

# Lawrence Berkeley National Laboratory

## LBL Publications

### Title

Intercomparação de sensores de temperatura e umidade relativa para uso em campanha micrometeorológica

### Permalink

<https://escholarship.org/uc/item/6bx866s0>

### Authors

Hoeltgebaum, Lucas Emilio B

Diniz, André Luís

Dias, Nelson Luís da Costa

### Publication Date

2020-08-28

### DOI

10.5902/2179460x46565

### Copyright Information

This work is made available under the terms of a Creative Commons Attribution-NonCommercial License, available at <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Peer reviewed

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/344195442>

# Intercomparison of temperature and relative humidity sensors for using in a micrometeorological experiment

Article in *Ciência e Natura* · September 2020

DOI: 10.5902/2179460X46565

CITATIONS

0

READS

124

3 authors:



**Lucas Emilio B. Hoeltgebaum**

University of Idaho

19 PUBLICATIONS 8 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Andre Luis Diniz dos Santos**

Lawrence Berkeley National Laboratory

30 PUBLICATIONS 29 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Nelson L. Dias**

Universidade Federal do Paraná

115 PUBLICATIONS 1,541 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

# CIÊNCIA E NATUREA, VOL 42 (2020)

Universidade Federal de Santa Maria  
Ci. e Nat., Santa Maria v.42, Special Edition: Micrometeorologia, e18, 2020  
DOI:10.5902/2179460X46565  
ISSN 2179-460X  
Received: 02/06/20 Accepted: 02/06/20 Published: 28/08/20



## Special Edition

# Intercomparação de sensores de temperatura e umidade relativa para uso em campanha micrometeorológica

Intercomparison of temperature and relative humidity sensors for using in a micrometeorological experiment

**Lucas Emilio B. Hoeltgebaum** <sup>I</sup>

**André Luís Diniz** <sup>II</sup>

**Nelson Luís da Costa Dias** <sup>III</sup>

<sup>I</sup> Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. E-mail: lucas.emilioh@gmail.com.

<sup>II</sup> Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. E-mail: diniz\_amb@yahoo.com.br.

<sup>III</sup> Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. E-mail: nldias@ufpr.br.

## RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados de intercomparação de dois termohigrômetros CS500 com um anemômetro sônico e analisador de gases IRGASON recém-adquirido, a fim de aferi-los para posterior uso em uma campanha micrometeorológica. O experimento foi montado no sítio experimental do Reservatório do Rio Verde, em que todos os sensores mediram os dados no mesmo nível, sobre a superfície da água. Os dados comparados foram: (i) a temperatura do ar medida pelos CS500 e por um termômetro do IRGASON (modelo 107); e (ii) a umidade relativa dos CS500 com a umidade relativa obtida a partir da concentração de vapor d'água medida pelo analisador de gases do IRGASON. A comparação e os ajustes se deram por correlação linear e os resultados mostraram que os CS500 apresentaram grande robustez, não tendo sido constatadas diferenças significativas em relação aos dados do IRGASON.

**Palavras-chave:** Calibração; Temperatura; Umidade Relativa; Micrometeorologia.

## ABSTRACT

In this work we present results from an intercomparison study between two CS500 temperature-relative humidity sensors and a brand new sonic anemometer/gas analyzer

(Campbell Scientific Instruments – CSI IRGASON). The objective of the intercomparison was an upcoming micrometeorological experiment. For the intercomparison, all sensors were positioned at the same height over the water surface, at the Rio Verde reservoir, in the vicinity of Curitiba, PR, Brazil. The compared variables were air temperature and relative humidity. The CS500 air temperatures were compared to those from a CSI 107 temperature sensor operates with the IRGASON; for the relative humidity comparisons, water vapor concentration measured by the IRGASON was converted to an equivalent relative humidity. Standard linear correlations were calculated. The CS500s displayed good agreement with the IRGASON-derived values.

**Keywords:** Calibration; Temperature; Relative Humidity; Micrometeorology.

## 1 INTRODUÇÃO

O presente experimento de intercomparação entre sensores foi realizado visando a utilização posterior dos mesmos no Experimento Micrometeorológico do Reservatório do Rio Verde (EXVERDE), que pretende monitorar fluxos de  $\text{CO}_2$  e vapor d'água e em sua totalidade mede as seguintes variáveis: temperatura da superfície da água, temperatura do ar (em três níveis), umidade relativa do ar (em dois níveis), concentração de  $\text{CO}_2$  (em dois níveis), concentração de vapor d'água, velocidades do ar nas três direções com anemômetros sônicos (em dois níveis), temperatura virtual sônica (em dois níveis), densidade de vapor d'água, densidade de  $\text{CO}_2$ , pressão atmosférica e mais duas temperaturas do ar medidas com termopares acoplados aos anemômetros sônicos.

O experimento EXVERDE proporciona uma oportunidade de estudar as trocas de energia e massa entre um reservatório e a atmosfera. As medições em 2 níveis têm o objetivo de verificar, entre outras, a constância dos fluxos com a altura dentro da sub-camada inercial da camada superficial. Outra questão importante é a aplicabilidade do método fluxo-gradiente e das relações de transferência de calor e massa para o reservatório do Rio Verde tal como feito, por exemplo, por (DIAS; VISSOTTO, 2017).

A fim de possibilitar o uso desses sensores na campanha do experimento EXVERDE (Figura 1), eles precisam passar por um processo de calibração geralmente oneroso. Na impossibilidade de realizar tal procedimento, pode-se efetuar uma intercomparação com sensores previamente calibrados (Figura 2). No presente texto são analisados dois termohigrômetros CS500, caracterizados como sensores “lentos”, operando a 1 Hz, intercomparados (Figura 2) com o sensor de alta frequência, dito “rápido”, operando a 20 Hz, o IRGASON, que mede as 3 componentes da velocidade do vento, a temperatura virtual sônica, a densidade de dióxido de carbono e vapor d'água, e perifericamente, com sensores de pressão atmosférica e a temperatura acoplados.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Sítio Experimental

O experimento foi realizado na bacia hidrográfica do Alto Iguaçu, na sub-bacia do Rio Verde que drena uma área de apenas 240 km<sup>2</sup>, sendo assim, as vazões dos seus rios são relativamente baixas. Sua superfície é coberta principalmente por vegetação (florestas e culturas) e áreas urbanizadas. A barragem do Rio Verde foi construída entre os anos de 1974 e 1976, sendo de propriedade da Petrobras, e deu origem ao reservatório na Região Metropolitana de Curitiba que abrange os municípios de Campo Largo e Araucária.

Tabela 1 – Variáveis intercomparadas, com os respectivos sensores, símbolos e unidades de aquisição

Variável	Sensor	Símbolo	Unidade
Temperatura do ar	CS500 <sub>1</sub>	$T_1$	°C
Temperatura do ar	CS500 <sub>2</sub>	$T_2$	°C
Temperatura do ar	IRGASON	$T_1$	°C
Umidade Relativa	CS500 <sub>1</sub>	$RH_1$	%
Umidade Relativa	CS500 <sub>2</sub>	$RH_2$	%
Concentração de vapor d'água	IRGASON	$\rho_v$	g m <sup>-3</sup>
Umidade Relativa	IRGASON	$RH_1$	%

Figura 1 – Montagem completa do experimento EXVERDE



Figura 2 – Montagem completa do experimento de intercomparação com todos os sensores que serão calibrados para uso no experimento EXVERDE



Segundo Cunha et al. (2011), o Rio Verde é responsável por cerca de 70% da vazão de entrada o reservatório, havendo também outros 15 rios tributários menores. O reservatório possui um tempo de residência médio elevado (218 dias) e é relativamente raso, com uma profundidade média de 5,6 m e máxima de 11 m. Sua superfície possui uma área de 6 km<sup>2</sup> e seu nível varia pouco, visto que seu vertedouro é livre. Seu perfil térmico é semelhante àquele de lagos monomíticos quentes. Atualmente, o Lemma (Laboratório de Estudos em Monitoramento e Modelagem Ambiental da UFPR) vem realizando diversos experimentos na bacia do Rio Verde, com maiores informações podendo ser obtidas na página do projeto em LEMMA/UFPR (2018). Todo o experimento de intercomparação é mostrado na Figura 2, onde os sensores estão a 4 m de altura a partir da superfície livre do reservatório, na estrutura da tomada d'água próxima a barragem, na localização específica de latitude -25,526861 e longitude -49,527436.

## 2.2 Sensores e Dados

Foi feita uma comparação entre dois termohigrômetros (CS500, Campbell Scientific) e um anemômetro sônico e analisador de gases (CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O) (IRGASON, Campbell Scientific) recém adquirido e, portanto, calibrado de fábrica. Este último está equipado periféricamente com um termômetro (modelo 107, Campbell Scientific) e um barômetro (PTB110, Vaisala). Os sensores e dados intercomparados estão descritos na Tabela 1.

Para a comparação dos dados medidos pelo IRGASON (concentração de vapor d'água) com os dados medidos pelo CS500 (umidade relativa), a umidade relativa do ar no IRGASON foi calculada como (SHUTTLEWORTH, 2012):

$$RH_I = 100 \frac{e}{e_s} = 100 \frac{\frac{\rho_v R_d (T_I + 273,15)}{622}}{0,611 \exp\left(\frac{12,27 T_I}{237,3 + T_I}\right)} = 100 \frac{\rho_v R_d (T_I + 273,15)}{380,042} \exp\left(-\frac{12,27 T_I}{237,3 + T_I}\right), \quad (1)$$

em que  $e$  é a pressão de vapor d'água no ar (kPa),  $e_s$  é a pressão de vapor de saturação (kPa) e  $R_d = 287,04 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$  é constante universal dos gases para o ar atmosférico. A concentração de vapor d'água  $\rho_v$  (kg m<sup>-3</sup>) e a temperatura do ar  $T_I$  (°C) são medidas pelo IRGASON.

A campanha de intercomparação ocorreu entre os dias 25/09/2017 e 20/10/2017, em dois conjuntos de dados: o conjunto lento, que mediu temperatura do ar, umidade relativa e concentração do CO<sub>2</sub> a 1 Hz; e o conjunto rápido que mediu velocidade do vento em três componentes, concentração de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, pressão atmosférica e temperatura do ar a 20 Hz. Como os dados do IRGASON estão em alta frequência e os do CS500 em baixa, as médias dos dados de  $\rho_v$  e  $T_I$  foram obtidas. Uma quantidade significativa dos dados foi perdida ( $\approx 50\%$ ) devido a falhas de energia e coleta de dados. Dentre os dados disponíveis, foi realizada a etapa de controle de qualidade de dados. Os seguintes passos foram executados:

1. Remoção de dados de temperatura não concomitantes e dos dados de temperatura dos CS500 menores que 0 °C e maiores que 30 °C, anormais para o período da campanha e fora da variação registrada pelo IRGASON;
2. Remoção dos dados de concentração de vapor d'água cujo valores de diagnóstico do IRGASON apresentaram desconformidade ( $\text{diag\_irga } 6 \neq 0$  e  $\text{H}_2\text{O\_sig\_strgth } 0,7$ , ver Campbell Scientific (2015)); compatibilização dos dados de umidade relativa nos mesmos intervalos de tempo restantes da etapa anterior;
3. Cálculo de  $RH_I$  através da expressão (1) e remoção de valores de  $RH < 0$  e  $RH > 100\%$ .

A Tabela 2 mostra a porcentagem dos dados inicialmente disponíveis além da porcentagem de dados removidas em cada estágio, em relação aos dados disponíveis. A Figura 3 mostra os dados de temperatura e umidade relativa restantes após todas as etapas de remoção de dados. Nesta Figura, nota-se que apesar de uma perda substancial dos dados foi possível manter séries contínuas por bons períodos e com boa variação de temperatura, com valores variando entre 5 e 30 °C. A Figura 4 mostra a frequência de disponibilidade de dados em cada horário, após a última etapa da qualidade de dados, que mostra uma distribuição quase uniforme nos dados utilizados para intercomparação, com leve predominância nos horários próximo ao meio-dia, em que a disponibilidade de energia (gerada por painéis solares) tende a ser maior.

Tabela 2 – Dados disponíveis inicialmente e porcentagem de dados restantes em cada processo de qualidade de dados. A (%) de dados removidas se refere à quantidade de dados disponíveis

Variável	Disponibilidade Inicial (%)	Remoção (%)			Restantes (%)
		Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	
$T_1$	41,55	4,92	-	-	95,08
$T_2$	41,58	4,92	-	-	95,08
$T_I$	40,83	4,92	-	-	95,08
$RH_1$	51,52	-	23,24	17,90	58,86

$RH_2$	51,32	-	23,24	17,90	58,86
$\rho_v$	43,73	-	23,24	17,90	58,86
$RH_1$	-	-	23,24	17,90	58,86

Com os dados em mãos, a correção dos dados foi realizada por simples correlação linear entre os dados dos sensores que necessitam de correção com o sensor de referência, o IRGASON. Assim, os dados de  $T_1$  e  $T_2$  foram correlacionados aos dados de  $T_I$  e os de  $RH_1$  e  $RH_2$  aos de  $RH_I$ . Após a determinação dos coeficientes angular  $\alpha$  e linear  $\beta$  para cada comparação, os valores de cada sensor foram ajustados através de

$$S_{corr} = \frac{1}{\alpha} S_{orig} - \beta, \quad (2)$$

em que  $S_{corr}$  é o valor da variável em questão corrigida e  $S_{orig}$  é o seu valor original.

Tabela 3 – Valores dos coeficientes angulares ( $\alpha$ ) e lineares ( $\beta$ ), coeficientes de correlação de Pearson ( $\rho$ ) e raiz do erro quadrático médio (REQM) antes e após as correções feitas nos dados de cada sensor

Antes				
Variável	$\alpha$	$\beta$	$\rho$	REQM
$T_1 \times T_I$	0,9877	0,2701 °C	0,9992	0,20 °C
$T_2 \times T_I$	0,9935	0,2183 °C	0,9993	0,20 °C
$RH_1 \times RH_I$	1,0501	-0,3541 %	0,9825	4,73 %
$RH_2 \times RH_I$	1,0099	-3,1585 %	0,9825	4,10 %
Depois				
Variável	$\alpha$	$\beta$	$\rho$	REQM
$T_1 \times T_I$	1,0000	0,0034 °C	0,9992	0,19 °C
$T_2 \times T_I$	1,0000	0,0015 °C	0,9993	0,18 °C
$RH_1 \times RH_I$	1,0000	0,0169 %	0,9825	3,25 %
$RH_2 \times RH_I$	1,0000	0,0309 %	0,9825	3,25 %

Figura 3 – Série temporal das temperaturas e umidades relativas para todo o período da campanha de intercomparação, após as remoções de dados na etapa de qualidade

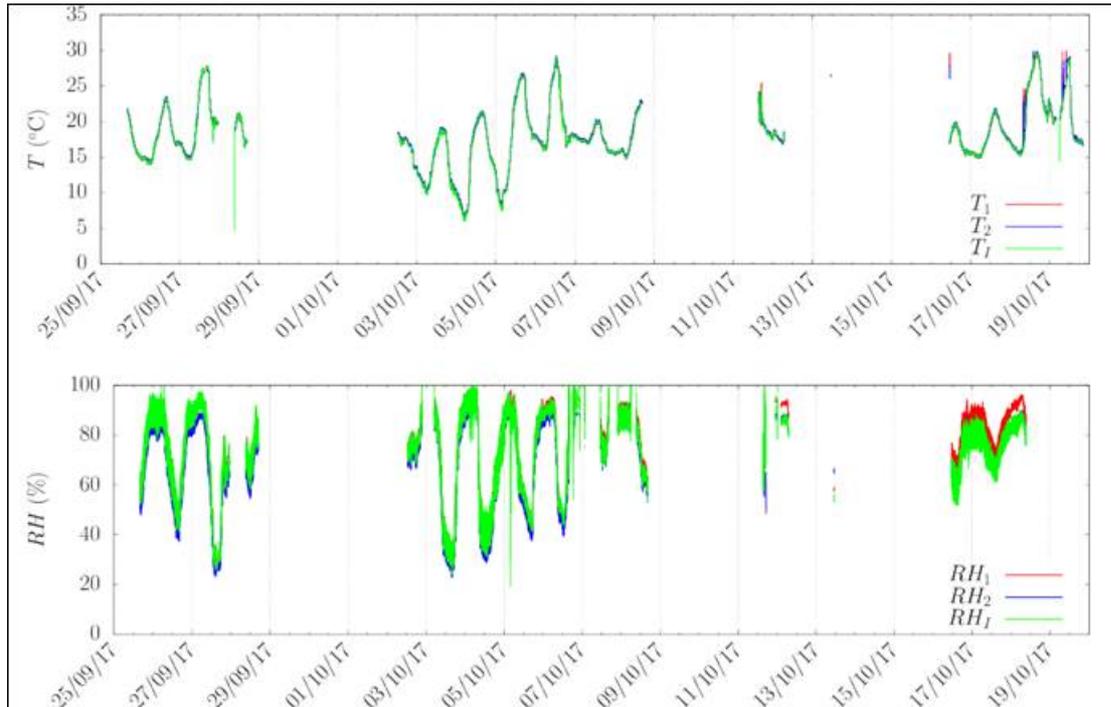


Figura 4 – Frequência de disponibilidade, em função do horário, dos dados de temperatura e umidade relativa após a remoção dos dados

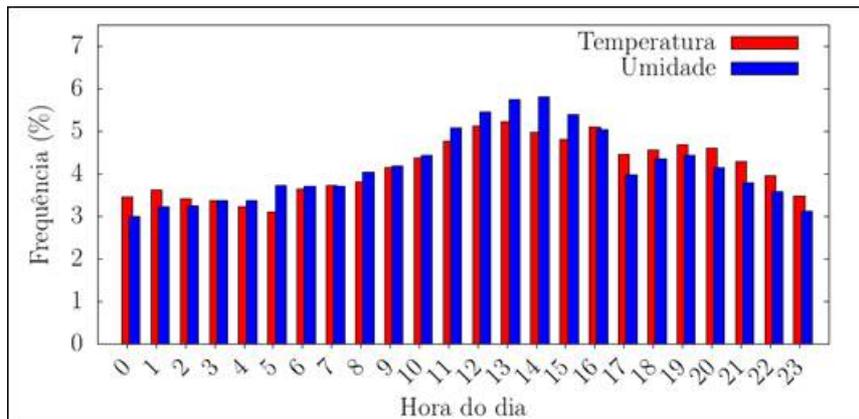
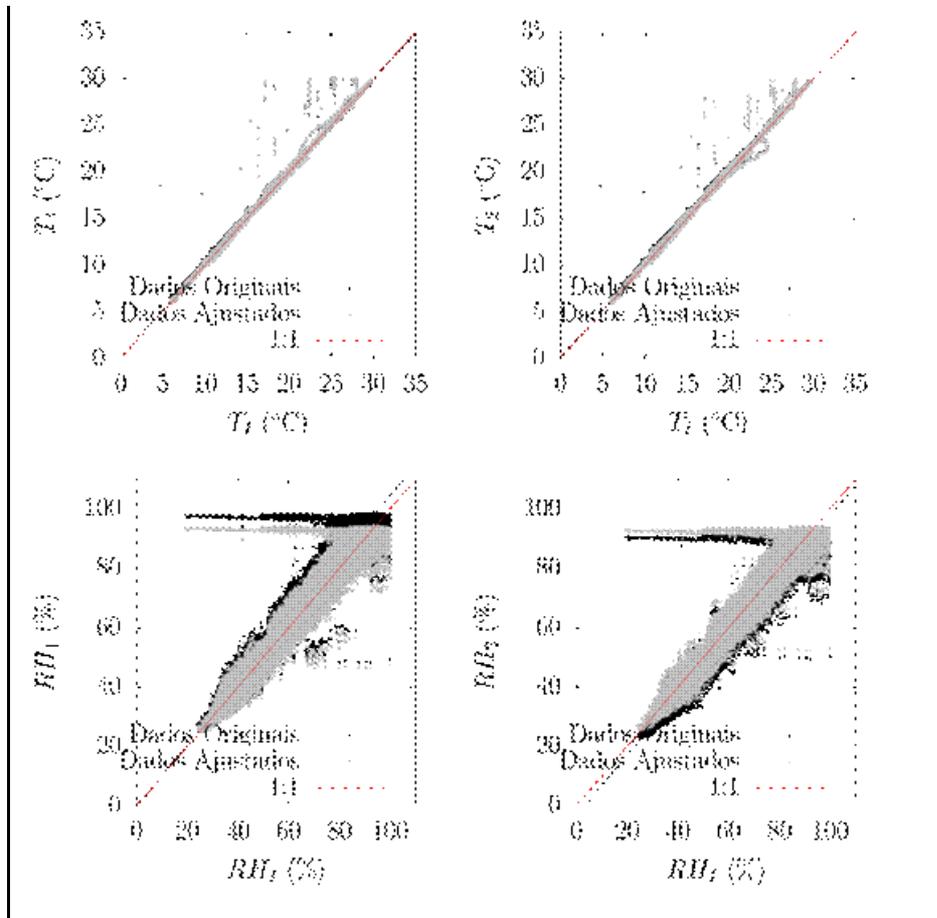


Figura 5 – Correlação entre as temperaturas e umidades relativas a serem corrigidas e as de referência antes (em preto) e depois (em cinza) das correções





### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores dos coeficientes angulares e lineares utilizados para execução dos ajustes pela expressão (2) em cada correlação, assim como os valores dos coeficientes de correlação de Pearson  $\rho$  antes e depois dos ajustes são apresentados na Tabela 3, enquanto que a dispersão dos dados é apresentada na Figura 5. Também foi calculada a raiz do erro quadrático médio (REQM) entre o sensor a ser ajustado e o de referência.

Nota-se que houve mudanças pouco significativas entre os valores ajustados e não-ajustados. Os termohigrômetros CS500 já apresentavam alta correlação com o IRGASON, mesmo estando há um tempo significativo sem calibração. Entre a temperatura e a umidade relativa, os ajustes mais significativos ocorreram nesta última, e entre os dois sensores, o CS500<sub>1</sub> é o que está mais defasado do sensor de referência. O coeficiente linear  $\beta$  de cada correlação foi o que mais sofreu mudanças.

### 4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentados resultados oriundos de ajustes de sensores para realização de intercomparações, com a intenção de corrigir sensores antigos em relação a

outro recémadquirido e calibrado. Esta tarefa antecedeu o projeto EXVERDE para todos os sensores utilizados, em que aqui foram apresentados os termohigrômetros CS500 em relação ao analisador de gases e anemômetro sônico IRGASON. Percebe-se que poucas mudanças foram observadas entre os valores corrigidos e não-corrigidos, o que mostra a robustez dos CS500.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o programa PPGEA/UFPR. Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Código 001 e Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), bolsa de pesquisa 301420/2017-3.

## REFERÊNCIAS

Campbell Scientific, I. **IRGASON Integrated CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O Open-Path Gas Analyzer and 3D Sonic Anemometer — Instruction Manual**. [S.l.: s.n.], 2015. 44 p.

CUNHA, C. L. N.; CARNEIRO, C.; GOBBI, E.; ANDREOLI, C. V. **Eutrofização em Reservatórios: Gestão Preventiva - estudo interdisciplinar na Bacia do rio Verde, PR**. 1. ed. Curitiba: Editora UFPR, 2011. v. 1. 515 p.

DIAS, N. L.; VISSOTTO, D. The effect of temperature-humidity similarity on bowen ratios, dimensionless standard deviations, and mass transfer coefficients over a lake. **Hydrological Processes**, Wiley-Blackwell, v. 31, n. 2, p. 256–269, 2017. ISSN 0885-6087. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hyp.10925>.

LEMMA/UFPR. **BACIA EXPERIMENTAL DO RIO VERDE**. 2018. Disponível em: <http://www.baciaverde.ufpr.br/>.

SHUTTLEWORTH, W. J. *Terrestrial hydrometeorology*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2012.