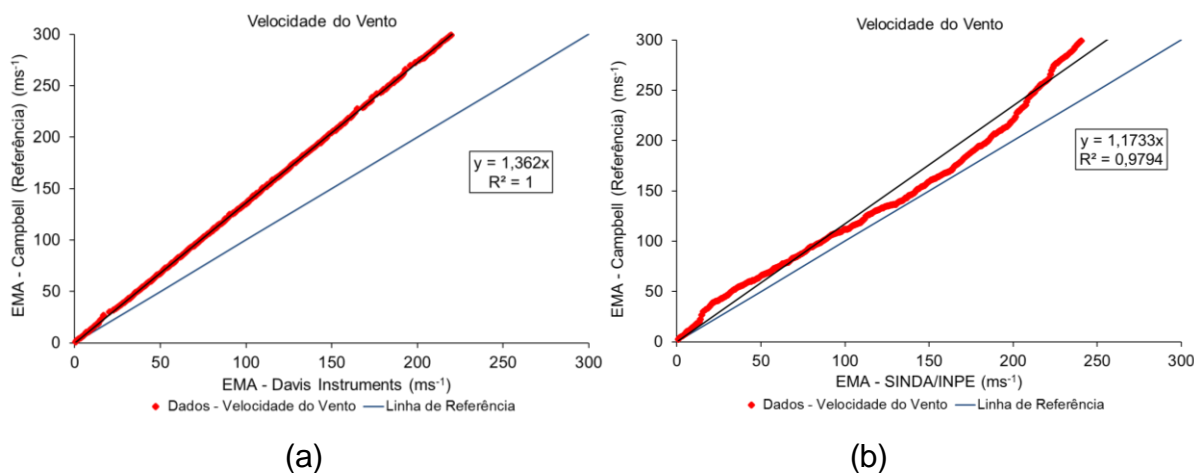


Figura 23: Soma acumulativa da velocidade do vento das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparadas com a EMA da Campbell Scientific (referência) (ano 2009).

Nota-se na Figura 23a que a inclinação da reta é diferente de 45° , porém, o motivo, não é do sensor e sim do *offset* utilizado na programação do *data logger* das estações (Campbell e Davis). Por exemplo, o sensor da EMA da Campbell utiliza um

offset de $0,2 \text{ m s}^{-1}$ e o da Davis de $0,0 \text{ m s}^{-1}$ (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2007; DAVIS INSTRUMENTS, 2013). Os resultados obtidos corroboram com os de Turco e Barbosa (2008), que avaliaram EMAs dos fabricantes Davis Instruments e Campbell Scientific. Observando a Figura 23b, verifica-se que a inclinação da reta, diferente de 45° , não indica uma boa qualidade dos dados por parte do sensor (anemômetro). Provavelmente, a diferença é devido a topografia do terreno ou da vegetação. Neste caso, o sensor deve ser duplicado para verificar a necessidade de calibração ou substituição.

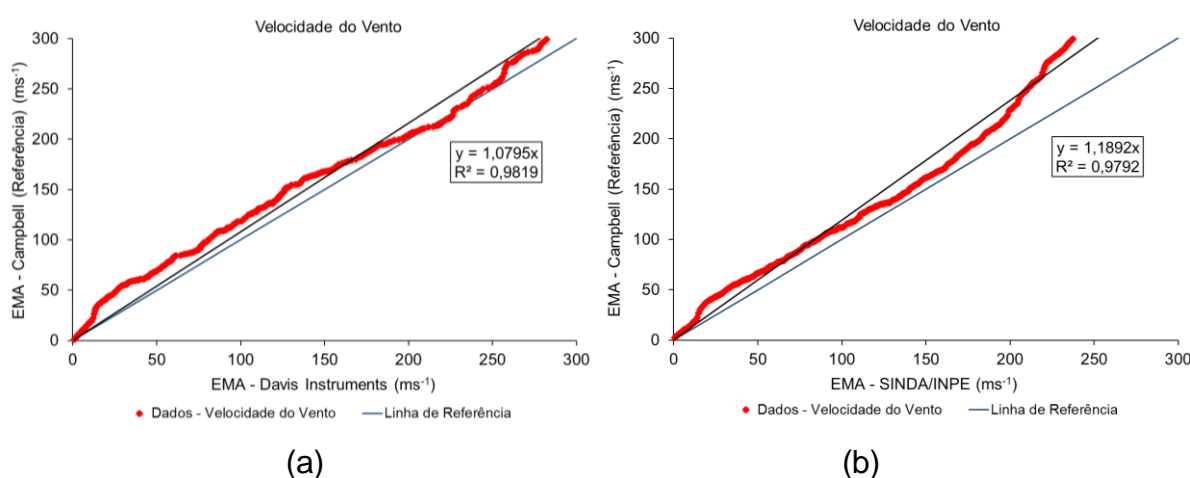


Figura 24: Soma acumulativa da velocidade do vento das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparadas com a EMA da Campbell Scientific (referência) (ano 2010).

De forma análoga a Figura 23a, a Figura 24a apresenta a inclinação da reta diferente de 45° ; tendo em vista que o motivo não é do sensor e, sim, do *offset* utilizado na programação do *data logger* das estações; conforme discutido na Figura 23. Por outro lado, a inclinação da reta da Figura 24b, diferente de 45° , não indica uma boa qualidade dos dados por parte do sensor (anemômetro). Esta diferença pode ser em razão da topografia do terreno ou da vegetação. Portanto, o sensor deve ser duplicado para verificar a necessidade de calibração ou substituição.

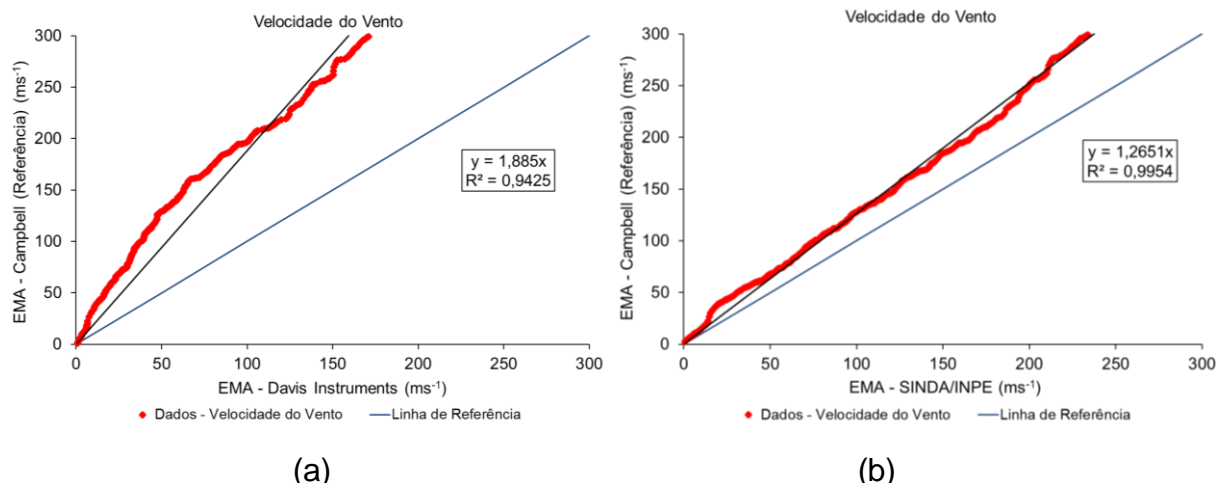


Figura 25: Soma acumulativa da velocidade do vento das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparadas com a EMA da Campbell Scientific (referência) (ano 2011).

De acordo com a Figura 25a, semelhante as Figuras 23a e 24a, o *offset* utilizado na programação do *datalogger* das estações são diferentes. Desta forma, a inclinação da reta, diferente de 45° (que não indica boa qualidade dos dados por parte dos anemômetros), não pode ser relacionado ao sensor. Já a diferença da inclinação da reta da Figura 25b está relacionada com a topografia do terreno ou com a vegetação. Então, o sensor deve ser duplicado e, se for o caso, calibrado e/ou substituído.

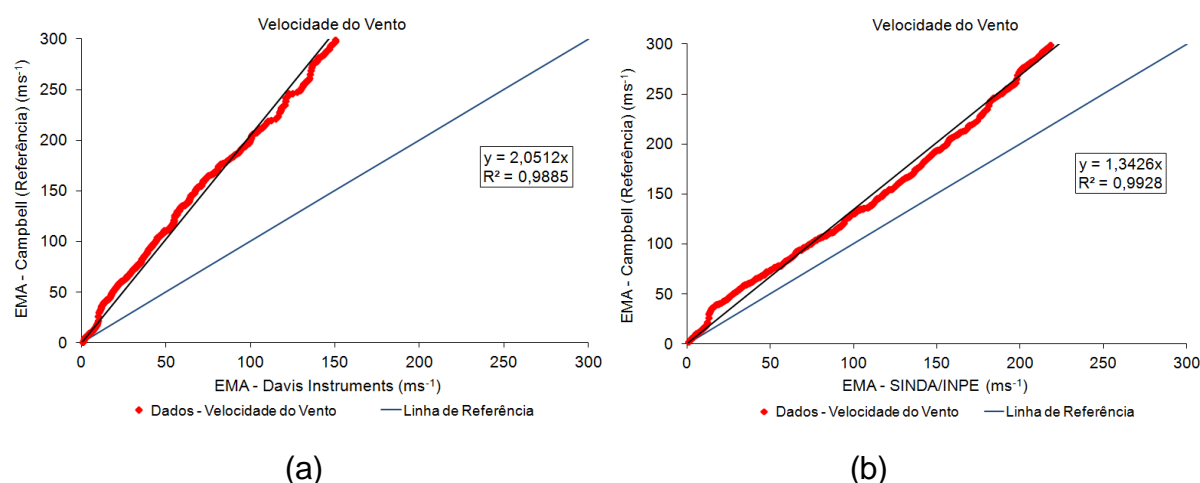


Figura 26: Soma acumulativa da velocidade do vento das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparadas com a EMA da Campbell Scientific (referência) (ano 2012).

As considerações sobre o *offset* utilizado na programação do *datalogger* das estações Davis e Campbell, assim como as condições de vegetação e topografia do terreno no caso da EMA do SINDA/INPE podem ser consideradas nos resultados apresentados pela Figura 26. Resultados semelhantes mostrados nas Figuras 23, 24, 25 e 26 foram obtidos por Oliveira, Turco e Carleto (2015), quando os autores avaliaram a integridade dos dados entre a estação da Campbell Scientific e a estação do SINDA/INPE no período entre junho de 2012 e maio de 2013.

4.1.3 Temperatura do ar

As Figuras 27, 28, 29 e 30 apresentam os resultados referentes a temperatura do ar (mínima e máxima) de forma acumulativa, segundo a técnica de dupla massa. Os dados das EMAs do SINDA/INPE e da Davis Instruments foram comparados com os dados da EMA da Campbell Scientific (referência) no período entre 2009 e 2012.

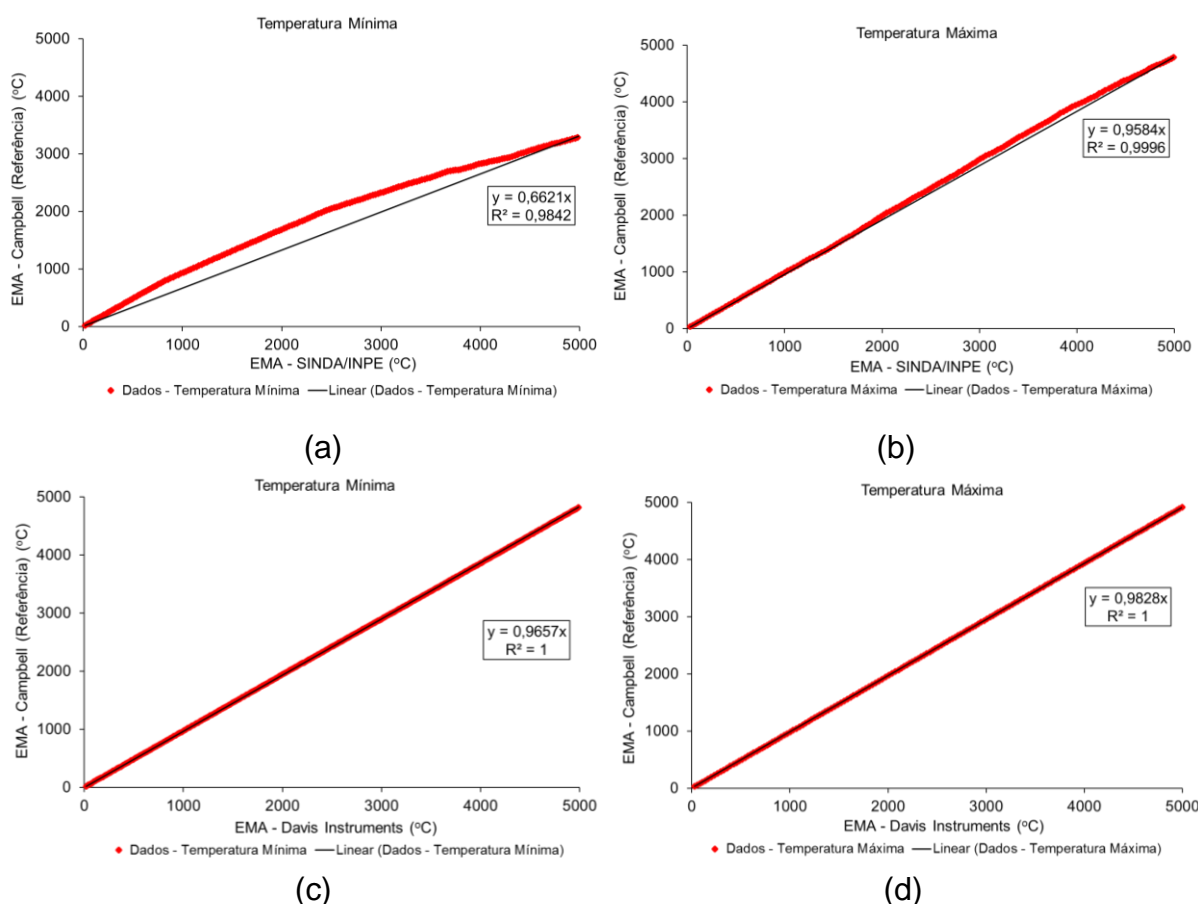


Figura 27: Soma acumulativa das temperaturas mínima e máxima das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparada com a estação de referência Campbell Scientific (ano 2009).

Observa-se na Figura 27 que as temperaturas mínima e máxima registradas pela EMA do SINDA/INPE (Figuras 27a e 27b) apresentam correlações satisfatórias quando comparadas com a EMA da Campbell (referência). Desta forma, com base na inclinação de 45° da reta, é possível verificar boa confiabilidade dos dados. Esta mesma condição pode ser verificada com as temperaturas mínima e máxima da EMA da Davis (Figuras 27c e 27d). Isso significa que os sensores estão operando de forma satisfatória. Resultados semelhantes foram obtidos por Strassburger et al. (2011), nos quais os autores compararam as temperaturas máxima e mínima de duas estações (convencional e automática). Eles verificaram boas correlações entre ambas estações, concluindo que os sensores estavam operando corretamente.

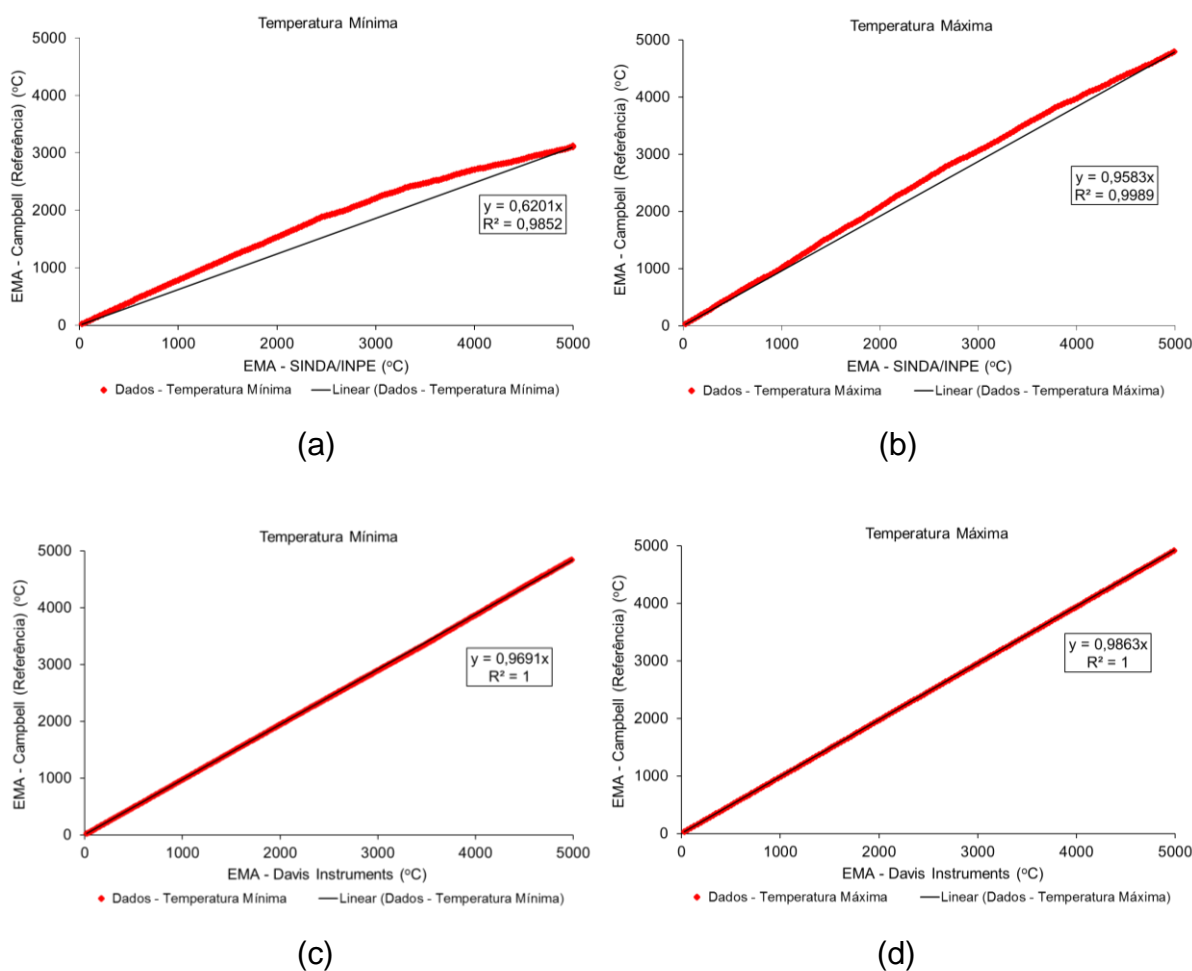


Figura 28: Soma acumulativa das temperaturas mínima e máxima das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparada com a estação de referência Campbell Scientific (ano 2010).

Analisando a Figura 28, verifica-se uma semelhança com os resultados apresentados na Figura 27. Isso significa que as temperaturas mínima e máxima registradas pela EMA do SINDA/INPE (Figuras 28a e 28b), bem como as temperaturas (mínima e máxima) apresentadas pela EMA da Davis (Figuras 28c e 28d) apresentam resultados satisfatórios quando comparados com a EMA da Campbell (referência). Com isso, pode-se dizer que os dados são aceitáveis e o sensor opera de forma satisfatória. Resultados semelhantes foram obtidos por Turco e Barbosa (2008), onde os autores analisaram os sensores de temperatura das EMAs da Davis e da Campbell e compararam os dados com uma estação convencional.

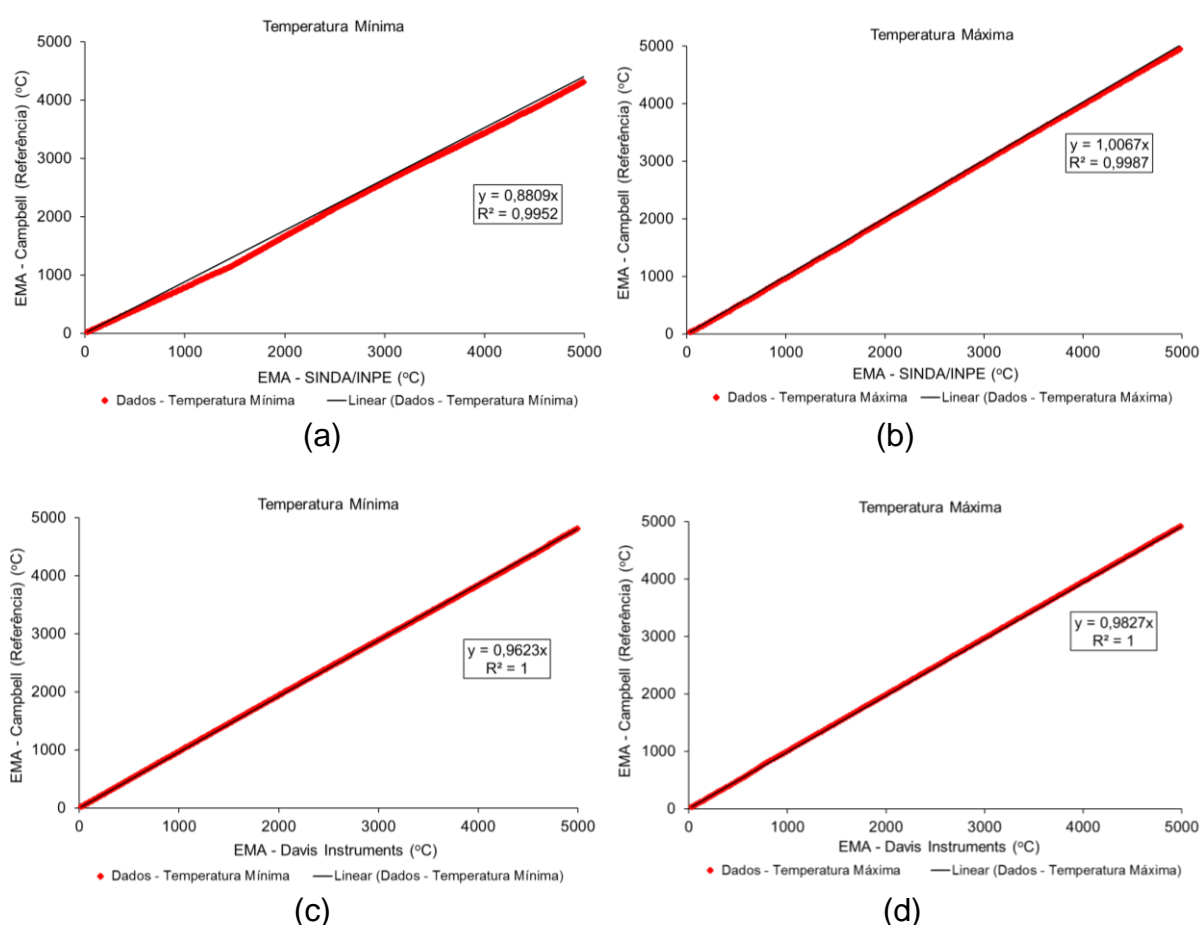


Figura 29: Soma acumulativa das temperaturas mínima e máxima das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparada com a estação de referência Campbell Scientific (ano 2011).

Nota-se que os resultados obtidos para o ano de 2011 (Figura 29) são análogos aos anos de 2009 (Figura 27) e de 2010 (Figura 28). Isso é fundamental

para garantir a confiabilidade dos dados, tendo em vista que os sensores apresentaram dados aceitáveis por um período de três anos consecutivos.

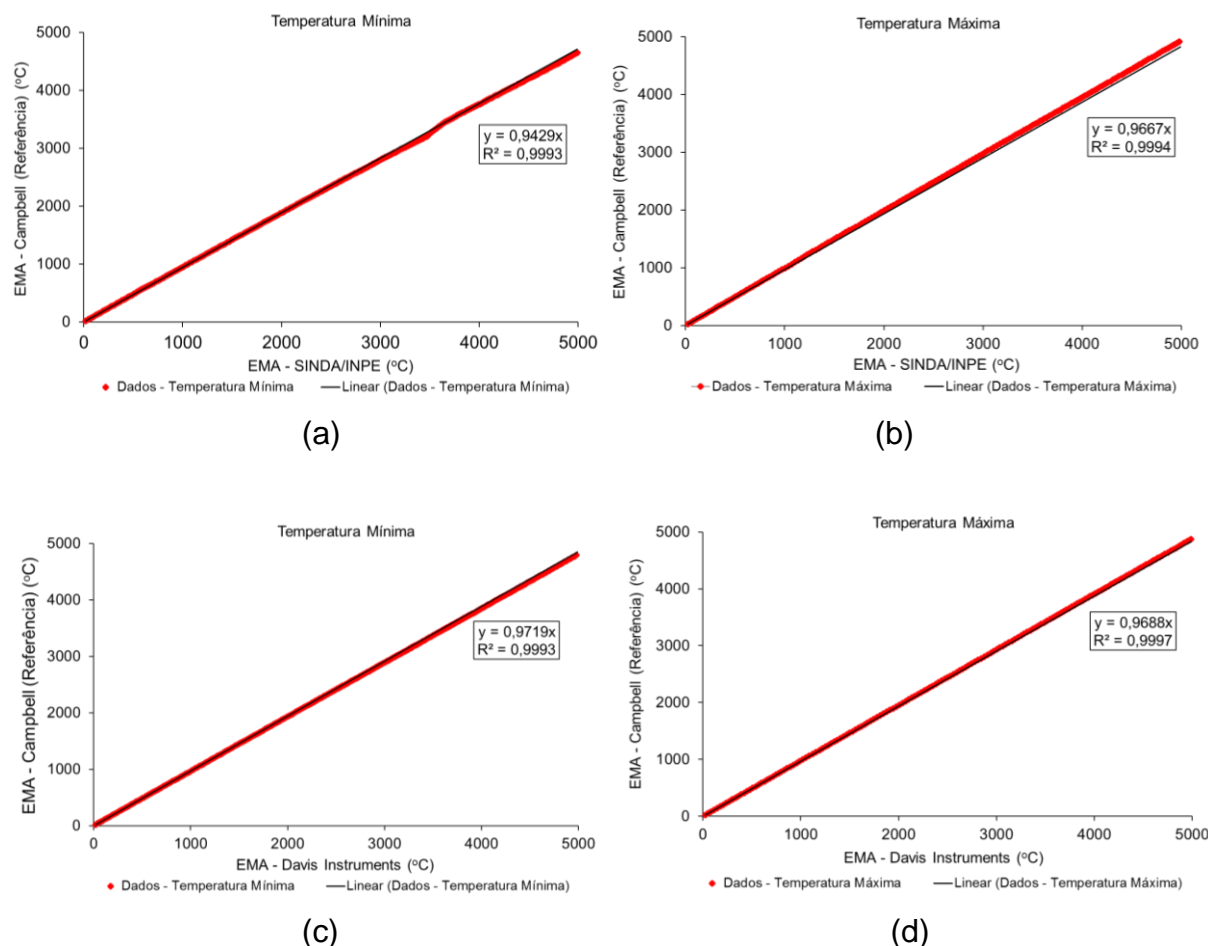


Figura 30: Soma acumulativa das temperaturas mínima e máxima das EMAs SINDA/INPE e Davis Instruments comparada com a estação de referência Campbell Scientific (ano 2012).

Observa-se na Figura 30 que, da mesma forma que os resultados anteriores (Figuras 27, 28 e 29), o sensor de temperatura vem operando satisfatoriamente. Nestas condições, os dados das temperaturas mínima e máxima das EMAs (SINDA/INPE e Davis) são aceitáveis e podem ser utilizados para fins de gestão de recursos hídricos e naturais.

4.1.4 Umidade relativa do ar

As Figuras 31, 32, 33 e 34 apresentam os resultados referentes à umidade relativa do ar (mínima e máxima) das EMAs do SINDA/INPE, da Davis Instruments e da Campbell Scientific (referência) no período entre 2009 e 2012.

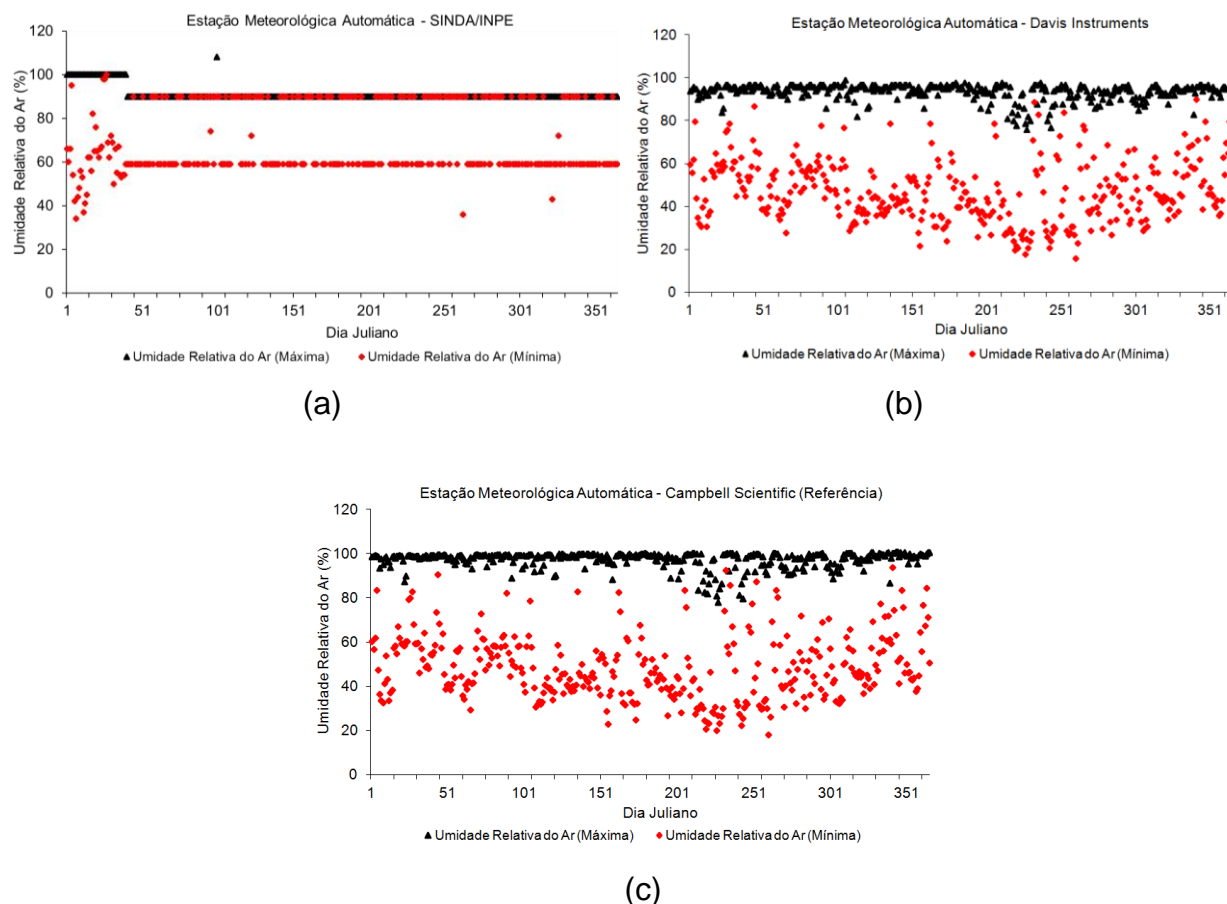


Figura 31: Valores diários da umidade relativa do ar (máxima e mínima) das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2009).

De acordo com a Figura 31a, nota-se que a estação do SINDA/INPE não apresenta resultados satisfatórios, tendo em vista que os dados (da umidade relativa máxima e mínima) se repetem na maioria dos dias. Este fato não é comum, pois durante o dia existem variações na umidade do ar, independente do clima da região. Portanto, o sensor está com problemas devido a falta de calibração, manutenção ou mesmo em razão da própria depreciação (vida útil). Por outro lado, os valores da umidade relativa máxima nas Figuras 31b e 31c não ultrapassam 100%; o que é comum para esses tipos de sensores durante as primeiras horas do dia ou durante

precipitações. No entanto, existem valores entre 80 a 90%, indicando que nestes dias a área gramada estava com déficit hídrico. Neste caso, os sensores das EMAs Davis e Campbell apresentam boa confiabilidade de dados. Os resultados corroboram com as análises realizadas por Oliveira et al. (2015), onde os autores avaliaram a integridade dos dados da EMA do SINDA/INPE utilizando as técnicas descritas por Allen (1996). Resultados semelhantes foram obtidos por Scarpore et al. (2006), onde os autores analisaram a uniformidade do sensor de umidade relativa do ar entre estações meteorológicas do tipo convencional e automática.

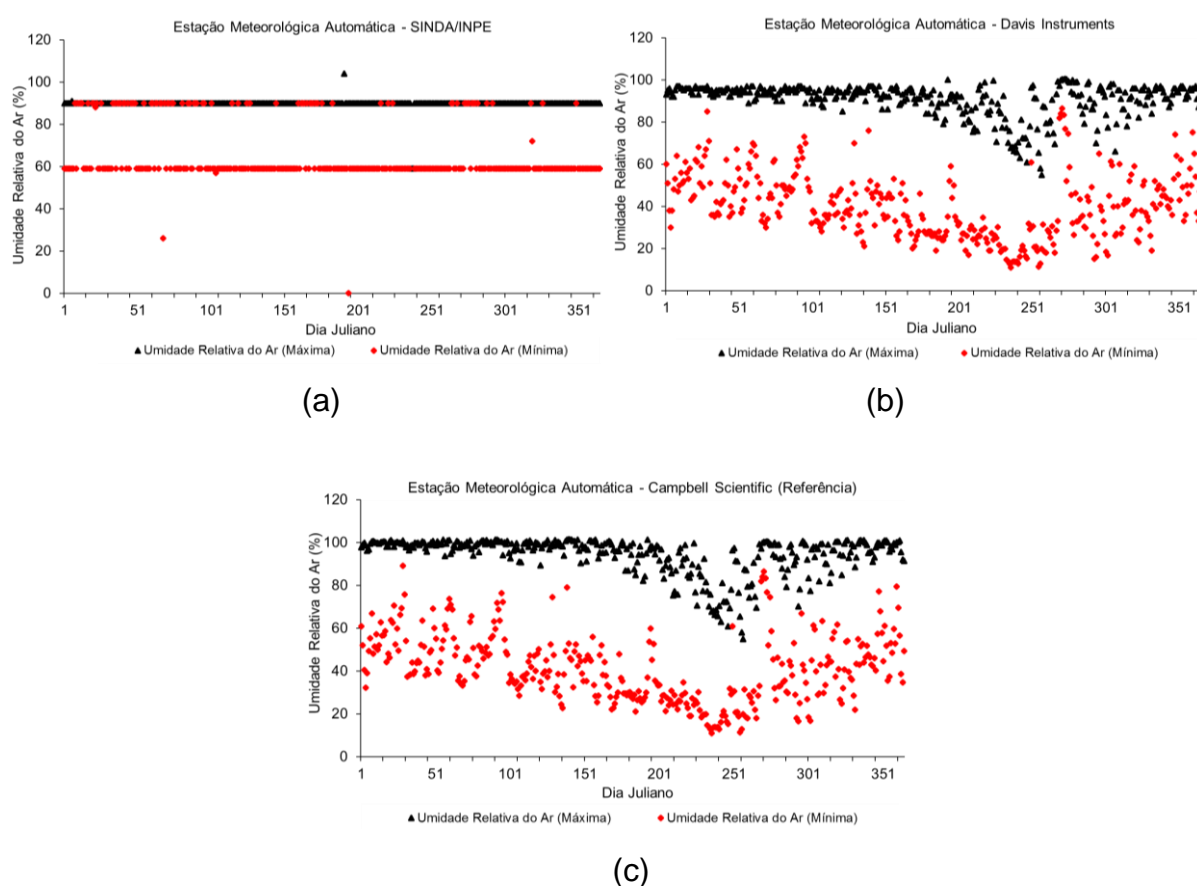


Figura 32: Valores diários da umidade relativa do ar (máxima e mínima) das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2010).

Os resultados observados na Figura 32 referentes ao ano de 2010 são semelhantes aos apresentados na Figura 31 (ano 2009). Diante disso, é possível verificar que os sensores de umidade relativa do ar das EMAs Davis e Campbell apresentam dados aceitáveis. Os resultados corroboram com as análises realizadas

por Turco e Barbosa (2008), onde os autores avaliaram a integridade de dados de duas EMAs (uma do fabricante Davis Instruments e outra do fabricante Campbell Scientific) utilizando as técnicas descritas por Allen (1996). No entanto, o sensor da estação SINDA/INPE necessita de calibração, de manutenção ou substituição.

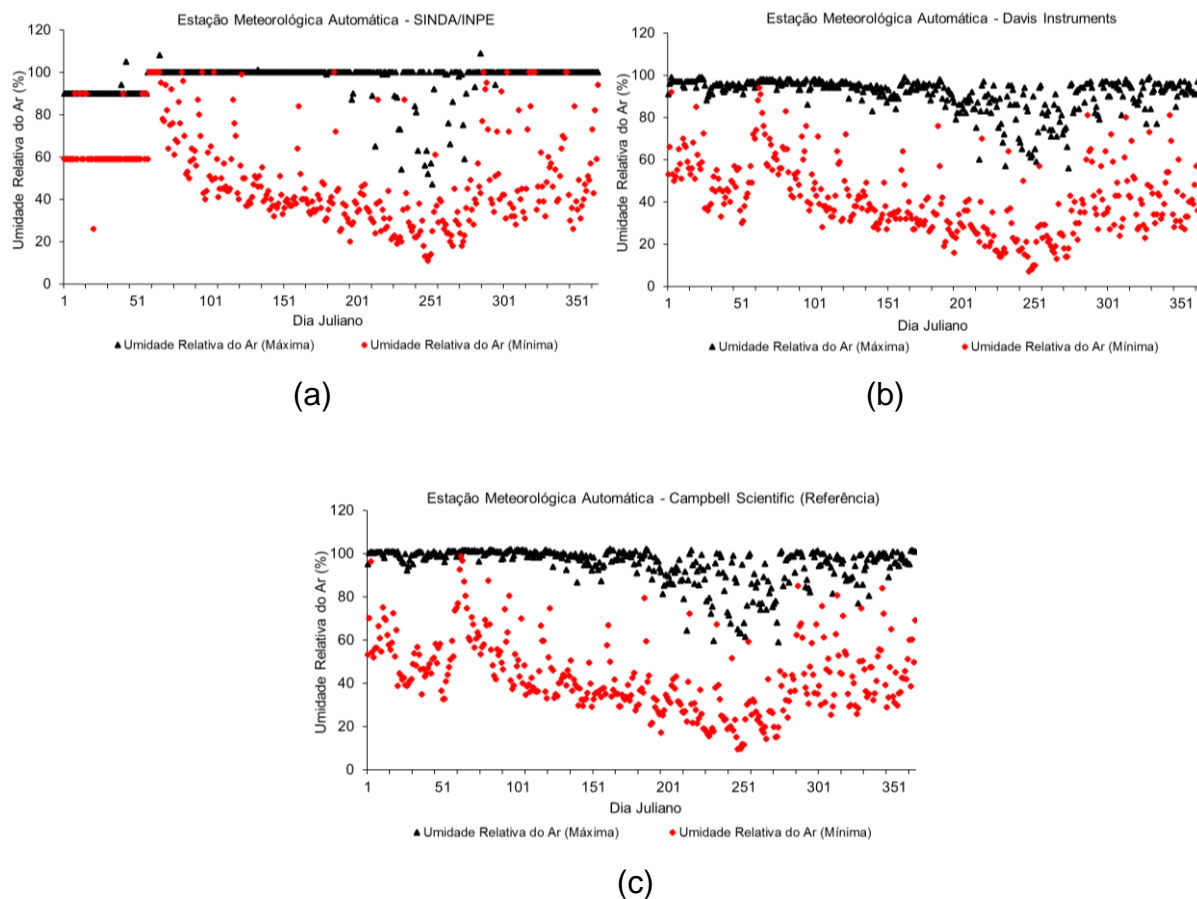


Figura 33: Valores diários da umidade relativa do ar (máxima e mínima) das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2011).

De acordo com a Figura 33, nota-se semelhança com relação aos resultados apresentados na Figura 31 (ano 2009) e na Figura 32 (ano 2010). Ou seja, o sensor da EMA do SINDA/INPE continua registrando dados não aceitáveis e, os sensores das EMAs da Davis e da Campbell, apresentando resultados satisfatórios.

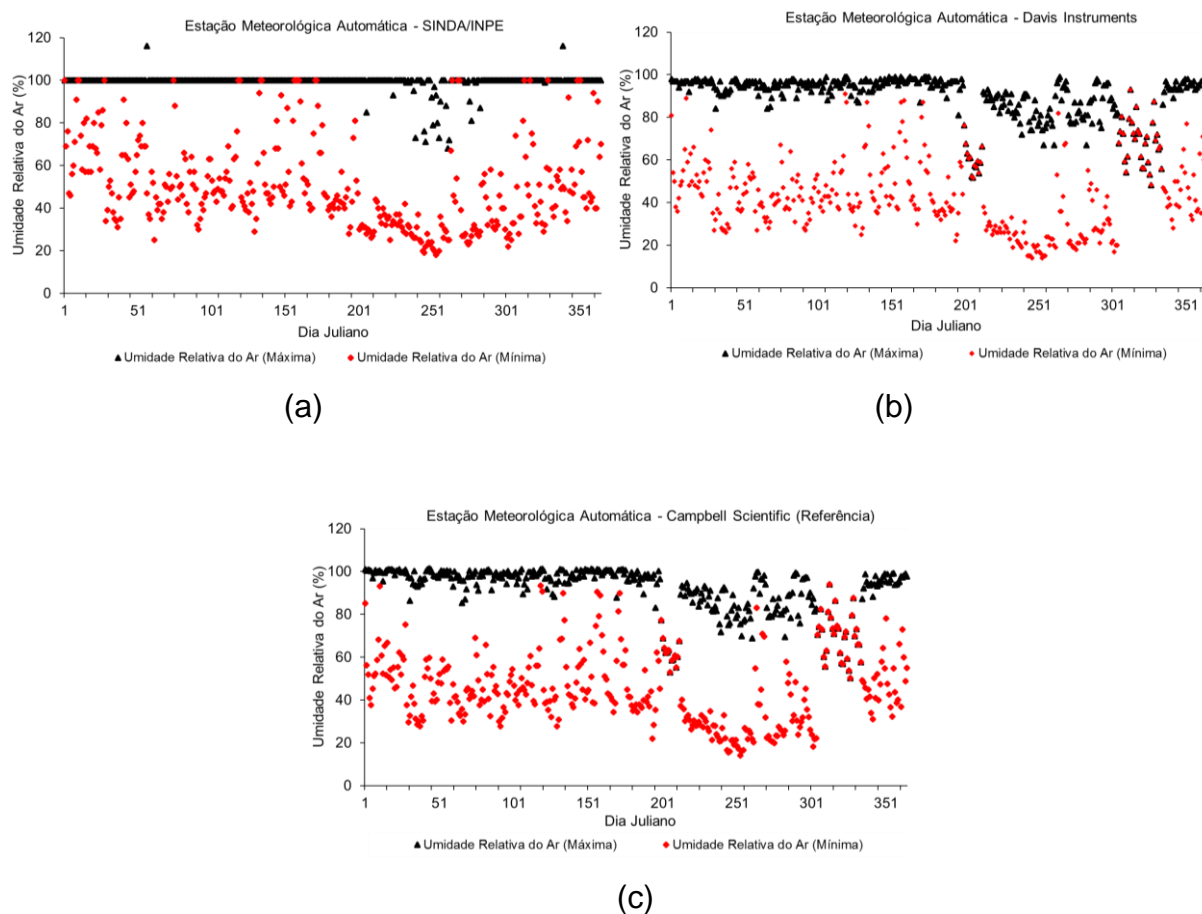


Figura 34: Valores diários da umidade relativa do ar (máxima e mínima) das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2012).

Analisando os dados da Figura 34 e comparando-os com os demais resultados apresentados (Figuras 31, 32 e 33), é possível concluir que os sensores das EMAs da Davis e da Campbell apresentaram resultados aceitáveis. Portanto, os dados são confiáveis e podem ser utilizados para o planejamento e gestão de recursos hídricos e naturais. Já com relação ao sensor da estação do SINDA/INPE, torna-se necessário uma inspeção de campo para verificar as suas condições operacionais, propondo, com isso, a calibração ou mesmo a substituição do sensor.

4.1.5 Radiação solar

As Figuras 35, 36, 37 e 38 apresentam os resultados da radiação solar das EMAs do SINDA/INPE, da Davis Instruments e da Campbell Scientific (referência) no período entre 2009 e 2012.

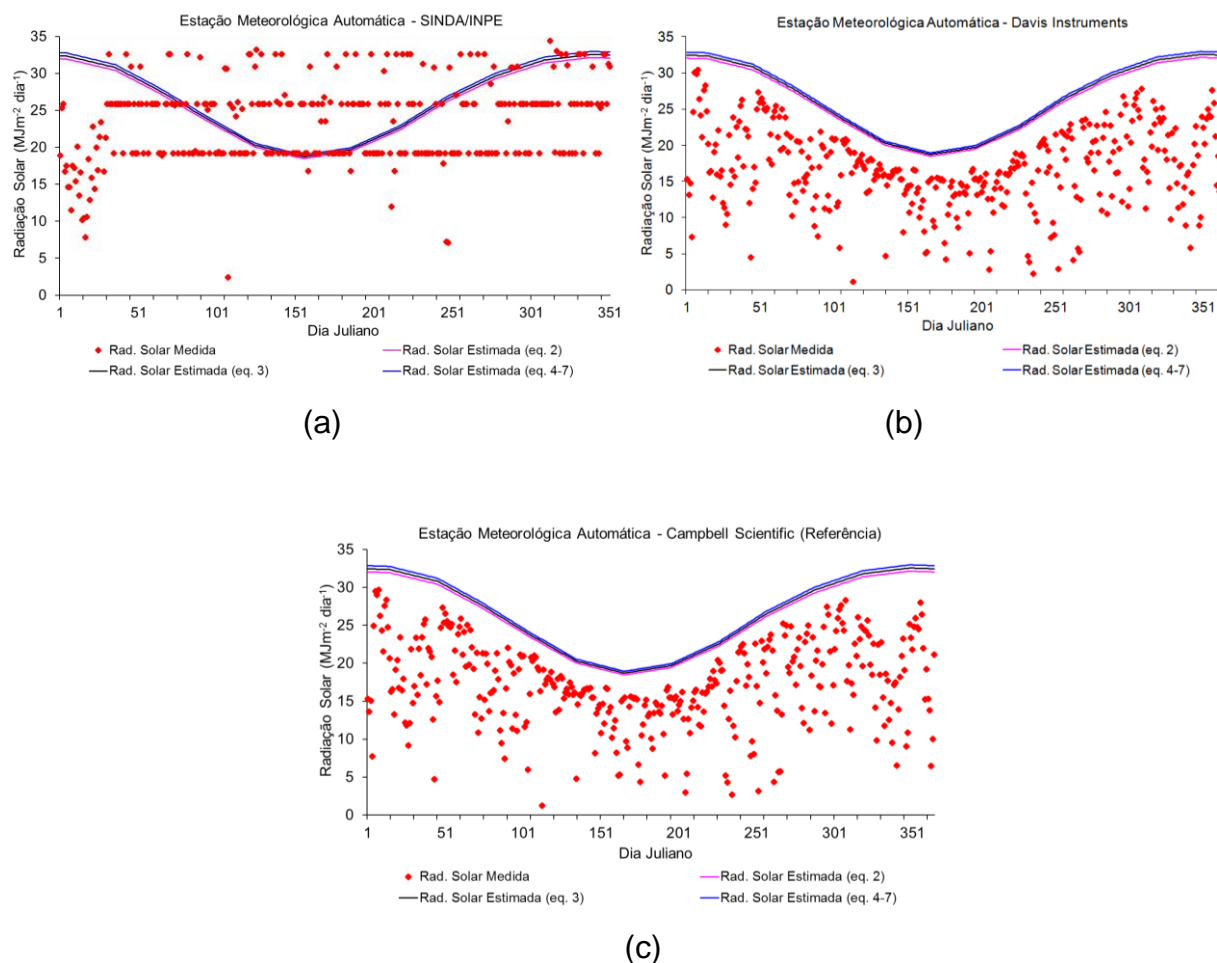


Figura 35: Radiação solar das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2009).

Os dados da radiação solar da EMA SINDA/INPE (Figura 35a), em diversos dias do ano, ultrapassam e não acompanham a estimada pelas três equações descritas por Allen (1996). Portanto, o sensor de radiação solar está com problemas por falta de calibração ou manutenção e deve ser substituído. Por outro lado, os dados da radiação solar apresentados nas Figuras 35b e 35c, seguem e subestimam a radiação solar medida pelas EMAs da Davis e da Campbell, respectivamente. Portanto, os dados são aceitáveis e os sensores estão operando corretamente. Os resultados ratificam as análises realizadas por Oliveira et al. (2015), onde os autores avaliaram a integridade dos dados meteorológicos da EMA do SINDA/INPE utilizando as técnicas descritas por Allen (1996). Os resultados deste trabalho corroboram com os de Turco e Barbosa (2008), já que os autores avaliaram a integridade de dados das EMAs da Davis e da Campbell por meio das técnicas descritas por Allen (1996).

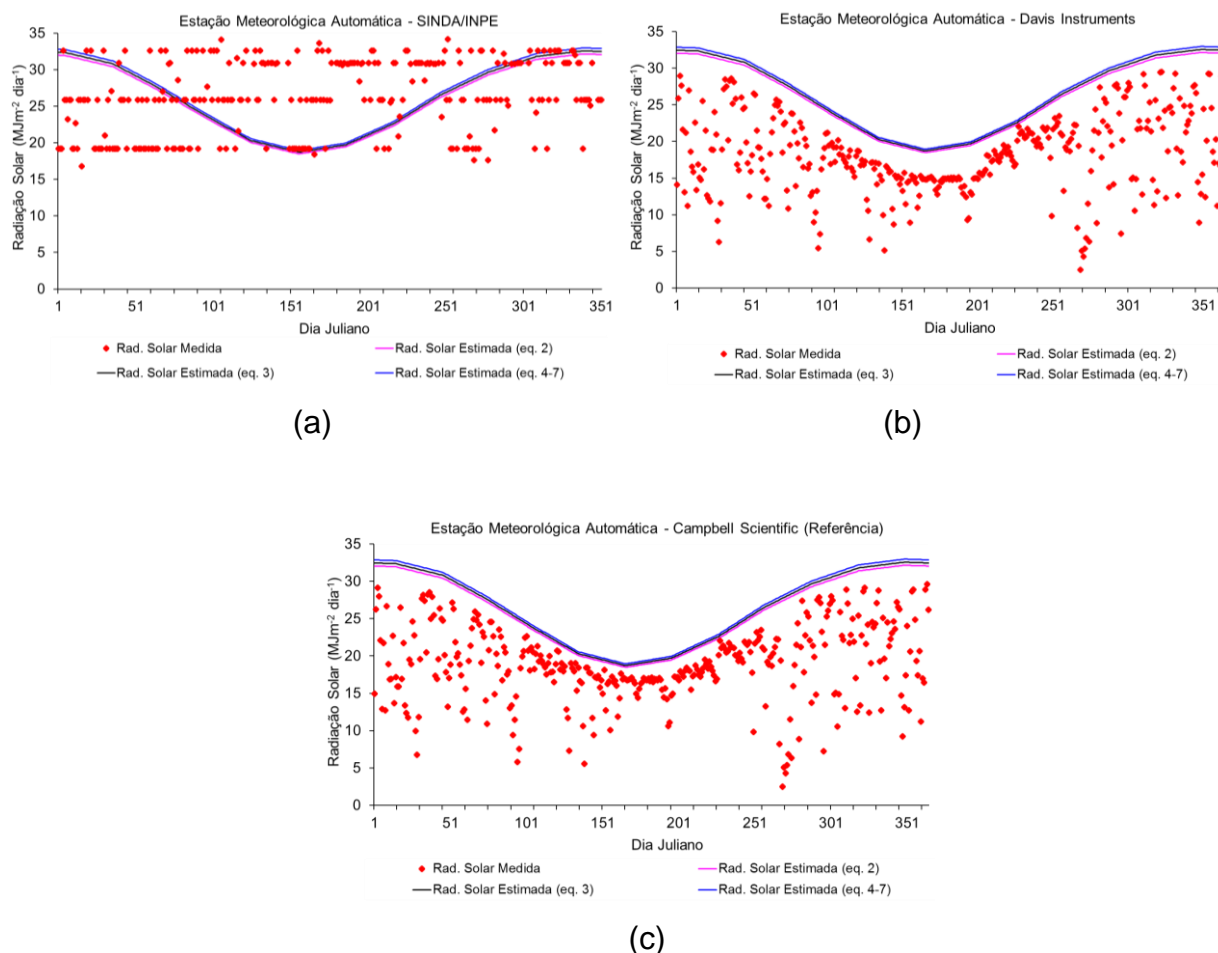


Figura 36: Radiação solar das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2010).

Os resultados apresentados na Figura 36 são similares aos apresentados anteriormente pela Figura 35. Ou seja, a radiação solar da EMA SINDA/INPE (Figura 36a) ultrapassa e não acompanha a estimada pelas três equações. Já os dados da radiação solar apresentados nas Figuras 36b e 36c seguem e subestimam a radiação solar medida pelas estações da Davis e da Campbell. Portanto, os dados são aceitáveis e os sensores estão operando corretamente, não necessitando, a princípio, de calibração ou manutenção.

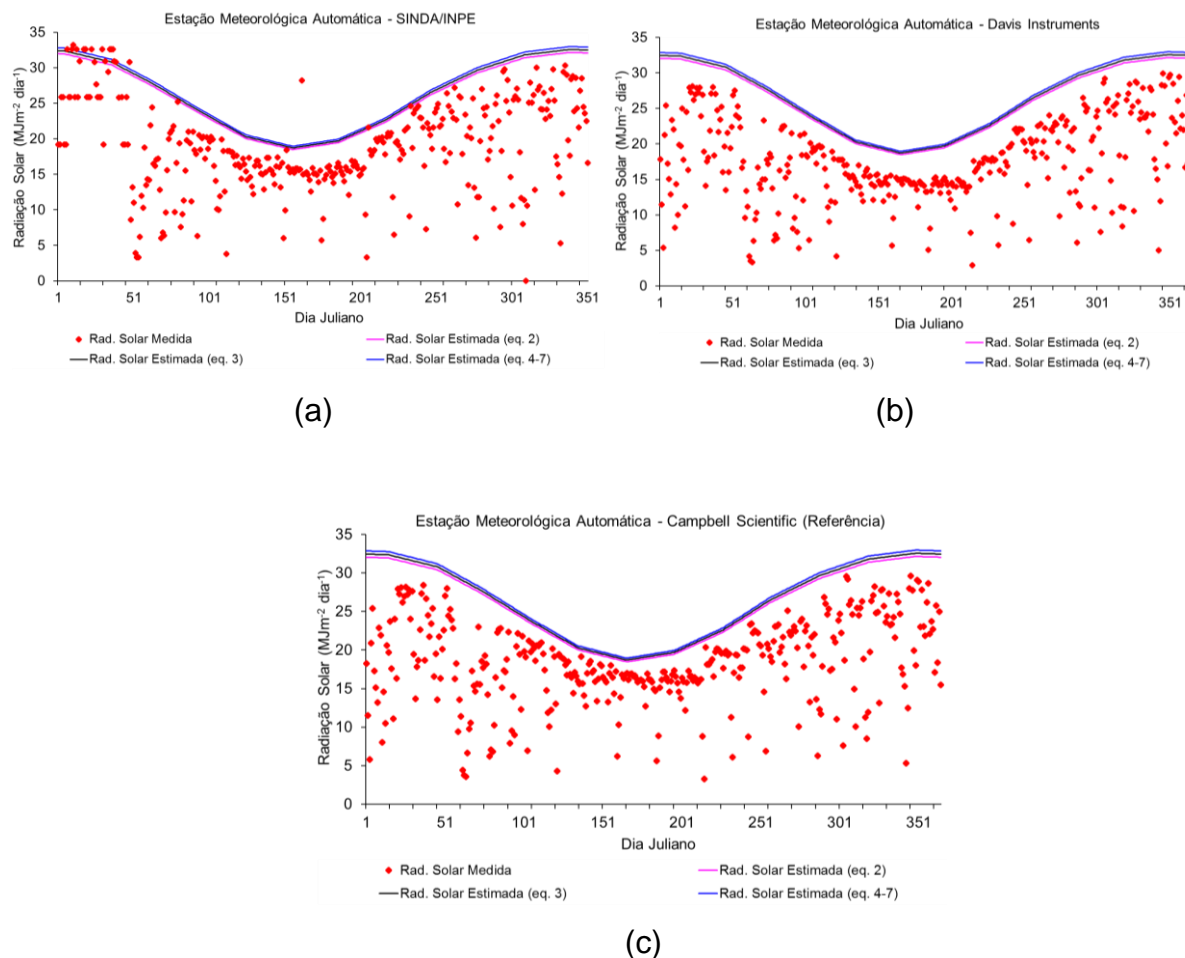


Figura 37: Radiação solar das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2011).

Observa-se na Figura 37a que o sensor da EMA SINDA/INPE apresentou melhor resultado, quando comparado com os anos de 2009 e 2010. Este fato deve-se ao fato da calibração e manutenção do sensor. Entretanto, em razão de alguns dias ultrapassarem as estimativas, o sensor não apresenta confiabilidade em sua operação. Já as EMAs da Davis e da Campbell apresentaram resultados semelhantes com relação aos anos de 2009 e 2010. Portanto, os dados são aceitáveis e os sensores vêm operando satisfatoriamente.

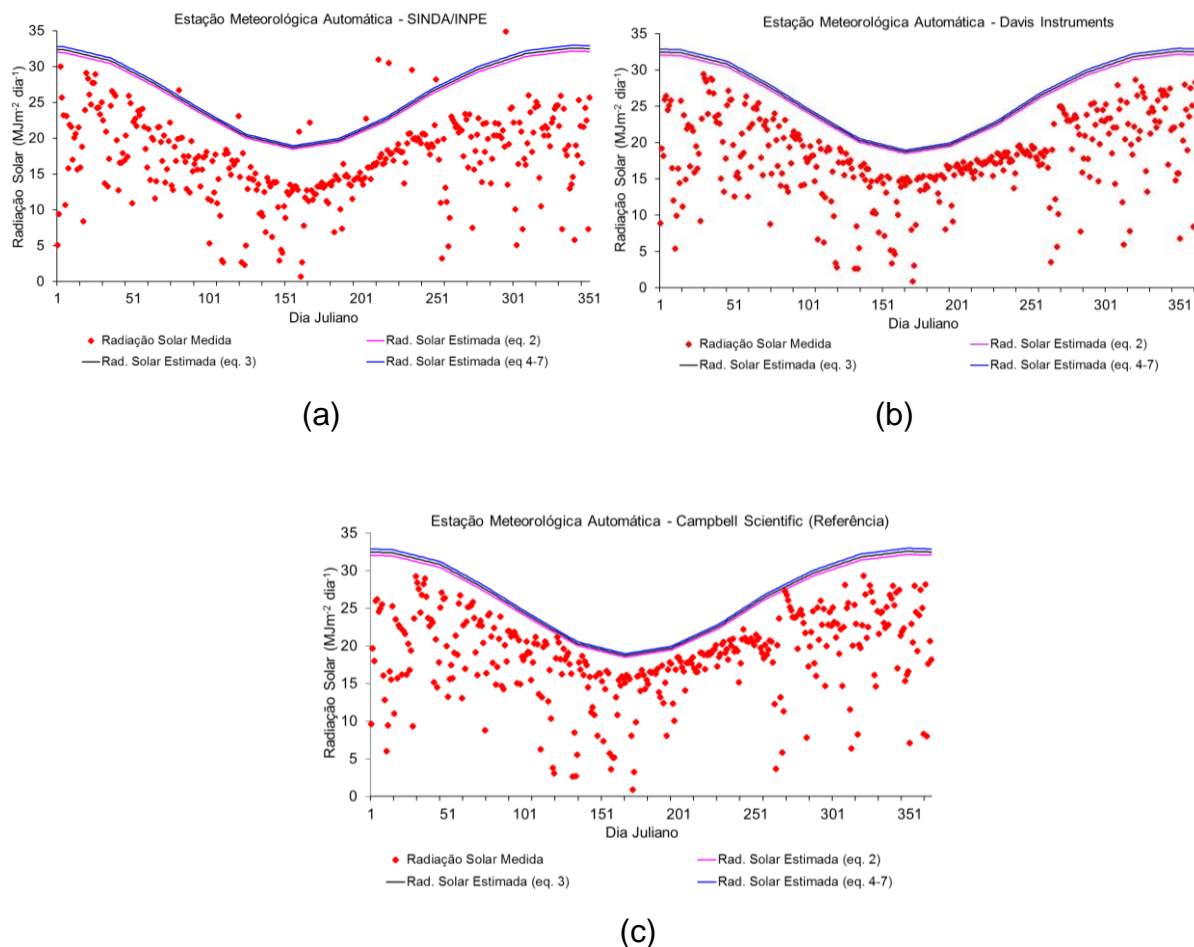


Figura 38: Radiação solar das EMAs SINDA/INPE, Davis Instruments e Campbell Scientific (ano 2012).

Verifica-se na Figura 38a que, em alguns dias do ano, os dados ultrapassam e não acompanham a estimada pelas três equações. Nestas condições, o sensor não vem respondendo de forma satisfatória. Porém, os dados fornecidos pelos sensores das EMAs da Davis e da Campbell não ultrapassam e subestimam as equações. Portanto, os dados são aceitáveis devido a correta operação dos piranômetros.

4.2 Análise dos parâmetros hidrológicos de saída do modelo SWAT

O modelo SWAT utiliza os dados das variáveis meteorológicas para analisar os parâmetros hidrológicos de saída (precipitação, escoamento superficial, percolação, escoamento subsuperficial, deflúvio e recarga do aquífero) nas redes de drenagem de uma Bacia Hidrográfica. Diante disso, verificou-se estes parâmetros quando a precipitação foi a principal variável de entrada no SWAT.

Na Tabela 1 mostra-se os resultados dos parâmetros hidrológicos referentes aos dados obtidos por meio das EMAs da Campbell, da Davis e do SINDA/INPE, bem como em relação aos dados mundiais.

Tabela 1: Comparação dos resultados dos parâmetros hidrológicos de saída do SWAT obtidos com os dados mundiais e com os dados das estações meteorológicas automáticas (Campbell, Davis e SINDA/INPE).

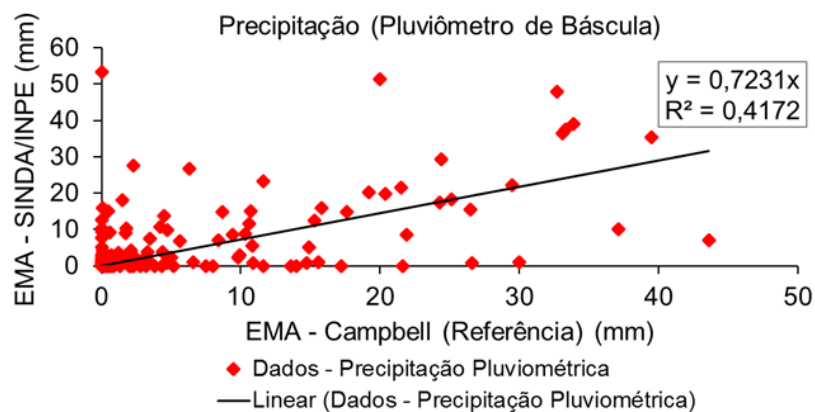
Parâmetros Hidrológicos (Saída)	Dados Mundiais (mm)	Campbell (mm)	Davis (mm)	SINDA (mm)
Precipitação pluviométrica	1708,8	1218,0	1209,8	785,3
Evaporação + Transpiração	777,1	883,8	888,0	732,0
Média (Número de Curva)	76,98	76,98	76,98	76,98
Escoamento superficial	308,79	139,01	133,87	34,53
Percolação	555,34	165,23	159,63	19,57
Evaporação do solo	24,26	30,26	30,46	33,76
Escoamento subsuperficial	66,85	38,13	37,72	24,07
Deflúvio	503,31	134,66	130,2	6,64
PET	1213,2	1512,9	1523,2	1687,8
Recarga aquífero	27,77	8,26	7,98	0,98

Analisando a Tabela 1, nota-se a influência da integridade dos dados meteorológicos das EMAs nos parâmetros hidrológicos de saída do modelo SWAT. Ou seja, os resultados apresentados pelas EMAs da Campbell e da Davis apresentam, em alguns parâmetros, boa correlação quando comparados com os dados mundiais. Por outro lado, observa-se uma discrepância significativa dos dados apresentados pela EMA do SINDA/INPE; o que corrobora com as análises sobre a integridade de dados realizada com o pluviômetro de báscula. Esta discrepância pode ser observada nos seguintes parâmetros: precipitação, escoamento superficial, percolação, escoamento subsuperficial, deflúvio e recarga do aquífero. Nestas condições, pode-se dizer que estas diferenças estão relacionadas com os sensores de vento (anemômetro), umidade relativa do ar (sensor capacitivo), radiação solar (piranômetro) e o próprio pluviômetro de báscula da EMA SINDA/INPE, os quais não apresentaram resultados aceitáveis na análise da integridade de dados. Por outro lado, os dados das EMAs da Campbell e da Davis são aceitáveis e mostram-se promissores para o planejamento e a gestão de recursos hídricos e naturais.

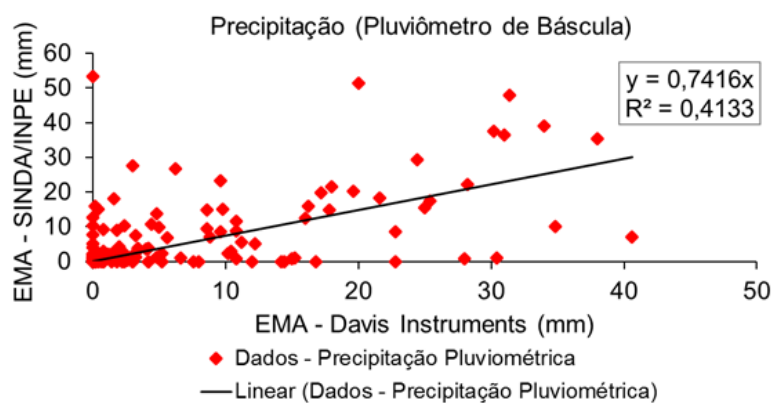
Castro (2013) avaliou a aplicabilidade do modelo SWAT na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Jardim, com área aproximada de 105 km², situada na porção sudeste do Distrito Federal. A simulação hidrológica foi realizada para dois anos (período de 01/07/2006 a 30/06/2008) utilizando dados diários de precipitação para analisar os parâmetros hidrológicos de saída (balanço hídrico). O resultado obtido foi que a evapotranspiração contribui cerca de 447,8 mm, o escoamento superficial 141,3 mm, o fluxo lateral 217,7 mm, a percolação 285,7 mm, o fluxo de base 259,0 mm, a recarga para o aquífero 14,3 mm e o CN médio para a bacia ficou em torno de 63,3. Com isso, a autora concluiu que as diferenças encontradas nos parâmetros hidrológicos podem estar relacionadas com a má qualidade dos dados meteorológicos de entrada, já que eles impactam diretamente na saída do modelo SWAT. Além disso, o modelo SWAT é uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para fins da gestão de Bacias Hidrográficas.

Na Figura 39 apresenta-se as análises da precipitação pluviométrica de entrada do modelo entre a EMA da Campbell e a EMA do SINDA/INPE (Figura 39a), entre a EMA da Davis e a EMA do SINDA/INPE (Figura 39b), bem como entre a EMA da Campbell e a EMA da Davis (Figura 39c). Observa-se que o pluviômetro de báscula do SINDA/INPE não apresenta resultado satisfatório, quando comparado com os pluviômetros da Campbell e da Davis. Este resultado pode ser observado na Tabela 1, na qual a estação do SINDA/INPE apresentou dados discrepantes com relação às estações da Davis e da Campbell.

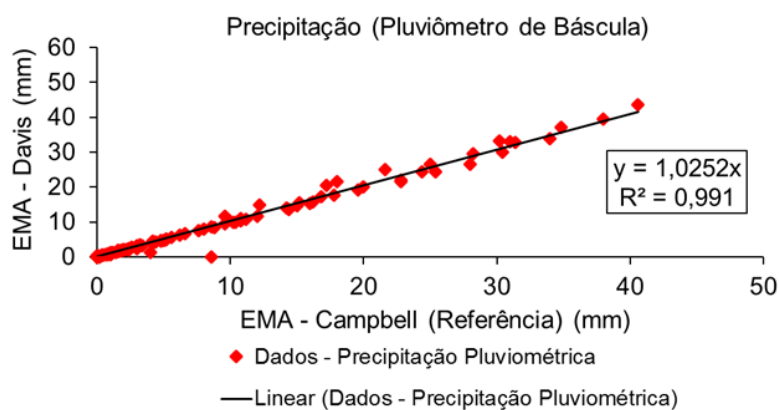
Pesquisas realizadas por Humphrey e Istok (1996) indicaram que o pluviômetro de báscula apresenta erros de 5% a 29% quando submetidos a intensas precipitações. Ou seja, no momento crítico de um evento de chuva, quando a confiabilidade dos dados torna-se ainda mais importante para auxiliar na gestão de recursos hídricos, o sensor não registra de forma correta a precipitação pluviométrica.



(a)



(b)



(c)

Figura 39: Análise da precipitação pluviométrica entre as EMAs do SINDA/INPE, da Davis Instruments e da Campbell Scientific.

5 CONCLUSÃO

Com base na Estação Meteorológica Automática (EMA) de referência (Campbell Scientific), a EMA da Davis apresentou resultados satisfatórios. No entanto, os sensores de radiação solar e de umidade relativa da EMA do SINDA/INPE devem ser substituídos. Já o sensor de velocidade do vento e o pluviômetro de báscula (de todas as estações) devem ser duplicados para verificar a necessidade de calibração ou substituição. Esta prática (duplicidade dos sensores) é essencial para manter a coleta dos dados sem interrupção, o que garante a confiabilidade e a disponibilidade (dados) em tempo real.

No modelo SWAT, os dados da precipitação da EMA do SINDA/INPE foram insatisfatórios quando comparados com os dados das estações da Campbell e da Davis. Desta forma, as EMAs (Campbell e Davis) podem ser utilizadas para o planejamento e gestão de recursos hídricos e naturais de Bacias Hidrográficas. Ressalta-se ainda que a modelagem do banco de dados do SWAT é complexa e necessita de uma série de dados meteorológicos, os quais na maioria das vezes não se encontram disponíveis e confiáveis.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como forma de alerta e de precaução, recomenda-se a elaboração de um plano de inspeção, manutenção e calibração dos sensores, objetivando, com isso, melhorar a qualidade dos dados meteorológicos disponibilizados para empresas, pesquisadores, institutos de pesquisas e sociedade civil. Nestas condições, é fundamental inspecionar periodicamente as EMAs para verificar se existe algum problema nos sensores ou, se fatores como sujeira, poeira e dejetos de pássaros estejam interferindo na sua operação. Verificar o prazo de validade da calibração e atentar-se na depreciação dos sensores também são recomendações que podem auxiliar tanto na vida útil do sensor quanto na qualidade dos dados. Como resultado, é possível:

- evitar publicação científica de dados incorretos;
- evitar erros em projetos de conservação da água e do solo;
- dimensionar corretamente os sistemas de irrigação;
- melhorar o sistema de gestão de recursos hídricos e naturais;
- auxiliar no planejamento e na gestão de Bacias Hidrográficas;
- contribuir com o processo de integração floresta – agricultura – pecuária; e
- otimizar o investimento, o desenvolvimento econômico, a pesquisa e o processo de tomada de decisão por parte do governo, das empresas e dos pesquisadores que atuam nesta área do conhecimento.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 122, n. 2, p.97-106, 1996. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1996\)122:2\(97\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1996)122:2(97))>.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotraspiration del cultivo**: guias para la determinación de los requerimientos de água de los cultivos. Roma: FAO, 2006. 298 p. (Estúdio Riego e Drenaje, Paper 56).

ALMEIDA, H. A.; SOUZA, J. A.; ALCÂNTRA, H. M. Análise comparativa de dados de temperatura do ar obtidos por estações meteorológicas convencional e automática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007, Aracaju. **Anais...** 2007. CD-ROM.

ARNOLD, J. G.; MORIASI, D. N.; GASSMAN, P. W.; ABBASPOUR, K. C.; WHITE, M. J.; SRINIVASAN, R.; SANTHI, C.; HARMEL, R. D.; GRIENSVEN VAN, A.; LIEW VAN, M. W.; KANNAN, N.; JHA, M. K. SWAT: model use, calibration and validation. **Transactions of the ASABE**. v. 55(4), p.1491-1508, 2012.

BARROS, V. R.; SOUZA, A. P.; FONSECA, D. C.; SILVA, L. B. D. Avaliação da evapotranspiração de referência na Região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 2, p. 198-203, 2009.

BAUSCH, W. C. Sensor height effects on calculated reference evapotranspiration. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 33, p. 791-798. 1990.

BRESSIANI, D. A.; GASSAMAN, P. W.; FERNANDES, J. G.; GARBOSSA, L. H. P.; SRINIVASAN, R.; BONUMÁ, N. B.; MENDIONDO, E. N. Review of soil and water assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: challenges and prospects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n.3, p.9-35, jun/2015.

BURMAN, R. D.; LARAMIE, W. Y.; NIXON, P. R.; WRIGHT, J. L.; PRUITT, W. O. **Water requirements**. In: JENSEN, M.E. (ed). **Design and operation of farm irrigation systems**. Michigan: ASAE, 1983. p.189-225. (ASAE Monograph, 3).

CAMPBELL SCIENTIFIC. When a Measurements Matter. **Produtos**. 2016. Disponível em: <<https://www.campbellsci.com.br>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

CAMPBELL SCIENTIFIC. **03001 R.M. Young Wind Sentry Set**. 2007. Disponível em: <<https://s.campbellsci.com/documents/au/manuals/03001.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

CASTRO, K. B. **Avaliação do modelo SWAT na simulação da vazão em bacia agrícola do cerrado intensamente monitorada**. 2013. 141f. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2013.

CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**: Jaboticabal. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_279.html>. Acesso em: 05 mar. 2016.

CEZÁRIO, M. V. **Um estudo sobre a influência da precipitação regional do Vale da Paraíba no nível de água do reservatório de Paraibuna, SP**. Taubaté. 2005. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Taubaté, 2005.

CLIMA E AMBIENTE. **Pluviômetro Ville de Paris – IPL002**. Disponível em:<<https://www.climaeambiente.com.br/prod,idloja,23707,idproduto,4548677,instrumentos-de-medicao-pluviometro-ville-de-paris---ipl002>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos obtidos em estações meteorológicas convencional e automática em Botucatu, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, n. 1, p. 103-111, 2004.

DAVIS INSTRUMENTS. **Rain collector**. 2016. Disponível em:<http://www.davisnet.com/weather/products/weather_product.asp?pnum=7857>. Acesso em: 01 mar. 2016.

DAVIS INSTRUMENTS. **Anemometer – Model 7911**. 2013. Disponível em: <http://www.davisnet.com/product_documents/weather/spec_sheets/7911_SS.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2016.

DI LUZIO, M.; SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. G.; NEITSCH, S. L. **Arcview interface for SWAT 2000**: User's Guide. Texas Water Resources Institute, College Station: Texas, 2002.

ESTÉVEZ, J.; GAVILÁN, P.; GIRÁLDEZ, J. V. Guidelines on validation procedures for meteorological data from automatic weather stations. **Journal of Hydrology**, v. 402, p.144-154, 2011. Disponível em: <doi:10.1016/j.jhydrol.2011.02.031>.

ESTÉVEZ, J.; GAVILÁN, P.; GARCÍA-MARÍN, A. P. Data validation procedures in agricultural meteorology – a prerequisite for their use. **Advanced in Science and Research**, v.6, p.141-146, 2011. Disponível em: <doi:10.5194/asr-6-141-2011>.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Perspectivas agrícolas no Brasil**: desafios da agricultura brasileira 2015-2024. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/download/PA20142015CB.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

FRITSCHEN, L. J.; GAY, L. W. **Enviromental instrumentation**. Springer-Verlag: New York, 1979.

GASSMAN, P. W.; REYES, M. R.; GREEN, C. H.; ARNOLD, J. G. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and futures research directions. **Transactions of the ASABE**. v. 50. n.4. p.1211-1250, 2007.

HUMPHREY, M. D.; ISTOK, J. D. A new method for automated dynamic calibration of tipping-bucket rain gauges. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v.14, p. 1513-1519, 1996.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folhas da Carta Brasil**. São Paulo, 1971.

JAMIL, I.; JAMIL, R.; JINQUAN, Z.; MING, L.; ANSAR, A.; AHMED, R.; JAFAR, I.; HUSSIAN, R.; JAMIL, R. Application and composition observing system of automatic weather station (AWS) and power grid (PGMIS). **Electrical and Electronics Engineering: An International Journal (ELELIJ)**, v. 2, n. 4, p.31-44, 2013.

KAROLINA, S.; ZYGMUNT, M.; MARIA, S.; DAMIAN, S.; JAN, B. Application of SWAT model to samll agricultural catchment in Poland. In: International SWAT Conference. 2009, Texas: Texas AgriLife Research/University USDA/Agricultural Research Servive. **Proceedings...** Texas, University of Colorado at Boulder, p.163-170, 2009.

KIROS, G.; SHETTY, A.; NANDAGIRI, L. Performance evaluation of SWAT model for land use and land cover changes in semi-arid climatic conditions: a review. **Hydrology Current Research**. v.6, n.3, p.1-7, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4172/2157-7587.1000216>>.

LI, Z.; DENG, X.; WU, F.; HASAN, S. S. Scenario analysis for water resources in response to land use change in the middle and upper reaches of the Heihe river basin. **Sustainability Journal**, v.7, p.3086-3108, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/su7033086>>.

LOPES, N. H. Y. **Análise da produção de água e sedimentos em microbacias experimentais com o modelo SWAT**. Florianópolis, 2008. 154p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

MARIN, F. R. **Introdução ao uso de sistemas automáticos de aquisição de dados na agrometeorologia**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2005. (Documentos, 56).

MELO NETO, J. O.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; MELLO JÚNIOR, A. V. Simulação hidrológica escalar com o modelo SWAT. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p.177-188, jan/mar, 2014.

MIGLIACCIO, K. W.; CHAUBEY, I. Spatial distributions and stochastic parameter influences on SWAT flow and sediment predictions. **Journal of Hydrologic Engineering**, n. 13, v. 4, p.258-269, 2008.

MIRANDA, E. E. (Coord.). **Brasil em relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 23 mar. 2011.

MUTENYO, I.; NEJADHASHEMI, A. P.; WOZNICKI, S. A. GIRI, S. Evaluation of SWAT performance on a mountainous watershed in tropical Africa. **Hydrology Current Research**. v. 14, n.1, p.1-7, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4172/2157-7587.S14-001>>.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009**. Texas Water Resources Institute, College Station, Texas, 2011. Disponível em: <<http://swat.tamu.edu/media/99193/swat2009-theory-portuguese.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2016.

OLIVEIRA, A. D. **Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência utilizando dados de estação meteorológica convencional e automática.** 2003. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2003.

OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; CAVALCANTI JÚNIOR, E. G.; SOBRINHO, J. E.; VIEIRA, R. Y. M. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Jaboticabal – SP. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 108-114, 2010.

OLIVEIRA, P. J. D.; TURCO, J. E. P.; CARLETO, N. Integridade de dados meteorológicos obtidos por estação meteorológica automatizada. In: XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015. São Pedro. **Anais ...** São Pedro, 2015.

PALLA, V. L. **Estudo morfométrico por fotointerpretação sobre a similaridade das microbacias hidrográficas de segunda ordem de magnitude da região de Jales - SP.** Jaboticabal, 1994. 113p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1994.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: past and future. **Agricultural Water Management**, v. 147, p.4-20, 2015.

PISSARRA, T. C. T. **Análise da bacia hidrográfica do Córrego Rico na subregião de Jaboticabal, SP:** comparação entre imagens TM-Landsat 5 e fotografias aéreas verticais. 2002. 136f. Tese (Doutorado em Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

PISSARRA, T. C. T. (Coord). **Informações básicas para o planejamento ambiental:** município de Jaboticabal. Jaboticabal: Funep, 2009.

PISSARRA, T. C. T.; MIGLIACCIO, K. W.; ARRAES, C. L.; OLIVEIRA, G. S.; BUENO, C. R. P.; CAMPOS, S. Erosion prediction using Swat model in Córrego Tijuco Watershed, São Paulo State, Brasil. In: International SWAT Conference, 2014, Porto de Galinhas. **Anais ...** Porto de Galinhas: Texas Water Resources Institute, 2014.

RODRIGUES, F. M. **Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal – SP**. 2013. 97f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

ROUHOLAHNEJAD, E.; ABBASPOUR, K. C.; VEJDANI, M.; SRINIVASAN, R.; SCHULIN, R.; LEHMANN, A. A parallelization framework for calibration of hydrological models. **Environmental Modelling & Software**. v. 31, p. 28-36, mai./2012. Disponível em: <doi:10.1016/j.envsoft.2011.12.001>.

SADLER, E. J.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; VORIES, E. D.; GUINAN, P. E. Long-term agroecosystem research in the central Mississippi river basin: goodwater creek experimental watershed weather data. **Journal of Environmental Quality**. Special Section. LTAR IN THE CENTRAL MISSISSIPPI RIVER BASIN, Columbia MO, v. 44, p.13-17, jan./2015. Disponível em: <doi:10.2134/jeq2013.12.0515>.

SANTOS, I.; ANDRIOLO, M. V.; GIBERTONI, R.C.; PEREIRA FILHO, D.L.B.; KAVISKI, E.; MÜLLER, I.I.; ROHN, M.C.; NISHIDA, E.; SILVA, R.C. **Desenvolvimento de modelo de avaliação da qualidade de água e transporte de sedimentos para pequenas e médias centrais elétricas**: modelagem da erosão e transporte de sedimentos. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC). Curitiba – PR, 91 p, 2005.

SCARPARE, F. V.; OLIVEIRA, G. X. S.; SIMON, J.; PIEDADE, S. M. S.; ANGELOCCI, L. R. Comparação da uniformidade de dados meteorológicos de estação convencional e automática – Piracicaba/SP. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. 2006. Florianópolis. **Anais ...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006.

SEIBERT, J.; MORÉN, A. S. Reducing systematic errors in rainfall measurements using a new type rain gauge. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.98-99, p.341-348, 1999.

SENTELHAS, P. C.; CARAMORI, P. H. Inconsistências na medida da chuva com pluviômetros de báscula, utilizados em estações meteorológicas automáticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 2, p. 301-304, 2002.

SENTELHAS, P. C.; MORAIS, S. O.; PIEDADE, S. M. S.; PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 215-221, 1997.

SHARAN, R. V. Development of a remote automatic weather station with a PC – based datalogger. **International Journal of Hybrid Information Technology**, v.7, n.1, p.233-240, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.14257/ijhit.2014.7.1.19>>.

SHRESTHA, R. R.; DIBIKE, Y.; PROWSE, T. Application of SWAT in hydrologic nutrient transport modeling of the lake Winnipeg watershed. In: International SWAT Conference. 2009, Texas: Texas AgriLife Research/University USDA/Agricultural Research Service. **Proceedings...** Texas, University of Colorado at Boulder, 2009, p.269-277p.

SILVA, C. R.; BRESSIANI, D. A.; BETTIOL, G. M.; CRESTANA, S. Aplicação do modelo SWAT (SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL) para estimar a produção de sedimentos e nutrientes na microbacia experimental da Embrapa Pecuária Sudeste. In: Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária, 2014, São Carlos. **Anais ...** São Carlos, p. 609-612, 2014.

STRASSBURGER, A. S.; MENEZES, A. J. E. A.; PERLEBERG, T. D.; EICHOLZ, E. D.; MENDEZ, M. E. G.; SCHÖFFEL, E. R. Comparação da temperatura do ar obtida por estação meteorológica convencional e automática. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 273-278, 2011.

SUDJARIT, W.; PUKNGAM, S.; TANGTHAN, N. Application of SWAT model for assessing effect on main functions of watershed ecosystem in Headwater, Thailand. In: International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 5(2), p.57-69, 2015. **Proceedings ...** Disponível em: <<http://www.iaees.org/publications/journals/piaees/online-version.asp>>. Acesso em: 24 jan. 2016.

TANNER, B. D. Automated weather stations. **Remote Sensing Reviews**. Harwood, v. 5, n. 1, p. 73-98, 1990.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRH, 2007.

TURCO, J. E. P.; PERECIN, D.; PINTO JUNIOR, D. L. Influência da acurácia de instrumentos de medidas na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**. Botucatu-SP, v.13, n.1, jan/mar, p.63-80. 2008.

TURCO, J. E. P.; BARBOSA, J. C. Avaliação de duas estações meteorológicas automatizadas, para estimativa diária da evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith. **Irriga: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**. Botucatu-SP, v. 13, n. 3, p.339-354, 2008.

TURCO, J. E. P.; GOES, M. J.; OLIVEIRA, P. J. D.; CARLETO, N. Avaliação de um método simples para determinação da evapotranspiração de referência. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA, 2014, Campo Grande. **Anais ...** Campo Grande. Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2014.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: INMET – Gráfica e Editora Pax, 2001.

VENTURI, L. A. B. **Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

WHITE, K. L.; CHAUBEY, I. Sensitivity analysis, calibration and validation for a multisite and multivariable SWAT model. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 41, n. 5, p.1077-1089, 2005.

WHITE, G. M.; ROSS, I. R. Humidity. In: HENRY, Z.A.; ZOERB, G.A.; BIRTH, G. S. **Instrumentation and measurement for environmental sciences**. Saint Joseph: ASAE, p. 8.01-8.13, 1991.

WMO. World Meteorological Organization. **Guide to meteorological instruments and methods of observation WMO-No. 8**. Geneva 2, Switzerland, p.161-173, 2008.