

ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS: Relato de uma Experiência com Sensores Independentes em Bacia Experimental

Artur Sass Braga¹; Sergio Michelotto Braga²; Cristóvão Vicente Scapulatempo Fernandes³

RESUMO

A instalação e a operação de estações meteorológicas automáticas para fins de estudos hidrológicos pode representar um desafio para os pesquisadores brasileiros. Não é incomum que seja escolhido um único fornecedor para todos os equipamentos que compõem uma estação, fazendo a aquisição de um pacote fechado. Essa prática pode, por falta de alternativas, implicar na aquisição de sensores menos precisos. Visando oferecer uma abordagem diferente, o presente trabalho apresenta os resultados da aquisição, instalação e testes comparativos de uma estação meteorológica automática montada com componentes de diversos fabricantes, escolhidos especificamente para oferecer alta qualidade na medição dos parâmetros mais importantes, durabilidade e resistência dos sensores. Testes comparativos em campo, realizados ao longo de 15 meses comprovam a qualidade dos resultados obtidos.

ABSTRACT

The use of automatic weather stations for hydrological purposes may represent a challenge for Brazilian researchers. Researchers usually prefer to receive an easy to mount, pre-programmed weather station rather than assembling one with components supplied by different providers. This paper reports the experience of the purchase, assembling and programming of an automatic weather station composed of some of the best sensors available. A comparative field test was carried out for 15 months at the site of an INNMET conventional weather station. Results prove both the quality of the sensors and the data gathered by the station.

¹ Bolsista de Iniciação Científica da Universidade Federal do Paraná – Departamento de Hidráulica e Saneamento – Curitiba – PR CEP: 81.531-990 e-mail: tui_d2@hotmail.com

² Professor Assistente – Departamento de Hidráulica e Saneamento – Curitiba – PR CEP: 81.531-990 Fone: (+55)(41) 33613142 Fax: (+55)(41) 33613045 e-mail: sergio.dhs@ufpr.br

³ Professor Adjunto da Universidade Federal do Paraná – Departamento de Hidráulica e Saneamento – Curitiba – PR CEP: 81.531-990 Fone: (+55)(41) 33613142 Fax: (+55)(41) 33613143 e-mail: cris.dhs@ufpr.br

INTRODUÇÃO

Dados meteorológicos são fundamentais em hidrologia, em especial quando se precisa estabelecer os coeficientes de evapo-transpiração a serem aplicados em modelos hidrológicos.

Para suprir a demanda por dados nos locais de estudo, pesquisadores costumam instalar e operar estações meteorológicas automáticas, as quais oferecem certa praticidade, pois possibilitam altas taxas de amostragens e pouca manutenção.

Uma grande variedade de instrumentos pode ser encontrada no mercado brasileiro, o que pode dificultar a tarefa de escolha adequada dos equipamentos por parte dos pesquisadores. Por isso é comum que o comprador escolha uma marca, e a realize a compra em forma de “pacote”, no qual todos os componentes da estação são adquiridos de um único fabricante.

Esse tipo de escolha pode facilitar o trabalho de configuração e operação de uma estação meteorológica para fins de estudos hidrológicos, mas também pode representar uma menor qualidade dos dados adquiridos se não for dada devida atenção aos sensores compõem a estação, pois são esses componentes que efetivamente produzem a informação desejada, e de sua qualidade depende o resultado final dos estudos.

Esse trabalho relata a experiência da aquisição, montagem, programação e teste operacional de uma estação meteorológica automática de alta performance, composta por registrador e sensores de diversas procedências, que foram escolhidos de forma a compor um conjunto robusto e eficiente, e que foi testada por comparação em local onde existe uma estação meteorológica convencional, do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), cujos resultados estão sendo apresentados nesse trabalho.

O trabalho demonstra que é possível, que a escolha de equipamentos destinados à montagem de estações meteorológicas para estudos hidrológicos seja feita de maneira a evitar a compra por “pacote”, priorizando a qualidade e a resistência dos sensores, e por consequência, aumentando a possibilidade da obtenção de dados mais confiáveis.

MONTAGEM E INSTALAÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

Os equipamentos que compõem as estações meteorológicas podem ser separados em três categorias principais: *sensores, registradores e telemetria*.

Os sensores traduzem eventos físicos em sinais elétricos e eletrônicos e são responsáveis por quantificar diversos parâmetros meteorológicos, sendo os mais comuns nas estações meteorológicas: precipitação, umidade relativa do ar, temperatura do ar, velocidade do vento, direção do vento, radiação solar (incidente e refletida) e pressão atmosférica.

Estações meteorológicas automáticas (EMA) geralmente operam com apenas um registrador central, denominado *datalogger*, que armazena as leituras dos sensores, podendo também comandar a transmissão telemétrica dos dados registrados.

A montagem da estação meteorológica automática objeto desse estudo, foi realizada em três etapas: escolha e compra dos equipamentos, programação dos sensores e das rotinas de coleta de dados, e montagem da estrutura física com os equipamentos.

Etapa 1 – Critérios para a compra da estação meteorológica

Os sensores da EMA foram escolhidos após análise feita com ênfase na qualidade e versatilidade dos aparelhos. Junto aos fabricantes foram buscadas informações sobre a precisão dos equipamentos. Dados sobre a performance foram obtidos após consultas feitas com profissionais brasileiros da área de meteorologia, que trouxeram informações relevantes sobre a resistência e a estabilidade da leitura ao longo do tempo.

Quando possível, foi dada prioridade para comunicação digital entre o sensor e o registrador, posto que esse modo de comunicação permite um acompanhamento mais detalhado da performance do sensor, pois, na maioria dos casos, são gerados e transmitidos pelo sensor dados extras referentes ao funcionamento do próprio sensor.

Todos os equipamentos escolhidos foram sujeitos á busca de informações negativas em artigos científicos ou notícias publicadas na Internet, sem que fosse possível encontrar relatos de dificuldades maiores.

Na Tabela 1 é apresentada uma relação dos equipamentos adquiridos.

Tabela 1 - Relação dos Equipamentos Adquiridos

Equipamento	Precisão - Resolução	Comunicação
<i>Pluviômetro de Bâscula Compensado</i>	$\pm 0.2\text{mm} - 0,001\text{mm}$	SDI-12
<i>Sensor de Temperatura</i>	$\pm 0.2^{\circ}\text{C} - 0.1^{\circ}\text{C}$	Analógico (0 - 5V)
<i>Termo – higrômetro de alta resolução</i>	$\pm 1\%RH - 0.02\%RH$ $\pm 0.2^{\circ}\text{C} - 0.06^{\circ}\text{C}$	Analógico (0 - 5V)
<i>Piranômetro de alta resolução</i>	$\pm 5\% - 1\text{W}/\text{m}^2$	Analógico (0 - 15mV)
<i>Barômetro de alta resolução</i>	$\pm 1.0\text{mb} - 0.01\text{mb}$	Analógico (0 - 5V)
<i>Anemômetro Sônico de alta resolução</i>	$\pm 0.5\text{m}/\text{s} - 0.1\text{m}/\text{s} \pm 5^{\circ} - 1^{\circ}$	SDI-12
<i>Datalogger de alta performance</i>	-	Serial RS-232

Registrador

O registrador da EMA representa o coração da estação, e sua escolha se fundamentou nos seguintes critérios:

- *Versatilidade*: de forma a aceitar diversos tipos de sensores de diversas marcas podendo operar em vários modos ao mesmo tempo com uso de funções, algoritmos e sub-rotinas que otimizem o processo de filtragem dos dados coletados;
- *Facilidade de Programação*: de forma a permitir que o operador não enfrente dificuldades na hora inserir os parâmetros de medição de cada sensor;
- *Interface amigável*: possibilitando a operação da estação por pesquisadores pouco familiarizados;
- *Display incluído*: para que seja possível visualizar leituras e alterar a programação em campo, sem a necessidade da utilização de um laptop;
- *Cartão de memória destacável*: para permitir o carregamento de dados lidos ou da própria programação da estação;
- *Resistência*: para que o datalogger tenha uma grande durabilidade, mesmo em ambientes de extrema exposição;
- *Capacidade de memória*, a fim de nunca perder dados por descuidos de gerenciamento da estação, podendo armazenar até mais de um ano de dados continuamente.

Precipitação (Figura 1)

Foi escolhido um pluviômetro com capacidade para realizar automaticamente a compensação de erros de sub-medição, erros esses que são típicos dos pluviômetros de balança durante a ocorrência de eventos de precipitação intensa, os quais foram objeto de estudo anterior [BRAGA *et al.* (2008)].

Radiação solar incidente e refletida (Figura 2)

A qualidade dos sensores de radiação solar foi escolhida com base na segunda classe de piranômetros, convencionada pelo “Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation” [WMO (2008)].

Velocidade e direção do vento (Figura 3)

Os sensores convencionais de velocidade e direção do vento são montados a partir de hélices e cata-ventos, fato que vincula a qualidade dos dados gerados pelos sensores às peças mecânicas que os compõem. Esse tipo de sensor sofre desgaste com o tempo, necessitando de manutenção e re-calibração para que suas leituras não percam qualidade. Por esse motivo, foi escolhido um anemômetro sônico de alta performance o qual mede a velocidade e direção do vento por ultra-som.

Temperatura e Umidade relativa do Ar (Figura 4)

A maioria dos sensores automáticos de umidade relativa do ar também disponibilizam a medida de temperatura, a qual é medida para compensar as leituras diretas. A escolha do sensor baseou-se em consultas a profissionais da área de meteorologia.

Pressão Atmosférica

Foi escolhido um sensor compacto e de alta performance para facilitar a montagem da estação meteorológica. A escolha do sensor baseou-se em consultas a profissionais da área de meteorologia.

Temperatura de relva (Figura 5)

Optou-se por um medidor de temperatura de alta performance.



Figura 1 – Pluviômetro



Figura 2 – Piranômetro



Figura 3 - Anemômetro



Figura 4 – Termo – Higrômetro



Figura 5 – Termômetro

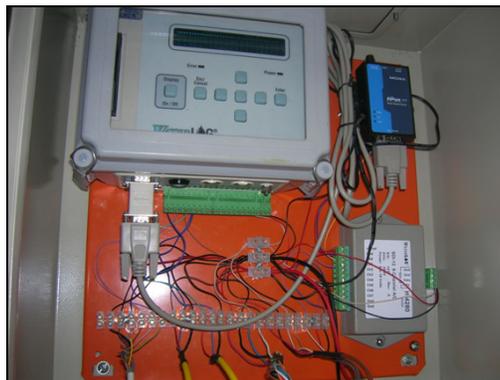


Figura 6 – Montagem do Datalogger e da caixa metálica

Etapa 2 – Verificação, Montagem e Programação da Estação Meteorológica

A programação de uma estação meteorológica automática consiste em inserir parâmetros de medição dos sensores em seu datalogger. Para a realização dessa tarefa, foram estudados os manuais do datalogger e dos sensores que a compõe.

Em uma primeira etapa, foram realizadas as ligações físicas da estação (Figura 6), com base nos manuais respectivos de cada aparelho. Foram ligados os sensores ao datalogger e preparada a ligação da energia.

A configuração do datalogger consistiu de quatro etapas distintas:

- Ajuste das curvas de calibração aos sensores analógicos e digitais da estação;
- Configuração do arquivo de saída gerado pelo datalogger;
- Configurações gerais do aparelho;
- Configuração de amostragem do logger.

O datalogger escolhido permite o ajuste de seus dados por diversas funções matemáticas, que incluem funções lineares até a funções logarítmicas e exponenciais. Todas as curvas de calibração fornecidas pelos fabricantes dos sensores foram programadas no software do datalogger, transformando os sinais elétricos dos sensores nas respectivas unidades físicas desejadas.

A configuração do arquivo de saída do logger consiste em organizar o documento que será registrado pelo aparelho. Nesse documento estarão: as medidas dos sensores já tratadas previamente pelas funções, data e hora dos registros feitos, medida da bateria ligada ao logger e entre outras opções que podem ser programadas como médias, somas, relações entre os parâmetros, etc.

Na configuração do documento também é feita a programação da frequência de registro de cada parâmetro a qual é pode ou não ser ajustada para o mesmo intervalo de amostragem da estação, sendo possível programar a leitura um determinado parâmetro em intervalos maiores de tempo para economizar a memória de armazenamento.

As configurações gerais do datalogger permitem o usuário estabelecer uma identificação eletrônica ao aparelho que será atribuída a todos os arquivos gerados por ele. Também são ajustados nas configurações gerais os parâmetros básicos de funcionamento do logger: data e hora, função (o datalogger tem mais opções do que apenas coletar dados), comunicação, etc.

Depois de todas as etapas prévias de configuração prontas é feita a configuração de amostragem do logger. Etapa responsável por ajustar a frequência de amostragem, o dia e hora de início de amostragem e a criação de um novo arquivo de amostragem. Completar essa etapa significa “ligar” o datalogger: ele passara a criar um arquivo e registrar os dados como foi configurado.

Etapa 3 – Montagem da Estrutura da Estação Meteorológica

Sensores foram montados sobre um tripé metálico especialmente adquirido para a estação, ao qual foram adicionados suportes especialmente desenvolvidos para os sensores (Figura 7).

A unidade de comando foi instalada dentro de um painel metálico externo, no qual foram fixados o datalogger, o sensor de pressão atmosférica, o controlador de carga e a bateria.

Uma barra de contatos foi instalada para facilitar a conexão dos demais sensores



Figura 7 – Estação Meteorológica Automática Instalada

COLETA DE DADOS E AFERIÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

Para verificar o funcionamento adequado da estação meteorológica adquirida, utilizou-se como referência a Estação Meteorológica do INMET instalada no campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR) em Curitiba. A escolha de uma estação convencional proporciona uma menor frequência de amostragem do que a proposta por uma estação automática, porém os registros de uma estação convencional estão diretamente ligados aos conceitos mais aceitos dos parâmetros meteorológicos, sendo suas medidas as referências de maior qualidade disponíveis para essa pesquisa. Diante da disponibilidade de uma segunda comparação para alguns parâmetros também foram usados os dados da Estação Automática do INMET instalada no mesmo local.

No período de janeiro de 2010 a maio de 2011 foram coletados dados da estação em teste e das estações do INMET. Os parâmetros meteorológicos de registro comum nas estações do INMET

(convencional e automática) e na estação do DHS que permitiram alguma comparação foram: Precipitação Acumulada (PA), Velocidade do Vento (VS), Direção do Vento (VD), Umidade Relativa do Ar (UR), Radiação Solar Incidente (RI), Temperatura do Ar (TA) e Pressão Atmosférica (PA). Os parâmetros Temperatura de Relva e Radiação Refletida não puderam ser comparados pela ausência de sensores semelhantes nas estações do INMET.

Umidade relativa do Ar

A Figura 8 mostra o gráfico da UR registrada pelas três estações de amostragem ao longo de quase um mês. O gráfico revela que as medidas da estação de referência se encontram muito próximas da curva de medidas da estação em teste, comprovando a qualidade dos dados coletados pelo termo – higrômetro.

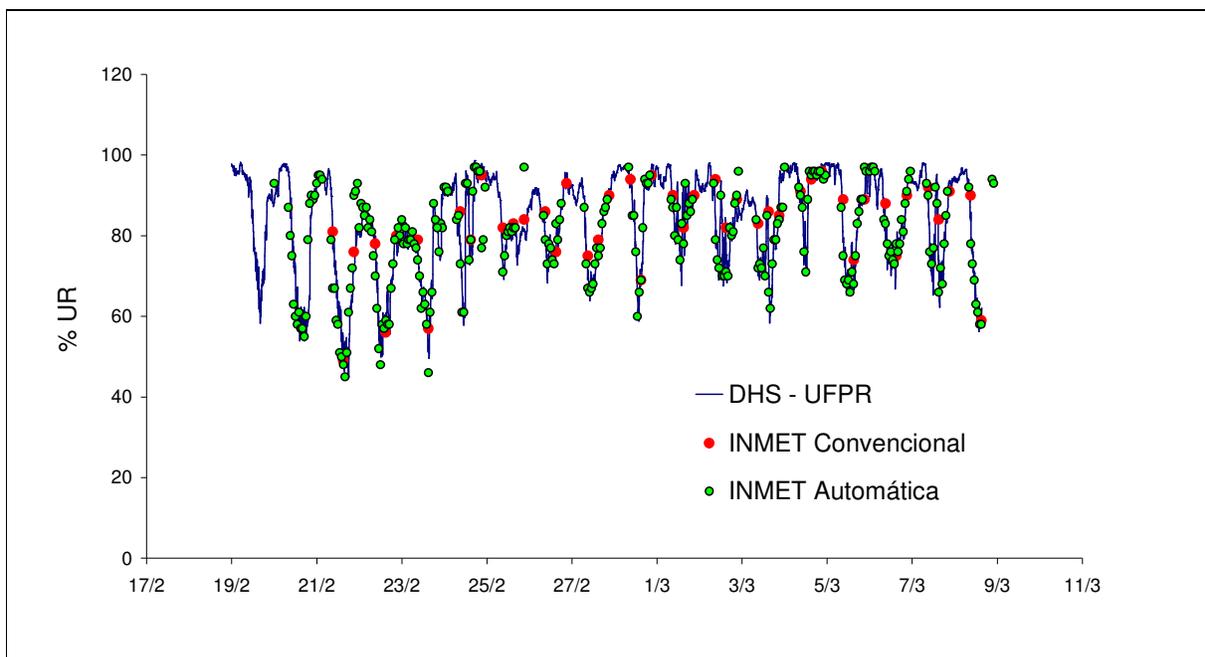


Figura 8 – Umidade Relativa do Ar

A análise instantânea dos dados, disposta no gráfico da Figura 9 reforça a qualidade do sensor, pois mostra que o coeficiente angular da reta é muito próximo da unidade e que o e o fator de deslocamento (coeficiente linear da reta) é muito próximo de zero que seria o ideal.

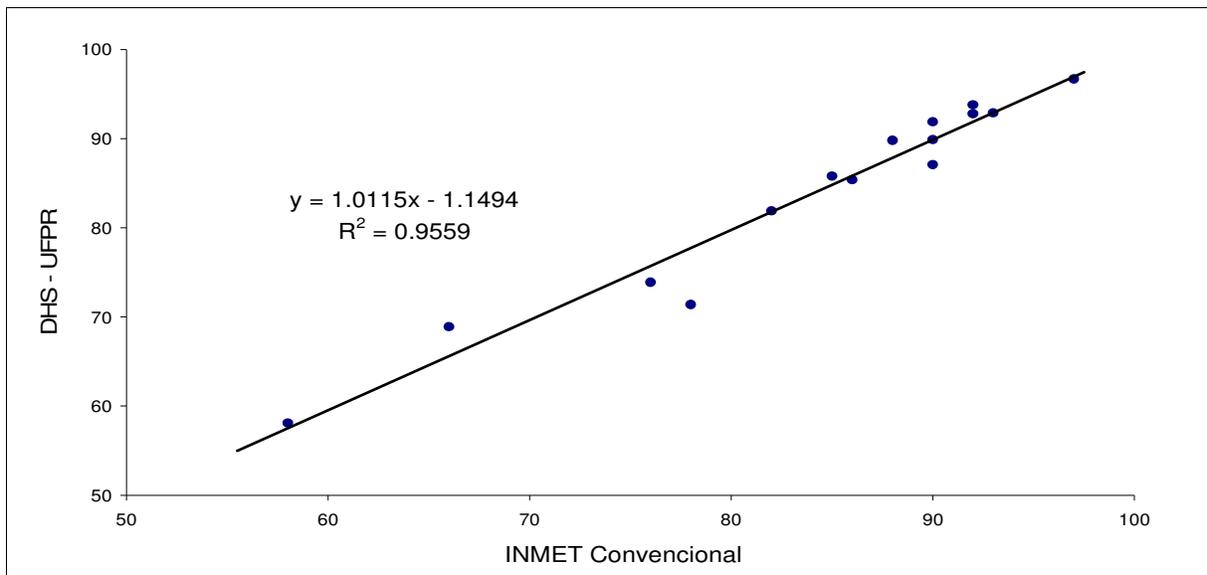


Figura 9 – UR Instantânea: DHS (UFPR) x INMET Conventional

Pressão Atmosférica

A partir do gráfico da pressão atmosférica (Figura 10) é possível perceber um deslocamento vertical na curva em azul dos dados coletados pelo barômetro em testes, em relação aos dados de referência. Entretanto, as variações de pressão ao longo do tempo ocorrem em todos os dados de maneira uniforme, evidenciando que o sensor está funcionando corretamente apesar do deslocamento vertical.

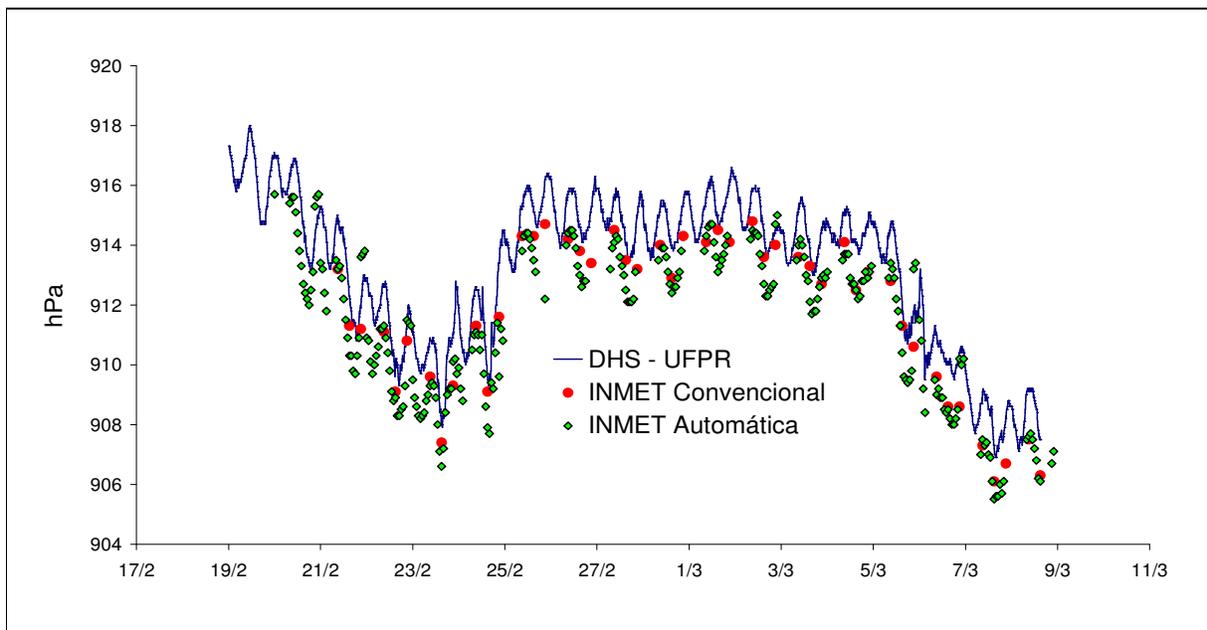


Figura 10 – Pressão Atmosférica

Através da análise instantânea dos dados de pressão atmosférica no gráfico da Figura 11, é comprovada a qualidade do sensor de pressão, pois o coeficiente angular da reta na Figura é

próximo da unidade, havendo um deslocamento de 28,048 hPa que pode ser explicado por um pequeno erro de calibração do aparelho.

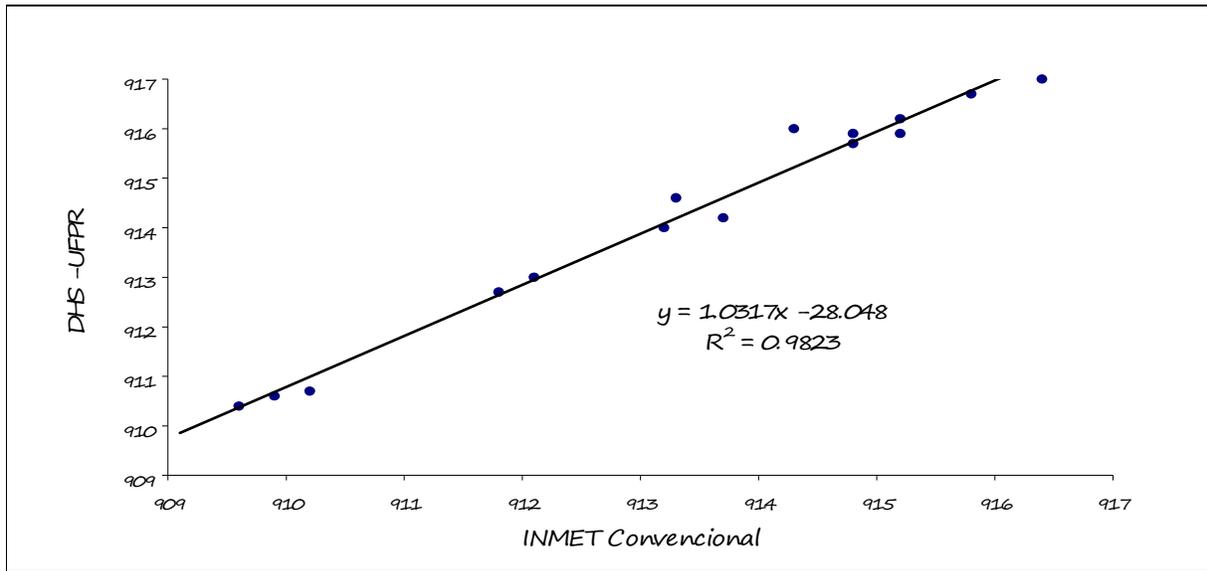


Figura 11 – PA Instantânea: DHS (UFPR) x INMET Convencional

Temperatura do Ar

O sensor em testes responsável por medir a temperatura do ar é o mesmo que faz as medidas de umidade relativa do ar: termo – higrômetro. Diante do gráfico na Figura 12, comprova-se a mesma qualidade das medidas de temperatura do aparelho que foi evidenciada anteriormente sobre suas medidas de umidade relativa do ar, pois os dados de referência se encontram muito próximos da curva (em azul) dos dados obtidos através do sensor.

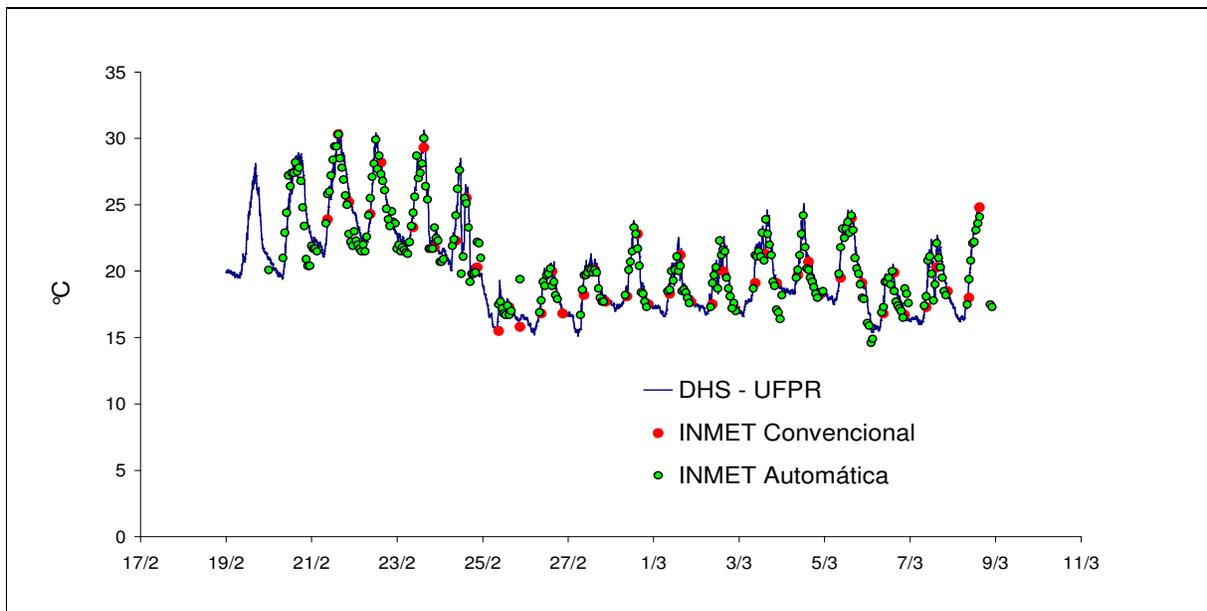


Figura 12 – Temperatura do Ar

Na comparação instantânea dos dados de temperatura do ar (Figura 13), novamente é fundamentada a qualidade do sensor, pois o coeficiente angular da reta mostra variações nas médias dos dois conjuntos de dados na ordem de centésimos e o coeficiente linear mostra um deslocamento de 0,7°C que está muito próximo de zero, representando uma diferença na ordem dez vezes menor que a variação dos valores no gráfico.

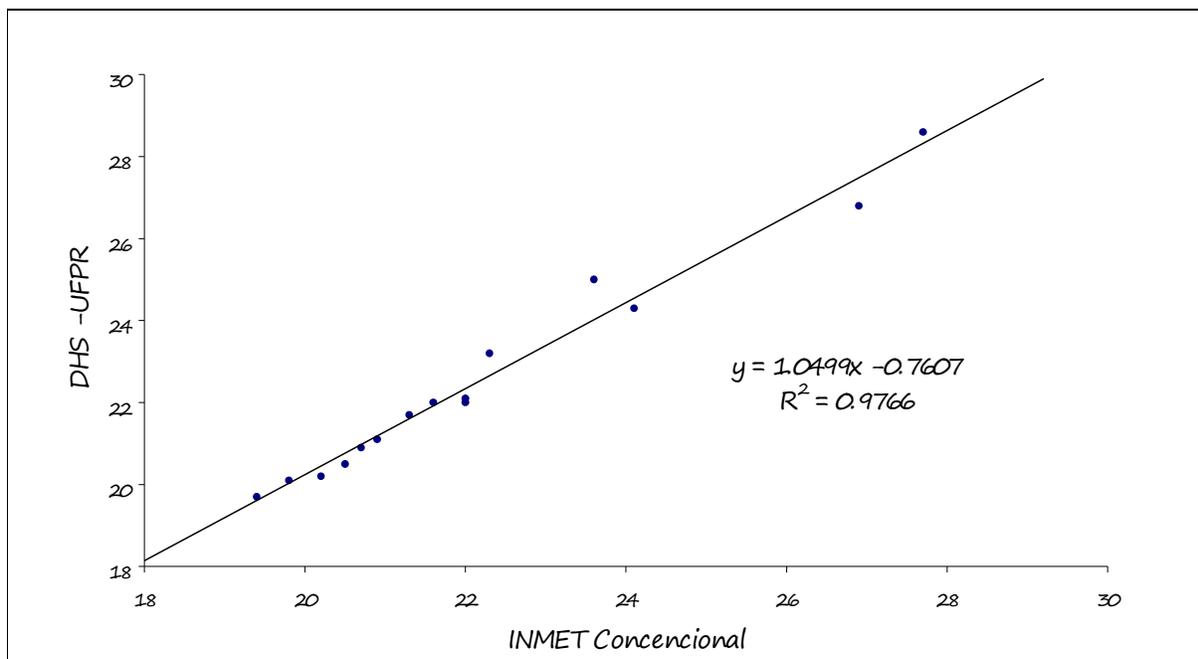


Figura 13 – TA Instantânea: DHS (UFPR) x INMET Convencional

Velocidade e Direção do Vento

A análise do parâmetro *velocidade do vento* apresentada na Figura 14, na qual é possível perceber que as variações desse parâmetro são muito rápidas. Uma análise instantânea resultaria errônea devido à imprecisão temporal das medidas de referência. O sensor escolhido não tem capacidade de registrar rajada de vento, pois suas medidas são feitas durante em intervalos pré – estabelecidos, não ficando ligado continuamente.

Uma análise gráfica evidencia que o sensor opera de forma razoável, pois se observadas as curvas formadas pelos dados ao longo do tempo é notável que as variações que ocorrem nas informações do sensor de referência também ocorrem para o sensor em testes, e a média dos dados do aparelho em teste se aproxima da média das medidas de referência.

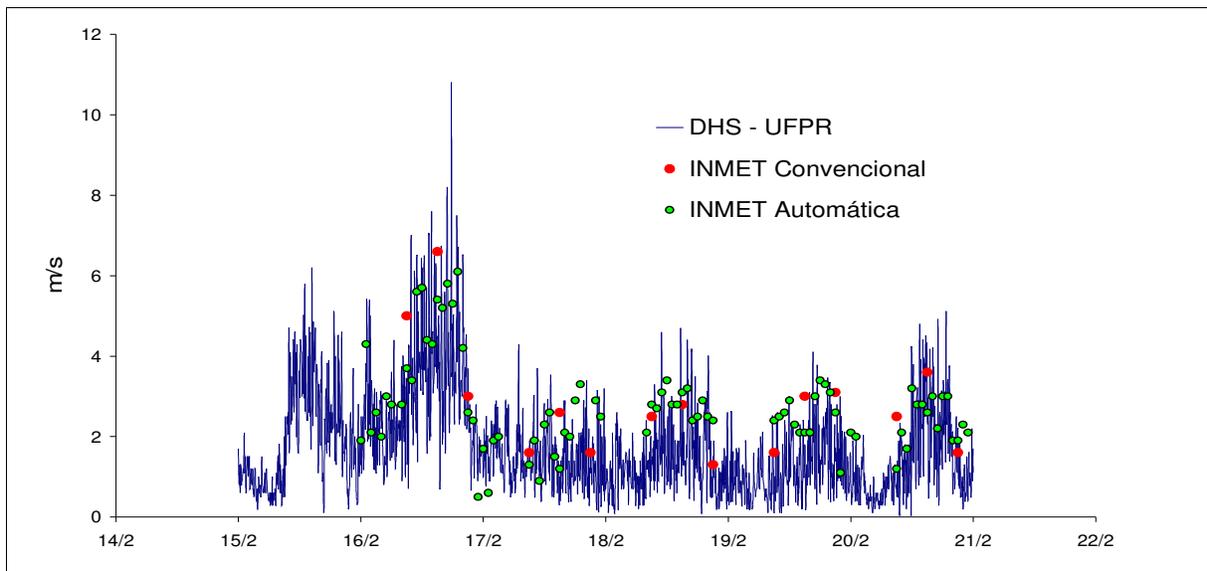


Figura 14 – Velocidade do Vento

O mesmo sensor responsável pelas medidas de velocidade do vento faz as medidas de direção do vento. Na Figura 15 é apresentada uma comparação gráfica do parâmetro. Os dados coletados pela estação de referência nesse caso são discretos, podendo variar entre 0° e 315° em intervalos de 45° (0° e 360° representam a mesma direção). A análise fica prejudicada, pois os dados de referência não são precisos entre os intervalos discretos. Porém, mesmo com os dados de referência sujeitos a essas condições é possível notar no gráfico uma boa aproximação dos dados do sensor em testes com os dados de referência e também com os dados da estação automática do INMET, que mesmo não sendo uma referência absoluta evidencia registros muito próximos e não tem o problema da aproximação dos dados para as direções cardeais e colaterais.

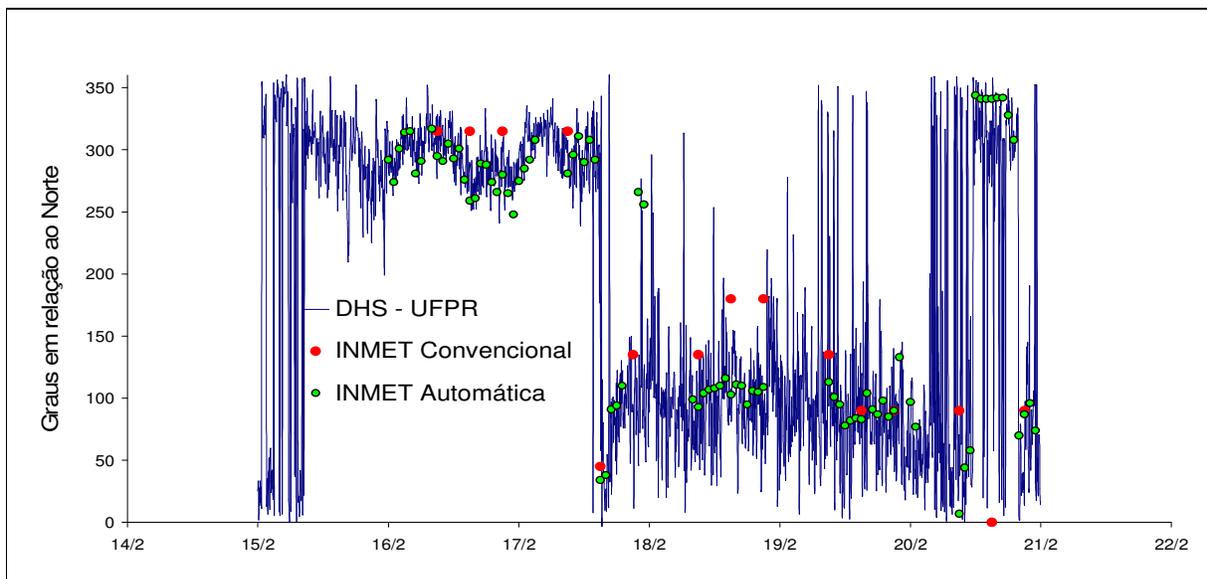


Figura 15 – Direção do Vento

Precipitação Atmosférica

Para a análise do sensor de precipitação atmosférica foi escolhido um evento que compreendesse diversas intensidades de precipitação ao longo do tempo. Através da soma das medidas coletadas durante o evento foi montado um gráfico da precipitação atmosférica acumulada em função do tempo (Figura 16) com os dados medidos pelo sensor escolhido e os dados de referência, coletados com um pluviômetro do tipo *Ville de Paris*.

O sensor de precipitação em teste é um pluviômetro de balsa ("tipping bucket") equipado com um circuito digital que compensa a sub – medição característica desses sensores em precipitações intensas [BRAGA et all (2008), Nystuen (1999), Habib *et al* (2001)]. Entretanto foi observado que mesmo existido essa preocupação na escolha do aparelho, os dados do evento analisado evidenciam a ocorrência de sub – medição do pluviômetro em relação a referencia do INMET.

Diante do estudo do comportamento do sensor foram identificados erros de sub – medição em eventos de baixa intensidade de precipitação, o que pode ser observado na Figura 18 Os resultados podem ser explicados pela evaporação d'água prejudicar a medida dos pluviômetros quando a intensidade é muito baixa: parte d'água armazenada na bascula é evaporada, pois existe um intervalo de tempo muito grande entre as basculadas.

Ficou demonstrado que seu desempenho é muito bom, mas mesmo atendendo as preocupações das medidas durante precipitações intensas ainda existe a possibilidade da ocorrência de erros nas medidas, aparentemente decorrentes da concepção dos pluviômetros de balsa.

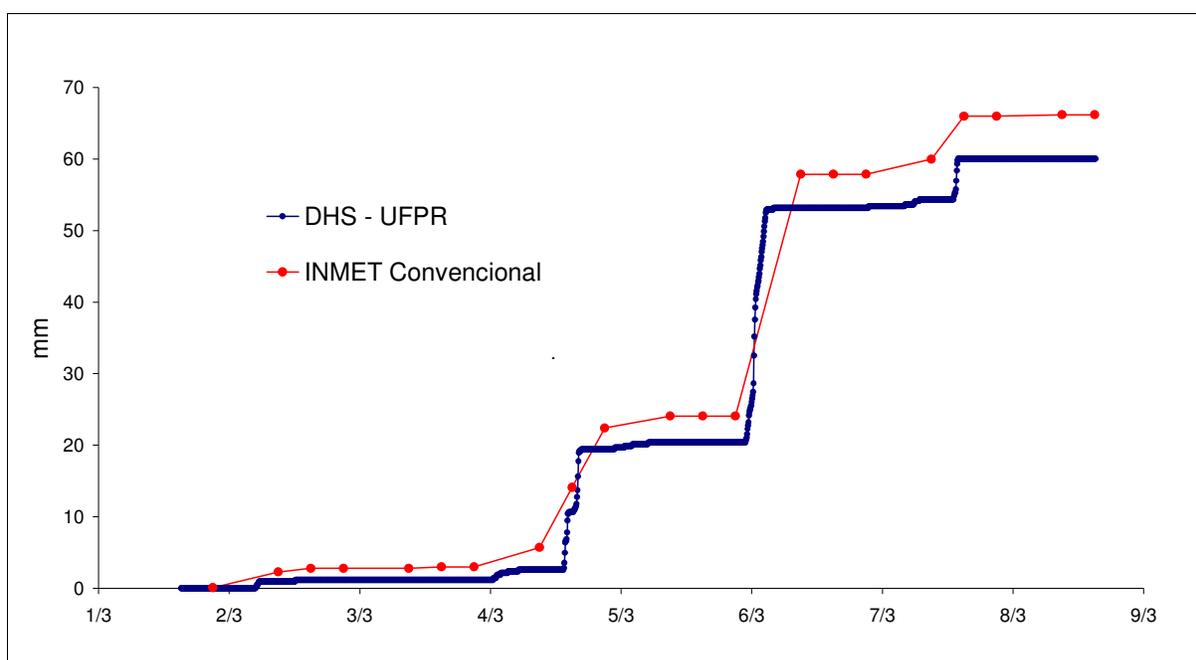


Figura 16 – Precipitação Atmosférica Acumulada

Radiação Solar Incidente

O parâmetro de radiação solar não é medido pela estação de referência, porém, a estação automática do INMET faz registro da radiação solar incidente, de modo que foi a única comparação possível com o sensor escolhido para a estação meteorológica em testes.

Do gráfico que relaciona os dados de radiação solar incidente (Figura 17) é possível verificar o funcionamento coerente do sensor com referência nos dados da estação automática do INMET. Os dados só diferem de zero durante o período diurno situação que comprova a coerência dos dados medidos, porém os valores do sensor da estação automática do INMET apresentam uma grande instabilidade, limitando as análises possíveis na comparação dos dados pela incerteza da precisão do equipamento. Através da análise apenas dos dados do sensor em testes é possível afirmar que ele segue um padrão de comportamento recíproco, relacionando da forma correta a variação da intensidade da radiação solar ao longo dos dias: cresce desde o zero no começo, oscila durante o dia em valores sempre acima de zero e decresce até o zero no fim do dia.

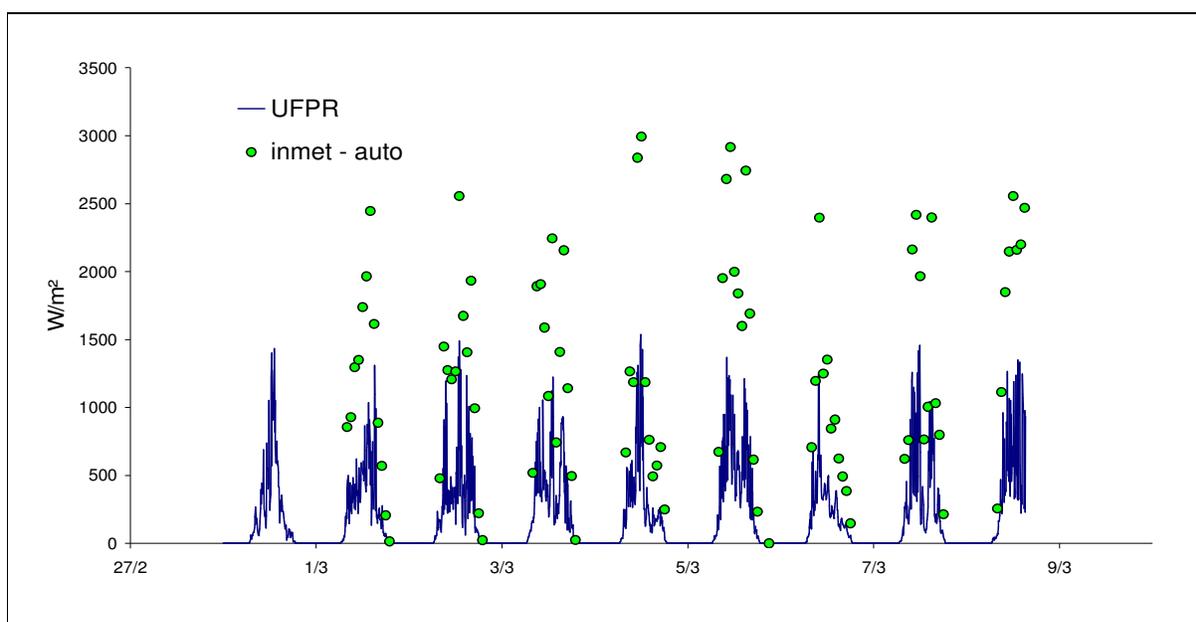


Figura 17 – Radiação Incidente

CONCLUSÃO

A montagem de uma EMA a partir de componentes de diversos fabricantes demanda muito mais trabalho do que a compra em ‘pacote fechado’ ofertada pelas empresas.

Entretanto, ao menos dois importantes benefícios foram obtidos como consequência da montagem com componentes de diversos fabricantes:

- Ficou comprovado que é possível obter alta qualidade de dados partindo-se de uma composição de equipamentos diversos;

- Foi ampliado o conhecimento sobre o processo de medição, conhecimento esse que ajuda a conferir ao conjunto uma maior flexibilidade para eventuais alterações que se façam necessárias.

O teste comparativo realizado demonstra que a escolha dos sensores foi adequada e que os equipamentos apresentam performance excelente, em especial em virtude de a comparação ter sido feita com informações obtidas de uma das principais estações meteorológicas convencionais do Paraná.

Por esse motivo os dados produzidos pela estação automática poderão contribuir mais precisamente para o cálculo dos parâmetros hidrológicos que se deseja estudar.

BIBLIOGRAFIA

BRAGA, S.M.; BRAGA, A.S.; FERNANDES, C.V.S.; SANTOS, I. (2008). “Avaliação da Performance de Pluviômetros de Bâscula: sub-medição durante eventos extremos e novos esquemas de medição”. CD - Anais de Eventos: II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul – Sudeste, Rio de Janeiro – RJ, 2008.

HABIB, E., KRAJEWSKI, W.F., KRUGER, A. (2001). “ Sampling Errors of Tipping-Bucket Rain Gauge Measurements”. In Journal of Hydrologic Engineering, v. 6, n. 2, p. 159-166, March/April, 2001.

NYSTUEN, J.A. (1999). “Relative Performance of Rain Gauges Under Different Rainfall Conditions” in Journal of Atmospheric and Ocean Technology, v. 16, p. 1025-1043, 1999.

WMO – n°8 “Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation”. Seventh edition, 2008.

WATER LOG “H-500 Owner’s Manual”. XL Séries, Data Logger/Data Collection Platform, http://www.waterlog.com/media/pdfs/XL-Series_2-14-000.pdf.

WATER LOG “H-340 SDI Owner’s Manual”. “Smart” SDI-12 Tipping Bucket Rain Gauge, <http://www.waterlog.com/media/pdfs/H-340SDI-Manual-v1-1.pdf>.

WATER LOG “H-377 Owner’s Manual”. Thermistor Temperature Probe, <http://www.waterlog.com/media/pdfs/H-377-Manual-v1-0.pdf>.

CLIMATRONICS “S2 SONIC ANEMOMETER OPERATION MANUAL”. P/N 102779, www.climatronics.com/Web%20Manuals/M102779-9800%20Sonic%20Anemometer,%20S2%20Rev%20-.pdf.

CAMPBELL SCI. “Introduction Manual: CM10 and CM6 Tripod”. Galvanized Steel Instrumentation Tripods, <http://www.campbellsci.com/documents/manuals/cm10-6.pdf>

CAMPBELL SCI. “Introduction Manual: CMP3-L Pyranometer”. CMP3-L Pyranometer, <http://www.campbellsci.com/documents/manuals/cmp3.pdf>.

CAMPBELL SCI. “Introduction Manual: CS100 Barometric Pressure Sensor”. Setra 278,
<http://www.campbellsci.com/documents/manuals/cs100.pdf>.

ROTRONICS “HygroClip S Datasheet”.
http://www.rotronic.co.uk/_upload/gen_downloads/Datasheet_HygroClip_S.pdf