


## ASPECTOS ENERGÉTICOS DO DESENVOLVIMENTO DO CAFÉ CONILON NO NORTE FLUMINENSE. PARTE 2 - BALANÇO DE ENERGIA

 <https://doi.org/10.56238/arev6n3-305>

Data de submissão: 22/10/2024

Data de publicação: 22/11/2024

### **José Carlos Mendonça**

Doutor em Produção Vegetal, Professor Associado, Laboratório de Engenharia Agrícola - Leag, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes, RJ  
E-mail: mendonca@uenf.br

### **Mateus Peixoto Pires**

Mestre em Produção Vegetal, Laboratório de Engenharia Agrícola - Leag, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF  
E-mail: meteuspeixo1@gmail.com

### **Elias Fernandes de Sousa**

Doutor em Produção Vegetal, Professor Titular, Laboratório de Engenharia Agrícola - Leag, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF  
E-mail: efs@uenf.br

### **Jean Karlos Barros Galote**

Doutor em Produção Vegetal, Laboratório de Engenharia Agrícola- Leag, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF  
E-mail: jean-karlos10@hotmail.com

### **Thieres George Freire da Silva**

Doutor em Meteorologia, Professor Associado da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Serra Talhada, PE  
E-mail: thieres.silva@ufrpe.br

### **Dhiego da Silva Sales**

Mestre em Engenharia Ambiental. Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ  
E-mail: dhiego.sales@outlook.com

### **Daniela Barros de Oliveira**

Doutora em Ciências, Professora Associada, Laboratório de Tecnologia de Alimentos – LTA, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes, RJ  
E-mail: dbarrosoliveira@uenf.br

## **RESUMO**

O café Conilon representa boa parcela da cafeicultura brasileira e é fundamental o entendimento de como a cultura se relaciona com a energia disponível no ambiente. Devido a isso, buscou-se com este trabalho determinar os componentes do balanço energético da cultura do cafeeiro Conilon na região Norte Fluminense durante sete safras. O experimento foi conduzido em um campo de cultivo na área pertencente à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes, RJ, que contém uma estação micrometeorológica que monitorou os dados ambientais entre junho de 2015 a maio de 2022. De posse dessas informações, realizou-se o balanço de energia pelo método da

razão de Bowen, que possibilitou determinar a evapotranspiração da cultura ( $E_{Tc}$ ), a evapotranspiração de referência ( $E_{T0}$ ) e o coeficiente da cultura ( $K_c$ ). O método de balanço de energia pela razão de Bowen teve desempenho satisfatório e indicou que 66% de  $R_n$  foi convertido em  $LE$ , 24% em  $H$  e 10% em  $G$ . A evapotranspiração média da cultura foi de 3,81 mm.dia<sup>-1</sup> e o  $K_c$  médio por safra teve tendência de aumento ao longo do experimento e variou de 0,82 a 0,92. O café Conilon apresentou produtividade média de 3,43 t.ha<sup>-1</sup> (57,16 sc.ha<sup>-1</sup>) e concluiu-se em média foi produzido 0,08 g por MJ de energia líquida.

**Palavras-chave:** Coffea Canephora. Evapotranspiração. Fluxo de Energia.

## 1 INTRODUÇÃO

O estudo da interação dos cafezais com a radiação solar é de suma importância para um melhor entendimento e condução dos cultivos, uma vez que é essa que fornece energia para o processo fotossintético, e ainda modulam vários outros processos fisiológicos vegetais (Mares et al., 2021).

O balanço de energia se fundamenta no princípio da conservação de energia e em sistemas abertos, onde há constante troca de matéria e energia com o meio, o saldo de radiação ( $R_n$ ) é o dividido em fluxo de calor latente (LE), fluxo calor sensível na atmosfera (H) e do fluxo calor no solo (G) (Silva et al., 2019). Alguns métodos micrometeorológicos podem ser utilizados para calcular esses componentes, sendo os mais utilizados o próprio método do Balanço de Energia e a Razão de Bowen ( $\beta$ ) (Pereira et al., 2021; Walls et al., 2020).

No Brasil e no mundo há trabalhos acadêmicos que envolvem o estudo de variáveis atmosféricas e o comportamento fisiológico do cafeeiro (Costa et al., 2019; Angelo et al., 2019; Holwerda e Meesters, 2019). Alguns trabalhos consideram em seus estudos o saldo de radiação do cafeeiro consorciado à outras culturas como banana (Pezzopane et al., 2005), nogueira macadâmia (Pezzopane et al., 2010), seringueira (Araújo et al., 2016), *Erythrina poeppigiana* (Vezy et al., 2018), dentre outras.

O saldo de radiação representa a contabilização entre a radiação de onda curta incidente e a refletida e da radiação de onda longa incidente e emitida pela superfície e representa a entrada de energia no meio (Querino et. al., 2022).

O fluxo de calor latente é a transferência de massa da superfície do sistema solo-planta para a atmosfera, tendo como resultado a evaporação da água, e é governado pela energia e água disponíveis (Tchebakova et al., 2023). Normalmente esse fluxo representa a maior fração do saldo de radiação (Dharshini et al., 2022).

O fluxo de calor do solo é influenciado por fatores externos como o balanço de radiação, temperatura do ar, nebulosidade, vento e chuva. Os fatores intrínsecos para esse processo são topografia, cobertura do solo e tipo de solo. Durante o dia, o solo armazena energia na forma de calor, tendo como consequência o aumento da temperatura, sendo que à noite o solo libera calor e reduz sua temperatura um processo inverso ao que ocorre durante o dia (Pereira et al., 2007).

Os valores de saldo de radiação e fluxo de calor do solo são obtidos através de saldo radiômetros e fluxímetros, contudo não há equipamentos confiáveis para medida do fluxo de calor latente e calor sensível (Teixeira, 2001). Devido a isso, para as estimativas destes parâmetros usa-se o método da razão de Bowen, baseado na covariância turbulenta e na lei de conservação de energia (Dharshini et al., 2022).

Desta forma, este trabalho teve por objetivo avaliar os aspectos energéticos e determinar o balanço de energia sobre a cultura do cafeeiro Conilon meio da utilização do método da Razão de Bowen ( $\beta$ ) e de dados de uma estação micrometeorológica.

## 2 MATERIAIS E METODOS

O experimento foi realizado em um campo de cultivo já existente em área pertencente à estação evapotranspirométrica da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, localizada nas dependências do Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos – CEPEAA, da Empresa de Pesquisas Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro PESAGRO-RIO, em Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, em coordenadas geográficas 21° 24' 48" de latitude Sul e 41° 44' 48" de longitude Oeste e 14 m de altitude, referidas ao Datum WGS84.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é classificado como Aw, isto é, clima tropical úmido, com verão chuvoso, inverno seco e temperatura média do ar no mês mais frio superior a 18°C. Segundo a última normal climatológica do município (1991-2020), a temperatura média situa-se em torno de 24,6°C, com uma precipitação média anual de 981,6 mm, sendo comum a presença de veranicos nos meses de janeiro e fevereiro (INMET, 2023).

O solo da área experimental apresenta topografia plana e é classificado como Neossolo Flúvico Tb Distrófico, segundo o sistema brasileiro de classificação de solo da EMBRAPA (1999).

O espaçamento utilizado entre os cafeeiros foi de 2,5 m entre linhas e 1,5 m entre plantas na linha, totalizando uma área de 22,5 m<sup>2</sup> por subparcela e área útil da subparcela com 15 m<sup>2</sup>. Cada subparcela constitui-se de seis plantas, sendo as duas das extremidades consideradas bordaduras (Figura 1). A área experimental total foi de 1260 m<sup>2</sup> e os genótipos utilizados foram os clones da variedade Vitória (Venâncio et al., 2020).

Figura 1: Vista aérea do arranjo das plantas e espaçamentos na área experimental, Campos dos Goytacazes, RJ. Fonte: Prof. José Carlos Mendonça.



Na área do cultivo foi instalada uma estação micrometeorológica, com dois níveis de monitoramento. Para as medidas da radiação solar global ( $R_g$ ) e a radiação refletida ( $R_r$ ) pela superfície foram utilizados dois piranômetros modelo LI-200X Li-Cor, Lincoln, NE, USA. O saldo de radiação ( $R_n$ ) foi obtido por um saldo radiômetro modelo NR-Lite Kipp e Zonen Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA. Os piranômetros e o saldo radiômetro foram posicionados a 0,5 m do dossel.

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos por meio de sondas modelo HMP45C-L, Vaisala, Helsinki, Finland, enquanto a velocidade e direção do vento foram medidas por dois anemômetros de conchas modelo Met One 03002 - L R. M. Young Wind Sentry Set, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA. Tanto as sondas quanto os anemômetros foram instalados 0,5 m e 2,5 m acima da copa, para que fosse possível a obtenção de um gradiente de temperatura, umidade do ar e velocidade do vento. Utilizou-se também três fluxímetros modelo HFP01SC-L Hux Flux Thermal Sensors, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA, a 0,02 m de profundidade, para contabilizar o fluxo de calor no solo ( $G$ ).

Os dados foram coletados a cada minuto e armazenados em valores médios a cada 15 minutos por um coletor de dados modelo CR1000 da Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA.



O fluxo de calor latente (LE) pelo método do balanço de energia foi determinado a partir da Equação 1:

$$LE = \frac{RN - G}{(1 + \beta)} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

LE é o fluxo de calor latente, MJ m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;

Rn é o saldo de radiação, MJ m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;

G é o fluxo de calor do solo, em MJ m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;

β é a razão de Bowen.

Para se obter β, assim como Souza et al. (2021) considerou-se a igualdade entre os coeficientes de difusão de calor sensível e de vapor d'água (Kh=Kv), e entre a razão (dT/dz)/(de/dz) e ΔT/Δe, em que z é a distância entre as medições. Dessa forma, utilizou-se a equação simplificada abaixo (Eq. 2):

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

γ é um parâmetro psicrométrico;

ΔT é a diferença da temperatura do ar 0,5 m e 2,5 m acima da copa, °C;

Δe é diferença da pressão de vapor do ar 0,5 m e 2,5 m acima da copa, kPa.

O valor de γ foi obtido pela Equação 3:

$$\gamma = \frac{C_p \cdot P}{0,622 \cdot \lambda} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

Cp é o calor específico do ar à pressão constante;

P é a pressão atmosférica média local;

λ é o calor latente de vaporização da água, atribui-se o valor de 2,45 MJ.kg<sup>-1</sup>.

Obteve-se a pressão de vapor do ar (ea em kPa) pela Equação 4:

$$ea = 0,6108e^{\frac{17,27 To}{To+237,3}} \quad \text{Eq. 4}$$

Em que:

To é a temperatura do ar no ponto de orvalho, °C.

A pressão de saturação do ar média foi calculada a partir da Equação 5:

$$es = 0,6108e^{\left(\frac{17,27.T}{237,3+T}\right)} \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

T a temperatura do ar, °C.

Como resíduo da Equação 8, pode-se obter o fluxo de calor sensível pela Equação 1:

$$H = Rn - LE - G \quad \text{Eq. 6}$$

Em que:

H é o fluxo de calor sensível, em MJ.m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>;

LE é o fluxo de calor latente, em MJ.m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>;

Rn é o saldo de radiação, em MJ.m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>;

G é o fluxo de calor do solo, em MJ.m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>.

A partir dos critérios propostos por Perez et al. (1999) excluiu-se os dados inconsistentes de β. A Tabela 1 apresenta o resumo de classes de erros gerados pelo método do balanço de energia razão de Bowen.

Tabela 1: Resumo das classes de erros gerados pelo método do balanço de energia razão de Bowen (Perez et al., 1999)

Classes de erro	Condição
A	(Rn-G)>0, Δe>0 e β<-1+ ε
B	(Rn-G)>0, Δe<0 e β>-1+ ε
C	(Rn-G)<0, Δe>0 e β>-1+ ε
D	(Rn-G)<0, Δe<0 e β<-1+ ε
E	Mudanças rápidas na Temperatura e pressão de Vapor

O erro ( $\varepsilon$ ) foi calculado levando em consideração a precisão dos sensores empregados para a obtenção da temperatura e umidade, e foi calculado conforme a Equação 7:

$$\varepsilon = \frac{(\delta\Delta e - \gamma\delta\Delta T)}{\Delta e} \quad \text{Eq. 7}$$

Em que:

$\delta\Delta e$  e  $\delta\Delta T$  são os limites de resolução para os gradientes de temperatura e pressão de vapor, considerando uma precisão de 0,2°C para medição de temperatura e de 2% para pressão de vapor;

$\gamma$  é um parâmetro psicrométrico;

$\Delta e$  é diferença da pressão de vapor do ar 0,5 m e 2,5 m acima da copa, kPa.

Os valores de  $\beta$  descartados por erro foram estimados por interpolação entre valores anteriores e posteriores do momento do erro, desde que o período de dados descartados não fosse superior a duas horas, assim como feito por Righi et al. (2007). Caso o período de dados descartados seja maior que duas horas, os dados do dia foram desconsiderados.

Todos os parâmetros do balanço de energia foram estimados para o período diurno, isto é, quando  $R_g > 0$ , uma vez que no período noturno há mais erros, em função da estabilidade atmosférica, que geram baixos gradientes verticais e o fluxo de calor latente no período da noite é muito menor que nos períodos diurnos (Righi et al., 2007).

O balanço de energia foi realizado levando em consideração o volume compreendido entre 2,5 m acima do dossel a 0,3 m de profundidade, de forma a considerar positivos os fluxos de calor que chegam ao referido volume e negativos os fluxos que saem deste.

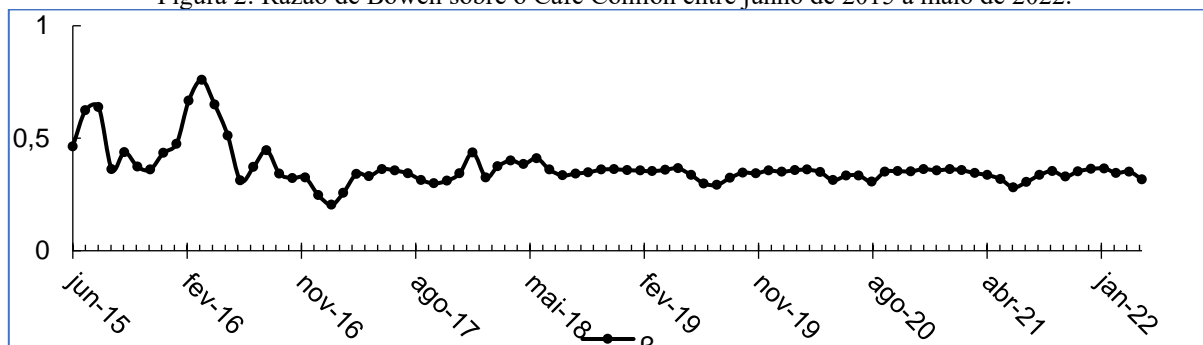
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O método do balanço de energia por razão de Bowen é uma abordagem micrometeorológica que associa o balanço de energia da superfície terrestre à razão de Bowen ( $\beta$ ), que é a relação entre o calor sensível e o calor latente (Ataide et al., 2020). Este é um método considerado relativamente prático e seguro, além de favorecer pequenas escalas temporais e precisar de poucos parâmetros de entrada (Dharshini et al., 2022).

Para a realização do balanço de energia sobre o cafeeiro Conilon, calculou-se a razão de Bowen na área experimental a cada 15 min, e o resultado desses cálculos foram compilados em médias mensais, apresentadas na Figura 7, exposto logo abaixo.



Figura 2: Razão de Bowen sobre o Café Conilon entre junho de 2015 a maio de 2022.



Ao observar a Figura 2, pode-se notar uma variação mais forte em  $\beta$  no início do período experimental. Este comportamento se deve ao fato que nas duas primeiras safras (2015/2016 e 2016/2017) as plantas ainda estavam em fase de desenvolvimento, e na safra de 2017/2018, houve escassez hídrica, como também reportado por Lazzarini et al. (2022) sobre as mesmas plantas.

A partir de julho de 2018, que os valores eram menores nos meses de julho, junho e agosto, período mais seco na região Norte Fluminense. Este resultado é o oposto do obtido por Ataíde et al. (2020), que observaram valores mais altos de  $\beta$  no período secos (médias de 0,44 em 2015 e 0,31 em 2016) e menores no período chuvoso (médias de 0,22 e 0,27, em 2015 e 2016, respectivamente).

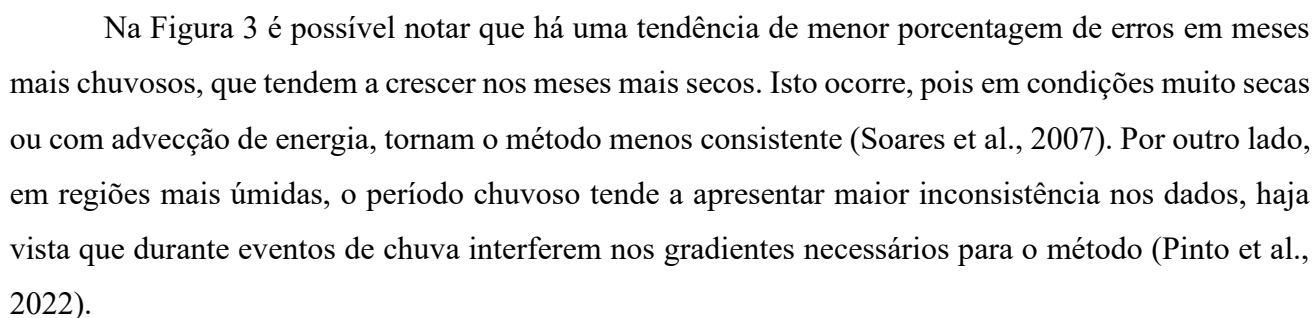
Contudo, estes autores obtiveram tal resultado em uma floresta da Amazônia Oriental, região em que o período seco apresenta maiores médias de temperatura, o contrário do que se observou no presente trabalho. Em condições de clima semiúmido a temperatura do ar é o elemento ecoclimático que mais influencia no  $\beta$ , seguido pela cobertura vegetal (Ren et al., 2022). Além disso, por se tratar de um cultivo irrigado, as plantas de Conilon são menos sensíveis a variação de chuva (Venancio et al., 2020). Segundo Dharshini et al. (2022), tanto o  $\beta$ , quanto o fluxo de calor latente são fortemente influenciados pela irrigação.

Durante o período do experimento, o valor máximo obtido da razão de Bowen foi de 0,87, em abril de 2016, o que se deve à temperatura, que estava acima média para o mês, a UR estava abaixo da média do período e a baixa precipitação, além do fato das plantas terem sido submetidas à poda dois meses antes. O mínimo  $\beta$  observado foi de 0,20, em fevereiro de 2017, período em que as plantas estavam com bom status hídrico após um período de estresse por escassez de água.

O valor médio da razão de Bowen obtido no experimento foi de 0,41, valor superior ao obtido por Ataíde et al. (2020). Essa diferença pode ser explicada pela vegetação estudada, já que o ambiente florestal tende a ter melhor cobertura vegetal, o que tende a diminuir o valor de  $\beta$ .

Os métodos de estimativa dos termos do balanço de energia apresentam limitações, o método do balanço de energia por razão de Bowen não é diferente. Sendo assim é necessária a análise dos

Figura 3: Percentual mensal de dados inconsistentes para o método de Razão de Bowen sobre o Café Coniln entre junho de 2015 a maio de 2022.

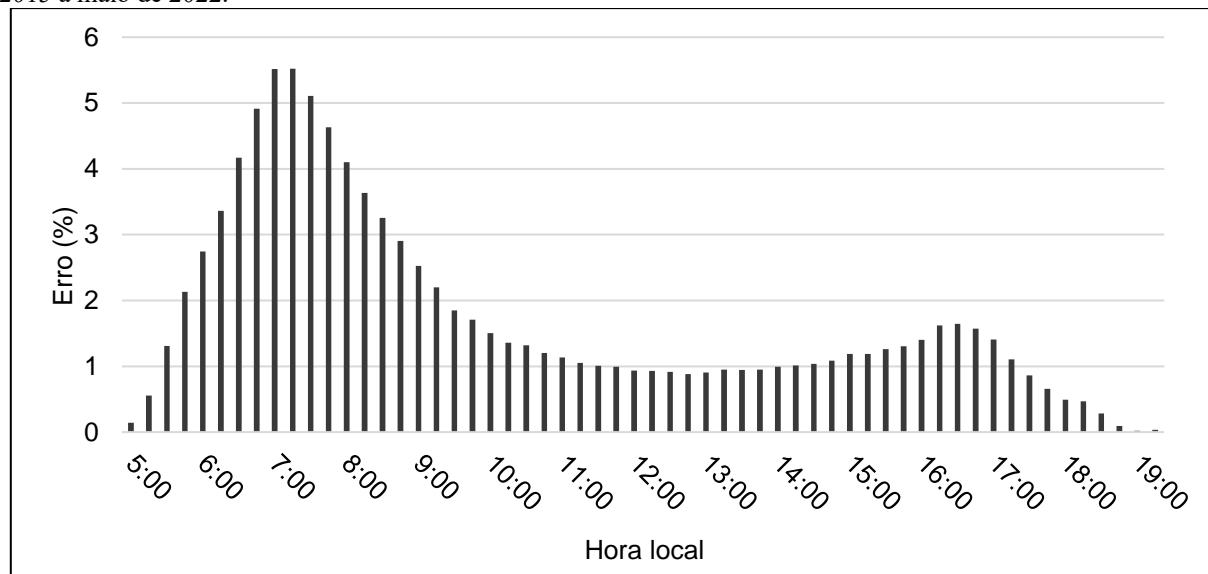


Os meses com menos inconsistências nos dados foram janeiro de 2019, com 3,25% e janeiro de 2017, que apresentou 7,04% de erro nos dados. Em apenas 2 dos 84 meses, os erros foram superiores a 50%, sendo estes, agosto de 2019 (56,66%) e outubro do 2021 (53,99%).

Para melhor entendimento da qualidade dos dados para o método da razão de Bowen, na Figura 4 é apresentado o percentual de dados com erros horários diurnos.

Na Figura 4, pode-se notar que os dados apresentam erros em baixa proporção às 5:00h, porém vão apresentando cada vez mais inconsistências, que acontecem em maior número no período entre às 7:00h e 7:30h, e a partir daí os erros se tornam menos frequentes, até chegar com frequências mínimas entre às 12:00h e 13:00h. Após isso, a frequência de erros tem elevação suave até atingir um segundo “pico” entre às 16:00h e 17:00h, seguida de nova queda para valores muito baixos ( $<1,00\%$ ), sendo que esse padrão na inconsistência dos dados é comum, já que no início da manhã e da noite há uma inversão no fluxo de calor, invertendo os gradientes de vapor e temperatura (Perez et al., 1999; Pinto et al., 2022).

Figura 4: Percentual horário de dados inconsistentes para o método de Razão de Bowen sobre o Café Conilon entre junho de 2015 a maio de 2022.



Na Tabela 2 são apresentados os valores de  $\beta$ , os diferentes tipos de erro, a porcentagem de dados inconsistentes e consistentes, por safra avaliada.

Tabela 2: Razão de Bowen ( $\beta$ ), percentagem dos tipos de erro, de dados inconsistentes (PDI) e de dados consistentes (PDC) por safra avaliada dos cafeeiros Conilon

Safra	$\beta$	Tipos de erros (%)					PDI (%)	PDC(%)
		A	B	C	D	E		
15/16	0.66	4.67	10.03	2.09	0.24	1.64	18.55	81.45
16/17	0.41	9.35	6.83	2.13	0.19	1.35	19.67	80.33
17/18	0.41	6.84	5.32	4.48	0.60	1.99	18.85	81.15
18/19	0.35	9.92	6.88	3.12	0.63	1.21	21.44	78.56
19/20	0.34	13.89	13.78	1.19	0.23	0.56	29.45	70.55
20/21	0.34	12.94	9.29	4.36	0.44	1.27	27.97	72.03
21/22	0.34	16.35	13.19	0.14	0.01	4.62	33.14	66.86
Média	0.41	10.57	9.33	2.50	0.34	1.81	24.15	75.85

Observando aos valores de  $\beta$  na Tabela 3 pode-se notar que a razão de Bowen foi decrescendo com o passar das safras, até atingir o valor de 0,34 na safra 19/20, que se manteve estável até o fim do período avaliado. O valor de  $\beta$  é inversamente proporcional ao fluxo de calor latente, ou seja, quanto maior os valores, mais a energia disponível está sendo convertida em calor sensível (Dharshini et al.,2022).

Com isso, pode-se inferir que nas primeiras safras mais energia estava sendo convertida em calor sensível, quando comparada às últimas safras. Este cenário pode ser explicado pela imaturidade fisiológica do Conilon nas primeiras duas safras, o que implicou em uma menor cobertura do solo,

parâmetro que exerce influência sobre  $\beta$  (Ren et al., 2022). A terceira safra, por sua vez, foi impactada por um déficit hídrico, o que explica o valor de  $\beta$  mais elevado, já que o valor da razão de Bowen depende da condição hídrica da superfície evaporante (Ataide et al., 2020).

Quanto aos tipos de erro, pode-se notar que as inconsistências mais comuns observadas foram do tipo A e B, ou seja, condições de  $R_n - G > 0$ ,  $\Delta e > 0$  e  $\beta < -1 + |\epsilon|$ , e  $R_n - G > 0$ ,  $\Delta e < 0$  e  $\beta > -1 - |\epsilon|$ , respectivamente. Souza et al. (2021) também observaram uma proporção elevada de erro tipo B, sendo o maior tipo de erro observado em seu estudo, contudo não encontrou erros do Tipo A, o mais comum na presente pesquisa. Essa diferença pode ser explicada pelas condições climáticas bem distintas entre o Norte Fluminense e o Nordeste Paraense, onde o estudo desses autores foi conduzido. Por outro lado, Souza et al. (2021) também obtiveram baixas porcentagens de erros C, D e E, assim como neste experimento.

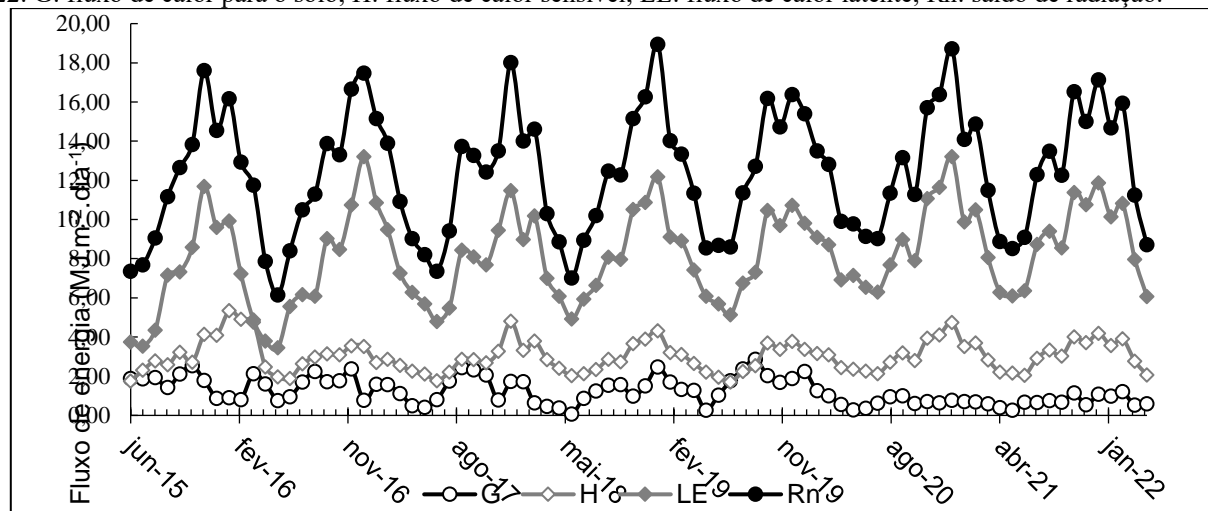
Ainda sobre a Tabela 2, é possível observar que o 75,85% dos dados diurnos foram consistentes entre junho de 2015 e maio de 2022. Este valor foi superior a outros encontrados na literatura, como 66,5% encontrado por Pinto et al. (2022), 62,3% obtido por Pereira et al., (2017), e os 72,0% observado por Souza et al. (2021). Além disso, o percentual de consistência dos dados foi acima do mínimo de 60% indicado por Perez et al. (1999), o que indica boa precisão dos resultados obtidos no presente trabalho.

Pode-se observar ainda, que houve uma tendência de aumento nos percentuais de dados inconsistentes com o passar das safras, chegando a 33,14% de dados com erro na safra 2021/2022. Contudo, mesmo este valor sendo mais elevado que nos demais anos, ainda está dentro do aceitável para a metodologia, já que normalmente até 40% dos dados podem ser eliminados (Perez et al., 1999).

Para um melhor entendimento sobre os processos energéticos ocorridos no cultivo do café Conilon, utilizou-se o método de balanço de energia por razão de Bowen para determinar os fluxos de calor latente (LE), calor sensível (H) e o fluxo de calor para o solo (G), com base no saldo de radiação ( $R_n$ ). Os componentes foram calculados em escalas mensais de junho de 2015 a maio de 2022 e são apresentados na Figura 5.

Como explicitado anteriormente, a radiação líquida foi influenciada principalmente pela variação de BOC, que por sua vez, é modulada pelo majoritariamente pelo  $R_g$ . Assim, os valores de  $R_n$  são maiores no verão (período chuvoso) e menores no inverno (período seco).

Figura 5: Variação mensal dos componentes do balanço de energia sobre o Café Conilon entre junho de 2015 a maio de 2022. G: fluxo de calor para o solo; H: fluxo de calor sensível; LE: fluxo de calor latente; Rn: saldo de radiação.



O componente do balanço de energia com maior magnitude, exceto o Rn, foi o fluxo de calor latente (LE), que foi superior aos demais durante todo o período avaliado, o que indica que, apesar de momentos de restrição hídrica, o cultivo continuou evapotranspirando sem grandes restrições estomáticas. Este fato pode ser explicado pela capacidade de adaptação à seca do cafeeiro Conilon, que acontece por meio da maior eficiência de extração de água do solo e pela taxa de uso de água (DaMatta e Ramalho, 2006).

Assim, pode-se inferir que não houve estresse hídrico demasiadamente forte, o que pode ser atestado também pela baixa variação de albedo, característica responsiva à cobertura e coloração vegetal. Contudo, o déficit hídrico é um limitante na produção de café, pode causar redução de tamanho dos grãos e baixar a produtividade (Cintra et al., 2020). Também a proporção dos danos depende do estágio fenológico das plantas e da duração do estresse (DaMatta e Ramalho, 2006).

O máximo valor de LE foi de  $13,21 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , obtido em janeiro de 2017, mês com alta temperatura, baixa UR e com disponibilidade de energia líquida considerável, o que indica que a atmosfera se encontrava com alto déficit de pressão de vapor. Além disso, os três meses anteriores tiveram elevados volumes de precipitação pluviométrica. Sendo assim, pode-se inferir que nesse período a planta se encontrava com bom status hídrico e a atmosfera estava ávida por humidade, o que culminou em um alto valor de LE.

Por outro lado, o mínimo valor de LE observado foi de  $3,44 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , em junho de 2016. Este baixo valor pode ser explicado pelo baixo saldo de radiação no período, o qual também apresenta seu menor valor nesse mês. Além disso, o cultivo foi submetido à poda nesse período, o que diminui a área foliar, que afeta diretamente o fluxo de calor latente do cultivo (Dharshini et al., 2022).

Durante o período do experimento o valor médio de LE foi de  $8,14 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , valor acima dos  $7,29 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  encontrados por Dharshini et al. (2022) avaliando sorgo irrigado (*Sorghum bicolor*), e bem próximo dos  $8,12 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  observados por Souza et al. (2021) ao estudar um plantio de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) irrigado e dos  $8,00 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  observados por Ataíde et al. (2020) sobre uma floresta nativa na Amazônia oriental. A comparação entre os cultivos reforça a ideia que no geral o cultivo teve bom aporte hídrico, sobretudo levando em consideração que LE sobre o Conilon foi maior ao encontrado sobre uma floresta nativa.

Durante a maioria dos meses avaliados, o fluxo de calor no sensível foi segundo componente em que o Rn mais foi convertido e atingiu seu valor de  $5,34 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , em fevereiro de 2016, quando havia notável quantidade de energia líquida disponível e período em que as plantas haviam passado por manejo de poda. Práticas agrícolas que alteram a cobertura do solo podem impactar todo o equilíbrio energético (Liu et al., 2022). Com isso, pode-se inferir que a poda reduziu o LE e, devido a alta energia líquida disponível, houve aumento em H.

Por outro lado, o mínimo valor obtido de H foi  $1,70 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , em julho de 2019, mês que o fluxo de calor para o solo chegou a superar o H. A baixa magnitude desse valor deve-se, em um primeiro momento, à baixa energia líquida disponível, mas também pelo bom status hídrico do plantio, haja visto que no mês anterior (maio de 2019) houve volume expressivo de chuva (Figura 2). Segundo Veloso et al. (2020), a presença de água no meio aumenta a quantidade de energia utilizada para ser transformada em vapor, o que reduz a energia disponível para H.

O valor médio do fluxo de calor sensível (H) foi de  $3,02 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , valor superior aos  $2,70 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  encontrados por Ataíde et al. (2020) em uma floresta nativa da Amazônia e ao  $1,23 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  obtido em um plantio de sorgo por Dharshini et al. (2022). Esta superioridade no valor pode ser explicada pelo maior Rn disponível no cultivo de Conilon.

Na Figura 5 também são apresentadas as médias mensais de fluxo de calor no solo (G), o componente do balanço de energia de menor magnitude durante a maior parte do experimento. O valor de G só foi superior ao H no primeiro mês avaliado e nos meses de julho a setembro de 2019. Em condições normais, os valores de G variam em função de Rn e do grau de exposição do solo, que quanto mais é exposto, mais aquece, aumentando o fluxo de energia no mesmo (Ataíde et al., 2020).

O valor máximo de G foi de  $2,86 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , obtido em setembro de 2019, quando o solo estava exposto pela realização de tratamentos culturais, com ambiente considerável energia líquida disponível e considerável volume de chuva, o que aumenta a umidade do solo e consequentemente o G (Veloso et al., 2020; Wu et al., 2020).



O valor mínimo, observado em junho de 2018, foi de  $0,06 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , em função da baixa  $R_n$  disponível, comum para o período, e também pela cobertura do solo por vegetação espontânea e pela baixa umidade do solo, que se deu pela baixa precipitação e maiores intervalos entre irrigações, o que resultou em até 11 dias seguidos sem entrada de água no ambiente produtivo.

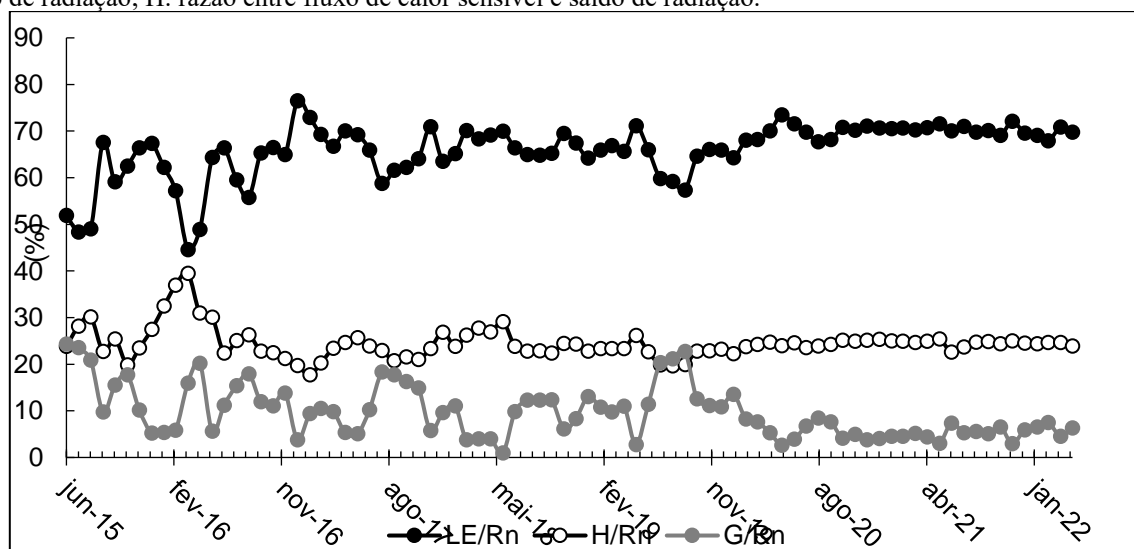
O valor médio de  $G$  durante o experimento foi de  $1,23 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , valor inferior aos  $1,38 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  encontrados por Dharshini et al. (2022) em sorgo, o que pode ser explicado pelo porte da cultura, fazendo com que o Conilon impeça que mais radiação solar atinja diretamente o solo.

De forma geral, pode-se notar que  $LE$  e  $H$  variam em fase com o  $R_n$ , com maiores valores nos períodos mais quentes e chuvosos e menores nos meses mais frios e secos. Porém, há momentos que  $G$  tem aumento em seus valores mesmo com queda nos valores de  $R_n$  e em outros momentos há diminuição nos valores de  $G$  mesmo com elevação nos valores de  $R_n$ . Este cenário pode ser explicado pelas variações de umidade e cobertura do solo.

Ainda sobre a Figura 5, é perceptível que os valores de  $G$  apresentam maiores amplitudes do início do período avaliado até o final da safra 2019/2020, contudo a partir do início da safra 2020/2021 o fluxo de calor no solo se torna mais estável. Este fato é em função da maior maturidade do cultivo, que passou a oferecer maior sombreamento ao solo e apresentar mais resiliência a fatores bióticos e abióticos e também pela correta suplementação hídrica.

Como ressaltado anteriormente, os componentes do Balanço de Radiação variam influenciados pela  $R_n$ , principalmente  $Le$  e  $H$ . Então, para melhor observar de forma mais independente os fluxos de energia, na Figura 6 são apresentadas as frações em que  $Le$ ,  $H$  e  $G$  representam de  $R_n$  para cada um dos meses estudados.

Figura 6: Variação mensal da razão entre os fluxos de calor e o saldo de radiação sobre o Café Conilon entre junho de 2015 a maio de 2022.  $LE/R_n$ : razão entre fluxo de calor latente e saldo de radiação;  $G/R_n$ : razão entre fluxo de calor para o solo e saldo de radiação;  $H/R_n$ : razão entre fluxo de calor sensível e saldo de radiação.



Na Figura 6 ficam mais claras as oscilações entre as razões dos fluxos de calor e a radiação líquida, que acontecem em maior amplitude nas duas primeiras safras, passando a ser mais suaves nas safras 2017/2018 e em quase toda safra 2018/2019. Também é possível observar que de maio de 2019 a janeiro de 2020 a amplitude das variações aumentaram, sobretudo em  $LE/R_n$  e  $G/R_n$ , que até chegou a superar a razão  $H/R_n$  entre julho e setembro de 2019, como mencionado previamente. Após esse período, é notável uma estabilidade na relação entre os fluxos de calor e a radiação líquida até o fim do período analisado.

A maior fração de  $R_n$  foi convertida em calor latente, em média 65,94% da radiação líquida, o que é comum em ambientes agrícolas de bom status hídricos (Azevedo et al., 2014; Dharshini et al., 2022; Pinto et al., 2022; Veloso et al., 2020; Teixeira, 2001). O máximo valor de  $LE/R_n$  foi de 76,48 %, em fevereiro de 2017, um mês após o máximo  $LE$  observado.

Esta observação se deve à alta temperatura, baixa umidade, e bom abastecimento hídrico ao qual a planta estava exposta e também do metabolismo da planta que tende a aumentar, já que neste período além do enchimento de grãos, também ocorre o crescimento vegetativo no Conilon, o que aumenta o volume da evapotranspiração do mesmo (Covre et al., 2022; Ferrão et al., 2017).

Por outro lado, o mínimo  $LE/R_n$  observado foi de 44,57%, em abril de 2016, dois meses antes do mínimo  $LE$  obtido. Esta baixa fração se deve principalmente a área foliar mais baixa por conta da poda realizada em fevereiro de 2016, e pela fase de maturação a qual o cultivo se encontrava, caracterizada por metabolismo um pouco mais lento, logo, há menor evapotranspiração (Ferrão et al., 2017).

Já a relação  $H/R_n$  possui média de 24,46%, segunda maior razão, somente após o  $LE/R_n$ , assim como observado por Azevedo et al. (2014) em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) e Pinto et al., (2022) em lima ácida Tahiti (*Citrus latifolia*). Contudo, há relatos de cultivos onde a  $H/R_n$  é inferior a  $G/R_n$ , como no estudo sobre bananeira (*Musa* spp.) irrigada de Teixeira (2001), que atribui tal fato à advecção de umidade do Rio São Francisco e no estudo sobre sorgo de Dharshini et al. (2022), que pode ser explicado pela menor cobertura que as plantas ofertam ao solo, dada sua morfologia.

Ainda na Figura 6, pode-se observar que o máximo valor de  $H/R_n$ , 39,50%, foi observado em abril de 2016, mês do menor valor relação  $LE/R_n$ , assim como o mínimo  $H/R_n$ , 17,68%, foi obtido em janeiro de 2017, quando o  $LE/R_n$  foi máximo. Este cenário se deve à concorrência entre os fluxos de calor latente e sensível, uma vez que ambos utilizam a mesma fonte de energia, o  $R_n$ .

A energia disponível é preferencialmente convertida em fluxo de calor latente, desde que as condições ambientais ofereçam condições para tal (demanda hídrica atmosférica, umidade no solo e

área foliar considerável), assim, para maiores valores de H, são necessárias uma ou mais condições ambientais que diminuam o LE (Azevedo et al., 2014; Veloso et al., 2020)

A relação G/Rn teve média de 9,60% no período avaliado, e variou de 0,97%, em junho de 2018, a 24,29%, em junho de 2016. Este máximo G/Rn deve-se a menor cobertura do solo em função, por ainda se tratar de um cultivo jovem, além da umidade presente no solo por causa da precipitação acima da média no período, que contribui no aumento nos valores de G. Já o mínimo observado pode ser explicado pelo aumento da cobertura do solo causada pelo maior desenvolvimento vegetativo em decorrência do restabelecimento do sistema de irrigação.

Para uma melhor compreensão das variações que ocorreram entre as safras avaliadas, a Tabela 4 apresenta as médias dos componentes do balanço da radiação (Rn, LE, H e G) e as razões entre os fluxos de calor e saldo de radiação (LE/Rn, H/Rn e G/Rn) para cada uma das sete safras avaliadas.

Tabela 4: Média dos componentes do balanço de radiação\* e partição diurna do saldo de radiação em diferentes safras de Café Conilon em Campos dos Goytacazes

Safr	Rn	LE	H	G	LE/Rn	H/Rn	G/Rn
	MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup>				(%)		
15/16	11.88	6.81	3.42	1.65	57.08	28.40	14.52
16/17	12.22	8.04	2.76	1.42	66.51	23.00	10.49
17/18	11.97	7.77	2.91	1.29	65.73	24.22	10.05
18/19	12.37	8.22	2.93	1.23	66.83	24.05	9.11
19/20	12.50	8.12	2.80	1.58	65.24	22.48	12.28
20/21	12.84	9.00	3.17	0.67	70.15	24.69	5.17
21/22	12.90	9.01	3.14	0.76	70.06	24.39	5.55
Média	12.38	8.14	3.02	1.23	65.94	24.46	9.59

\*Rn: saldo de radiação; LE: fluxo de calor latente; H: fluxo de calor sensível; G:fluxo de calor no solo.

O saldo de radiação apresentou um crescimento entre a safra 15/16 e 16/17, porém apresentou uma pequena queda na safra 17/18, em função de menor Rg e menor Kt nos meses mais quentes desta safra. A partir da safra 18/19 houve um suave crescimento a cada ano agrícola até a safra de 21/22, que apresentou o maior valor médio de Rn.

O fluxo de calor latente (LE) e a fração deste da energia líquida, assim como o Rn, apresentou um aumento entre as duas primeiras safras, seguidas de uma queda na terceira, que teve como causa, além da diminuição do Rn, o período de déficit hídrico ocorrido. Entre a terceira e a quarta safra (17/18 e 18/19, respectivamente) houve novo aumento de LE e LE/Rn, seguido de uma pequena queda na quinta safra, que pode ser explicada pela variação metabólica que ocorre no Conilon, visto sua característica de bienalidade (Melo et al., 2022; Mendonça et al., 2011). As safras 20/21 e 21/22

apresentam os maiores valores de LE ( $9,00 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  e  $9,01 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , respectivamente) e de LE/Rn (70,15% e 70,06%, respectivamente).

O fluxo de calor sensível e sua fração da radiação líquida, que tem na primeira safra seus maiores valores ( $3,42 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  e 28,40%, respectivamente), apresenta uma queda entre as safras 15/16 e 16/17 e tem aumento na safra 17/18, pela mesma motivação da queda de LE. Nas safras 17/18 a safra 18/19, o H e o H/Rn se mantiveram quase constantes, caindo em 19/20, seguido de um leve aumento, e se mantendo estáveis nas últimas duas safras.

O fluxo de calor no solo e a fração deste do saldo de radiação, assim como H e H/Rn, tiveram seus maiores valores na safra 15/16 ( $1,65 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  e 14,52%, respectivamente) e apresentaram queda até a safra de 18/19. Na safra 19/20 houve um grande aumento em G e G/Rn, o que foi motivado pelos tratos culturais aplicados no cultivo (poda e controle de plantas daninhas) (Zheng et al., 2021). Após isso, na safra 19/20 houve uma grande queda em G e G/Rn, que atingiram seus menores valores ( $0,67 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  e 5,17%, respectivamente), que permaneceram quase iguais na última safra.

Em um aspecto geral, pode-se notar que houve uma tendência de crescimento de LE e diminuição de H e G no decorrer das safras, contudo variação dos valores de H/Rn é bem menor que a observada para G/Rn (4,01% e 8,97%).

Para um melhor entendimento da partição de energia no café Conilon conforme sua fenologia, a Tabela 5 apresenta as médias dos componentes do balanço de radiação e o percentual que cada fluxo de energia representa do Rn conforme o estágio fenológico das plantas.

Tabela 5: Média dos componentes do balanço de energia e partição diurna do saldo de radiação em diferentes estádios vegetativos de Café Conilon em Campos dos Goytacazes

Estádios	Rn	LE	H	G		LE/Rn	H/Rn	G/Rn
	$\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$					(%)		
Pré-floração	8.09	5.35	2.08	0.68		66.04	25.65	8.31
Floração	10.19	6.37	2.43	1.36		62.58	23.81	13.61
Chumbinho	12.88	8.14	2.98	1.70		64.07	23.25	12.68
Expansão de frutos	14.81	9.94	3.48	1.44		67.54	23.48	8.98
Granação	16.11	10.89	3.91	1.28		68.47	24.31	7.23
Maturação	12.19	8.12	3.22	0.88		66.97	26.29	6.74
Média	12.38	8.14	3.02	1.23		65.94	24.46	9.59

\*Rn: saldo de radiação; LE: fluxo de calor latente; H: fluxo de calor sensível; G:fluxo de calor no solo.

É possível observar na Tabela 5 que da fase da pré-floração ao estágio de granação há crescimento nos valores de Rn, seguido de queda na fase de maturação, o que ocorre por conta das condições de clima de cada fase. A pré-floração acontece nos meses de menor Rg (inverno), que são

os meses intermediários do ano, como explicado anteriormente. A fase da floração ocorre no fim do inverno, quando o Rg volta a ter aumento. A fase chumbinho ocorre na primavera, enquanto a expansão de frutos ocorre na transição entre primavera e verão.

O estágio de granação tem maior valor de Rn por acontecer durante o verão quando Rg é máximo, enquanto a maturação ocorre na transição do verão para o outono, quando o Rg passa a diminuir. Pode-se notar que a energia disponível é altamente dependente de Rg, o ocorre em função da baixa variação do BOL e da baixa variação de albedo que ocorreu no cafeeiro.

Também é possível notar na Tabela 5 que LE e H apresentam mesma tendência de variação que Rn, aumentando da floração à granação, seguido por redução durante a maturação, contudo os valores de LE são mais que o dobro de H em todos os estádios.

O G, por sua vez, apresenta crescimento da pré-floração à chumbinho, e a partir de então apresenta redução nos valores. Esta diminuição nos valores de G se dá em função da maior cobertura do solo, causada pela maior área foliar do Conilon a partir da fase de expansão dos frutos, em que há um aumento na atividade metabólica, e consequentemente, de crescimento vegetativo (Ferrão et al., 2017).

Ao atentar-se à partição de Rn, nota-se que da fase de pré-floração à floração há uma queda em LE/Rn e H/Rn e um aumento expressivo em G/Rn, o que é em função da baixa área foliar do período e da umidade do solo promovida pela irrigação, que tendem a causar aumento em G (Velooso et al., 2020; Wu et al., 2020).

Nos estádios de chumbinho à granação, houve aumento em LE/Rn, que ocorre pela intensificação das atividades metabólicas, maior área foliar e pelo crescimento das temperaturas (Covre et al., 2022; Ferrão et al., 2017). Já H/Rn oscilou entre incremento e decréscimo, nos primeiros estádios, até apresentar crescimento constante a partir da fase de expansão dos frutos até a granação. Essa observação pode ser explicada pela redução de G, fazendo que H/Rn cresça, mesmo com o crescimento de LE/Rn. A partir da fase chumbinho houve decréscimo na relação G/Rn, que atingiu sua menor razão na fase chumbinho.

Na maturação há uma queda na relação LE/Rn e um incremento em H/Rn, o que acontece em função da menor taxa metabólica das plantas durante essa fase, reduzindo LE, fazendo que mais energia fique disponível para H (Covre et al., 2022; Velooso et al., 2020).

#### 4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados, concluiu-se que o município de Campos dos Goytacazes é apto ao cultivo do café Conilon, desde que manejado corretamente.

A aplicação método do balanço de energia por razão de Bowen foi satisfatória e por meio dessa se observou que LE recebeu maior partição de  $R_n$  durante todo o experimento, seguido de H e G. Ademais, LE, ETc e Kc tiveram tendência a crescimento entre as safras, enquanto H e G decresceram. Observou-se que da pré-floração à granação há incremento nos valores de  $R_n$ , LE, H, G.

O método de balanço de energia pela razão de Bowen teve desempenho satisfatório e indicou que 66% de  $R_n$  foi convertido em LE, 24% em H e 10% em G. A evapotranspiração média da cultura foi de  $3,81 \text{ mm.dia}^{-1}$  e o Kc médio por safra teve tendência de aumento ao longo do experimento e variou de 0,82 a 0,92. O café Conilon apresentou produtividade média de  $3,43 \text{ t.ha}^{-1}$  ( $57,16 \text{ sc.ha}^{-1}$ ) e concluiu-se em média foi produzido 0,08 g por MJ de energia líquida.



## REFERÊNCIAS

- Ataide, W. L. da S., de Oliveira, F. D. A., e Pinto, C. A. D. (2020). Balanço de radiação, energia e fechamento do balanço em uma floresta prístina na Amazônia oriental. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(06), 2603-2627.
- Azevedo, P. V. D., Saboya, L. M., Dantas Neto, J., Oliveira, F. D. S., Bezerra, J. R., e Farias, C. H. D. A. (2014). Disponibilidade energética para a cultura da cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros do estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, 1031-1038.
- Bowen, I. S. (1926). The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical review*, 27(6), 779.
- Cintra, P. H. N., de Melo, O. F. P., de Menezes, J. O. S., Padilha, R. C., Rezende, A. G., e dos Reis Matos, E. (2020). Análise de fluorescência da clorofila a em mudas de cafeeiro sob estresse hídrico. *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 28006-28014.
- Covre, A. M., Oliveira, M. G., Martins, L. D., Bonomo, R., Rodrigues, W. N., Tomaz, M. A., Vieira, H. D., Paye, H. S. e Partelli, F. L. (2022). How is the fruit development of *Coffea canephora* trees modulated by the water supply? An analysis of growth curves for irrigated and rainfed systems. *Semin. Ciênc. Agrár.* Londrina, 43, 2359-2374.
- DaMatta, F. M., e Ramalho, J. D. C. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 55-81. DOI: 10.1590/S1677-04202006000100006
- Dharshini, D., Ramanathan, S. P., Kokilavani, S., e Djanaguiraman, M. (2022). Energy balance partitioning and evapotranspiration in Sorghum based intercropping system in western region of Tamil Nadu. *MAUSAM*, 73(3), 667-672.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1999). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa, 412p.
- Ferrão, R. G.; Fonseca, A.F.A.; Ferrão, M.A.G; Muner, L. H. (2017). Café Conilon. 2 ed. Vitória, ES : Incaper. 784 p.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas – Período de 1991 – 2020. (2023). Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em 17 de janeiro de 2023.
- Liu, J., Desjardins, R. L., Wang, S., Worth, D. E., Qian, B., e Shang, J. (2022). Climate impact from agricultural management practices in the Canadian Prairies: Carbon equivalence due to albedo change. *Journal of Environmental Management*, 302, 113938.
- Melo, A. M. M., Bonini, L. M. D. M., e Mucoucah, M. F. S. (2022). Características da variação bienal na produção de café arábica no Brasil. *South American Development Society Journal*, 8(24), 93.
- Mendonça, R., Rodrigues, W., Martins, L., e Tomaz, M. A. (2011). Abordagem sobre a bienalidade de produção em plantas de café. *Enciclopédia Biosfera*, 7(13).

Pereira, O. A., de Moraes Danelichen, V. H., Ferreira, N. F. C., dos Santos, E. N., Novais, J. W. Z., Camargo, H. H. C., e Da Silva Filho, B. F. (2021). Tópicos do Método da Razão de Bowen. *UNICIÊNCIAS*, 25(1), 64-69.

Perez, P. J., Castellvi, F., Ibanez, M., e Rosell, J. I. (1999). Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 97(3), 141-150.

Pinto, J. V. D. N., Costa, D. L. P., Nunes, H. G. G. C., Silva Junior, A. C. D., Sousa, A. M. L. D., Souza, P. J. D. O. P. D., e Ortega-Farias, S. (2022). Radiation Balance and Partitioning of Latent and Sensible Heat Fluxes over a Lime Orchard in Eastern Amazon. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 37, 491-502.

Ren, X., Zhang, Q., Yue, P., Yang, J., e Wang, S. (2022). Environmental and biophysical effects of the Bowen ratio over typical farmland ecosystems in the loess plateau. *Remote Sensing*, 14(8), 1897.

Righi, E. Z., Angelocci, L. R., e Marin, F. R. (2007). Energy balance of a young drip-irrigated coffee crop in southeast Brazil: an analysis of errors and reliability of measurements by the Bowen ratio method. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 15(3), 267-279.

Soares, J. M.; Azevedo, P. V. de; Silva, B. B. (2007) Erros associados pela razão de Bowen ao balanço de energia em parreirais sob irrigação por gotejamento. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 22, p. 233-240.

Souza, D. D. P., Fernandes, T. F. S., Tavares, L. B., Farias, V. D. D. S., de Lima, M. J. A., Nunes, H. G. G. C., Costa, D. L. P., Ortega-Farias, S. e Souza, P. J. D. O. P. (2021). Estimation of evapotranspiration and single and dual crop coefficients of acai palm in the Eastern Amazon (Brazil) using the Bowen ratio system. *Irrigation Science*, 39, 5-22.

Teixeira, A. H. D. C. (2001). Avaliação dos componentes do balanço de energia durante o primeiro ano de cultura da banana. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5, 28-32.

Veloso, G. A., da Silva, L. A. P., e Ferreira, M. E. (2020). Análise do balanço de radiação e energia em áreas de veredas no norte de Minas Gerais, bioma Cerrado. *Cerrados*, 18(1), 220-247.

Venancio, L. P., Filgueiras, R., Mantovani, E. C., do Amaral, C. H., da Cunha, F. F., dos Santos Silva, F. C., Althoff, D., dos Santos, R. A. e Cavatte, P. C. (2020). Impact of drought associated with high temperatures on *Coffea canephora* plantations: a case study in Espírito Santo State, Brazil. *Scientific Reports*, 10(1), 19719.

Wu, B., Oncley, S., Yuan, H., e Chen, F. (2020). Ground heat flux determination based on near-surface soil hydro-thermodynamics. *Journal of Hydrology*, 591, 125578. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125578>.

Zheng, S., Ni, K., Ji, L., Zhao, C., Chai, H., Yi, X., He, W., e Ruan, J. (2021). Estimation of Evapotranspiration and Crop Coefficient of Rain-Fed Tea Plants under a Subtropical Climate. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112332>.