

APLICAÇÃO DO MÉTODO DA RENOVAÇÃO DO AR NA SUPERFÍCIE EM ÁREA DE MANDIOCA

Aureo Silva de Oliveira¹, Richard L. Snyder², Cayle Little³, Neilon Duarte da Silva⁴,
Maurício Antônio Coelho Filho⁵

RESUMO: Existem poucos estudos associados a balanço de energia e evapotranspiração no Brasil que envolvam uso do método da renovação do ar na superfície (*surface renewal*). Diante disso, o presente estudo teve como objetivo principal quantificar os componentes do balanço de energia a partir do método de renovação do ar na superfície em área de mandioca. O período analisado foi de maio a junho de 2019. Uma plataforma de coleta de dados foi instalada em área de mandioca em uma das fazendas da empresa Bahiamido S/A, Estado da Bahia. Esta plataforma possui dois sistemas de sensores, um de com coleta de alta frequência (*eddy covariance*, EC + renovação do ar da superfície, SR) e outro de baixa frequência composto de instrumentos como saldo radiômetro, placas de fluxo de calor no solo, termômetro de solo e medidor de umidade do solo. Para o período de medições maio de 2019 verificou-se o valor de 1,08 para o fator de calibração $H_{EC} \times H_{SR}$ com R^2 de 0.90, portanto, com ótima correlação entre o H medido pelo sistema EC (medida independente) e o H medido pelo método SR. Ótima correlação também foi obtida entre fluxos de calor latente LE oriundos dos dois métodos e determinados como resíduo do balanço de energia. A renovação do ar na superfície, mostrou-se, portanto, método adequado para quantificação da demanda hídrica da cultura mandioca no Recôncavo da Bahia.

PALAVRAS-CHAVE: cassava, fluxo de calor sensível, termopar ultrafino

USE OF THE SURFACE RENEWAL METHOD OVER A CASSAVA FIELD

ABSTRACT: There are few studies associated with energy balance and evapotranspiration in Brazil involving the use of the surface renewal method. Therefore, the present study aimed to

¹ Prof. PhD, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Rua Rui Barbosa, 710, CEP 44380-000, Cruz das Almas, BA, Fone (75) 3621-2798 ramal 209. E-mail: aureo@ufrb.edu.br

² Professor PhD, University of California, Davis, CA, USA.

³ Pesquisador, California Department of Water Resources, Sacramento, CA, USA.

⁴ Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFRB, Cruz das Almas, BA

⁵ Pesquisador DSc, Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA

quantify the energy balance components by means of the surface renewal method in a cassava field. The period analyzed was from May to June 2019. A data collection platform was installed in a cassava area on one of the farms of Bahiamido SA, State of Bahia. This platform features two sensor systems, one with capability to collect data at high frequency (eddy covariance, EC + surface renewal, SR) and other to collect data at low frequency this made up of instruments such as net radiometer, ground heat flux plates, soil thermometer and soil moisture meter. For the measurement period May 2019, a value of 1.08 was found for the $H_{EC} \times H_{SR}$ calibration factor with R^2 of 0.90, therefore, with an excellent correlation between the H measured by the EC system (independent measurement) and the H measured by the SR method. Optimal correlation was also obtained between latent heat fluxes LE from both methods through the energy balance approach. Therefore, the surface renewal proved to be an adequate method for quantifying the water demand of cassava in the Recôncavo da Bahia region.

KEYWORDS: cassava, sensible heat flux, fine-wire thermocouple

INTRODUÇÃO

A quantificação dos componentes do balanço de energia (saldo de radiação, fluxo de calor na água e/ou no solo, fluxo de calor latente e sensível) se dá pela importância do balanço para fins agronômicos, hidrológicos, mas principalmente para a modelagem dos processos de troca de massa e energia que ocorrem na interface superfície-atmosfera.

O saldo de radiação (R_n) simplificado no sistema solo-planta-atmosfera é repartido entre os três principais processos: aquecimento do ar, aquecimento do solo e evapotranspiração, sendo o conhecimento dos mesmos útil para utilização eficiente das técnicas de irrigação (Cunha et al., 2002). O fluxo calor sensível (H) representa a fração de R_n no sistema para aquecer o ar. O fluxo de calor latente (LE), também parte de R_n , corresponde à energia envolvida na mudança de fase da água no processo de evapo(transpi)ração.

O componente H no contexto do balanço de energia à superfície é o mais complexo em termos de medição ou estimativa. Para tanto, alguns métodos são comumente utilizados, tal como covariância de vórtices turbulentos (Swinbank, 1951) e a renovação do ar na superfície (Paw U et al., 1995; Snyder et al., 1996). Com o H obtido dessa maneira, o fluxo de calor latente LE (evapotranspiração) pode ser determinado como resíduo da equação do balanço de

energia, desde que medições concomitantes de radiação líquida (R_n) e fluxo de calor no solo (G) sejam também realizadas.

Partindo dessa premissa, esse trabalho teve por objetivo quantificar os componentes do balanço de energia a partir da aplicação do método da renovação do ar na superfície (*surface renewal*) em área de mandioca.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Fazenda Novo Horizonte, Unidade Agroindustrial da Bahiamido AS, BR 101, km 279, município de Laje, Bahia, nas coordenadas geográficas: $13^{\circ}06' S$; $39^{\circ}16' W$ e altitude de 200 m acima do nível do mar (Figura 1).

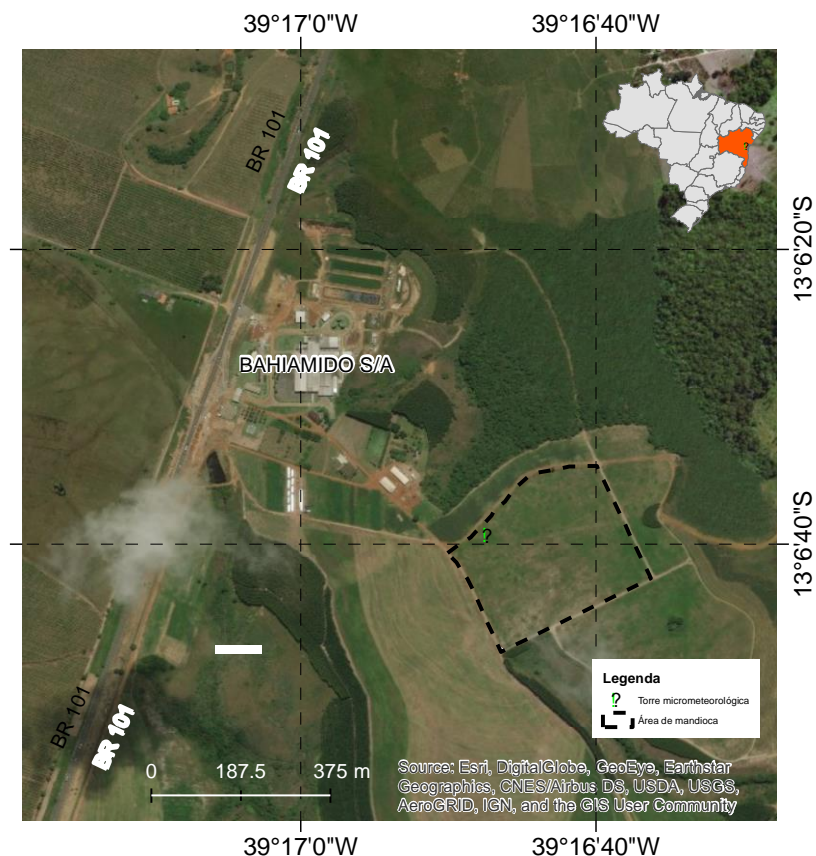


Figura 1. Área de estudo em mandioca na fazenda da empresa Bahiamido

Torre micrometeorológica de coleta de dados

Uma plataforma de coleta de dados (Figura 2) está instalada no campo de cultivo de mandioca (área experimental) conforme indicado na Figura 1. Esta plataforma contempla dois sistemas de sensores, um de coleta de alta frequência e outro de baixa frequência. Para o

sistema cujas informações (variáveis) são medidas em alta frequência tem-se: um sistema *eddy covariance* (EC) para determinação do fluxo de calor sensível (H_{EC}), representado por um anemômetro sônico 3D (*modelo 81000, R. M. Young, USA*) e um sistema de renovação do ar da superfície (SR), objeto desse trabalho, representado por um termopar ultrafino do tipo E com fios de 76,2 μm de diâmetro na junção de medição (*modelo FW3, Campbell Scientific, USA*).

Na parte de coleta de dados em baixa frequência, tem-se informações como radiação líquida, temperatura do solo, umidade do solo, fluxo de calor no solo e precipitação.

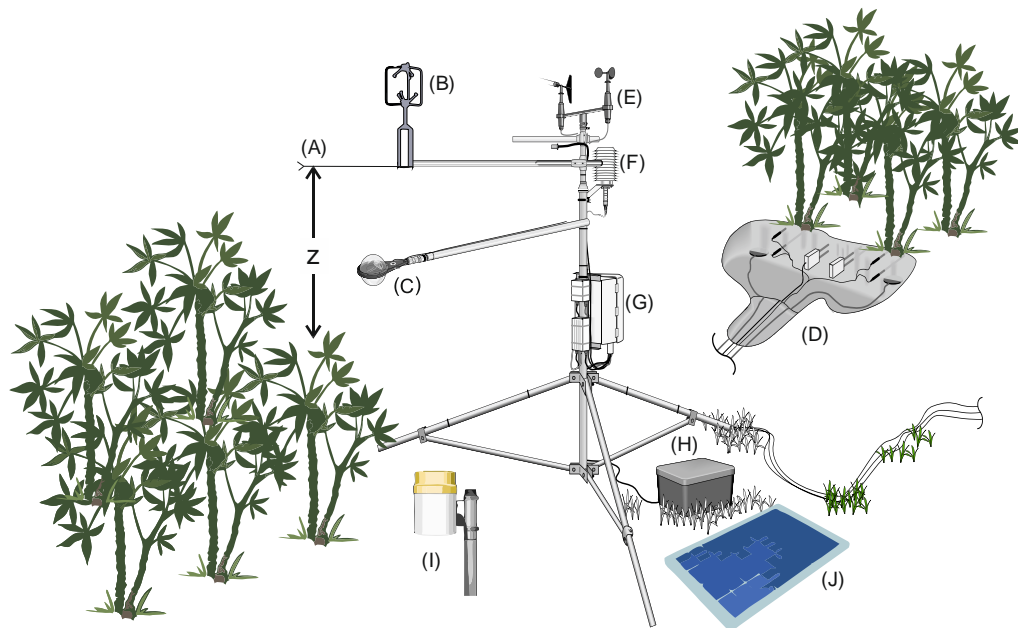


Figura 2. Plataforma de coleta de dados para medida da evapotranspiração. Termopar ultrafino (A); anemômetro sônico 3D (B); saldo radiômetro (C); sistema de sensores para determinação do fluxo de calor no solo (D); anemômetro de canecas (E); termohigrômetro (F); datalogger (G); bateria (H); pluviômetro (I) e painel solar (J).

Método da renovação do ar na superfície (Surface Renewal)

No presente estudo, flutuações de temperatura do ar e velocidade vertical do vento foram medidas à frequência de 10 Hz por meio de datalogger modelo CR1000 (*Campbell Scientific, USA*). Após *download*, em planilha eletrônica dados médios de 30 minutos foram processados conforme metodologia proposta por Snyder et al. (1996).

Paw U et al. (1995) e Snyder et al. (1996) foram os primeiros a propor a estimativa de H por meio da técnica da renovação do ar na superfície, amplamente conhecida na engenharia química. Segundo os autores, o cálculo da densidade de fluxo de calor sensível é feita pela Equação 1.

$$H_{SR} = \alpha H_{NC} = \alpha \rho c_p \frac{dT}{dt} z \approx \alpha \rho c_p \frac{a}{l + s} z \quad (1)$$

Em que,

H_{SR} - fluxo de calor sensível via RAS calibrado pelo sistema de *eddy covariance* (EC) (W m^{-2})

α - fator de calibração do método RAS vs EC (adimensional)

H_{NC} - fluxo de calor sensível não calibrado via RAS (W m^{-2})

ρ - densidade do ar (kg m^{-3})

c_p - calor específico do ar à pressão constante ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)

T - temperatura do ar (K)

t - tempo (s)

dT/dt - taxa de variação da temperatura da parcela de ar (K s^{-1})

a - amplitude da rampa de temperatura (s)

$(l + s)$ - inverso da frequência da rampa (s)

z - altura de medição da temperatura (altura do termopar ultrafino) (m)

Traços de temperatura do ar obtidos sob alta frequência mostram padrões tipo “rampas” resultantes de estruturas turbulentas coerentes reportadas em vários estudos (Gao et al., 1989; Shaw et al., 1989; Paw U et al., 1992). Na teoria das estruturas coerentes uma parcela de ar “mergulha” de cima para a superfície e enquanto permanece em contato com a copa da vegetação, energia é transferida levando ao aquecimento ($H > 0$) ou resfriamento do ar ($H < 0$) (Snyder et al., 1996). Na sequência, em frações de segundos, a parcela de ar é então ejetada da superfície e substituída (renovada) por uma outra em ciclos sucessivos.

Depois que uma parcela de ar entra em contato com a copa das plantas, no caso de superfície vegetada (Figura 3a), passa por um período quiescente, onde pouca troca de energia ocorre e é refletida por mudanças mínimas de temperatura com o tempo (Figura 3e). Eventualmente ocorre troca de energia com a superfície e a temperatura medida com o termopar aumenta ($H > 0$) mostrando um padrão tipo (Figura 3f). A parcela em frações de segundos seja ejetada (Figura 3c) com queda brusca da temperatura (Figura 3g). Na sequência é substituída por outra (Figura 3d) e o processo de trocas de energia e variação de temperatura continua (Figura 3h).

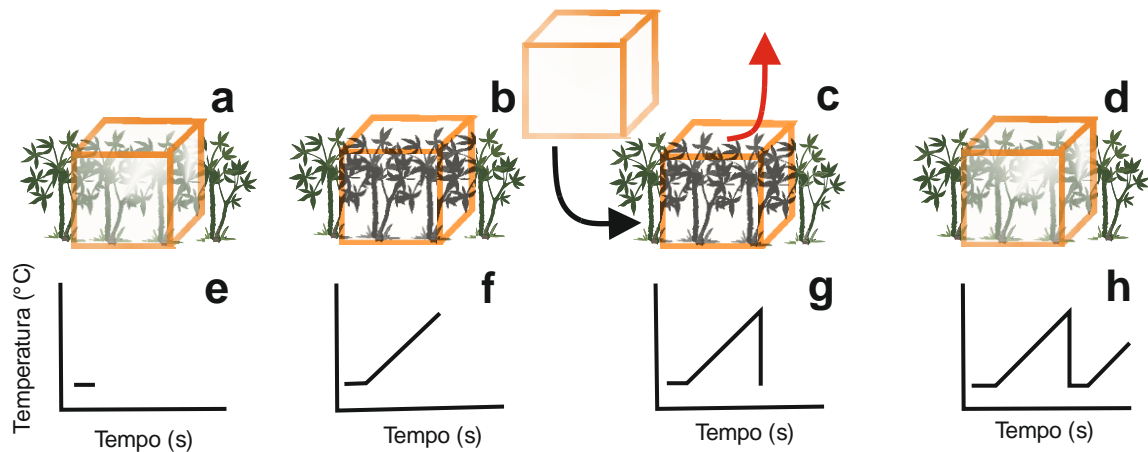


Figura 3. Teoria do processo de renovação do ar para medição do calor sensível (H) na cultura da mandioca

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Balço de energia

A Figura 4 apresenta um conjunto de gráficos que representam o fechamento do balanço de energia da superfície para o mês de maio com dados horários. No que se refere ao objeto desse trabalho, a Figura 4A apresenta a relação entre o H_{EC} medido pelo sistema de EC e o H medido pelo método RAS (H_{NC}). Dessa forma, obtém-se a inclinação da reta (fator de calibração α) da relação $H_{EC} \times H_{NC}$ para correção do fluxo de calor sensível de H_{NC} para H_{SR} . O valor de α para o mês de maio foi 1,08 com R^2 de 0,90. A Figura 4B mostra a relação entre H_{EC} e H_{SR} .

A Figura 4C mostra a ótima relação entre os fluxos de calor latente obtidos por ambos os métodos após correção do H . A Figura 4D apresenta o fechamento do balanço de energia ao relacionar $LE_{EC} + H_{NC}$ com a energia disponível ($R_n - G$), sendo $LE_{EC} = R_n - G - H_{EC}$. Como o sistema EC mede diretamente o H , os valores de LE_{EC} passam a ser usados como referência. Nesse sentido, a inclinação da reta apresentou valor próximo a 1 com os fluxos turbulentos representando 96% aproximadamente da energia disponível à superfície, mesmo com o H não calibrado. Rosa et al. (2015) realizaram medidas de H e LE via *eddy covariance* sobre algodão no norte de Israel. Os autores obtiveram inclinações da reta do fechamento do balanço energético de 0,86 e 0,99 em duas áreas experimentais. Também trabalhando com algodão, Haymanna et al. (2019), obtiveram coeficientes de inclinação do fechamento do balanço da ordem de 0,96 e 0,84 (com R^2 de 0,95 e 0,92).

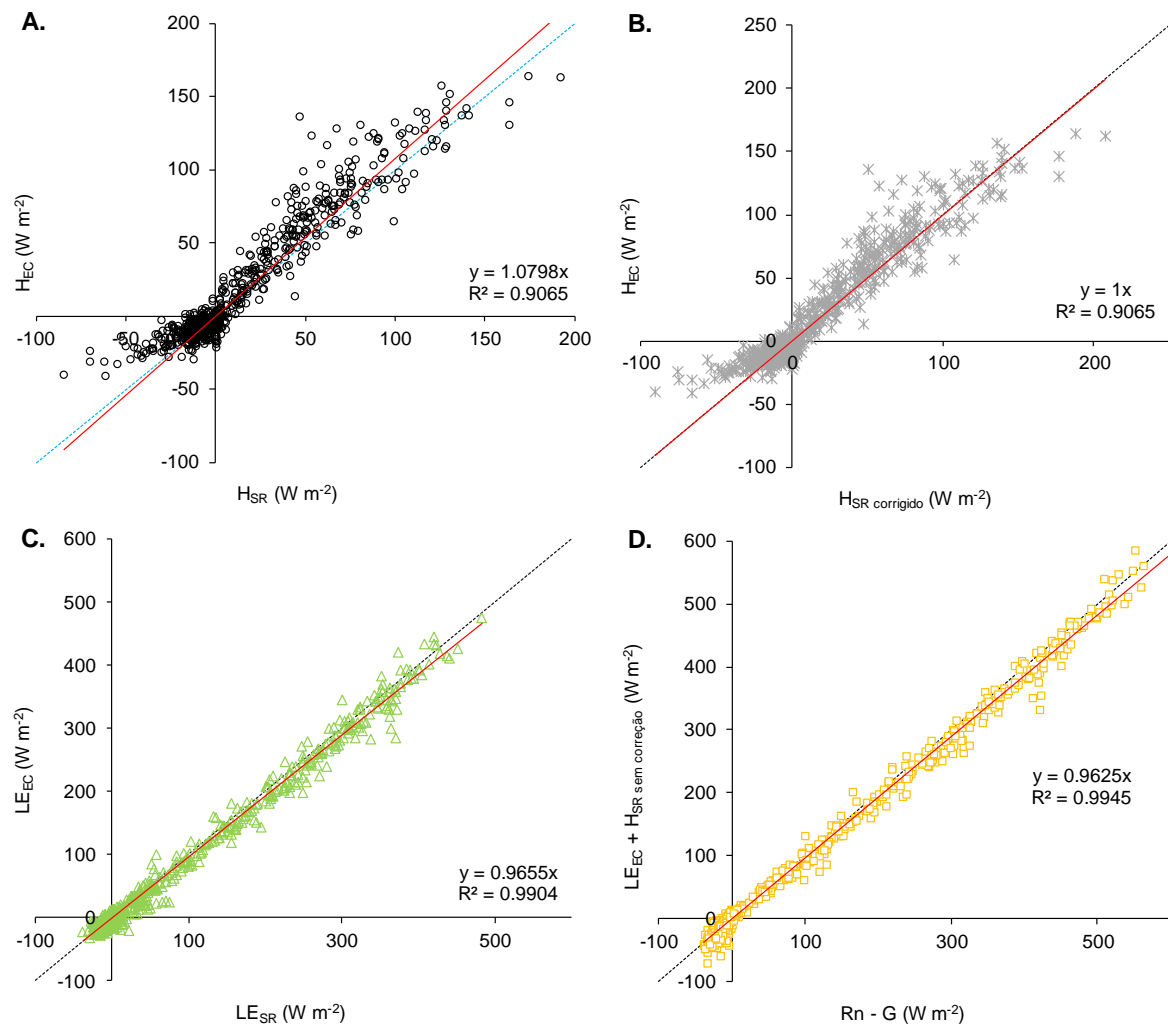


Figura 4. Fechamento do balanço de energia para os meses de maio 2019 com base nos fluxos turbulentos medidos via EC e SR.

Ainda na Figura 4A, em que se tem o H_{EC} em função do H_{NC} , a dispersão dos dados resultou num RMSE igual a 13,5 W m⁻². Após a calibração do H (Figura 4B), o valor do RMSE reduziu para 13,1 W m⁻². Nesse trabalho o método RAS teve performance superior ao verificado por Nile (2010) na África do Sul. Diferenças entre valores medidos de H_{EC} e calibrados de H_{SR} foram maiores, com RMSE igual a 29,4 W m⁻². Com déficits baixos de vapor d'água associados a alta nebulosidade no meio do ano no Recôncavo da Bahia, o fluxo de calor sensível tem papel discreto no balanço de energia, tendo a radiação solar como “ator principal”.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados aqui apresentados conclui-se que para o período de dados analisados o método da renovação do ar na superfície (*surface renewal*) apresentou desempenho satisfatório na determinação dos fluxos turbulentos de calor sensível, principalmente, e de calor latente para a mandioca cultivada no Recôncavo da Bahia, usando-se o método da covariâncias de vórtices turbulentos (eddy covariance) como referência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUNHA, A. R.; ESCOBEDO, J. F.; KLOSOWSKI, E. S. Estimativa do fluxo de calor latente pelo balanço de energia em cultivo protegido de pimentão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 6, p. 735-743, 2002.
- GAO, W.; SHAW, R.H.; PAW U, K.T. Observation of organized coherent structure in turbulent flow within and above a forest canopy. *Boundary Layer Meteorology*, v. 47, p. 349-377, 1989.
- HAYMANN, I.; LUKYANOV, V.; TANNY, J. Effects of variable fetch and footprint on surface renewal measurements of sensible and latent heat fluxes in cotton. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 268, p. 63-73, 2019.
- PAW U, K.T.; BRUNET, Y.; COLLINEAU, S.; SHAW, R.H.; MAITANI, T.; QIU, J.; HIPPS, L. On coherent structures in turbulence within and above agricultural plant canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 61, p. 55-68, 1992.
- PAW U, K.T.; QIU, J.; SU, H.B.; WATANABE, T.; BRUNET, Y. Surface renewal analysis: a new method to obtain scalar fluxes. *Agriculture and Forest Meteorology*, v. 74, p. 119-137, 1995.
- NILE, E.S. Sensible Heat Flux Estimation under Unstable Conditions for Sugarcane using Temperature Variance and Surface Renewal. PhD Dissertation in Agro meteorology, 190 p. (Soil-Plant-Atmosphere Continuum Research Unit, School of Environmental Sciences, University of KwaZulu-Natal, South Africa).

ROSA, R.; TANNY, J. Surface renewal and eddy covariance measurements of sensible and latent heat fluxes of cotton during two growing seasons. *Biosystems Engineering*, v. 136, p. 149–161, 2015.

SHAW, R.H.; PAW U, K.T.; GAO, W. Detection of temperature ramps and flow structures at a deciduous forest site. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 47, p. 123-138, 1989.

SNYDER, R.L.; SPANO, D.; PAW U, K.T. Surface renewal analysis of sensible and latent heat flux density. *Boundary Layer Meteorology*, v. 77, p. 249-266, 1996.

SWINBANK, W.C. The measurement of vertical transfer of heat and water vapor by eddies in the lower atmosphere. *Journal of Meteorology*, v. 8, n. 3, p. 135-145, 1951.