

## Estudo da razão de Bowen em uma área de floresta no sudoeste da Amazônia

Study of the Bowen ratio in area a Forest no southwest Amazon

Maylla Caroline Rodrigues Soares<sup>1</sup>, Alberto Dresch Webler<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduanda em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Fundação  
mayllacaroline01@gmail.com

Universidade Federal de Rondônia - UNIR, Porto Velho, Brasil

<sup>2</sup>Doutorando em Engenharia Civil – COPPE/UFRJ, Professor do Departamento de Engenharia Ambiental,  
Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, Ji-paraná, Brasil

### Resumo

*As variações ocorridas principalmente no ciclo hidrológico associam-se as mudanças antrópicas. No Brasil já são vistas possíveis alterações na região sudoeste que vem sofrendo com a escassez hídrica em seus reservatórios. Compreender a razão de Bowen na região amazônica torna-se importante para tentar conhecer esse ecossistema, já que tais informações se conectam as alterações climáticas regionais. Foram analisados os fluxos de calor latente ( $\lambda E$ ) e calor sensível ( $H$ ) na REBIO Jaru para determinar a razão de Bowen e buscar possíveis interações climáticas nos períodos úmido, úmido-seco, seco e seco-úmido no ano de 2009. Os resultados observados nesses períodos na razão de Bowen foram: 0.21; 0.24; 0.30; 0.21, e mostram que a floresta pouco se altera com a sazonalidade durante o ano ao contrário dos biomas de transição (Amazônia – cerrado) e da área de pastagem.*

**Palavras-chave:** Calor sensível, calor latente, região amazônica, interações climáticas, ciclo hidrológico.

### Abstract

*The changes mainly occurred in the hydrological cycle are associated with anthropogenic changes. In Brazil are already seen possible changes in the southwestern region that has suffered from water scarcity in their reservoirs. Understanding the Bowen ratio in the Amazon region becomes important to try to understand this ecosystem, since such information connect regional climate change. The latent heat fluxes were analyzed ( $\lambda E$ ) and sensible heat ( $H$ ) in REBIO Jaru to determine the reason for Bowen and seek possible climate interactions in humid, wet-dry, dry, dry-wet periods in 2009. The results observed in these periods in the Bowen ratio were 0.21; 0.24; 0.30; 0.21, and show that the forest little changes with seasonality during the year unlike the transition of biomes (Amazon - cerrado) and pasture area.*

**Keywords:** Sensible heat, latent heat, Amazon, climate interactions, hydrological cycle.

## 1 Introdução

Os atuais eventos climáticos vêm preocupando o mundo devido aos danos econômicos e sociais por eles causados. As mudanças no uso e cobertura do solo, as práticas de cultivo e outras ações antrópicas são responsáveis pelas prováveis mudanças no clima, como o aumento de temperatura, a diminuição nas chuvas e na umidade do ar, variações na incidência de radiação solar e sequestro e emissão de carbono (NOBRE, SAMPAIO e SALAZAR, 2007).

No Brasil são observadas algumas mudanças no ciclo hidrológico e a região sudeste vem enfrentando uma seca severa em seus reservatórios de abastecimento de água ocasionada pela diminuição da precipitação. Ao contrário a região norte sofreu com cheias no ano de 2014 que chegaram a isolar o estado do Acre. Nesse aspecto a Amazônia é fundamental para a manutenção do regime de chuvas no Sudeste, como mostrado no projeto Rios Voadores.

Desta forma qualquer alteração na floresta amazônica terá possivelmente prejuízos locais e regionais no Brasil, como a supressão da vegetação na região Amazônica ao longo do tempo e a diminuição do vapor produzido, as regiões abastecidas poderão sofrer consequências sérias em regime permanente (Fearnside, 2015).

A região amazônica vem substituindo grande parte sua cobertura vegetal por áreas de pastagem ou pelo crescente cultivo de grãos. A lógica por trás da ligação entre a agricultura e o desmatamento é simples, para que haja aumento da produção agrícola, deve se remover predominantemente as áreas de florestas, inserindo assim o gado e a soja. Desse modo os altos lucros econômicos da agricultura, tornam-se arma de influência política, que conduz o investimento governamental em infraestrutura de transporte, necessário para o escoamento dos produtos agrícolas à diversos mercados (EWERS, LAURENCE, SOUZA, 2008).

Essa transformação trás implicações ao ciclo hidrológico que vincula-se ao balanço de energia através dos fluxos destinados ao calor latente

( $\lambda E$ ) e o calor sensível (H) ambos responsáveis por valores superiores a 80 % do consumo no fechamento do balanço de energia (VON RANDOW et al, 2004 e AGUIAR, 2005). O método da razão de Bowen permite analisar essa influência de partição de energia sobre o clima da região em curto prazo, através da delimitação de estações ao longo do ano.

Acompanhar os fluxos de energia de uma área de floresta torna-se importante para verificar possíveis alterações climáticas, gerenciar método de uso e manutenção do equilíbrio dessas áreas que possuem papel fundamental na dinâmica hídrica da microrregião.

Por isso o presente trabalho tem como objetivo verificar através do método de razão de Bowen o uso da energia numa área de floresta na Amazônia, separados por período ao longo do ano 2009 e explicar suas possíveis interações com a sazonalidade climática da região.

## 2. Material e métodos

A pesquisa foi desenvolvida em um sítio experimental pertencente à rede de torres do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA, em Rondônia, sendo este uma área de floresta, situado na Reserva Biológica do Jaru (REBIO Jaru) (10°11'11,4"S; 61°52'29,9"W), em Ji-Paraná no estado de Rondônia. A floresta é classificada por Culf et al., (1997) como Floresta Ombrófila Aberta, algumas árvores emergentes chegam a medir 45m (RUMMEL et al., 2002).

As medições foram realizadas no ano de 2009, os dados sobre o calor sensível (H) e de calor latente ( $\lambda E$ ) foram medidos por um sistema alta frequência de superfície, o equipamento usado é anemômetro sônico tridimensional (Solent 1012R2, Gill Instruments, Lymington, UK) que mede as três componentes da velocidade do vento e a temperatura do ar; e um analisador de gás por infravermelho de caminho aberto (IRGA, Li-7500, LICOR Inc., Lincoln USA que realiza as medições das concentrações do vapor de água.

Os sensores possuem uma frequência de 10,4Hz e armazenava os dados brutos em arquivos a cada 30 minutos, através um

microcomputador tipo "palmtop". Os dados brutos foram processados no software Alteddy (ELBERS, 1998) desenvolvida pela Alterra Green World Research a fim de se obter os fluxos turbulentos de energia (fluxo de  $\lambda E$  e H) através do sistema de correlação de vórtices turbulentos (*EddyCorrelation*).

A Razão de Bowen, é encontrada através de dois grandes componentes do Balanço de Energia, os dados foram adquiridos na Reserva Biológica do Jaru, e seus resultados foram obtidos a partir da seguinte equação:

$$\beta = \frac{H}{\lambda E}$$

Onde:

$\beta$  - Razão de Bowen; H – Calor sensível;  $\lambda E$  - Calor Latente.

O aproveitamento dos dados de 2009 está descrito na tabela 1 e a limpeza de dados foram feitas conforme descritos por Randow, et al, 2004.

Tabela 1 – Aproveitamento de dados de calor sensível (H) e calor latente ( $\lambda E$ ) por período.

Período	Aproveitamento	
	H	$\lambda E$
Úmido	86,54%	79,99%
Úmido-seco	97,78%	78,13%
Seco	74,71%	69,11%
Seco-úmido	88,59%	75,52%

### 3 Resultado e discussão

Na REBIO Jaru, o índice de precipitação médio anual apresenta-se superior a 2000 mm (WEBLER et al, 2007), o período úmido é característico de janeiro a março, úmido-seco de abril a junho, seco de julho a setembro e seco-úmido de outubro a dezembro.

Os dados estudados no ano de 2009 foram caracterizados com um período de transição entre o fenômeno do El ninã e o El ninõ (a partir de junho). A La ninã trouxe o excesso de chuva para as regiões norte, nordeste e sudeste do país, e os valores ficaram abaixo da média na região

central. Já o El ninõ ocasionou muita chuva no sul e sudeste e as diminuiu nas regiões norte e nordeste do país (ALVES et al, 2010).

A razão de Bowen é calculada entre o fluxo de  $\lambda E$  e o H, essa relação pode ser crítica, quando apresenta desequilíbrios na atmosfera, pois está relacionada à camada limite, o tempo e o clima, ligada ao ciclo hidrológico (VON RANDOW, 2004 e WANG et al, 2014)

As médias encontradas no H apresentaram seu menor valor no período úmido-seco, quando comparado com os demais. O período seco possui o maior valor, o que se pode ser explicado pela menor disponibilidade hídrica e maior incidência de radiação solar caracterizada pela menor cobertura de nuvens sobre a região. A relação entre o H é inversamente proporcional ao  $\lambda E$ , conforme pode ser observado na Tabela 2 abaixo.

No período seco a razão de Bowen se apresentou maior que nos demais períodos com o valor de 0,30 na REBIO Jaru, esse pequeno aumento pode acontecer principalmente no final do período, já que a floresta consegue se manter a umidade no solo graças a suas raízes mais profundas.

Tabela 2 - Médias de calor sensível (H) e calor latente ( $\lambda E$ ) e seus respectivos aproveitamento de dados por período.

Período	Média H	Média $\lambda E$	Razão de Bowen
Úmido	24,0	113,51	0,21
Úmido-seco	21,9	92,54	0,24
Seco	30,6	100,35	0,30
Seco-úmido	23,1	111,59	0,21

Os resultados mostram que na transição entre o período seco para o seco-úmido há uma diminuição de 25,4% no calor sensível (H) e um comportamento inverso na média de calor latente ( $\lambda E$ ) que aumentou, isso se explica pela maior disponibilidade hídrica, assim a maior parte da radiação é usada no fluxo de calor latente.

A comparação entre os dados de  $\lambda E$  mostra uma igualdade de valores entre o período subsequente ao seco-úmido, o que se associa a disponibilidade hídrica disponível, alta

cobertura de nuvens e pouca radiação chegando para transformar a água em vapor de água.

Na Tabela 3 abaixo se pode verificar a comparação dos dados obtidos pela razão de Bowen na REBIO Jaru e entre outros diferentes sítios, como a floresta de transição entre Amazônia-cerrado (Fazenda Maracá) e área de pastagem – FNS (Fazenda Nossa Senhora).

Ao comparar a REBIO Jaru com a FNS, observa-se que todos os valores são superiores, mas o período seco se destaca, pois é 67,39% maior, assim os dados do fluxo de H e  $\lambda E$ , são similares, mas denota aumento do fluxo destinado ao calor sensível o que pode indicar maiores amplitudes de temperatura ao longo do dia e a diminuição da taxa de evaporação.

Na F. Maracá a qual possui uma vegetação de transição entre o bioma amazônico e o bioma cerrado, pode se observar valores muito próximos a REBIO Jaru no período úmido, e valores maiores, 37,5 % no período seco, para a F. Maracá. Segundo Andrade et al (2009) a cobertura vegetal do tipo transição, em sua maior parte composta por vegetação rasteira e pequenos arbustos, sofre mais com a sazonalidade, sendo assim uma área vulnerável no período seco, o que aumenta o uso de energia para o H e diminui para o  $\lambda E$ .

Já na REBIO Jaru como é mostrado na tabela 2, nota-se que suas taxas de evapotranspiração se mantêm normais percebe-se então que elas pouco se modificam com a sazonalidade do período seco.

A Figura 1 a seguir é mostra a variação sazonal do clima ao longo do ano na REBIO Jaru, indicando H e  $\lambda E$ , que se modificam de acordo com a hora local e a incidência de radiação solar.

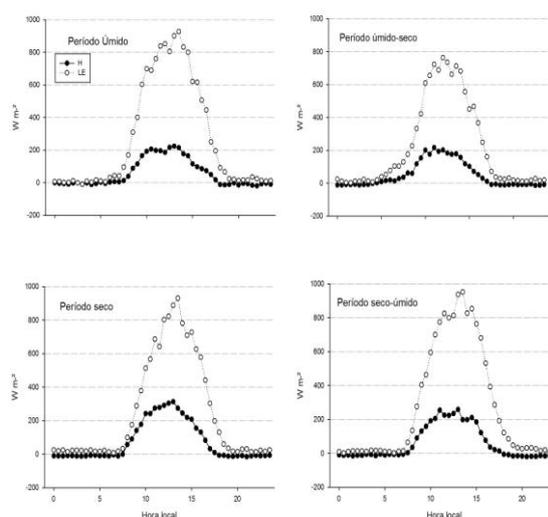


Figura 1 – Fluxos de calor sensível e fluxo de calor latente em diferentes períodos na Reserva Biológica do Jaru no, no horário do sistema GMT ano de 2009.

No período úmido-seco se observa o menor valor de  $\lambda E$ , esse resultado difere-se do encontrado em outros estudos, pois independe das variações sazonais ocorridas, a floresta pouca se altera, na destinação da energia solar usada nos fluxos de calor latente (AGUIAR, 2005; VON RANDOW et al., 2004; BIUDES et al., 2015). Os dados podem ter sido afetados por presença de nuvens nos horários de maior pico, o que modificou as evidências anteriores na mesma região.

Na Figura 2 a seguir é visualizado os meses de janeiro e agosto, úmido e seco, respectivamente a fim de analisar as variações no H e  $\lambda E$  em períodos tão opostos para verificar as mudanças na floresta

Tabela 3 – Razão de Bowen por período em diferentes regiões

Período	F. Maracá (Andrade, 2009)	FNS (Webler, 2013)	Rebio Jaru 2009
Úmido	0,43	0,29	0,21
Úmido-seco	-	0,45	0,24
Seco	0,48	0,92	0,30
Seco-úmido	-	0,33	0,21

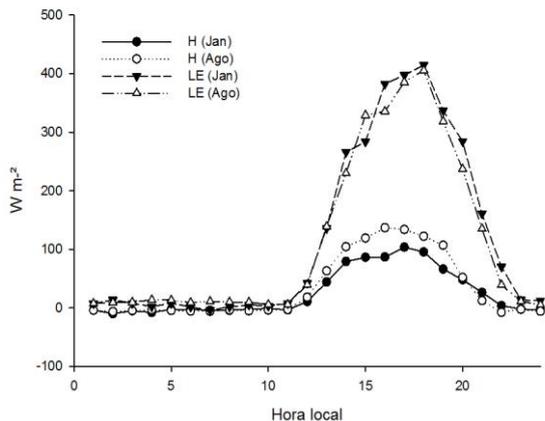


Figura 2 – Fluxos de calor sensível e de calor latente (E) nos meses de Janeiro (período úmido) e Agosto (período seco) de 2009 na Reserva Biológica do Jaru.

Observa-se que o  $\lambda E$  possui uma variação mínima quando se comparam meses distintos, caracterizando-se através seus valores de precipitação e umidade relativa do ar (UR), sendo portanto janeiro (chuvoso) e agosto (seco), com média 82,40 % e mínima de 41,91% e 334,98 mm e média 59,54 %, e mínima de 12,66% e 10,81 mm de chuva respectivamente (Webler, 2011).

Já o  $H$ , maior, no período seco na floresta, nos mostra uma possível menor cobertura de nuvens sobre a região, o que acarreta maior incidência de radiação, médias menores de umidade relativa do ar, acontecendo assim um gasto maior de energia com o aquecimento do ar.

## 7 Conclusões

A REBIO Jaru não apresentou grandes variações sazonais ao longo do ano de 2009, mesmo após o El Niño ocasionar a diminuição da precipitação sobre a região amazônica.

Os resultados da razão de Bowen mostram um aumento apenas durante o período seco no valor de  $H$ , determinado pela menor cobertura de nuvens e disponibilidade hídrica, além do aumento na radiação solar incidente. O  $H$  foi menor no período úmido-seco onde as condições eram opostas ao do período seco.

Quando a REBIO Jaru foi comparada com a pastagem e o bioma de transição verificou-se que ela apresentou também a menor variação. Já a pastagem, foi a mais afetada pelo período seco,

devido a menor disponibilidade hídrica no solo e um aumento de superior a 67% no  $H$  em relação ao REBIO Jaru.

## Agradecimentos

Agradecimentos ao Programa LBA pelo fornecimento dos dados e a Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR. E a equipe de trabalho do LIAT na UNIR campus de Ji-Paraná que coletaram e processaram os dados.

## Referências

Aguiar, R. G. (2005). Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudoeste da Amazônia. Mato Grosso: UFMT, 2005. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Universidade Federal do Mato Grosso.

Alves, L. M., Coelho, C. A. S., Melo, A. B. C., Pesqueiro, J. S. (2010). Condições climáticas observadas no Brasil em 2009. Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE e Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC.

Cachoeira Paulista, SP, 2010. Disponível em: <[http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Sintese\\_Climatica\\_2009.pdf](http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Sintese_Climatica_2009.pdf)> Acesso em: 12 ago. 2015

Andrade, N. L. R., Aguiar, R. G., Sanches, L., Alves, E. C. R. F., Nogueira, J. S. (2009). Partição do saldo de radiação em áreas de floresta amazônica e floresta de transição Amazônia0-cerrado. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24(3), 346-355.

Biudes, M. S., Vourlitis, G. L., Machado, N. G., Arruda, P. H. Z., Neves, G. A. R., Lobo, F. A., Neale, C. M. U., Nogueira, J. S. (2015). Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 202, 112-124.

Culf, A. D., Fisch, G., Malhi, Y., Nobre, C. A. (1997). The influence of the atmospheric boundary layer on carbon dioxide concentrations over a

tropical forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 85, 149-58.

Ewers, R. M., Laurance, W. F., Souza, C. M. (2008). Temporal fluctuations in Amazonian deforestation rates. *Acta Amazônica*, 35(4), 303-310.

Fearnside, P. (2015). Rios voadores e a água de São Paulo 3: A sazonalidade do transporte. *Revista Amazônia real*.

Disponível em:  
[http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/2015/Rios\\_voadores-S%C3%A9rie\\_completa.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2015/Rios_voadores-S%C3%A9rie_completa.pdf)> Acesso em: 12 de agosto de 2015.

Nobre, C. A., Sampaio, G., Salazar, L. (2007). Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura*. 59(3), 21-27.

Rummel, U., Ammann, C., Gut, A., Meixner, F.X., Andreae, M.O. (2002). Eddy covariance measurements of nitric oxide flux within an Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research*. 107(D20), 8050-8058.

Von Randow, C., Manzi, A. O., Kruijt, B., Oliveira, P. J., Zanchi, F.B., Silva, R. L., Hodnett, M. G., Gash, J. H. C., Elbers, J. A., Waterloo, M. J., Cardoso, F. L., Kabat, P. (2004). Comparative

measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. *Theoretical and Applied Climatology*. 1-22.

Wang, W., Xiao, W., Cao, C., Gao, Z., Hu, Z., Liu, S., Shen, S., Wang, L., Xiao, Q., Xu, J., Yang, D., Lee, X. (2014). Temporal and spatial variations in radiation and energy balance across a large freshwater lake in China. *Journal of Hydrology*. 511, 811–824.

Webler, A. D., Aguiar, R.G., Aguiar, L. J. G. (2007). Características da precipitação em área de floresta primária e área de pastagem no Estado de Rondônia. *Ciência e Natura*, v. Especial, 55-58.

Webler, A. D.(2011). Caracterização e análise da variação temporal de componentes micrometeorológicos em uma área de pastagem no sudoeste da Amazônia. Ji-Paraná-RO: UNIR, 2011. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia.

Webler, A. D., Gomes, J.B., Aguiar, R. G., Andrade, N. L. R., Aguiar, L. J. G. (2013). Mudanças no uso da terra e o particionamento de energia no sudoeste da Amazônia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(8), 868–876.