

Dinâmica dos Fluxos de Energia e Fechamento do Balanço em Floresta Tropical Sazonalmente Seca (Caatinga)

¹Fábio da Silva Nascimento, ²Bergson Guedes Bezerra, ³Yuri Patrick Pessoa da Silva, ⁴Arthur Vinicius Souza da Costa, ⁵Levi Nascimento de Lima, ⁶Leticia Sthefanny Nóbrega da Costa.

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) – fabio.nascimento@ufrn.edu.br; ²Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) – bergson.bezerra@gmail.com; ³Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) – yur08621@gmail.com; ⁴Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) – Arthur702vsc@gmail.com; ⁵Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) – sad.levi151@gmail.com; ⁶Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) – leticia.sthefanny.700@ufrn.edu.br

***Biodiversidade e Preservação
Regulação Climática***

Resumo

Este estudo analisou a variabilidade do balanço de energia na Caatinga, na Floresta Nacional de Açu (RN). O objetivo foi investigar o fechamento e particionamento dos fluxos energéticos sob diferentes regimes sazonais. A metodologia utilizou o sistema de covariância de vórtices (Eddy Covariance) e sensores micrometeorológicos durante o ano de 2024, aplicando regressão linear por mínimos quadrados ordinários. Os resultados demonstraram um fechamento satisfatório do balanço, com inclinações de 0,73 para médias de meia hora e 0,71 para médias diárias, associadas a altos coeficientes de determinação (R^2 de 0,89 e 0,98). O saldo de radiação apresentou baixa flutuação estacional, mas seu fracionamento variou drasticamente com o regime de chuvas: na estação seca, o calor sensível predominou (58% do saldo radiativo), enquanto no período chuvoso o calor latente absorveu a maior fração disponível (80%), impulsionado pelo reflorestamento vegetativo da copa. Conclui-se que o particionamento de energia no ecossistema é estritamente regulado pela disponibilidade hídrica e controlado por processos biofísicos locais.

Palavras-chave: Covariância de vórtices; Estresse hídrico; Fluxos turbulentos; Semiárido potiguar.

INTRODUÇÃO

A partição do saldo de radiação à superfície rege os principais processos termodinâmicos e biofísicos da interface solo-vegetação-atmosfera. Em ecossistemas áridos e semiáridos, a dinâmica sazonal de disponibilidade de água funciona como um fator limitante primário na estruturação e funcionamento do bioma. Contudo, há uma lacuna no entendimento refinado de como anomalias de precipitação alteram o fechamento do balanço de energia a curto prazo nestas florestas sazonais. A justificativa deste estudo se baseia na necessidade de modelar respostas fenológicas e climáticas diante de cenários de mudanças no ciclo hidrológico do semiárido brasileiro. Diante disso, o objetivo desta pesquisa consiste em investigar a variabilidade sazonal do fechamento e do particionamento do balanço de energia sobre o bioma Caatinga, visando quantificar os impactos da transição seca-chuva sobre as componentes de calor sensível e latente.

METODOLOGIA

Esta pesquisa se configura como um estudo estritamente quantitativo e experimental da micrometeorologia. A coleta de dados foi conduzida em uma área preservada de Caatinga hiperxerófila na Floresta Nacional de Açu (Flona de Açu), localizada em Assú-RN (5°34'34.8"S, 36°56'26.2"W), onde o clima predominante é o semiárido BSh e o solo é Neossolo Litólico Eutrófico. As etapas envolveram o monitoramento contínuo durante o ano de 2024 através de uma torre de 10 metros acoplada a um sistema Eddy Covariance (EC), operando a 10 Hz para fluxos turbulentos. A análise estatística aplicada empregou regressão linear pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) para validar o grau de fechamento do balanço ($R_n - G = H + LE$), avaliando dados meteorológicos integrados em intervalos de 30 minutos e médias diárias acumuladas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises micrometeorológicas iniciais revelaram um ano de precipitação atípico para o semiárido potiguar. A precipitação acumulada atingiu 809,0 mm em 2024, superando

consideravelmente a média histórica da região (650 mm), conforme discriminado na Tabela 1. Esta elevação no aporte de umidade condicionou a reestruturação imediata da partição energética local.

Tabela 1. Valores médios anuais dos parâmetros climáticos obtidos em 2024

Período	Rs (W m^{-2})	T ($^{\circ}\text{C}$)	UR (%)	Prec. (mm)
Ano de 2024	392,1	28,0	79,0	809,0

Fonte: Nascimento (2025).

A aplicação da regressão por MQO demonstrou um fechamento estatístico robusto, com coeficientes de inclinação linear de 0,73 (dados de 30 min) e 0,71 (dados diários), obtendo elevados R^2 de 0,89 e 0,98. Esses índices confirmam a consistência das medições e corroboram diretamente pesquisas anteriores desenvolvidas em áreas preservadas de Caatinga hiperxerófila por Campos et al. (2019) e Borges et al. (2020), que reportaram taxas similares de fechamento sob condições de densidade vegetal nativa estável.

Em relação ao particionamento de fluxos térmicos, verificou-se uma transição abrupta governada pelo estresse hídrico. Embora o saldo de radiação (R_n) tenha permanecido estável, o fluxo de calor latente (LE) absorveu 80% do R_n no ciclo chuvoso, estimulado pela rápida emissão de folhas e transpiração do estrato arbóreo-arbustivo. Em contrapartida, o estresse severo da estação seca forçou a senescência foliar, derrubando o LE para 12% e predominando o calor sensível (H) com 58% do saldo total, conforme ilustrado de forma pormenorizada na Tabela 2.

Tabela 2. Componentes energéticos e frações médias de partição observadas sazonais

Componente / Fração	Anual	Estação Seca	Estação Chuvosa
R_n (W m^{-2})	169,0	196,5	144,4
H (W m^{-2})	70,8	114,4	30,6
LE (W m^{-2})	73,5	24,4	115,5
G (W m^{-2})	-8,0	-2,3	-13,1

β (H/LE)	0,96	4,70	0,27
H/Rn	0,42	0,58	0,21
LE/Rn	0,43	0,12	0,80
G/Rn	-0,05	-0,01	-0,09

Fonte: Nascimento (2025).

CONCLUSÃO

O balanço de energia no bioma Caatinga é regulado estritamente pela sazonalidade da água no solo, que atua como o modulador central das respostas biofísicas da cobertura florestal. Diante disso, a pesquisa responde diretamente aos seus objetivos ao demonstrar que o calor latente rege o ecossistema no período de chuvas e o calor sensível assume o controle no período de estresse hídrico. Ademais, os índices obtidos validam de forma estatística e os dados amostrais do sistema climatológico da Flona de Açu.

REFERÊNCIAS

ABOUTALEBI, M. et al. Assessment of Different Methods for Shadow Detection in High-Resolution Optical Imagery and Evaluation of Shadow Impact on Calculation of NDVI, and Evapotranspiration. *Irrigation Science*, v. 37, p. 407–429, 2019.

AKHMETOV, R. T.; KULESHOVA, L. S.; MUKHAMETSHIN, V. V. Application of the Brooks-Corey model in the conditions of lower cretaceous deposits in terrigenous reservoirs of Western Siberia. *In: IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING*, 2019, Bristol. Proceedings... Bristol: IOP Publishing, 2019. v. 560, p. 012004.

ALBERGEL, C. et al. Observed and modelled ecosystem respiration and gross primary production of a grassland in southwestern France. *Biogeosciences*, v. 7, p. 1657–1668, 2010a.

ALBERGEL, C. et al. Monitoring of water and carbon fluxes using a land data assimilation system: a case study for south-western France. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 14, p. 1109–1124, 2010b.

ALEMOHAMMAD, S. H. et al. Water, Energy, and Carbon with Artificial Neural Networks (WECANN): a statistically based estimate of global surface turbulent fluxes and gross primary productivity using solar-induced fluorescence. *Biogeosciences*, v. 14, p. 4101–4124, 2017.

ALKAMA, R. et al. Global Evaluation of the ISBA-TRIP Continental Hydrological System, Part I: Comparison to GRACE Terrestrial Water Storage Estimates and In Situ River Discharges. *Journal of Hydrometeorology*, v. 11, p. 583–600, 2010.

ALLEN, R. G. et al. Evaporation and Transpiration. *In*: WOOTTON, et al. (ed.). *ASCE Handbook of Hydrology*. New York: ASCE, 1996. cap. 4, p. 125–252.

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R. G. et al. Evapotranspiration from satellite images for water management and hydrologic balances. *In*: ICID CONFERENCE, 2002, Montreal. *Proceedings...* Montreal: ICID, 2002. CD-ROM.

ALLEN, R. G. et al. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 133, p. 380–394, 2007.

ALLEN, R. G. et al. Evapotranspiration Information Reporting: I. Factors Governing Measurement Accuracy. *Agricultural Water Management*, v. 98, p. 899–920, 2011.