

SIMULAÇÃO DA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO CAFÉ ARABICA EM SISTEMAS ARBORIZADOS E A PLENO SOL¹

Priscila Pereira Coltri²; Waldenilza Monteiro Vital Alfonsi³; André Luiz Vanucci⁴; Renata Ribeiro do Valle Gonçalves²; Jurandir Zullo Junior²; Hilton Silveira Pinto²

¹ Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – Consórcio Pesquisa Café e pelo CNPQ

² Pesquisador, PhD, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) – priscilapereira.coltri@gmail.com; [pcoltri, renata, jurandir, hilton]@cpa.unicamp.br

³ Doutorando, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), wal@cpa.unicamp.br

⁴ Graduação, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

RESUMO: Projeções climáticas do IPCC para as áreas tropicais brasileiras indicam que poderá haver um aumento de temperatura e de eventos climáticos extremos. Caso essas projeções estejam corretas e nenhuma medida de adaptação seja realizada, as áreas cafeeiras poderão ser impactadas pela nova realidade climática. As áreas que atualmente são aptas ao plantio do café arábica poderão se tornar de alto risco climático. A arborização de cafezais vem se destacando pelos benefícios ecológicos, econômicos e climáticos. Estudos indicam que o plantio de árvores no cultivo do café pode diminuir a temperatura no microclima de plantio, além de estabilizar variações climáticas. A medição das variáveis meteorológicas no microclima de plantio não é trivial, exige alto custo de investimento e normalmente as condições experimentais não permitem devida extrapolação dos resultados. Nesse sentido, a modelagem de sistemas arborizados e agroflorestais em café é promissor e desafiador. O presente trabalho teve como objetivo modelar quatro tipos de cultivos de café, sendo três deles sombreados e um a pleno sol. Para tanto, o estudo adaptou um software de simulação de microclima urbano (Envi-met) para ser utilizado em cultivos de café. As variáveis meteorológicas testadas na simulação foram temperatura e umidade relativa. Os resultados da simulação foram comparados com dados reais medidos em condições experimentais. O software conseguiu reproduzir a curva padrão horária de temperatura e umidade relativa de todos os sistemas modelados e o índice de concordância “d” de Willmot foi superior a 0,9 no terceiro dia de simulação, para dias meteorológicos estáveis, com céu aberto. Os resultados sugerem que o software Envi-met pode ser utilizado para simular plantios de café.

PALAVRAS-CHAVE: arborização em cafezais, simulação microclimática, temperatura, umidade relativa.

TEMPERATURE AND RELATIVE HUMIDITY SIMULATION OF COFFEE ARABICA UNDER FULL SUN AND SHADED PLANTATION

ABSTRACT: IPCC climatic projections for Brazilian tropical areas indicate that could be an increase in temperature and extreme events. If these projections are correct, and if there is no adaptation action, coffee areas could be affected by the new climate reality. Currently suitable areas for arabica coffee cultivation may become of high climatic risk. Shaded coffee plantations have been recognized by the ecological, economic and climate benefits. Studies indicate that planting trees in the coffee system can reduce the temperature and stabilize climate variations. The measurement of meteorological variables in coffee microclimate is not trivial, requires high investment and usually it is difficult to assess how well the experimental findings can be extrapolated to other sites. In this context, modeling and simulation shaded coffee is promising and challenging. This study aimed to model four types of coffee crops systems: three of them are shaded and one full sun. To realize that, the study adapted an urban microclimate simulation software (called Envi-met) to be used in coffee crops. The meteorological variables tested in the simulation were temperature and relative humidity. The simulation results were compared with real data measured in field conditions. The software was able to reproduce the hourly standard curve of temperature and relative humidity of all the modeled coffee systems and the index of agreement was higher than 0.9 for the third day of simulation, for clear weather days. The results suggested that the Envi-met software can be used to simulate coffee systems plantation.

KEYWORDS: shaded coffee, microclimatic simulation, temperature, relative humidity.

INTRODUÇÃO

A elevação da concentração dos gases de efeito estufa (GEEs) tem causado alterações significativas nos elementos atmosféricos, acarretando mudanças e variações no clima. Projeções do IPCC para as áreas tropicais brasileiras indicam que a temperatura média poderá aumentar entre 1°C e 5,8°C, o que traria grandes impactos na atividade agrícola e nos recursos naturais. Se as estimativas de aumento de temperatura estiverem corretas, as maiores áreas produtoras de café

arábica do Brasil poderão se tornar de alto risco climático para o cultivo, causando sérios impactos na produção de café e no agronegócio mundial (Pinto et al., 2002; Assad et al., 2004; Nobre et al., 2005; e Zullo Junior et al., 2006; e Pinto et al., 2008).

Na cafeicultura, estratégias de adaptação às mudanças no clima vêm sendo estudadas na tentativa de minimizar os possíveis impactos do clima adverso projetado para século 21 (Lin, 2007; Lin, 2008; Camargo et al., 2001). Estratégias de adaptação incluem iniciativas para reduzir a vulnerabilidade da cultura nos cenários futuros de mudanças climáticas e, dentre elas, e o plantio de café com árvores, em forma de sistemas agroflorestais (Pinto et al., 2008; Lin, 2007, Camargo et al., 2001) tem se destacado por gerar, além de benefícios ecológicos (Perfecto et al., 2006) e econômicos (Lin, 2007), uma estabilidade na variabilidade do microclima dos plantios (Lin, 2007). Trabalhos recentes têm demonstrado a importância da agrofloresta em sistemas produtores de café no contexto das mudanças climáticas (Lin, 2007; Lin, 2008; Lin, 2010; Coltri et al., 2015).

O café é uma cultura adaptada a grandes variações de sombra (Lin, 2007; DaMatta, 2004). Sombrear ou arborizar uma plantação implica em modificações microclimáticas significativas, além de alterações no balanço de energia (Pezzopane et al., 2005), fazendo com que as plantas arborizadas (ou sombreadas) apresentem características diferentes daquelas plantadas a pleno sol. A medição dos elementos meteorológicos em cafezais arborizados é de grande importância para melhor entender a resposta da cultura aos diferentes gradientes de sombra. Trabalhos de medições microclimáticas em sistemas arborizados com café vêm sendo realizados há muitos anos, mas há uma série de limitações nesse tipo de análise (Oijen et al., 2010), como baixa representatividade das medições, poucas repetições e muitas extrapolações (Ramirez et al., 1993). Esse tipo de experimento, segundo Oijen et al. (2010), na maioria das vezes é voltado à escolha das espécies de arborização e ao manejo, e, portanto, tem deixado uma lacuna no estudo comparativo dos efeitos da arborização no microclima de plantio. Nesse sentido, os autores ressaltam que é difícil avaliar o quão bem as descobertas experimentais podem ser extrapoladas para outros locais. Nessa “lacuna experimental”, a modelagem de sistemas arborizados e agroflorestais em café ganham importância e destaque.

O Envi-Met (*Environmental Meteorology*) é um modelo microclimático, tri-dimensional e não hidro-estático concebido para simular as interações planta-superfície-ar em ambientes urbanos, com resolução de 0,5 a 10 metros no espaço, e 10 segundos no tempo. O modelo computacional é composto por um sub-modelo de solo com uma dimensão, um sub-modelo de transferência radiativa e um sub-modelo de vegetação (Bruse et al, 1998). O Envi-met vem se destacando como um bom simulador de microclimas (Nakata, 2010) e permite ao usuário projetar a área de estudo, modelar diferentes formas vivas ou não vivas (como árvores, edificações e etc) e fornecer dados meteorológicos reais como parâmetros de entrada para as simulações e interações solo-superfície-atmosfera.

Embora o software tenha sido criado para modelar e simular microclimas urbanos, seus módulos permitem abranger a modelagem, simulando microclimas em geral, inclusive rurais. Nesse sentido, o presente trabalho, teve como objetivo adaptar os sub-modelos microclimáticos do software Envi-met para simular quatro tipos de sistemas de plantio de café: três arborizados e um a pleno sol. Avaliou-se o desempenho do software em simulações de temperatura e umidade relativa no microclima de plantio de cafezais tanto arborizados quanto a pleno sol.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar o estudo, o trabalho foi dividido em duas etapas: **(i) campo** e **(ii) simulações com o software Envi-met**. Os dados coletados em campo serviram tanto para alimentar as simulações, modificando os sub-modelos, quanto para avaliar o resultado de saída do Envi-met.

I. Campo

Área de Estudo: O trabalho de campo foi conduzido em um Latossolo Vermelho distroférrico (LVd), na Fazenda Experimental da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais), em São Sebastião do Paraíso, sul de Minas Gerais, numa altitude de 991 m, latitude 20°55'S e longitude 46°55'W. Para a realização do trabalho foram utilizados três tratamentos arborizados e uma testemunha pleno sol. Os tratamentos eram:

- (i) café arborizado com feijão guandu e leucena – denominado tratamento **SAF1**
- (ii) café arborizado com leucina e gliricidia – denominado tratamento **SAF2**
- (iii) café arborizado com macadamia – denominado tratamento **SAF3**

E a testemunha- café em monocultivo, denominado Pleno Sol (**PS**).

O esquema de plantio é demonstrado na figura 1. O café arábica, da cultivar *Catuai IAC 99*, estava plantado com espaçamento de 3,5 por 0,7 metros. O tipo de arborização dos sistemas SAF1 e SAF2 são os chamados “renque”. Já o terceiro tratamento SAF3, é do tipo arborização no meio do cafezal.

Em cada tratamento, foi instalada uma estação meteorológica, na linha de plantio do café, no meio da parcela (Figura 1). Os sensores estavam localizados em altura padrão (1,60m) e as variáveis temperatura e umidade Relativa (%) foram medidas a cada hora.

Em cada tratamento, foram selecionadas aleatoriamente dez plantas de café nas quais se mediu as seguintes variáveis biofísicas: altura das plantas (h), índice de área foliar (IAF) (com o aparelho Li-COR 2000), circunferência do tronco (ct), diâmetro da “saia” da copa (dc) e altura da copa (ac). Dez plantas de arborização também foram selecionadas

aleatoriamente e mediram-se as seguintes características biofísicas: altura das plantas (h), índice de área foliar (IAF - com o aparelho Li-COR 2000), circunferência do tronco (ct) e altura da copa (ac).

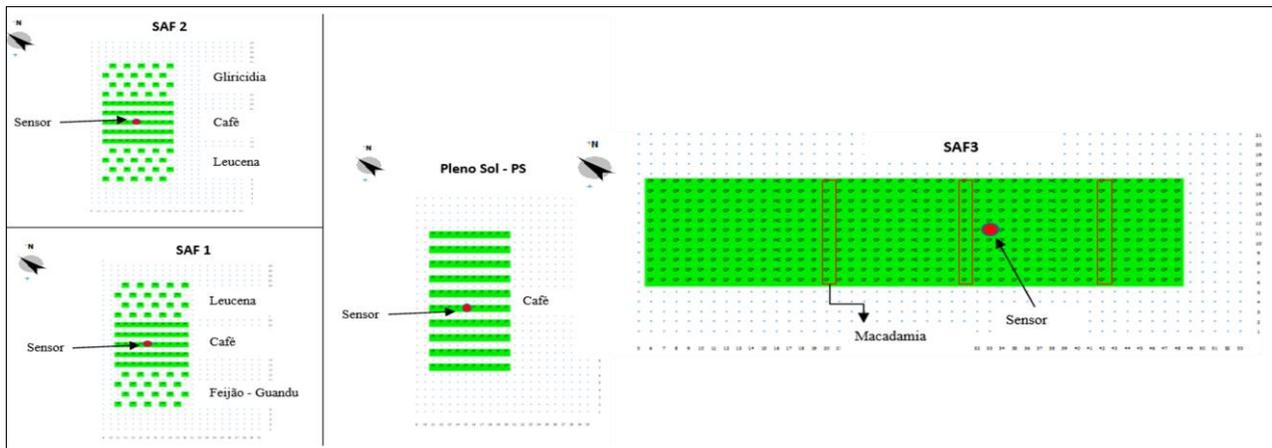


Figura 1. Esquema de plantio da Fazenda e modelagem dos tratamentos no software Envi-Met. localização dos sensores de campo

II- Simulação com o software Envi-Met: A versão do Envi-Met utilizada neste estudo foi a 3.1, que permite fornecer explicitamente as variáveis meteorológicas de entrada, viabilizando um controle exato de todos eles. As simulações foram realizadas para o mês de floração do cafeeiro, uma vez que o conhecimento prévio do microclima de plantio nessa fase pode determinar a produção da cultura. Assim, foram escolhidas duas datas para os experimentos de simulação:

- das 23h do dia 13/09/2009 às 24 horas do dia 16/09/2009 – denominado **experimento 1**; e,
- das 23 horas do dia 19/09/2009 às 24 horas do dia 22/09/2009 – denominado **experimento 2**.

No primeiro experimento, as condições meteorológicas do dia foram estáveis, os dias estavam secos e sem nebulosidade. Já no segundo experimento os dias estavam instáveis, com alta nebulosidade e chuva.

Para realizar os experimentos de simulação, a mesma área de estudo da fazenda EPAMIG (SAF 1, SAF 2, SAF3 e testemunha PS) foi recriada no software Envi-Met. Utilizou-se, como dados de entrada no modelo Envi-Met, os seguintes parâmetros locais: a.) Coordenadas geográficas da fazenda (latitude, longitude, altitude); b.) tipo de solo; c.) configuração de plantio dos cafezais arborizados e não arborizados (espaçamento do café, espaçamento das leguminosas e da macadâmia e orientação geográfica de plantio); d.) densidade de plantio; e.) características biofísicas das plantas de café e de arborização coletadas em campo e f.) dados das estações meteorológicas instaladas nas áreas de plantio.

A primeira etapa para a simulação foi criar e modelar as plantas de café no Envi-met, dado que não existia no banco de dados do software. Para tanto, relacionou-se o formato da planta de café à um cilindro (representando o tronco) e um triângulo (representando a copa), conforme as Figuras 2a e 2b. Em seguida, a planta modelada foi dividida em dez partes, conforme a Figura 2c. O índice de área foliar (IAF) foi dividido proporcionalmente nessas dez partes da planta, ou seja, quanto maior a circunferência da planta, maior o IAF associado a ela.

A Figura 1 representa a área de café desenhada no software Envi-Met, com os tratamentos SAF1, SAF2, SAF3 e a testemunha (a pleno sol). Os receptores de medição das variáveis meteorológicas no modelo Envi-Met foram colocados na mesma posição que as estações meteorológicas estavam no campo (indicado na Figura 1 com um círculo vermelho).

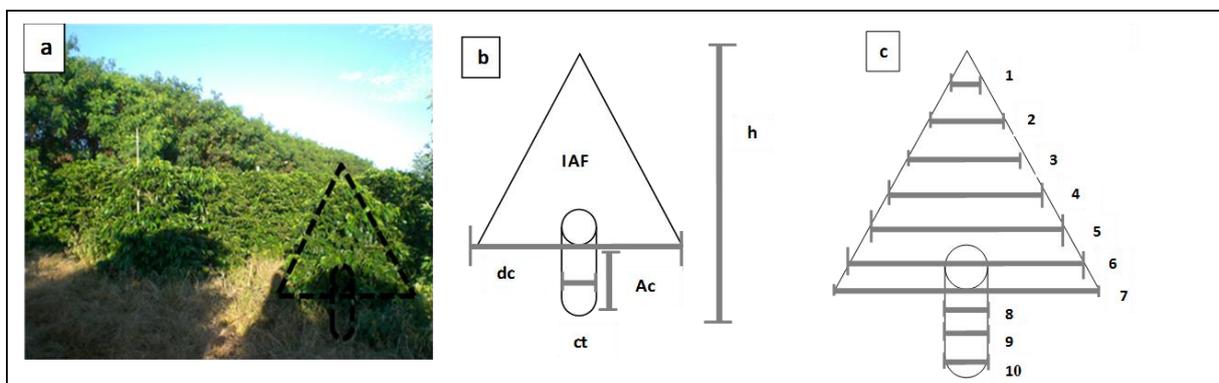


Figura 2. Modelagem das plantas de café no Envi-Met. Em a: planta no campo e identificação das figuras geométricas que a compõe. Em b: Planta geométrica com as medições feitas em campo, sendo h a altura total da planta, ct a

circunferência do tronco, Ac a altura da copa; dc o diâmetro da copa e IAF o índice de área foliar. Em c: divisão das dez partes do modelo.

Os resultados foram avaliados pela análise estatística do índice de concordância “d” de WILLMOTT (1985). O método de WILLMOTT (1985) propõe um índice de concordância (d) que reflete o grau em que a variável observada é estimada com precisão pela variável predita, segundo a Equação (1). O índice “d” não é uma medida de correlação no sentido formal, mas sim, uma medida do grau em que as variáveis preditas são livres de erros. O índice varia entre 0 (completa discordância entre os valores previstos e observados) e 1 (concordância perfeita).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=0}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + (|O_i - \bar{O}|))} \quad (1)$$

(Onde: P= variável predita pelo modelo; O= variável observada; \bar{O} = média dos valores observados).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e a discussão serão apresentados com base nos dois experimentos.

1º experimento: A Tabela 1 apresenta o índice de concordância “d” de Willmott entre os dados coletados em campo de temperatura e umidade relativa e os dados simulados, para os três tratamentos arborizados (SAF1, SAF2 e SAF3) e a testemunha pleno sol. A Tabela apresenta o índice “d” dos três dias simulados do primeiro experimento (das 23horas do dia 13/09/2009 às 0h do dia 17/09/2009).

Tabela 1. Índice de concordância “d” de Willmott para temperatura e umidade relativa para os dias de simulação nos tratamentos SAF1, SAF2 e SAF3 e na testemunha.

Dia da Simulação	Tratamento	“d” temperatura	“d” UR
1º dia – 14/09/2009	Pleno Sol (PS)	0,83	0,67
2º dia – 15/09/2009	Pleno Sol (PS)	0,94	0,89
3º dia – 16/09/2009	Pleno Sol (PS)	0,96	0,92
1º dia – 14/09/2009	SAF 1	0,86	0,70
2º dia – 15/09/2009	SAF 1	0,95	0,90
3º dia – 16/09/2009	SAF 1	0,95	0,92
1º dia – 14/09/2009	SAF2	0,87	0,71
2º dia – 15/09/2009	SAF2	0,96	0,92
3º dia – 16/09/2009	SAF2	0,96	0,93
1º dia – 14/09/2009	SAF3	0,84	0,74
2º dia – 15/09/2009	SAF3	0,96	0,96
3º dia – 16/09/2009	SAF3	0,97	0,94

É possível verificar que o primeiro dia da simulação apresentou um índice de concordância menor quando comparado aos demais, indicando que, nesse dia, houve diferença maior entre os dados reais e os simulados. No primeiro dia, o modelo ainda está se estabilizando, embora já apresente uma curva padrão de temperatura e umidade relativa, e apresente uma concordância alta entre os dados (0,83 para temperatura; 0,67 para umidade relativa). Ainda no primeiro dia de simulação, os tratamentos arborizados apresentaram melhor índice de concordância do que a testemunha pleno sol (PS). O terceiro dia de simulação foi o que apresentou o maior índice de concordância “d”, com resultados simulados mais próximos aos dados reais. A variável que apresentou maior ganho entre o primeiro e o terceiro dia de simulação foi a umidade relativa. O horário do dia que mais apresentou diferença nos resultados foi por volta das 12h (figura 3). No entanto, a hora mais quente do dia, que ocorre por volta das 15h, apresentou resultados bem fidedignos. Os dados de temperatura e umidade relativa (reais e simulados) podem ser visualizados na figura 3. O software modificado foi um bom simulador para todos os sistemas modelados.

2º experimento: O segundo experimento, que ocorreu das 23horas do dia 19/09/2009 até 0h do dia 22/09/2009, não apresentou bons resultados no segundo e no terceiro dias simulados, com índice de concordância “d” de Willmott iguais a zero. Esses resultados ocorreram, principalmente, devido às condições meteorológicas dos dados de entrada do modelo. Esses dias apresentaram alta nebulosidade e chuva, o que prejudicou o bom funcionamento da simulação. Uma das características do modelo é que a curva da temperatura é gerada a partir de um valor inicial, através de processos de interação (NAKATA, 2010) e, portanto, se o dado inicial não estiver coerente com uma curva padrão, os demais dados gerados ficam desconfigurados. O software não consegue processar dados que diferem de uma curva padrão como, por exemplo, baixa quantidade de radiação às 12 horas quando comparada com a radiação das 10h. Quando a radiação começa a oscilar (como dados de entrada) e não segue a curva padrão, o modelo não consegue determinar as variáveis

dependentes desta, como a temperatura, que, por sua vez, interfere diretamente na umidade relativa. Nesses casos, o software se desregula e os valores simulados passam a ser fora da normalidade. Como resposta, é possível obter dados de umidade relativa acima de 100% e dados de temperatura negativos, como o que ocorreu no segundo experimento. Essa característica é uma das limitações do software, onde o bom funcionamento ocorre apenas em dias com pouca nebulosidade e sem ocorrência de precipitação. NAKATA (2010) também encontrou bons resultados simulando dias sem nebulosidade e sem precipitação.

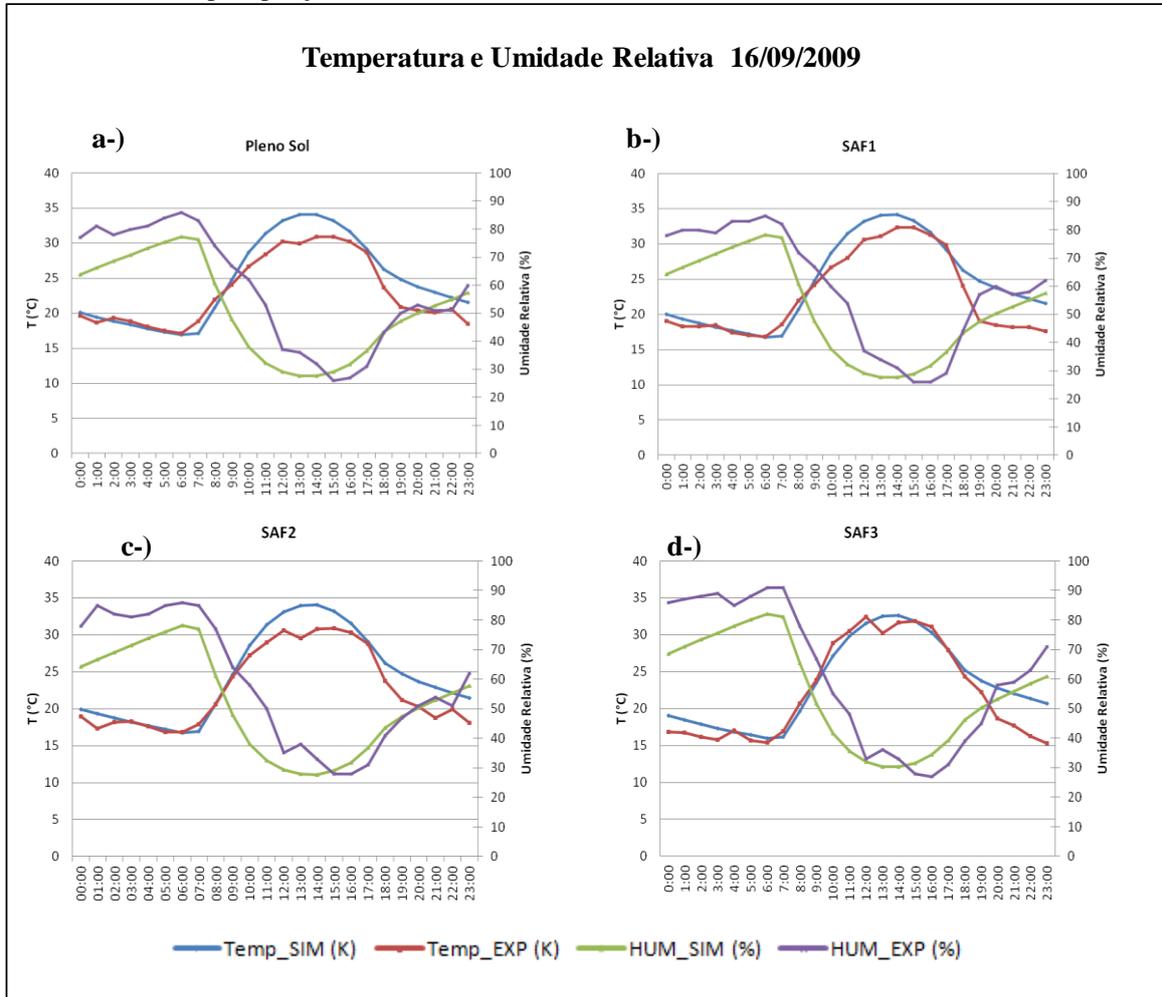


Figura 3. Dados do terceiro dia da simulação em comparação aos dados reais da testemunha Pleno Sol (em a), SAF1 (em b), SAF 2(em c) e SAF 3 (em d). Em azul, a temperatura simulada, em vermelho, a temperatura experimental de campo; em verde, a umidade relativa (%) simulada e, em roxo, a umidade relativa (%) medida em campo. Horário, no eixo X, temperatura (°C), no eixo y esquerdo, e umidade relativa (%), no eixo y direito.

CONCLUSÕES

Após a adaptação dos sub-modelos do software Envi-met para analisar microclimas de plantio de café, foi possível concluir que o Envi-met é capaz de simular a temperatura e a umidade relativa de cafezais com diferentes tipos de arborização e de cafezais a pleno sol, no sistema de monocultivo. O software permite a configuração para diferentes sistemas de plantio, independente do tipo de arborização. Com base nos resultados, conclui-se que o Envi-Met é um bom simulador de temperatura e umidade relativa no microclima de cultivo de café em dias secos e sem nebulosidade. Nessas condições meteorológicas, o modelo conseguiu reproduzir, com grau de concordância superior a 0,9, as curvas padrão de temperatura e umidade relativa para todos os sistemas de plantio. As melhores respostas do modelo ocorreram no terceiro dia de simulação, após a estabilização dos sub-modelos. A variável que apresentou maior ganho entre o primeiro e o terceiro dia de simulação foi a umidade relativa. Na hora mais quente do dia, os resultados da simulação foram bem fidedignos. Para dias instáveis o software não apresentou bons resultados, indicando que ainda há a necessidade de maiores estudos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Embrapa Café, ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, ao CNPQ e a FAPESP pelo suporte financeiro; e à EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) pela área de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILLA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n.11, p. 1057-1064, nov., 2004.
- BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling and Software**, Netherlands, v. 13, n.1-3, p.373-384, out.,1998.
- CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.1, p. 65-68, 2001.
- COLTRI, P.P.; ZULLO JUNIOR, J.; DUBREUIL, V.; RAMIREZ, G.M.;PINTO, H.S.; CORAL, G.; LAZARIM, C. Empirical models to predict LAI and aboveground biomass of Coffea arabica under full sun and shaded plantation: a case study of South of Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, v.89, n.2, 2015.
- DAMATTA, F.M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, Netherlands, v.86, n.1-2, p. 99-114, 2004.
- LIN, B.B. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, Netherlands, v.144, n.1-4, p. 85-94, 2007.
- LIN, B.B. Microclimates effects on flowering success in coffee agroforestry systems. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sci**, Dubai, vol.3, n.2, p.148-152, 2008.
- LIN, B.B. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, Netherlands, v. 150, n.4, p.510-518,2010.
- NAKATA, C.M. **Comportamento do pedestre e ambiente térmico urbano**. 133p. Dissertação (Mestre em Design)-Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru. 2010.
- NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D. e OYAMA, M. D. Mudança Ambiental no Brasil – O impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazônia e na agricultura. **Scientific American Brasil**, nº 12. 2005.
- OIJEN, M.V. ; DAUZAT, J.; HARMAND, J.M.; LAWSON,G.; VAAST, P. Coffee agroforestry systems in Central America: I. A review of quantitative information on physiological and ecological processes. **Agroforest System**, Netherlands, v. 80, n.3, p.341-359, 2010.
- PINTO, H.S.; ASSAD, E.D.; ZULLO JR, J. O aquecimento global e a agricultura. **Revista Saneas**, v. 18, s/n, p.34-37. 2004
- PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JUNIOR, J.; EVANGELISTA, S. R. de M.; OTAVIAN, A. F.; ÁVILA, A. M. H. de; EVANGELISTA, B. A.; MARIN, F.; MACEDO JUNIOR, C.; PELLEGRINO G.; COLTRI, P. P.; CORAL, G. **A nova geografia da produção agrícola no Brasil**. In: DECONTO, J. G. (Coord.). Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária: Unicamp, 2008. 82p.
- PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. Microclimatic changes and the indirect loss of biodiversity in tropical agroecosystem. **Oecologia**, Germany, v.108, n.3, p.577-582, nov.,1996.
- PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JUNIOR, M.J.; GALLO, P.B. Radiação solar e saldo de radiação em cultivo de café a pleno sol e consorciado com banana 'Prata Anã'. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.3, p.485-497, 2005.
- PINTO, H.S.; ASSAD, E.D.; ZULLO JR, J. O aquecimento global e a agricultura. **Revista Saneas**, v. 18, s/n, p.34-37, ago. 2004
- RAMIREZ C. Agroforestry: a mechanistic approach. In: Buxton DR, Shibles R, Forsberg RA, Blad BL, Asay KH, Paulsen GM, Wilson RF (eds) **International crop science I. Crop Science Society of America**, Madison, USA, pp 43-48, 1993.
- WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, United States, v. 90, n.c5, p.8995-9005, 1985.