



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

CAROLINE TAVARES FIRMINO

**MICROCLIMA DE SISTEMA SILVIPASTORIL EM DIFERENTES
ORIENTAÇÕES DE ENCOSTAS**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2020

CAROLINE TAVARES FIRMINO

**MICROCLIMA DE SISTEMA SILVIPASTORIL EM DIFERENTES
ORIENTAÇÕES DE ENCOSTAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: José Eduardo Macedo Pezzopane

Coorientador: João Vitor Toledo

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2020

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

F525m Firmino, Caroline Tavares, 1994-
Microclima de sistema silvipastoril em diferentes orientações
de encostas / Caroline Tavares Firmino. - 2020.
65 f. : il.
Orientador: José Eduardo Macedo Pezzopane.
Coorientador: João Vitor Toledo.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias.
1. Microclimatologia. 2. Radiação solar. 3. Temperatura
atmosférica. 4. Topografia. I. Pezzopane, José Eduardo
Macedo. II. Toledo, João Vitor. III. Universidade Federal do
Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV.
Título.

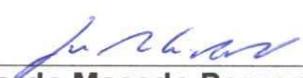
CDU: 630

**MICROCLIMA DE SISTEMA SILVIPASTORIL EM DIFERENTES
ORIENTAÇÕES DE ENCOSTAS**

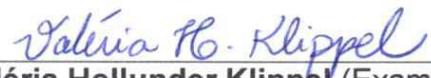
Caroline Tavares Firmino

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 11 de fevereiro de 2020.



Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane (Examinador externo)
Embrapa



Dr^a. Valéria Hollunder Klippel (Examinadora externa)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

A minha mãe, Nilza, minha irmã, Carla, e minha sobrinha Rebeca, por serem meu alicerce, minha alegria e a maior motivação nesta jornada.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela oportunidade concedida, pelo sustento e direção durante este período de aprendizado. Não chegaria até aqui se não fosse por Ele.

A Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais pela oportunidade de continuidade a minha formação acadêmica.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelo apoio financeiro da pesquisa por meio do EDITAL FAPES/SEAG Nº 06/2015 - PPE AGROPECUÁRIA.

A minha mãe, Nilza, por sempre me motivar, compreender e apoiar em todos os momentos. Gratidão por não medir esforços para minha educação e concretização das minhas metas.

A minha irmã, Carla e ao meu cunhado, Michael, por todas as orações, por estarem sempre dispostos a me ajudar e pelo melhor presente que poderiam me dar: Rebeca, minha amada sobrinha.

Ao meu orientador, José Eduardo Macedo Pezzopane, por ter sido sempre atencioso, paciente e compreensivo ao longo desse processo. A ele minha admiração, gratidão e respeito pelo profissional e, em especial, pelo ser humano que é. O mundo é visto com novos olhos depois de tudo o que aprendi.

Ao meu coorientador, João Vitor Toledo, por ter sido sempre solícito e paciente com minhas dúvidas intermináveis. Gratidão pelas idas à campo, as muitas horas me ajudando com as planilhas, processamento e correções dos dados de radiação, pelo apoio nos momentos de ansiedade. Gratidão por essa pessoa que me ensinou tanto. Tamanha foi a generosidade de Deus ao me permitir tê-lo como coorientador.

A Elayne Galvão, pelo auxílio nas coletas dos dados, pelas discussões, especialmente as em campo que ajudaram a lapidar minha percepção sobre meu objeto de pesquisa, pelas leituras e todas as contribuições técnicas. Em especial, gratidão pelo apoio emocional, por estar sempre disposta a me ouvir e me tranquilizar nos meus momentos de desespero.

A Luciana Lorenzoni, por me apoiar e incentivar desde que pensei em tentar o processo seletivo de mestrado. Gratidão por estar sempre disposta a me ajudar e pelas discussões ao longo desse caminho.

Ao Rafael Rocha, pelas coletas de solo, auxílio nas coletas de dados e instalação das estações em campo. Pelo incentivo, apoio emocional e por ser sempre solícito em me ajudar em tudo.

A Juliana, minha companheira de casa, pelas boas conversas, pelo cuidado, por ser sempre organizada e ter uma solução para consertar tudo. Gratidão por essa pessoa que preencheu a casa com sua alegria.

Aos colegas do Laboratório de Meteorologia e Ecofisiologia Florestal, João, Elayne, Luciana, Elbya, Megg, Valéria, Genilda, Mariana, Talita, Maria Paula e Breno pelos conhecimentos e bons momentos compartilhados.

Aos membros da banca examinadora, Valéria e Ricardo, por se disponibilizarem solícita e gentilmente a participarem da banca e a contribuir com este trabalho.

Aos familiares, amigos e todos aqueles que me incentivaram e oraram para que eu pudesse perseverar nesta caminhada.

A cada um desses que direta ou indiretamente contribuíram com este trabalho e com minha trajetória acadêmica meus sinceros agradecimentos.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

FIRMINO, Caroline Tavares. **Microclima de sistema silvipastoril em diferentes orientações de encostas**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES. Orientador: Prof. D.Sc José Eduardo Macedo Pezzopane. Coorientador: João Vitor Toledo.

O conhecimento do microclima é fundamental para o planejamento e a implementação de sistemas silvipastoris, uma vez que o sucesso deste, depende do equilíbrio na competição por recursos ambientais entre o componente arbóreo e as espécies forrageiras. Objetivou-se caracterizar a influência da topografia, bem como o efeito combinado da face de exposição e do componente arbóreo nas condições microclimáticas de um sistema silvipastoril em fase inicial de estabelecimento. O estudo foi realizado em Jerônimo Monteiro, ES (Latitude: 20°50'27"S; Longitude: 41°22'22"W) em uma área de pastagem, delimitada de acordo com a face de exposição (norte, sul, nordeste e sudoeste) e recuperada por diferentes modelos de sistema silvipastoril. As avaliações ocorreram em campanhas de 20 dias em três períodos, sendo que os dois primeiros objetivaram caracterizar a variação das condições climáticas em relação as estações seca e chuvosa, enquanto o terceiro objetivou caracterizar o efeito combinado da estação seca e do componente arbóreo. A caracterização microclimática foi realizada por meio da medição da radiação solar global, saldo de radiação, temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura da superfície e temperatura do solo a 2, 5, 10 e 20 cm de profundidade. A partir dos dados de temperatura e umidade relativa do ar determinou-se o déficit de pressão de vapor. O teor de umidade do solo foi determinado por meio do método gravimétrico, sendo retirada uma amostra de solo (0 a 20 cm de profundidade) em cinco pontos ao redor de cada estação meteorológica. Na terceira campanha, determinou-se o índice de área foliar (IAF) dos renques de eucalipto por meio de um analisador de dossel modelo (LAI-2.050 - LI-COR), conectado a "datalogger" modelo (LAI-2.050 - LI-COR). Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva e regressão linear. As diferentes faces de exposição da encosta provocaram diferenças no regime de radiação de vertentes opostas. O sombreamento provocado pelo componente arbóreo modificou a dinâmica horária da incidência de radiação, especialmente nas encostas orientadas à sul. O regime de radiação de cada encosta propiciou a formação de condições microclimáticas distintas entre as vertentes, especialmente após ao

estabelecimento do sistema silvipastoril. As principais diferenças microclimáticas foram evidenciadas em dias de céu limpo e em escala horária.

Palavras-chave: Microclimatologia. Radiação solar. Temperatura atmosférica. Topografia.

ABSTRACT

FIRMINO, Caroline Tavares. **Microclimate of silvopastoral system in different slope orientations.** 2020. Dissertation (Master in Forest Sciences) - Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro - ES. Advisor: Prof. D. José Eduardo Macedo Pezzopane. Co-supervisor: João Vitor Toledo.

Knowledge of the microclimate is essential for the planning and implementation of silvopastoral systems, since its success depends on the balance in the competition for environmental resources between the tree component and the forage species. The objective was to characterize the influence of topography, as well as the combined effect of the exposure face and the tree component on the microclimatic conditions of a silvopastoral system in the initial phase of establishment. The study was carried out in Jerônimo Monteiro, ES (Latitude: 20 ° 50'27 "S; Longitude: 41 ° 22'22" W) in a pasture area, delimited according to the exposure face (north, south, northeast and southwest) and recovered by different silvopastoral system models. The evaluations took place in campaigns of 20 days in three periods, with the first two aiming to characterize the variation of climatic conditions in relation to the dry and rainy seasons, while the third aimed to characterize the combined effect of the dry season and the tree component. Microclimatic characterization was performed by measuring global solar radiation, radiation balance, air temperature, relative humidity, surface temperature and soil temperature at 2, 5, 10 and 20 cm deep. From the temperature and relative humidity data, the vapor pressure deficit was determined. The soil moisture content was determined using the gravimetric method, taking a soil sample (0 to 20 cm deep) at five points around each weather station. In the third campaign, the leaf area index (IAF) of the eucalyptus rows was determined by means of a canopy analyzer model (LAI-2.050 - LI-COR), connected to a model datalogger (LAI-2.050 - LI-COLOR). The data were analyzed using descriptive statistics and linear regression. The different slope exposure faces caused differences in the radiation regime of opposite sides. The shading caused by the tree component changed the hourly dynamics of radiation incidence, especially on the south-facing slopes. The radiation regime of each slope provided the formation of distinct microclimate conditions between the slopes, especially after the establishment of the silvopastoral system. The main microclimate differences were evidenced on clear days and on an hourly scale.

Keywords: Microclimatology. Solar radiation. Atmospheric temperature. Topography.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Aspectos gerais das escalas do clima	16
2.1.1 Topoclima	17
2.1.2 Microclima	18
2.2 Sistemas Silvistoris	20
2.3 Influência do componente arbóreo no microclima	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. Área de estudo	24
3.2 Coleta de dados.....	26
3.3 Correção dos valores de radiação.....	30
3.4 Análise de dados	31
4. RESULTADOS	32
4.1 Radiação solar global e saldo de radiação	34
4.2 Temperatura da superfície e temperatura do solo	39
4.3 Temperatura do ar e déficit de pressão de vapor	45
5. DISCUSSÃO	52
5.1 Radiação solar e saldo de radiação	52
5.2 Temperatura da superfície e temperatura do solo	54
5.3 Temperatura do ar e DPV	56
6. CONCLUSÕES.....	59
REFERÊNCIAS.....	60

1. INTRODUÇÃO

A pecuária é uma importante atividade econômica no Brasil, cujos sistemas de produção são baseados principalmente na utilização de pastagens, via mais econômica e prática de produzir e fornecer alimento ao gado (PACIULLO et al., 2007; DIAS-FILHO, 2014). No entanto, a perda da capacidade produtiva das pastagens frente a inexistência ou aplicação de manejo inadequado como queima, uso de máquinas pesadas e excesso de animais, que resulta em superpastejo, refletem diretamente na produção animal, além dos efeitos negativos provocados ao ambiente (BODDEY et al., 2004; RODRIGUES et al., 2014; de CASTRO SANTOS et al., 2018).

Frente a essas questões, países em desenvolvimento têm adotado progressivamente o uso de sistemas silvipastoris, uma alternativa promissora para maximizar o uso da terra e o sistema de produção, bem como para a recuperação das áreas degradadas (BALISCEI et al., 2013; BALDASSINI, 2018). Os sistemas silvipastoris são uma modalidade de sistema agroflorestal, caracterizados pelo uso integral da terra para fins pecuários e florestais, visando explorar eficientemente os recursos naturais. Os benefícios desses sistemas, estão relacionados principalmente ao componente arbóreo que oportuniza a ampliação econômica do produtor, especialmente pela venda da madeira, além de contribuir expressivamente com a prestação de serviços ecossistêmicos (MÜLLER et al., 2014; RODRIGUES et al., 2014).

Entre os serviços prestados pelo componente arbóreo destacam-se os relacionados ao microclima. A arquitetura da copa, altura e espaçamento das árvores, índice de área foliar (IAF), distribuição angular e parâmetros ópticos foliares influenciam na distribuição espacial e temporal da radiação solar (MÜLLER et al., 2014), elemento preponderante na formação do microclima. Variáveis meteorológicas como temperatura e umidade do ar e do solo são influenciadas pelo regime de radiação que atinge o sistema e, podem se tornar fatores limitantes às plantas de acordo com suas disponibilidades no ambiente (LARCHER; 2006; TAIZ; ZEIGER; 2013).

A precipitação também é uma variável meteorológica de grande impacto no desenvolvimento das plantas, uma vez que representa o principal fator responsável pela reposição da umidade no solo (SOARES; BATISTA, 2004). Considerando que a água é o principal elemento constituinte dos vegetais, qualquer redução na

disponibilidade hídrica oferece riscos ao metabolismo das plantas (LARCHER; 2000; TAIZ; ZEIGER; 2013). Nesse sentido, destacam-se os benefícios trazidos ao solo pela inserção das árvores no sistema. Além de aumentarem a entrada de nutrientes através da ciclagem de nutrientes, as raízes contribuem com a aeração, infiltração e retenção de água, reduzindo os processos erosivos (WICK; TIESSEN; MENEZES, 2000), especialmente em terrenos declivosos.

Adicionalmente, a topografia desempenha um papel crucial na variabilidade espacial dos recursos ambientais. Características topográficas como orientação e inclinação da encosta podem variar consideravelmente em distâncias de poucos metros, influenciando a quantidade de radiação solar incidente em diferentes vertentes, bem como a formação de gradientes de temperatura e umidade entre o topo e a base da encosta. Aliadas ao tipo de cobertura da superfície, essas alterações, conseqüentemente, afetam o balanço de energia do ambiente, o qual, por sua vez, influencia a dinâmica de processos governantes do crescimento das plantas como o sequestro de carbono e a perda de água (BENNIE, 2008; ADAMS; BERNARD; LOOMIS, 2014; RIIHIMAKI; HEISKANEN; LUOTO, 2017).

Nessa perspectiva, o conhecimento do microclima local é de suma importância para o planejamento e a implementação de sistemas silvipastoris, uma vez que o sucesso destes, depende do equilíbrio na competição por recursos ambientais entre o componente arbóreo e as espécies forrageiras, garantindo o melhor desempenho produtivo destas (PACIULLO et al., 2011). Conseqüentemente, ocorre uma melhoria nos serviços ecossistêmicos que geram conforto térmico animal (PEZZOPANE et al., 2019), refletindo no aumento da produtividade pecuária.

No estado do Espírito Santo pesquisas que auxiliem o planejamento e a implementação de sistemas silvipastoris são de suma importância. A atividade pecuária de corte e leite representa 12,3% na participação do valor da produção agropecuária da região (GALEANO et al., 2017) e, embora o percentual de áreas de pastagens que se encontram em algum nível de degradação seja relativamente baixo (10,6%), o território do estado é formado majoritariamente (60%) por planaltos e serras com altitudes superiores a 2000 metros (IBGE, 2017; SETUR – ES, 2020). Assim, a aplicação de manejo incorreto nas pastagens aliada a terrenos declivosos pode potencializar o processo de degradação do solo, resultando em prejuízos econômicos e ambientais.

A adoção de sistemas silvipastoris no estado pode contribuir ainda com a demanda por produtos florestais, visto que o Espírito Santo é o sexto maior produtor de *Eucalyptus* entre os estados brasileiros (IBÁ, 2019) e que a silvicultura representa 4,1% do valor agropecuário da região (JSN, 2020).

Diante do exposto, levanta-se a hipótese de que distintas faces de exposição promovem diferentes condições microclimáticas e que a presença do componente arbóreo no sistema silvipastoril modifica a dinâmica das variáveis microclimáticas. Assim, o presente estudo objetivou caracterizar a influência da topografia, bem como o efeito combinado da face de exposição e do componente arbóreo nas condições microclimáticas de um sistema silvipastoril em fase inicial de estabelecimento no sul do estado do Espírito Santo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais das escalas do clima

As variáveis meteorológicas coexistem no espaço e no tempo, em regime de trocas energéticas interdependentes. Em conjunto, variáveis como como radiação solar, temperatura, umidade e pressão do ar, velocidade do vento e precipitação caracterizam o estado da atmosfera. No entanto, estas variáveis são direta ou indiretamente influenciadas por fatores geográficos como latitude, altitude, continentalidade e correntes marítimas (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Às condições atmosféricas de um dado local em um determinado instante, denomina-se tempo meteorológico. O clima representa as condições médias da atmosfera de uma determinada área a partir de observações contínuas durante um longo período (usualmente 30 anos). Em síntese, o clima descreve as condições de tempo predominantes de um local (VIANELLO; ALVES, 2000).

Considerando a variabilidade espaço-temporal das condições atmosféricas, o clima é subdividido em escalas que dimensionam tal variação. Em relação ao tempo, as condições atmosféricas variam em escala diária e anual, devido aos movimentos de rotação e translação da Terra, respectivamente. Quanto ao espaço, o clima se divide em macro, meso e microclima. O macroclima trata de variações em escala global, cujos efeitos principais são decorrentes das diferenças de latitude e altitude. O mesoclima refere-se à escala local, em que as características do relevo (topoclima) são as principais condicionantes. O microclima, por sua vez, caracteriza o clima próximo a superfície, sendo determinado especialmente pelo tipo de cobertura do solo (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Conforme os autores supracitados, uma escala exerce influência sobre a outra, devendo-se analisá-las sempre de maneira integrada. Nesse sentido, Suggitt et al. (2011) argumentaram que as espécies não experimentam as médias climáticas da região na qual estão inseridas, mas sim uma série de microclimas. Em um topoclima, por exemplo, podem existir diversos microclimas (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002; IOGNA et al., 2011; SUGGITT et al., 2011).

Os tópicos a seguir apresentam algumas especificidades em relação as escalas topo e microclimática, as quais são parte do objeto de análise deste estudo.

2.1.1 Topoclima

À influência da topografia no regime climático de uma determinada região denomina-se topoclima. Em escala espacial, o topoclima é uma subunidade do mesoclima (PEREIRA; ANEGELOCCI; SENTELHAS, 2002) em que características topográficas como orientação e inclinação da superfície influenciam a distribuição dos elementos climáticos, destacando-se a quantidade e a flutuação horária de radiação solar incidente em diferentes épocas do ano (DOBROWSKI, 2009; RIIHIMAKI; HEISKANEN; LUOTO, 2017).

A radiação solar é o componente dominante do balanço de energia, o qual influencia processos físicos como o aquecimento do ar e do solo e a evapotranspiração (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017). Também é fundamental para o processo fotossintético, visto que determina a exposição da vegetação aos comprimentos de onda na faixa do visível (0,4 – 0,7 μm), os quais são absorvidos pelas plantas (LARCHER, 2000). Assim, mudanças no regime de radiação alteram a disponibilidade energética, afetando o microclima, bem como a estrutura e a distribuição da vegetação (BENNIE, 2008; JUCKER et al., 2018).

Em uma mesma latitude, vertentes opostas podem receber intensidade de radiação diferentes. Nas médias e altas latitudes, por exemplo, encostas voltadas para o Equador recebem mais radiação do que aquelas voltadas para os polos (BAYER; CHORLEY, 2013). A magnitude da diferença entre a incidência de radiação em vertentes opostas é determinada pelo grau de inclinação e a orientação das encostas (FACCO et al., 2009).

O estudo realizado por Facco et al., (2009) ilustra o controle da orientação e da inclinação sobre o regime de radiação em encostas. Ao estimarem o saldo de radiação (SR) para diferentes exposições do terreno em uma microbacia hidrográfica do Rio Doce (MG), os autores verificaram que, quando comparadas a uma superfície plana, as encostas orientadas à norte e com maiores inclinações tiveram um aumento do SR de até 40%, enquanto as vertentes à sul com maiores inclinações apresentaram reduções de até 70%.

Adicionalmente, logna et al. (2011), demonstraram que mesmo encostas adjacentes podem apresentar regime de radiação diferentes, resultando em microclimas ligeiramente heterogêneos. Estes autores, ao avaliarem duas vertentes (NE – SO) separadas por uma distância inferior a 100 m, verificaram que, ao meio dia,

a encosta NE registrou $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a mais de radiação fotossinteticamente ativa (RAF) do que a vertente SO. A maior irradiância na vertente NE resultou em um solo mais seco e em maiores temperaturas do ar e da superfície, sendo observadas diferenças de até $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a 1cm e $13 \text{ }^\circ\text{C}$ a 5cm de profundidade do solo.

Suggitt et al. (2011), verificaram a influência da face de exposição das vertentes sobre a temperatura, ao estimarem uma diferença de $6,9^\circ\text{C}$ na temperatura máxima entre encostas norte e sul mantendo a mesma inclinação e altitude para ambas. Bennie (2008) acrescentou que o balanço de energia em conjunto com a declividade pode influenciar a formação de gradientes significativos de temperatura e umidade do ar e do solo entre o topo e a base da encosta.

Estudando a influência da topografia na umidade do solo em uma bacia hidrográfica no sudeste de Atlanta, Tromp-van e McDonel (2006) verificaram uma variação na quantidade de água armazenada entre as seções intermediárias e o topo da encosta ao final da estação chuvosa. Os autores observaram ainda, que na região superior da encosta, onde o solo é mais raso que as seções mediana e inferior, a taxa de transpiração das árvores foi limitada pela umidade, resultando em menores valores de transpiração e crescimento em relação aos demais locais.

As interações clima-espécie considerando a topografia tem sido objeto de análise de pesquisas que, em geral, utilizam modelos que possibilitam maior precisão na compreensão do padrão de crescimento e distribuição espacial das espécies, bem como a previsão de como poderiam ser afetadas pelas alterações do clima (SUGGITT et al., 2011; ADAMS, BERNARD, LOOMIS, 2014; BRUENING et al., 2017; BARNARD; BARNARD; MOLOTCH, 2017).

2.1.2 Microclima

Conforme mencionado anteriormente, o microclima é condicionado principalmente pelo tipo de cobertura do terreno, uma vez que as características da superfície influenciam o balanço de energia local (VIANELLO; ALVES, 2000; PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Um fator preponderante no balanço de energia é a radiação solar que figura como a principal fonte de energia para os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na superfície (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017).

A superfície terrestre recebe radiação solar em comprimentos de onda de 0,3 a 4 μm . Cerca de 45% da radiação solar situa-se dentro de uma faixa espectral de 0,3 a 0,7 μm , correspondendo a radiação fotossinteticamente ativa (RAF), a qual é utilizada pelas plantas no processo fotossintético (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017). Ao penetrar na atmosfera, porém, parte da radiação solar é refletida, espalhada (difusão) ou absorvida. Assim, o total de radiação incidente na superfície, denominada de radiação solar global (R_g), corresponde a soma da incidência direta e difusa. A maior parte da radiação absorvida pela superfície, porém, é irradiada de volta para a atmosfera em forma de ondas longas (LARCHER, 2000).

O balanço entre as entradas e saídas de energia do sistema é denominado como saldo de radiação (SR). Matematicamente, o SR pode ser determinado pela soma dos fluxos de ondas curtas e longas, recebendo sinal positivo quando os fluxos são incidentes (entrada) e negativo quando são emitidos ou refletidos (saída), conforme a equação (1):

$$SR = R_g - R_r + R_a - R_s \quad (1)$$

Em que R_g é radiação solar global; R_r é a radiação refletida; R_a é a radiação atmosférica e R_s é a radiação emitida pela superfície.

Os dois primeiros termos a esquerda, representam o balanço de ondas curtas (BOC), cuja abrangência espectral varia de 0,4 a 3,2 μm . A fração de R_g refletida é dada pelo albedo ou coeficiente de reflexão da superfície. O albedo varia em função do tipo de superfície e, conforme as características particulares destas, como cor, brilho e ângulo de exposição. Os dois termos a direita, por sua vez, representam o balanço de ondas longas (BOL), cujo comprimento de onda do espectro é superior a 4,0 μm . Este é dependente da emissividade do ar e da superfície, a qual se relaciona a temperatura dos mesmos, conforme a Lei de Stefan-Boltzmann (SILVA et al., 2015; BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017). Durante o dia SR é positivo, uma vez que o balanço de ondas curtas (positivo) é maior que o balanço de ondas longas (negativo). À noite, o R_n é negativo, pois o BOC é nulo e o BOL continua sendo negativo (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

A energia disponível do saldo de radiação diurno é destinada a três processos principais, sendo o fluxo de calor sensível (H), fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor no solo (S). A fotossíntese também consome parte do SR, porém em pequena

proporção (1%). Assim, o particionamento da energia entre esses processos é avaliado pelo balanço de energia que pode ser simplificado na equação (2) (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017; PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002):

$$SR = H + LE + S \quad (2)$$

O particionamento do saldo de radiação varia no espaço e no tempo de acordo com as características do ecossistema como, por exemplo, o tipo de vegetação e disponibilidade hídrica do ambiente. As variações espaciais na partição do SR é que determinam o clima local, regional e global (FISHER et al., 2008).

2.2 Sistemas Silvipastoris

A demanda pelo uso múltiplo da terra para produção de alimentos de forma sustentável, bem como pela mitigação dos impactos ambientais tem aumentado a adoção de modalidades de produção intensiva (BALBINO et al., 2011; PARENTE; FERREIRA et al., 2018). Com relação a produção de carne bovina, o uso de sistemas silvipastoris (SSP) tem sido recomendado como uma alternativa eficaz de produção sustentável com efeitos positivos no rendimento econômico (LIMA et al., 2019).

Como uma modalidade dos sistemas agroflorestais, os SSP se caracterizam pela combinação intencional das atividades pecuarista e silvicultural em uma mesma área sendo manejadas integralmente (BALISCEI et al., 2013; BALDASSINI, 2018). Os benefícios deste sistema relacionam-se às potenciais melhorias promovidas no microclima, na qualidade da forragem, na produtividade do gado associada ao conforto térmico animal e na diversificação da renda do produtor pela produção complementar da madeira (MÜLLER et al., 2014; RODRIGUES et al., 2014). Dada a prestação de serviços ecossistêmicos, os SSP também representam uma alternativa viável à recuperação de áreas degradadas, especialmente em regiões montanhosas (LIMA et al., 2019).

As principais modificações ecossistêmicas nos SSP estão relacionadas a introdução do componente arbóreo que interfere na quantidade de radiação solar para a cultura abaixo do dossel (PEZZOPANE et al., 2015; LIMA et al., 2019). As mudanças

no regime de radiação influenciam, por sua vez, as variáveis microclimáticas como a temperatura e umidade relativa do ar, a temperatura do ar e do solo, a evapotranspiração e a velocidade do vento (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017).

A interceptação da radiação nos SSP é um fator determinante no rendimento das pastagens (DODD et al., 2005), uma vez que interfere na qualidade da radiação fotossinteticamente ativa (RAF) que chega até a vegetação herbácea (LIMA et al., 2019). Em geral, a produção da forragem reduz à medida que a intensidade de radiação diminui devido a redução das taxas fotossintéticas e a alterações na anatomia foliar e no número de perfilhos (GOMEZ; GUENNI; BRAVO DE GUENNI, 2013; BOSI et al., 2014; ABRAHAM et al., 2014; PEZZOPANE et al., 2015; LIMA et al., 2019).

Dessa forma, o sucesso do sistema depende da correta escolha das espécies que o irão compor, visto que a interferência da copa no regime de radiação e, conseqüentemente na produtividade da pastagem é determinada por um conjunto de características como o arranjo espacial do sistema, as características morfológicas das espécies arbóreas e a tolerância à sombra das gramíneas utilizadas (NOGUEIRA et al., 2008; SOARES et al., 2009).

Nessa perspectiva, o *Eucalyptus* sp. e seus híbridos como o *E. urophila* x *E. gradis*, figuram entre as arbóreas prevalentes para utilização nos sistemas silvipastoris (BALBINO et al., 2011), devido a arquitetura de sua copa e fuste que permite boa passagem de luz ao sub-bosque, bem como pelo seu rápido crescimento que permite rápida liberação da área para pastejo. Entre as espécies de gramíneas tolerantes ao sombreamento algumas espécies dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* se destacam, sendo a braquiária considerada uma das espécies mais adaptadas aos SSP (ANDRADE et al., 2003; GOBBI et al., 2009).

Considerando que as condições climáticas, representam um dos problemas à produtividade pecuária brasileira, especialmente no verão, o fornecimento de sombra natural nas áreas de pastagem por meio da inserção do componente arbóreo é uma alternativa viável para promover o conforto térmico animal (AINSWORTH; MOEA; SKARPE, 2012; BORBUREMA et al., 2014). Denniz et al. (2019), comparando o índice de conforto térmico entre uma pastagem aberta e um sistema silvipastoril, observou que já nas primeiras horas do dia apresentou índice de conforto térmico inadequado à produção leiteira. Em adição, Pezzopane et al. (2019) verificou que os sistemas

silvipastoris podem reduzir as horas de potencial estresse térmico em até três horas por dia.

Concernente as melhorias proporcionadas ao solo, esta é uma contribuição de suma importância, visto que em regiões tropicais os solos são geralmente pobres, ácidos e sofrem com a lixiviação. A copa das árvores reduz o impacto das chuvas sobre o solo, reduzindo o processo erosivo e o arraste de partículas. As árvores também favorecem a aeração e infiltração de água no solo (WICK; TIESSEN; MENEZES, 2000). Ademais, as raízes contribuem ainda com a translocação de nutrientes das camadas mais profundas até as folhas que, após a senescência, deposição e decomposição tornam-se fontes de adubação orgânica melhorando a estrutura do solo (MURGUEITIO et al., 2011).

Entretanto, em alguns casos, pode haver competição por água e nutrientes entre as espécies arbóreas e as forrageiras. Pezzopane et al. (2015) e Bosi; Pezzopane e Sentelhas (2009) verificaram maior recarga de água no solo próximo aos renques de árvores nos sistemas silvipastoris em relação as entrelinhas, entretanto, a remoção da umidade do solo abaixo das árvores também foi maior em virtude da maior exploração das raízes em profundidade.

2.3 Influência do componente arbóreo no microclima

Em se tratando de superfícies vegetadas, destaca-se aquelas em que há presença ou proximidade do componente arbóreo. Barley e Chorley (2013) argumentaram que o dossel florestal promove modificações significativas na transferência de energia, bem como na temperatura e umidade do ar e do solo. As árvores absorvem e refletem parte da radiação solar recebida, reduzindo a disponibilidade de energia para os fluxos de calor sensível e calor latente durante o dia (GEIGER; ARON; TODHUNTER, 1995; MA et al., 2010). À noite, o calor liberado pelo solo é parcialmente retido pelo dossel que atua como mantenedor de energia no sistema. Dessa forma, a flutuação diária da temperatura do ar torna-se mais estável do que em áreas abertas (VON ARX; DOBBERTIN; REBETEZ, 2012).

Acrescenta-se que as árvores reduzem a velocidade do vento pelo aumento do atrito com as mesmas, o que desacelera o deslocamento do ar a medida em que se

ganha em profundidade no dossel (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). A menor velocidade do vento reduz a resistência da camada limite junto as folhas, favorecendo as trocas gasosas e a transpiração (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017).

Assim, pelo processo de evapotranspiração as condições de umidade no ambiente também são modificadas. A maior quantidade de vapor d'água no ar, resulta no aumento da pressão parcial de vapor e, conseqüentemente, em maior consumo de energia para o fluxo de calor latente, influenciando a partição do saldo de radiação (FINDELL et al., 2007; LAWRENCE; VANDECAR, 2015) . Na floresta Amazônica, por exemplo, após uma chuva, até 80% do R_n pode ser utilizado no processo de evapotranspiração (BARLEY; CHORLEY, 2013).

Essas alterações, entretanto, são dependentes de características morfológicas (ramificações, densidade e textura das folhas), idade, altura, espaçamento e índice de área foliar (IAF) das árvores (GEIGER; ARON; TODHUNTER, 1995; HARDWICK et al., 2015). Assim, mudanças na composição e estrutura da vegetação, bem como no uso da terra de forma geral podem resultar em potenciais modificações das condições microclimáticas locais (SÊNIOR et al., 2017; JUCKER et al., 2018).

Hardwick et al. (2015) estudando a influência do IAF no microclima observou que o IAF de 33,7 na floresta primária, resultou em um microclima menos variável e 6,5 °C mais frio do que em uma plantação de dendzeiro, cujo IAF era de 5,3.

Dos Santos; Modolo; Ferreira (2020), analisando a influência de tratamentos silviculturais em uma floresta secundária, verificaram que a amplitude da temperatura e umidade do ar aumentavam em função da redução da área basal. A umidade do solo também foi ligeiramente afetada, sendo 3% menos úmida em áreas com 100% da redução da área basal em relação às áreas que não receberam o tratamento.

Fausto et al. (2016), estimaram maior saldo de radiação para áreas de Cerrado e mata ciliar (190,0 e 200,0 $W m^{-2}$) do que para áreas agrícolas (160 $W m^{-2}$). A diferença no saldo de radiação entre as áreas ocorreu em virtude do maior albedo e temperatura da superfície das áreas agrícolas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A área de estudo se localiza em uma propriedade particular no município de Jerônimo Monteiro (Latitude: 20°50'27"S; Longitude: 41°22'22"W e altitude de 120 a 900 m), sul do Estado do Espírito Santo. O local compreende uma área de pastagem de aproximadamente 15 ha de relevo acidentado, recuperada por diferentes modelos de sistemas silvipastoris implantados em dezembro de 2017. De acordo com a classificação de Koppen, o clima da região é do tipo Cwa, caracterizado por apresentar inverno seco e verão chuvoso com temperatura média anual de 23,1 °C e precipitação média anual de 1.341 mm (LIMA et al., 2008; CAIADO; SILVA, 2011).

Para a realização do experimento, a área foi delimitada em quatro encostas com diferentes faces de orientação, sendo: norte (N), nordeste (NE), sul (S) e sudoeste (SO). Em cada encosta foram implantados cinco tratamentos, os quais correspondem a diferentes modalidades de sistema silvipastoril (Figura 1).

Para o desenvolvimento do estudo topoclimático, optou-se por instalar as estações meteorológicas no modelo composto por capim brachiaria (*Brachiaria decumbens*) e híbrido de eucalipto (*Eucalyptus urophila* x *Eucalyptus gradis*). A orientação e inclinação de cada parcela é descrita na tabela 1.

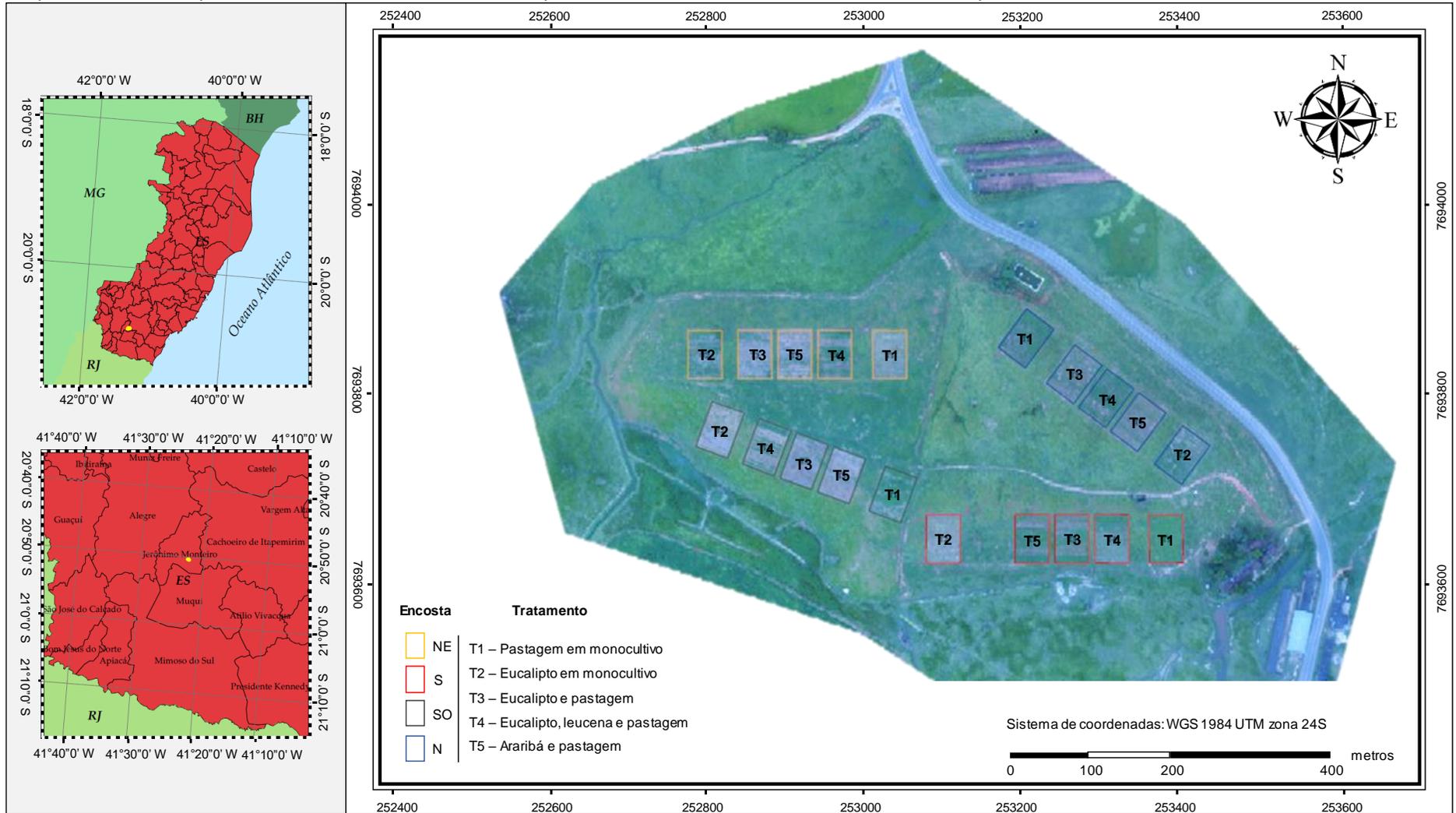
Tabela 1 – Caracterização topográfica das parcelas correspondentes ao modelo de sistema silvipastoril composto por capim brachiaria (*Brachiaria decumbens*) e eucalipto (*Eucalyptus urophila* x *Eucalyptus gradis*).

Encosta	Orientação	Inclinação parcela Eucalipto (°)
NE	45	17,5
S	180	22,0
SO	208	22,0
N	345	16,0

Fonte: a autora.

As parcelas correspondentes ao tratamento possuem dimensão de 34 x 50 m de largura e comprimento, respectivamente. As árvores do sistema silvipastoril foram plantadas em renques espaçados a 17 m, sendo este intervalo ocupado por pastagem. Cada renque constitui-se de três fileiras de árvores com espaçamento de 3 x 2 m, totalizando 652 árvores por ha⁻¹ (Figura 1).

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo, disposição das encostas e distribuição das parcelas correspondentes aos diferentes modelos de sistema silvipastoril. O município de Jerônimo Monteiro e a área experimental são destacados em amarelo nos mapas.

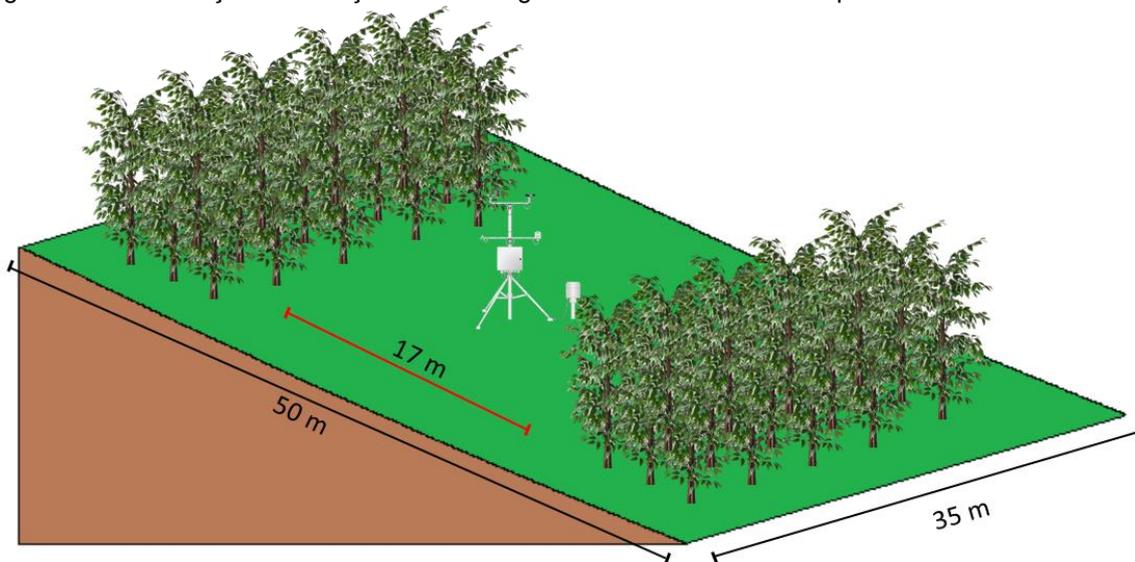


Fonte: a autora.

3.2 Coleta de dados

Para o estudo da caracterização topoclimática foi instalada uma estação meteorológica na região central de cada uma das parcelas com o tratamento capim brachiaria e eucalipto (Figura 2).

Figura 2 - Representação da parcela correspondente ao sistema silvipastoril composto por eucalipto e pastagem e da localização da estação meteorológica utilizada na análise topoclimática.



Fonte: a autora.

As avaliações foram realizadas em três campanhas de coleta de dados nos períodos de 25 de julho a 15 de agosto de 2018 (Campanha 1), 10 a 31 de janeiro de 2019 (Campanha 2) e 26 de junho a 17 de julho de 2019 (Campanha 3). As avaliações nas duas primeiras campanhas objetivaram caracterizar a variação das condições climáticas das encostas em relação as estações seca e chuvosa, as quais são características na região. A avaliação na terceira campanha, por sua vez, objetivou caracterizar o efeito combinado da estação e do componente arbóreo. Destaca-se que neste período as árvores possuíam 18 meses e altura média de 8,8 m ($\pm 0,1$ - NE), 8,3 m ($\pm 0,2$ - S), 9,7 m ($\pm 0,2$ - SO) e 10,4 m ($\pm 0,3$ - N). Adicionalmente, destaca-se que nas três campanhas a pastagem não estava estabelecida no sistema, de modo que a superfície consistia em solo nu.

As estações meteorológicas instaladas nas encostas foram programadas para medir o saldo de radiação (SR), radiação solar global (Rg), radiação fotossinteticamente ativa (RAF), temperatura e umidade do ar, temperatura da superfície e temperatura do solo nas profundidades de 2; 5; 10 e 20 cm.

Para fins de referência e comparação entre as encostas, instalou-se uma estação meteorológica em uma área aberta e plana, ou seja, sem a interferência topoclimática. Esta estação foi programada para medir radiação solar global (R_g), temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento e precipitação.

Na tabela 2 são apresentados os sensores utilizados para mensurar cada variável meteorológica. Previamente a instalação dos sensores em campo, os mesmos foram testados e calibrados no laboratório de Meteorologia e Ecofisiologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo.

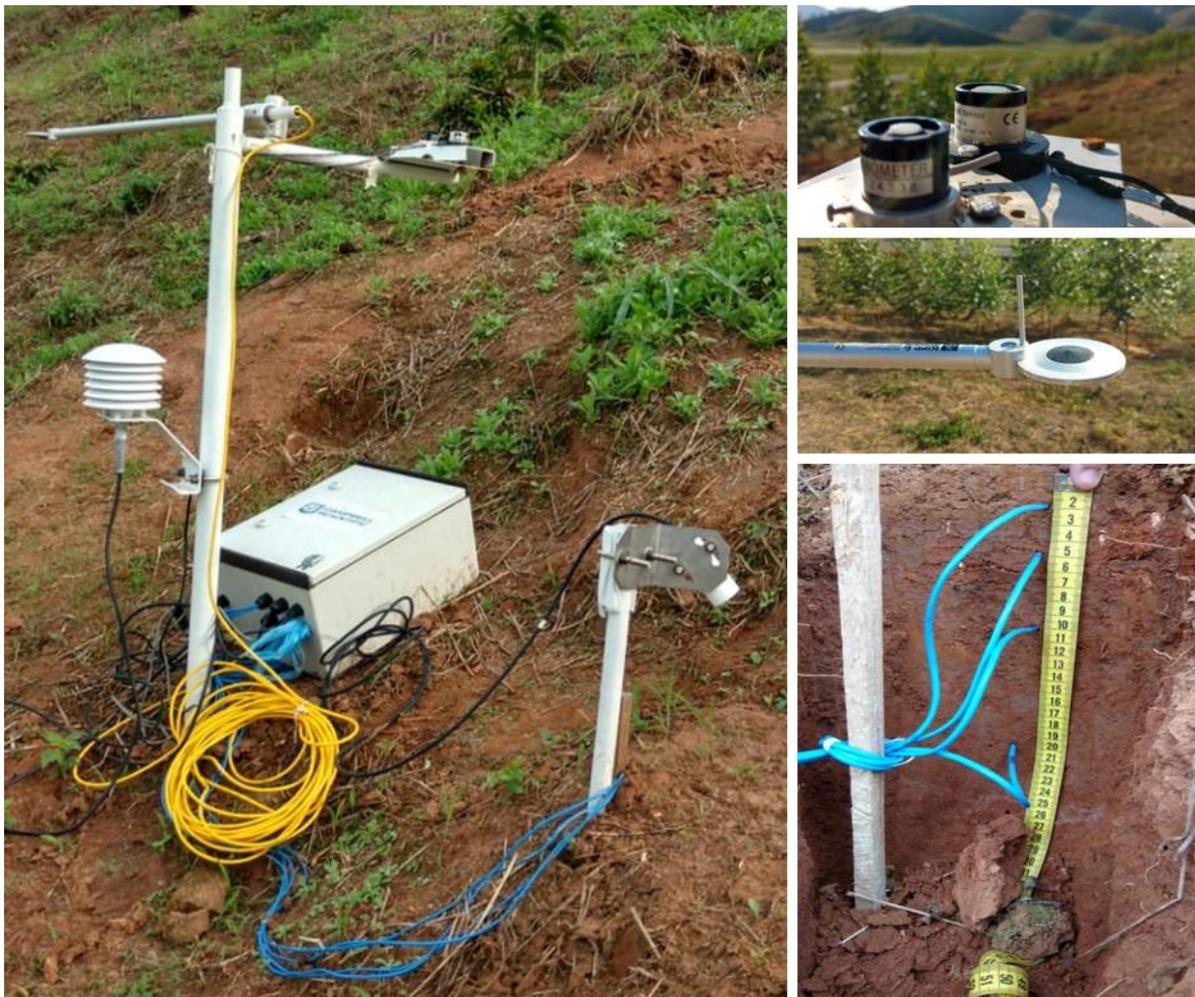
Tabela 2 – Variáveis meteorológicas, sensores utilizados e seus respectivos locais de medição na área de estudo, em Jerônimo Monteiro, ES.

Variável meteorológica	Unidade de medida	Sensor utilizado	Local de medição	
			Encosta	Área aberta
Saldo de radiação	$W m^{-2}$	Radiômetro NR-lite (Kipp & Zonen)	x	
Radiação solar global	$W m^{-2}$	Piranômetro SP-Lite (Kipp & Zonen)	x	x
Temperatura e umidade relativa do ar	$^{\circ}C / \%$	Termohigrometro CS215-L (Campbell Scientific)	x	x
Temperatura da superfície	$^{\circ}C$	Radiômetro infravermelho SI-111 (Campbell Scientific)	x	
Temperatura do solo	$^{\circ}C$	Termopares do tipo "T" (Salcas)	x	
Precipitação	mm	Pluviômetro TB4/TB4MM (Campbell Scientific)		x

Fonte: a autora.

Nas estações instaladas nas encostas, o radiômetro, o piranômetro e o anemômetro foram instalados a 1,5 m do solo, enquanto o termohigrometro foi instalado a 0,50 cm de altura do solo. O radiômetro infravermelho, por sua vez, foi instalado a 0,20 cm do solo em um ângulo de 45° em direção aos termopares (Figura 3). Os sensores descritos estavam conectados a um datalogger (CR1000 – Campbell Scientific) alimentado por uma bateria de 12 volts conectada a um painel solar, programado para realizar leituras a cada 5 segundos com armazenamento contínuo dos valores médios a cada 1 minuto.

Figura 3 – Estação meteorológica instalada na parcela correspondente ao sistema silvipastoril composto por eucalipto e pastagem, no município de Jerônimo Monteiro, ES.



Fonte: a autora.

Os sensores utilizados na estação instalada na área aberta foram fixados em uma haste a dois metros de altura do solo e conectados a um datalogger (CR10X - Campbell Scientific) alimentado por uma bateria de 12 volts conectada a um painel solar. O datalogger foi programado para leituras a cada 10 segundos e armazenamento a cada 1 hora.

A partir dos dados de temperatura do ar, calculou-se a pressão de saturação de vapor de água (e_s) por meio da equação de Tetens (3):

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot T_{ar}}{237,3 + T_{ar}}} \quad (3)$$

Em que T_{ar} = temperatura do ar.

Utilizando os dados de umidade relativa do ar calculou-se a pressão parcial de vapor (ea), por meio da seguinte equação (4):

$$ea = \frac{es \cdot Ur}{100} \quad (4)$$

Em que Ur = umidade do ar.

O déficit de pressão de vapor (DPV), por sua vez, foi calculado com base na diferença entre as pressões de “ es ” e “ ea ” (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Além disso, foi determinada a umidade do solo por meio do método gravimétrico. Para isso, foram determinados cinco pontos ao redor de cada estação meteorológica, sendo retirada uma amostra de solo (0 a 20 cm de profundidade) em cada ponto. As amostras dos cinco pontos foram misturadas, obtendo-se uma amostra composta da qual foram retiradas cinco repetições que foram armazenadas em capsulas de alumínio. As capsulas foram levadas para o Laboratório de Meteorologia e Ecofisiologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, onde foram pesadas em balança de precisão e secas em estufa de circulação forçada.

Na terceira campanha, determinou-se ainda o índice de área foliar (IAF) dos renques de eucalipto. A medição foi realizada em dias nublados por meio de um analisador de dossel modelo (LAI-2.050 - LI-COR), conectado a “datalogger” modelo (LAI-2.050 - LI-COR). Para isso, o sensor foi programado para fazer uma leitura a céu aberto e cinco leituras sob a copa das árvores. As leituras foram realizadas por meio de caminhamentos em zigue-zague nas entrelinhas dos renques. Este processo foi repetido feito duas vezes ao longo de cada renque, sendo uma leitura realizada da margem direita do renque até o meio, e a outra do meio do renque até a margem esquerda. Assim, para cada renque de árvores foram obtidos dois valores de IAF. Para a determinação do IAF de cada parcela, portanto, fez-se a média de quatro leituras, visto que cada parcela contém dois renques.

3.3 Correção dos valores de radiação

Considerando que o saldo de radiação e a radiação solar global foram medidos no plano horizontal, os valores obtidos pelos sensores foram submetidos a correções para corresponder ao plano inclinado.

Para obtenção da radiação solar global no plano inclinado, inicialmente, calculou-se o ângulo zenital para cada encosta (Z') pela equação (5), conforme Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002):

$$\cos Z' = \cos i \cos Z + \sin i \sin Z \cos(\beta - \alpha) \quad (5)$$

Em que:

i = inclinação

Z = ângulo zenital

β = azimute do plano vertical que contém a linha normal (perpendicular) à superfície

α = azimute do Sol

Em seguida, calculou-se a energia solar incidente no topo da atmosfera para o plano inclinado por meio da equação (6):

$$Ih' = J_0 (d/D)^2 \cos Zh' \quad (6)$$

Em que

J_0 = constante solar (1367 W m^{-2})

$(d/D)^2$ = correção da constante solar, sendo D a distância entre a Terra e o Sol e d distância média (UA), para se obter o máximo de irradiância solar no topo da atmosfera.

De posse desses dados, fez-se a relação entre a energia solar no topo da atmosfera, considerando o plano inclinado, e a energia solar incidente no plano horizontal (Ih'/Ih) para saber quanto de energia a encosta está recebendo em relação ao plano horizontal.

Posteriormente, calculou-se a transmissividade da radiação por meio da relação entre o R_g de cada encosta e a radiação incidente no topo da atmosfera. Considerando que em dias nublados a radiação é predominantemente difusa e de baixa energia, não provocando grandes diferenças entre os planos horizontal e

inclinado, adotou-se a correção dos valores somente para os horários em que a transmissividade da radiação fosse superior a 35%.

Assim, para os instantes em que a transmissividade foi superior a 35% multiplicou-se o valor da radiação global quantificada pelo piranômetro pela relação I_h/I_h' , obtendo-se então a radiação solar global para a superfície inclinada (R_g').

Para a correção do SR aplicou-se o resultado da diferença entre o R_g medido e o R_g corrigido sobre o valor quantificado pelo saldo radiômetro. A radiação RAF, por sua vez, foi estimada a partir radiação solar global para a superfície inclinada por meio da equação (7):

$$RAF = 0,5 . R_g' \quad (7)$$

Em que:

PAR = radiação fotossinteticamente ativa

R_g = radiação solar global

3.4 Análise de dados

O estudo das variáveis meteorológicas foi analisado por meio de estatística descritiva, utilizando-se a média e o desvio padrão no intuito de comparar o comportamento e a variação das condições topoclimáticas de cada encosta.

Os valores médios da radiação solar global, temperatura do ar e déficit de pressão de vapor observados nas encostas em cada campanha foram utilizados para ajustar modelos de regressão linear simples em função dos valores registrados na estação de referência, no intuito de corroborar com a comparação do comportamento das encostas.

Ambas as análises foram realizadas por meio do Microsoft Excel 2016.

4. RESULTADOS

O período de realização das campanhas apresentou situações atípicas em relação ao padrão de sazonalidade esperado, especialmente para precipitação, de acordo com os dados obtidos na estação meteorológica instalada em área aberta na área experimental (Figura 4).

Segundo dados históricos (1984-2014) obtidos do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER, 2019) da estação meteorológica do município de Alegre (ES), estação mais próxima da área experimental, o mês de janeiro possui precipitação média de 168 mm, enquanto os meses de junho, julho e agosto apresentam pluviosidade média de 20 mm, 25 mm e 35 mm. Na primeira campanha (julho/agosto), porém, foi registrado um total de 44 mm na área experimental. Na segunda campanha (janeiro) foram registrados apenas 6,0 mm no mês, ou seja, um período que foi marcado pela ausência de chuvas. Na terceira campanha foram registrados apenas 0,20 mm no mês de julho, isto após 37 dias sem ocorrência de chuvas (Figura 4).

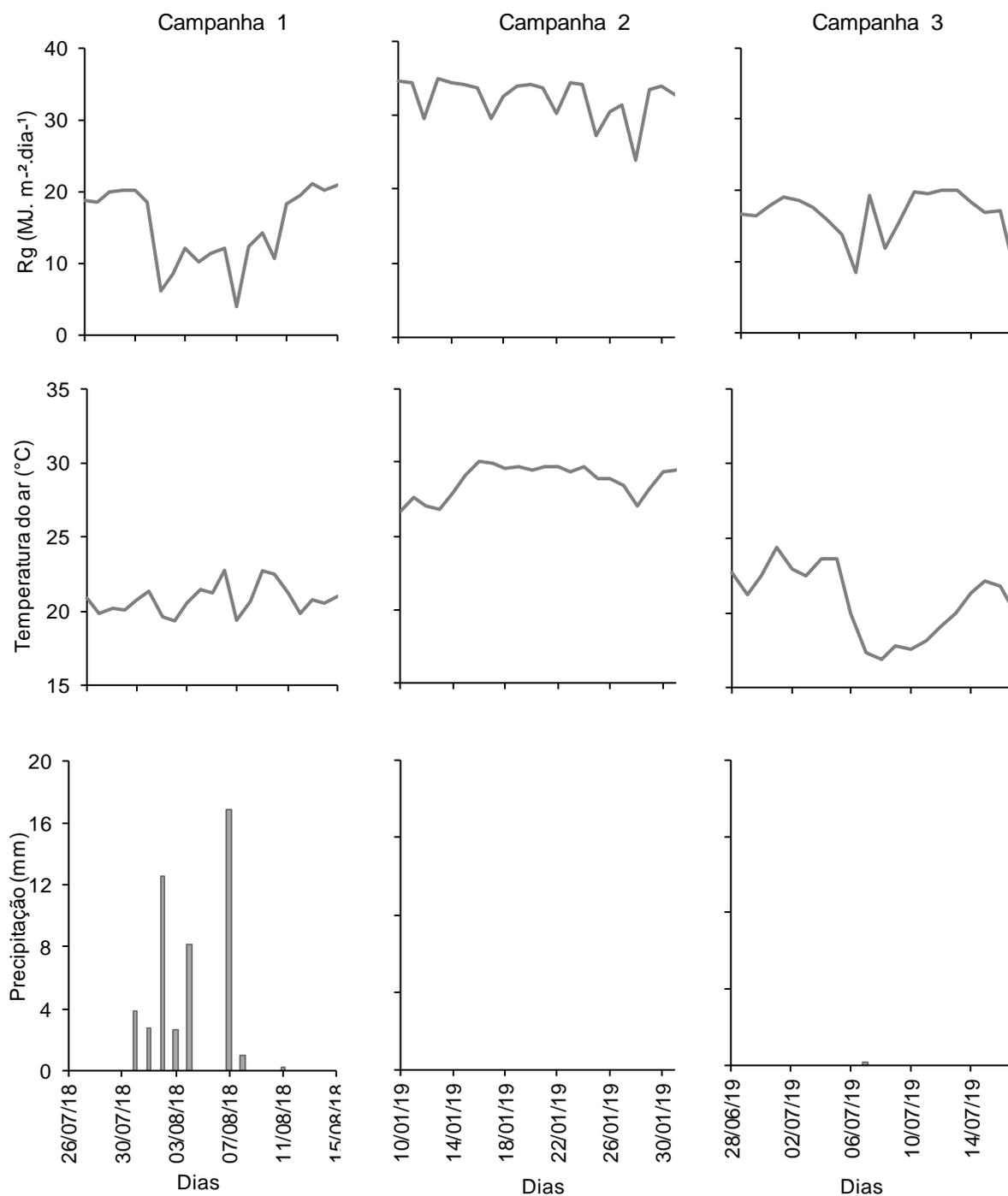
Do total de 21 dias avaliados na primeira campanha, 11 apresentaram nebulosidade variando de moderada a intensa, resultando em incidência média de radiação solar global de $15,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Na segunda campanha, em janeiro de 2019, a redução da declinação solar associada a menor ocorrência de nuvens, resultou em maior incidência de radiação solar na área ($32,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). Na terceira campanha, por sua vez, a menor influência de nuvens resultou em radiação solar global média relativamente superior a primeira campanha ($16,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

A temperatura média do ar foi de $20,8 \text{ }^\circ\text{C}$ para a primeira e terceira campanha e de $28,8 \text{ }^\circ\text{C}$ para segunda campanha. Destaca-se que a terceira campanha foi influenciada por uma frente fria que atingiu a região Sudeste no dia 04 de julho de 2019 (INMET, 2019).

O teor de umidade do solo variou entre as encostas e entre as estações do ano analisadas (Figura 5), sendo que a encosta SO manteve-se mais úmida e a NE mais seca nas três campanhas.

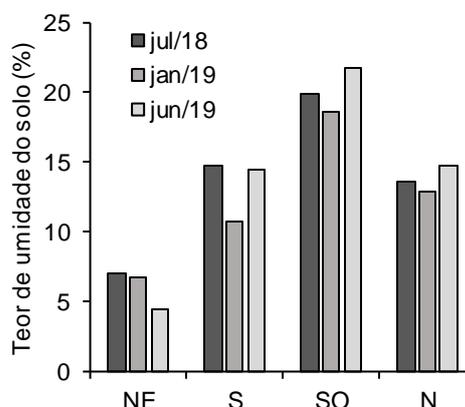
No que concerne ao índice de área foliar (IAF) mensurado na terceira campanha, verificou-se maior IAF na encosta N ($0,79 \pm 0,3$), seguido das encostas SO ($0,78 \pm 0,1$), S ($0,72 \pm 0,2$) e NE ($0,59 \pm 0,1$).

Figura 4 – Valores médios de radiação solar global (Rg), temperatura do ar e precipitação nos períodos de 25 de julho a 15 de agosto de 2018 (Campanha 1), 10 a 31 de janeiro de 2019 (Campanha 2) e 26 de junho a 17 de julho de 2019 (Campanha 3) medidos na estação de referência na área de estudo, em Jerônimo Monteiro, ES.



Fonte: a autora.

Figura 5 – Teor de umidade do solo nos períodos de 25 de julho a 15 de agosto de 2018 (Campanha 1), 10 a 31 de janeiro de 2019 (Campanha 2) e 26 de junho a 17 de julho de 2019 (Campanha 3) medidos em quatro encostas em sistema silvipastoril no município de Jerônimo Monteiro, ES.



Fonte: a autora.

4.1 Radiação solar global e saldo de radiação

A radiação solar global (R_g), a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e o saldo de radiação (SR) variaram entre as encostas e entre os períodos avaliados, evidenciando os efeitos da sazonalidade, bem como a influência da presença do componente arbóreo no sistema (Tabela 3). As diferenças entre as encostas e entre as campanhas é evidenciada pela correlação dos valores de R_g das encostas com a R_g da estação de referência (Figura 6).

Na primeira campanha, verificou-se que encostas com tendência a uma mesma face de orientação apresentaram valores muito próximos de R_g , RFA e SR. A maior incidência de radiação nas vertentes à norte, as quais apresentaram maior coeficiente angular (Figura 6), resultou em saldo médio de radiação superior quando comparadas aquelas à sul. Na segunda campanha, observou-se o aumento da incidência de radiação bem como da radiação líquida. Inversamente a primeira campanha, as encostas à sul receberam mais radiação (Figura 6), resultando em maior disponibilidade energética. Na terceira campanha, as árvores possuíam altura suficiente (NE = 8,8 m; S = 8,3 m; SO = 9,7 m; N = 10,4 m) para reduzir a transmissividade da radiação solar nas quatro encostas, destacadamente naquelas à sul, as quais apresentaram coeficiente angular negativo (Figura 6). Em decorrência da redução da entrada de energia, estas encostas apresentaram saldo médio diário de radiação negativo (Tabela 3).

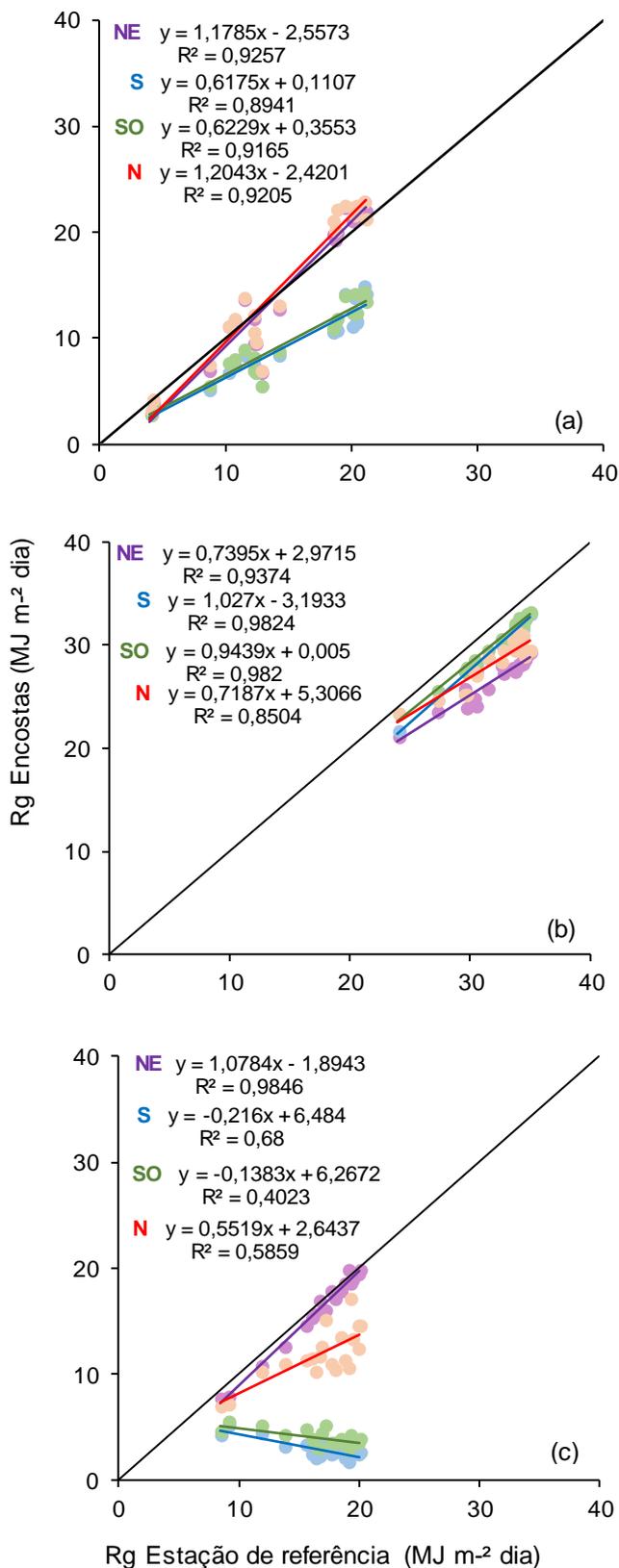
Tabela 3 – Valores médios de radiação solar global (Rg, MJ m⁻². dia), radiação fotossinteticamente ativa (RFA – mol m⁻² dia) e saldo de radiação (SR, MJ m⁻² dia), medidos em quatro encostas, a 1,0 m do solo, nos períodos de 25 de julho a 15 de agosto de 2018 (Campanha 1), 10 a 31 de janeiro de 2019 (Campanha 2) e 26 de junho a 17 de julho de 2019 (Campanha 3), em sistema silvipastoril no município de Jerônimo Monteiro, ES.

Período		NE	S	SO	N
Campanha 1	Rg	14,8 (± 6,7)	9,5 (± 3,5)	9,7 (± 3,5)	15,3 (± 6,9)
	RFA	29,7 (± 13,4)	19,0 (± 7,1)	19,5 (± 7,0)	30,7 (± 13,8)
	SR	5,6 (± 2,7)	2,6 (± 1,2)	2,9 (± 1,4)	5,6 (± 2,6)
Campanha 2	Rg	26,7 (± 2,2)	29,8 (± 2,9)	30,3 (± 2,7)	28,5 (± 2,3)
	RFA	53,8 (± 4,3)	60,1 (± 5,8)	61,1 (± 5,4)	57,1 (± 4,4)
	SR	9,0 (± 1,4)	11,8 (± 1,5)	14,1 (± 1,8)	11,1 (± 1,7)
Campanha 3	Rg	16,0 (± 3,7)	2,9 (± 0,9)	3,9 (± 0,7)	11,8 (± 2,4)
	RFA	32,2 (± 7,3)	5,7 (± 1,8)	7,9 (± 1,5)	23,5 (± 4,8)
	SR	5,7 (± 1,57)	-1,0 (± 1,0)	-0,8 (0,9)	4,1 (± 1,2)

Fonte: a autora.

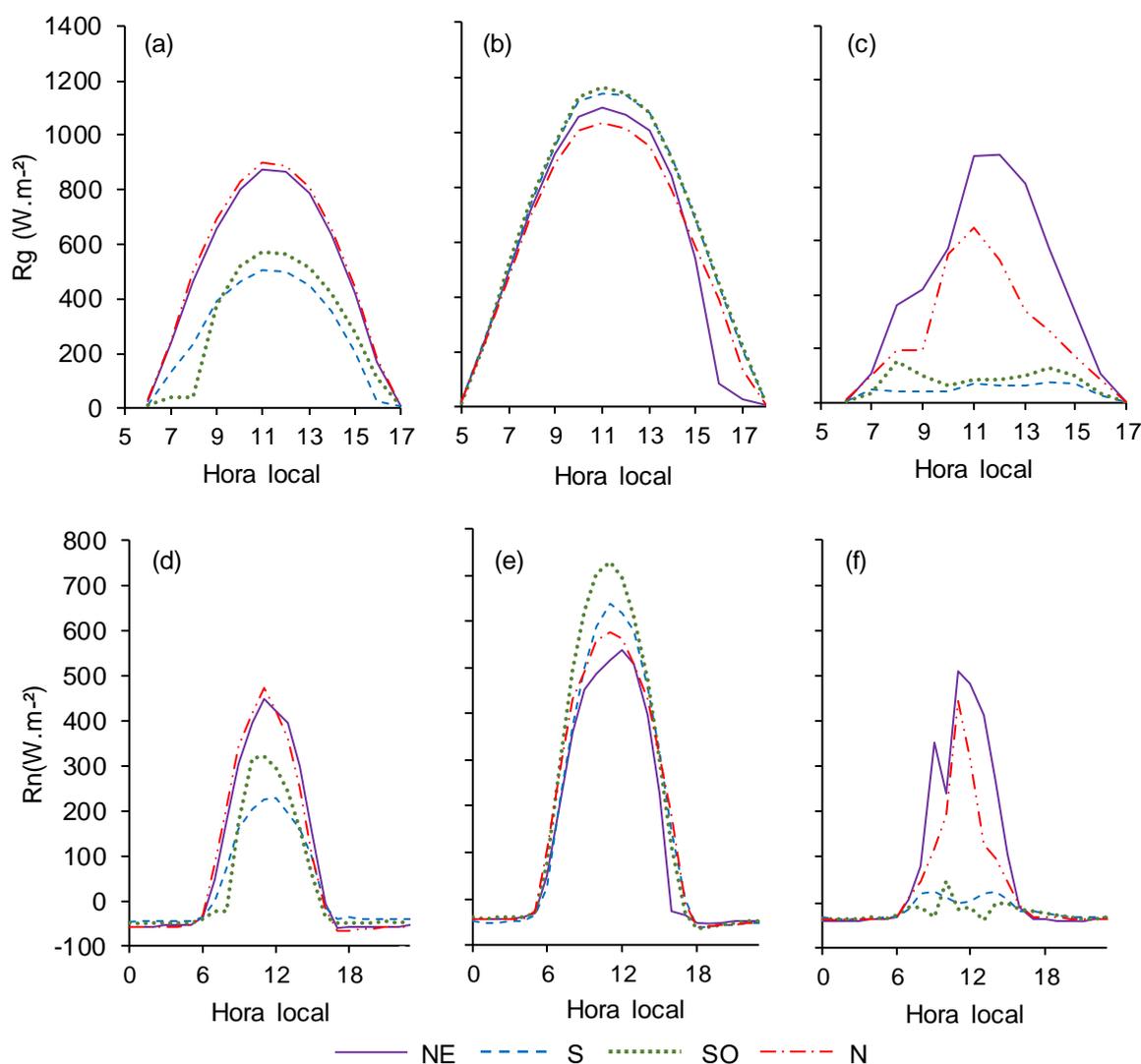
A disparidade nos valores de radiação entre as encostas é destacada quando se analisa a dinâmica horária da Rg e da SR em dias de céu limpo nas diferentes campanhas (Figura 7). Na primeira campanha o aumento da incidência de Rg e do SR no início da manhã ocorreu mais lentamente na encosta SO. Na segunda campanha, as encostas exibiram valores semelhantes durante a manhã, sendo a diferença marcante exibida às 16h quando a incidência de Rg, bem como da disponibilidade energética foram reduzidas mais rapidamente na vertente NE em relação às demais (diferença média de 23,7 MJ m⁻² d). Na terceira campanha a presença do componente arbóreo intensificou a diferença da Rg e do SR entre as encostas à norte e à sul, sendo que as vertente S e SO apresentaram comportamento diferente das vertentes à norte, além de menor amplitude na variação ao longo do dia.

Figura 6 – Relação entre os valores médios diários de Radiação solar global (R_g – MJ m^{-2} dia) medidos em quatro encostas e em estação de referência nos períodos de 25 de julho a 15 de agosto de 2018 (Campanha 1), 10 a 31 de janeiro de 2019 (Campanha 2) e 26 de junho a 17 de julho de 2019 (Campanha 3) em sistema silvipastoril, no município de Jerônimo Monteiro, ES. Onde: campanha 1 (a), campanha 2 (b), campanha 3 (c).



Fonte: a autora.

Figura 7 – Valores médios horários de radiação solar global (Rg, a, b, c) e saldo de radiação (SR, d, e, f) medidos em quatro encostas, a 1,0 m do solo, em três campanhas no município de Jerônimo Monteiro, ES. Onde, campanha 1 (a, d), campanha 2 (b, e), campanha 3 (c, f).



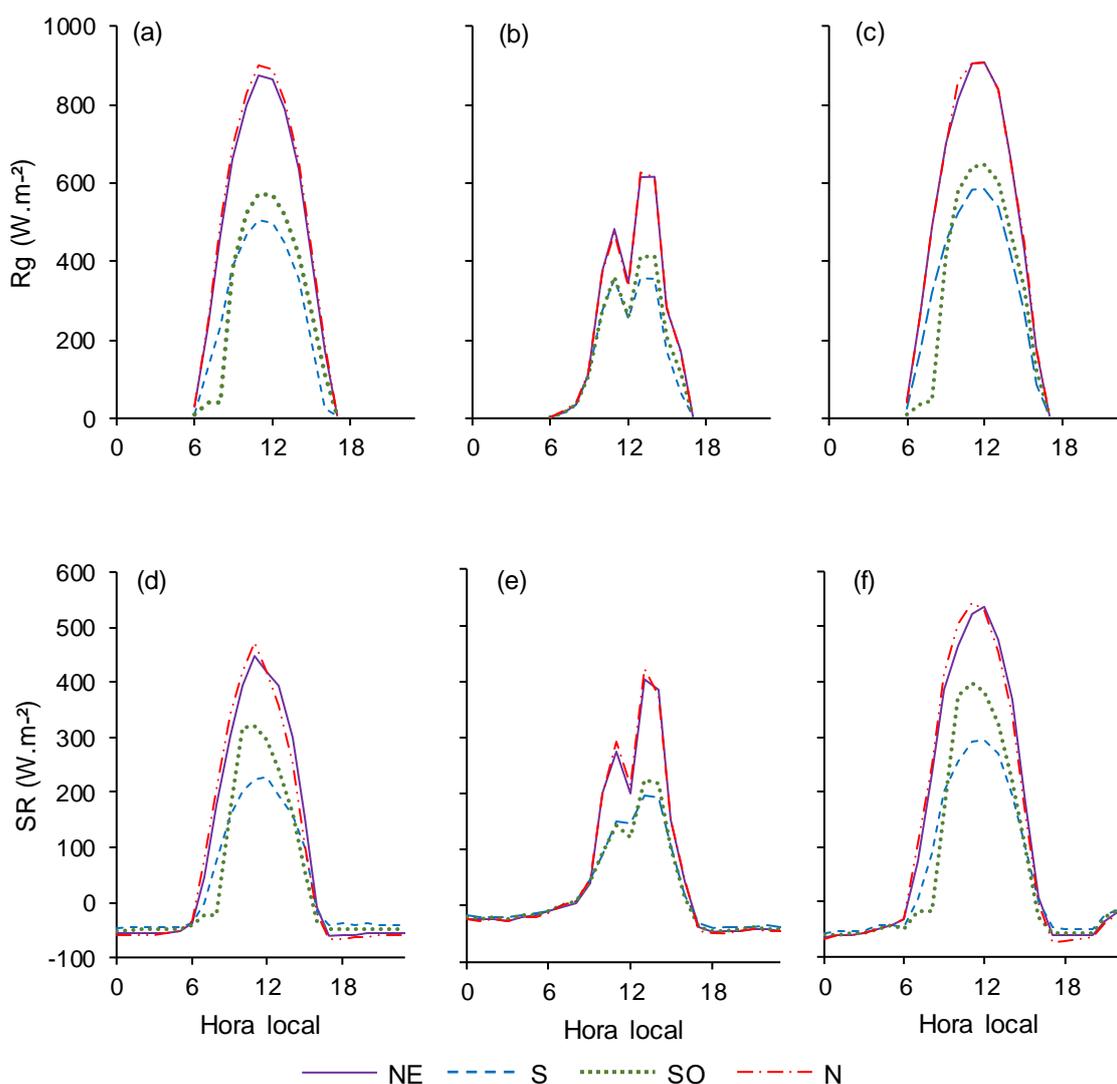
Fonte: a autora.

Analisando o SR médio diário no período noturno (Figura 4), observou-se que as maiores perdas de radiação, na primeira e terceira campanha, ocorreram nas encostas com tendência ao norte, as quais receberam mais radiação ao longo do dia. Na segunda campanha, as encostas SO, S e N apresentaram valores próximos de SR noturno e ligeiramente inferior à encosta NE.

Conforme observado na figura 2, na primeira campanha foram registrados dias nublados associados à ocorrência de chuvas, o que afetou o regime de radiação no período. Assim, buscando demonstrar o efeito dessas condições atmosféricas, realizou-se a análise dos dados médios horários de três dias típicos (Figura 8), a

saber: um dia de céu limpo advindo de um período de estiagem (30/07/18), um dia nublado (04/08/18) e um dia de céu limpo após o registro de chuvas (12/08/18).

Figura 8 – Valores médios horários radiação solar global (Rg) e saldo de radiação (SR) em dia de céu limpo em período de estiagem (a, d), em dia nublado (b, e) e em dia de céu limpo após ocorrência de precipitação (c, f), medidos em quatro encostas, a 1,0 m do solo, no município de Jerônimo Monteiro, ES.



Fonte: a autora.

Em ambos os dias com céu limpo observa-se que, como resultado da maior incidência de radiação solar, as vertentes N e NE apresentaram saldo de radiação maior que as encostas S e SO. No período noturno, porém, estas vertentes apresentaram maior perda de radiação. Embora o SR tenha sido ligeiramente superior no dia posterior as chuvas em comparação ao dia que antecedeu, a perda de radiação a noite foi ligeiramente inferior.

No dia nublado, observa-se diminuição da incidência de radiação, bem como da disponibilidade energética ao longo do período diurno. Nota-se a redução da disparidade dos valores de R_g e SR entre as encostas. O aumento da incidência de radiação ocorreu de maneira similar entre as quatro encostas, eliminando o efeito topoclimático na vertente SO pela manhã. Além disso, a perda de radiação no período noturno foi atenuada, assim como a diferença de perda radiativa entre as vertentes. A diferença máxima de $-27,5 \text{ W m}^{-2}$ entre as encostas N e S no dia anterior a chuva, por exemplo, fora reduzida para $-13,0 \text{ W m}^{-2}$ no dia nublado.

4.2 Temperatura da superfície e temperatura do solo

As temperaturas médias e máximas da superfície variaram entre as encostas nos três períodos avaliados (Tabela 4). A temperatura mínima apresentou dessemelhança entre as vertentes somente na segunda campanha, quando a encosta S foi em média $1,1 \text{ }^\circ\text{C}$ inferior às demais. A amplitude térmica, portanto, oscilou em função da temperatura máxima, seguindo o mesmo padrão de variação entre as encostas.

Tabela 4 – Valores médios, em $^\circ\text{C}$, de temperatura média ($T_{\text{méd}}$), máxima ($T_{\text{máx}}$) e mínima ($T_{\text{mín}}$) da superfície e amplitude térmica diária (Amp) medidos em quatro encostas, a 0,2 m do solo, nos períodos de 25 de julho a 15 de agosto de 2018 (Campanha 1), 10 a 31 de janeiro de 2019 (Campanha 2) e 26 de junho a 17 de julho de 2019 (Campanha 3), em sistema silvipastoril no município de Jerônimo Monteiro, ES.

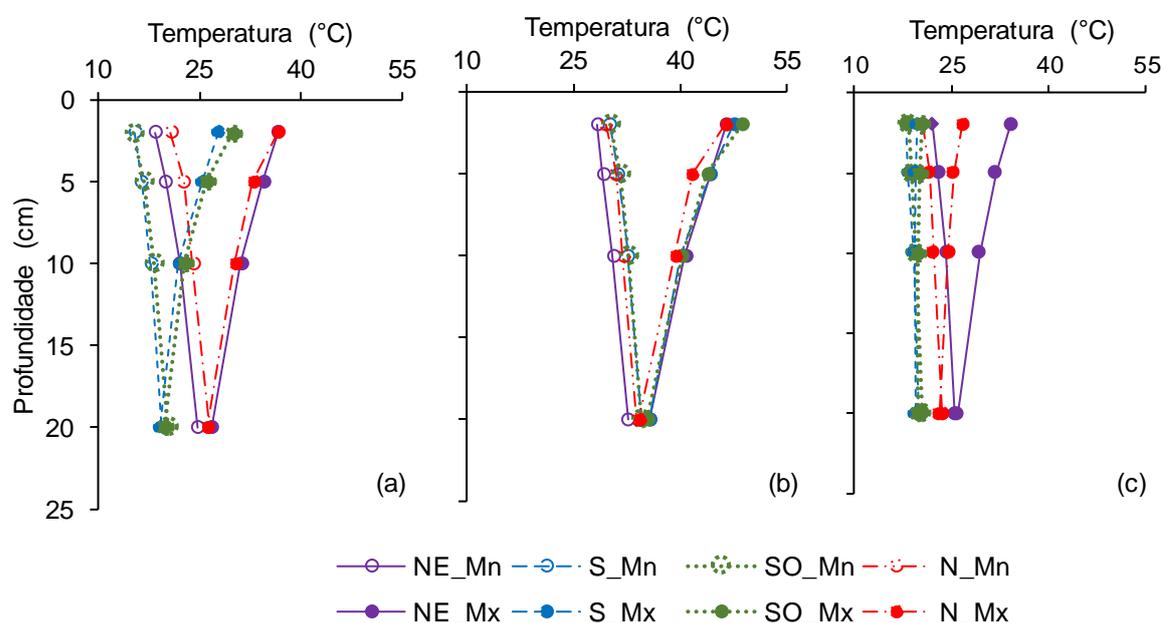
Período		NE	S	SO	N
Campanha 1	$T_{\text{méd}}$	23,0 ($\pm 1,6$)	20,5 ($\pm 1,0$)	21,2 ($\pm 1,0$)	23,8 ($\pm 2,8$)
	$T_{\text{máx}}$	37,7 ($\pm 8,2$)	31,7 ($\pm 4,2$)	33,2 ($\pm 4,4$)	40,3 ($\pm 10,4$)
	$T_{\text{mín}}$	15,7 ($\pm 2,5$)	15,2 ($\pm 2,5$)	15,7 ($\pm 2,5$)	15,4 ($\pm 2,6$)
	Amp	22,0 ($\pm 10,3$)	16,5 ($\pm 6,4$)	17,5 ($\pm 6,6$)	24,9 ($\pm 11,5$)
Campanha 2	$T_{\text{méd}}$	35,7 ($\pm 1,3$)	38,2 ($\pm 1,5$)	39,5 ($\pm 1,9$)	37,6 ($\pm 1,8$)
	$T_{\text{máx}}$	61,8 ($\pm 3,9$)	64,3 ($\pm 2,3$)	69,2 ($\pm 3,3$)	64,8 ($\pm 3,0$)
	$T_{\text{mín}}$	22,8 ($\pm 1,1$)	21,8 ($\pm 1,1$)	23,1 ($\pm 1,0$)	22,9 ($\pm 1,2$)
	Amp	39,0 ($\pm 4,2$)	40,3 ($\pm 1,9$)	46,1 ($\pm 2,8$)	41,9 ($\pm 2,4$)
Campanha 3	$T_{\text{méd}}$	22,9 ($\pm 2,2$)	16,9 ($\pm 2,4$)	17,5 ($\pm 2,3$)	21,1 ($\pm 1,9$)
	$T_{\text{máx}}$	47,0 ($\pm 3,5$)	24,7 ($\pm 2,9$)	26,4 ($\pm 2,7$)	40,3 ($\pm 3,4$)
	$T_{\text{mín}}$	12,2 ($\pm 2,4$)	11,6 ($\pm 2,5$)	12,3 ($\pm 2,4$)	12,8 ($\pm 2,3$)
	Amp	34,7 ($\pm 3,8$)	13,1 ($\pm 2,4$)	14,0 ($\pm 1,9$)	27,6 ($\pm 4,2$)

Fonte: a autora.

As variações na temperatura da superfície também foram observadas, em menor intensidade, no perfil da temperatura do solo (Figura 9). Independente da

estação do ano, observou-se que as camadas mais profundas exibem menor variação entre os horários e entre as encostas. Na primeira campanha encostas com tendência a uma mesma orientação apresentaram valores semelhantes ao longo do perfil. Nota-se que as encostas S e SO tenderam a uma isoterma espaço-temporal nos três períodos avaliados.

Figura 9 – Perfil da temperatura do solo, elaborado a partir dos valores médios de temperatura mínima (T_{mín}) e temperatura máxima (T_{Máx}), medidos em quatro encostas nos períodos de 25 de julho a 15 de agosto de 2018 (Campanha 1), 10 a 31 de janeiro de 2019 (Campanha 2) e 26 de junho a 17 de julho de 2019 (Campanha 3), em sistema silvipastoril no município de Jerônimo Monteiro, ES. Onde, campanha 1 (a), campanha 2 (b), campanha 3 (c).



Fonte: a autora.

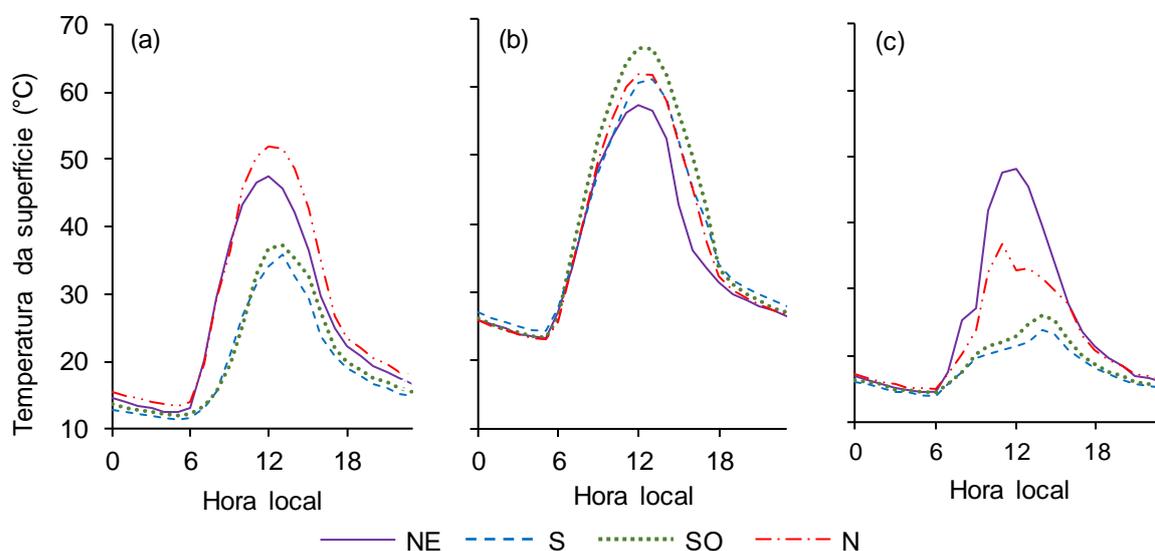
A diferença entre a temperatura da superfície das encostas foi ainda mais evidente quando analisada a variação horária nas três campanhas (Figura 10). Observa-se que as maiores variações entre as encostas ocorrem no período diurno, especialmente nos horários de maior irradiância. Na primeira campanha, a maior diferença ocorre às 10 horas quando a temperatura da superfície na encosta N é 20,3 °C e 18,8 °C maior do que as encostas SO e S, respectivamente. Na segunda campanha a discrepância na temperatura das quatro encostas é reduzida, sendo que a maior diferença ocorreu às 15h quando a encosta NE apresentou temperatura 13,0° C menor que a SO.

Destaca-se que a variação da temperatura da superfície ao longo do dia na primeira campanha foi inversa a exibida na segunda. Na primeira campanha as

temperaturas mais próximas são observadas a tarde, enquanto na segunda ocorre o mesmo no período da manhã.

Na terceira campanha, por sua vez, a disparidade na temperatura entre a encosta NE e as demais foi mais representativa. Comparada a primeira campanha, a maior diferença de temperatura entre a vertente N e as vertentes S e SO ocorreram 1h mais tarde e foram reduzidas em 2,9 °C e 5,6 °C, respectivamente.

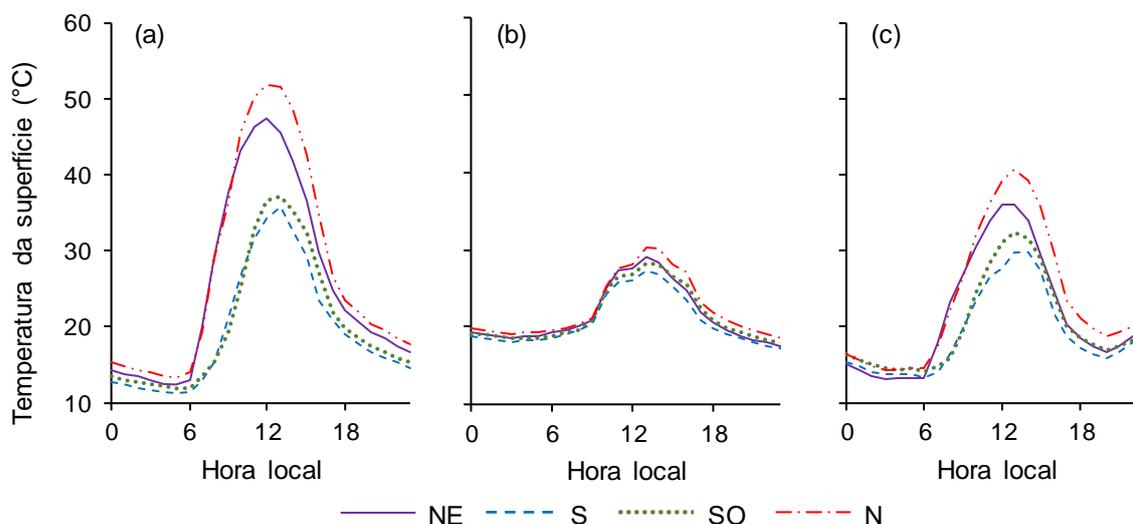
Figura 10 – Valores médios horários de temperatura da superfície medidos em quatro encostas, a 0,2 m do solo, em três campanhas no município de Jerônimo Monteiro, ES. Onde, campanha 1 (a), campanha 2 (b), campanha 3 (c).



Fonte: a autora.

Conforme mencionado anteriormente, a primeira campanha foi marcada pela ocorrência de dias nublados e de precipitação, o que afetou o fluxo de calor no solo. Assim, buscando analisar a influência da nebulosidade e da disponibilidade hídrica do ambiente na temperatura da superfície e na temperatura do solo, foram analisados os dias típicos apresentados no tópico anterior (Figura 11).

Figura 11 – Valores médios horários de temperatura da superfície em dia de céu limpo em período de estiagem (a), em dia nublado (b) e em dia de céu limpo após ocorrência de precipitação (c), medidos em quatro encostas, a 0,2 m do solo, no município de Jerônimo Monteiro, ES.



Fonte: a autora.

No dia anterior a chuva (30/07/2018) a encosta N apresentou temperatura média da superfície 2,0 °C, 7, 0°C e 8,0 °C maior que as encostas NE, S e SO, respectivamente. No dia posterior a chuva (12/08/2018) a diferença de temperatura entre a encosta N e as encostas S e SO foi reduzida para 4,6 °C e 3,5 °C, respectivamente. Destaca-se que o saldo de radiação no dia após a ocorrência de precipitação foi superior ao do dia 30/07 (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores médios de saldo de radiação ($W.m^{-2}$) em dia de céu limpo em período de estiagem (30/07/2018), em dia nublado (11/08/2018) e em dia de céu limpo após ocorrência de precipitação (12/08/2018) medidos em quatro encostas, a 1,0 m do solo em sistema silvipastoril no município de Jerônimo Monteiro, ES.

Dia	NE	S	SO	N
30/07/2018	6,7	2,6	2,9	6,5
11/08/2018	3,0	1,9	2,2	3,0
12/08/2018	9,3	3,9	4,4	9,3

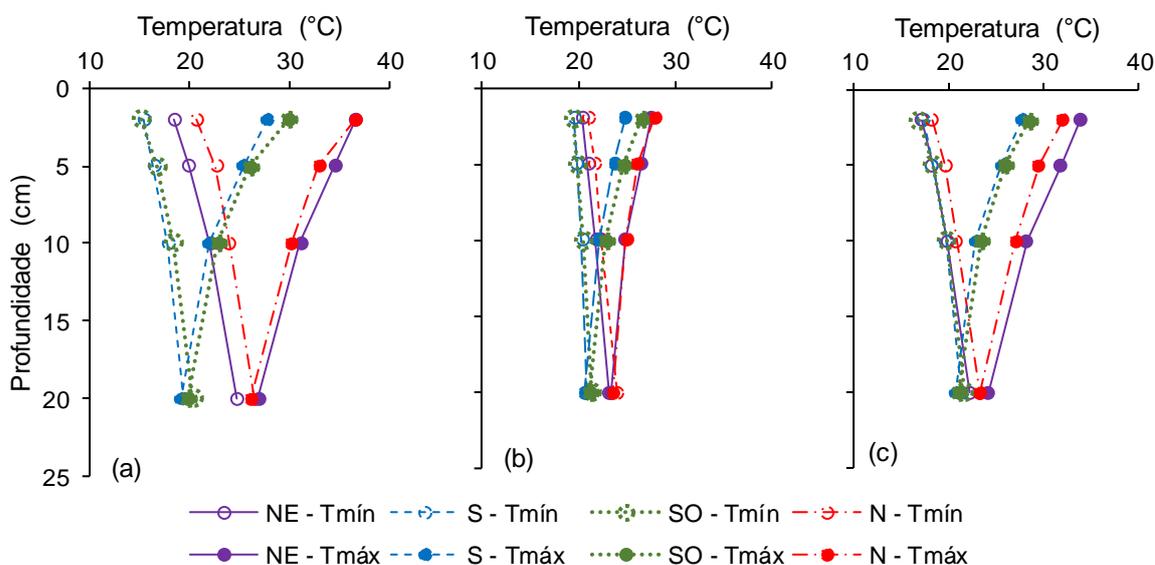
Fonte: a autora.

Embora a menor temperatura máxima tenha resultado em menor flutuação térmica no dia posterior a chuva, observou-se que a atenuação da temperatura média diária da superfície não seguiu a mesma magnitude entre as encostas (Figura 9). Enquanto as vertentes N e NE apresentaram redução de 3,8 °C, as encostas S e SO mantiveram praticamente a mesma temperatura do dia anterior a chuva (diferença de 0,3°C).

No dia nublado, por sua vez, observou-se redução da temperatura máxima e aumento da temperatura mínima da superfície, resultando em menor amplitude térmica. A diferença de temperatura entre as encostas N e S ultrapassou 3,5°C.

No que concerne a temperatura do solo, nota-se que independente da condição atmosférica, os valores das diferentes encostas tendem a se aproximar a medida em que a profundidade aumenta, o que ocorreu a 20 cm de profundidade (Figura 12). Comparando-se os dias de céu claro antes e após a chuva, observa-se um aumento da temperatura mínima e redução da amplitude térmica no dia em que o solo estava mais úmido. No dia nublado, observa-se a redução da variabilidade espacial e temporal da temperatura do solo, bem como da diferença de temperatura entre as encostas, especialmente na temperatura mínima.

Figura 12 – Perfil da temperatura do solo, elaborado a partir dos valores médios de temperatura mínima (T_{mín}) e temperatura máxima (T_{máx}) em dia de céu limpo em período de estiagem (a), em dia nublado (b) e em dia de céu limpo após ocorrência de precipitação (c), medidos em quatro encostas, a 0,2 m do solo, em duas épocas do ano, em sistema silvipastoril no município de Jerônimo Monteiro, ES.

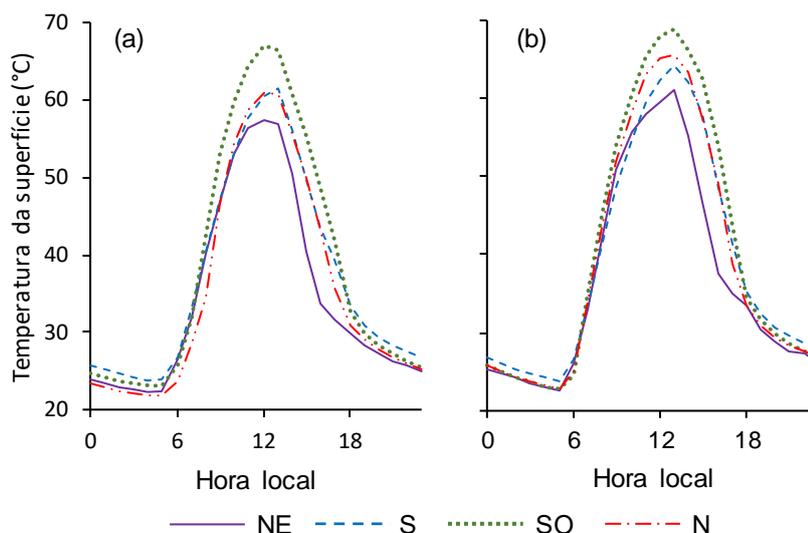


Fonte: a autora.

A ausência de chuvas que marcou o período da segunda campanha também permite demonstrar a influência da disponibilidade hídrica na divisão dos termos do balanço de radiação e, conseqüentemente, na variação da temperatura da superfície do solo. Comparando um dia de céu limpo no início (11/01/2019), quando o solo estava mais úmido, com um dia de céu limpo no final (30/01/2019) da campanha, constatou-se um aumento de 2,0°C para as encostas N, NE e SO e de 1,7°C para a S (Figura 13). No perfil de temperatura do solo (Figura 14) foram observados

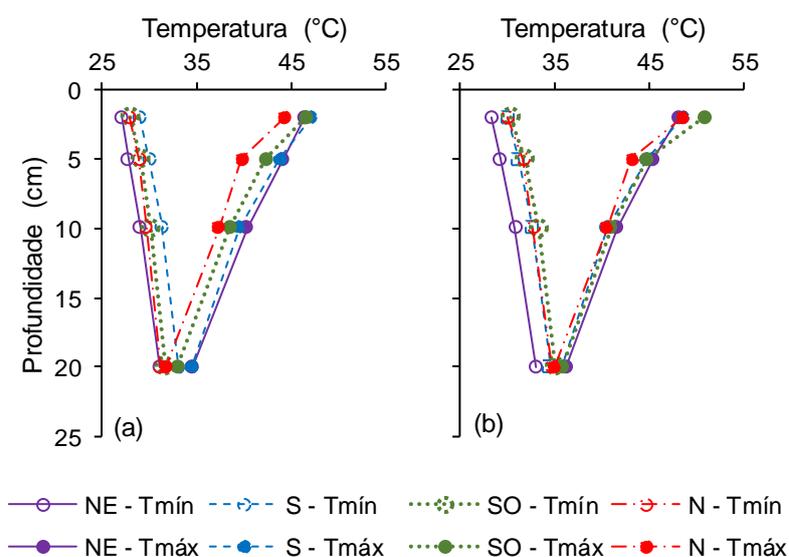
aumentos mais expressivos na camada superficial (2 cm) das encostas N e SO (4,2 °C para ambas). Nota-se ainda a redução da disparidade na temperatura do solo ao longo do perfil entre as encostas. Ressalta-se que no dia 30/01 houve menor aporte de radiação líquida (Tabela 6).

Figura 13 – Valores médios horários de temperatura da superfície em dia de céu limpo no início (a) e no final (b) da segunda campanha, medidos em quatro encostas, a 0,2 m do solo, em duas épocas do ano, no município de Jerônimo Monteiro, ES.



Fonte: a autora.

Figura 14 – Perfil da temperatura do solo, elaborado a partir dos valores médios de temperatura mínima (T_{mín}) e temperatura máxima (T_{máx}) em dia de céu limpo no início (a) e no final (b) da segunda campanha, medidos em quatro encostas, a 0,2 m do solo, em duas épocas do ano, no município de Jerônimo Monteiro, ES.



Fonte: a autora.

Tabela 6 – Valores médios de saldo de radiação ($W.m^{-2}$) em dias de céu limpo em janeiro de 2019, medidos em quatro encostas, a 1,0 m do solo, em sistema silvipastoril no município de Jerônimo Monteiro, ES.

Dia	NE	S	SO	N
11/01/2019	11,3	13,8	16,2	13,8
30/01/2019	8,6	11,9	14,0	10,6

Fonte: a autora.

4.3 Temperatura do ar e déficit de pressão de vapor

Conforme os dados apresentados na tabela 7, observou-se que, nas duas primeiras campanhas, as temperaturas média e mínima do ar apresentaram valores muito próximos nas quatro encostas. Assim, ao correlacionar os valores de temperatura do ar das encostas e da estação de referência foram obtidas retas com inclinação semelhante (Figura 15). Em ambas as campanhas a encosta S apresentou DPV médio inferior às demais, resultando em menor coeficiente angular (Figura 15).

Na terceira campanha, a temperatura média do ar na encosta S foi em média $1^{\circ}C$ menor do que nas demais encostas, as quais apresentaram valores semelhantes. O DPV médio, por sua vez, foi relativamente inferior nas encostas à sul. Os menores valores de temperatura e DPV da encosta S, ao serem correlacionados com a estação de referência resultaram em retas menos inclinadas (Figura 15)

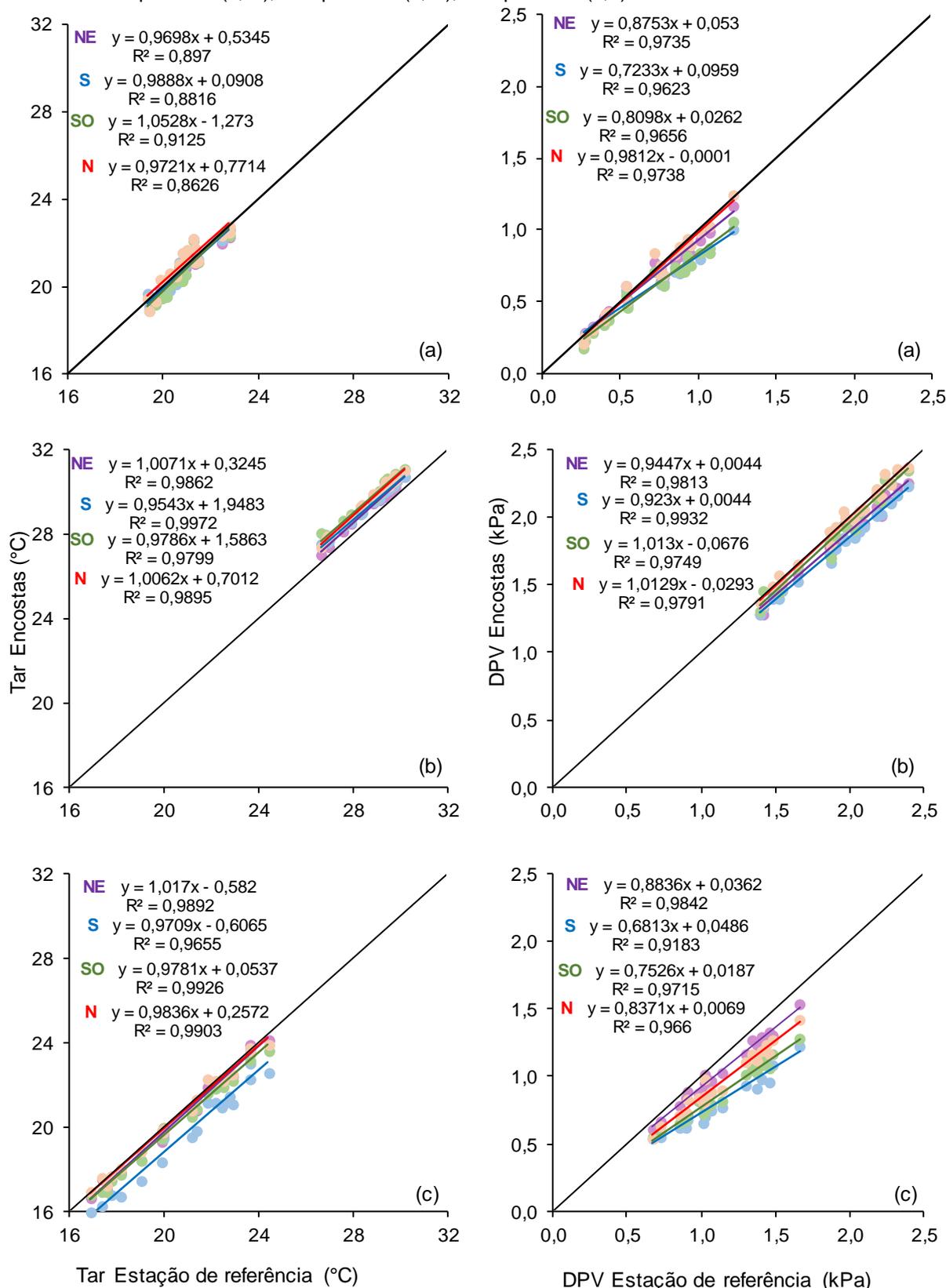
A temperatura máxima variou entre as vertentes nas três campanhas, sendo os maiores valores observados naquelas que receberam maior aporte energético no período. Dada a semelhança entre os valores mínimos, a amplitude térmica variou em função da temperatura máxima. Observa-se a mesma variação entre as vertentes em relação ao DPV máximo.

Tabela 7 – Valores médios de temperatura do ar em °C e de déficit de pressão de vapor (DPV) em kPA, medidos em quatro encostas, a 0,5 m do solo, nos períodos de 25 de julho a 15 de agosto de 2018 (Campanha 1), 10 a 31 de janeiro de 2019 (Campanha 2) e 26 de junho a 17 de julho de 2019 (Campanha 3), em sistema silvipastoril no município de Jerônimo Monteiro, ES. Em que: Temperatura média = T_{méd}; Temperatura máxima = T_{máx}; Temperatura mínima = T_{mín}; Amp = Amplitude térmica; DPV méd = déficit de pressão de vapor médio; DPV máx = déficit de pressão de vapor máximo.

Período		NE	S	SO	N
Campanha 1	T _{méd}	20,7 (± 1,0)	20,7 (± 1,0)	20,6 (± 1,1)	21,0 (± 1,0)
	T _{máx}	28,3 (± 3,4)	27,7 (± 3,1)	28,7 (± 3,6)	29,3 (± 3,8)
	T _{mín}	15,1 (± 2,7)	15,5 (± 2,6)	15,4 (± 2,5)	15,4 (± 2,5)
	Amp	13,2 (± 5,6)	12,2 (± 5,2)	13,3 (± 5,5)	13,9 (± 5,8)
	DPV méd	0,68 (± 0,26)	0,62 (± 0,21)	0,61 (± 0,24)	0,70 (± 0,29)
	DPV máx	1,93 (± 0,82)	1,79 (± 0,74)	1,96 (± 0,88)	2,13 (± 0,95)
Campanha 2	T _{méd}	29,3 (± 1,1)	29,4 (± 1,1)	29,7 (± 1,1)	29,6 (± 1,1)
	T _{máx}	40,1 (± 1,4)	39,6 (± 1,5)	41,6 (± 2,0)	41,2 (± 1,5)
	T _{mín}	20,9 (± 1,0)	21,2 (± 1,0)	21,2 (± 1,0)	21,1 (± 1,0)
	Amp	19,2 (± 1,6)	18,4 (± 1,7)	20,4 (± 2,2)	20,2 (± 1,5)
	DPV méd	1,84 (± 0,30)	1,80 (± 0,29)	1,90 (± 0,32)	1,94 (± 0,32)
	DPV máx	5,03 (± 0,59)	4,81 (± 0,64)	5,55 (± 0,90)	5,40 (± 0,69)
Campanha 3	T _{méd}	20,7 (± 2,4)	19,7 (± 2,3)	20,5 (± 2,3)	20,8 (± 2,3)
	T _{máx}	32,9 (± 4,0)	29,1 (± 3,8)	30,1 (± 3,9)	31,3 (± 3,8)
	T _{mín}	11,9 (± 2,7)	11,9 (± 2,6)	13,1 (± 2,5)	12,6 (± 2,5)
	Amp	21,0 (± 4,2)	17,2 (± 3,9)	16,9 (± 4,0)	18,7 (± 3,9)
	DPV méd	1,06 (± 0,25)	0,84 (± 0,20)	0,89 (± 0,21)	0,98 (± 0,24)
	DPV máx	3,34 (± 1,01)	2,42 (± 0,80)	2,61 (± 0,86)	2,90 (± 0,91)

Fonte: a autora.

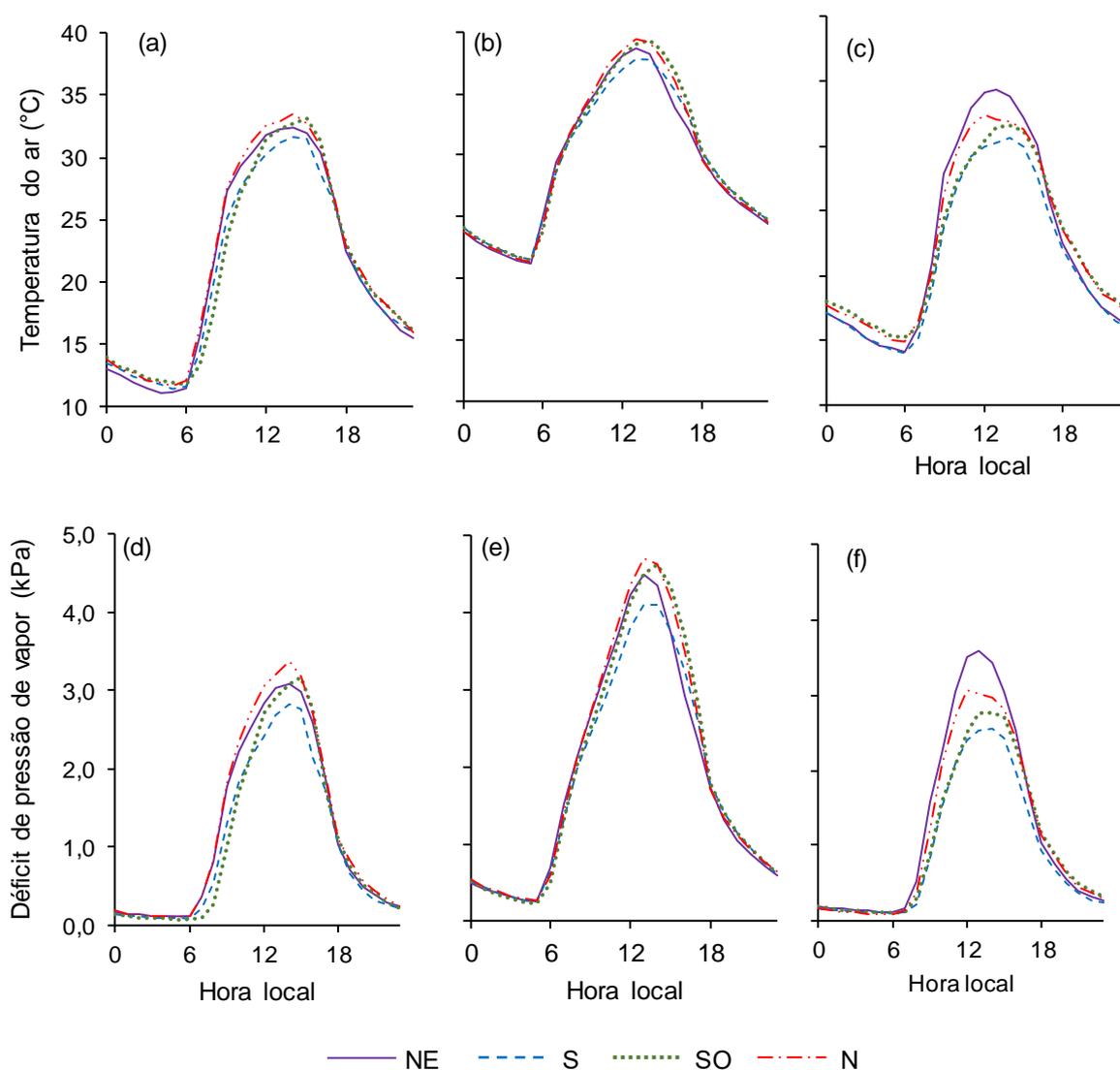
Figura 15 – Relação entre os valores médios diários de Temperatura do ar (Tar - °C) e déficit de pressão de vapor (DPV – kPa) medidos em quatro encostas e em estação de referência nos períodos de 25 de julho a 15 de agosto de 2018 (Campanha 1), 10 a 31 de janeiro de 2019 (Campanha 2) e 26 de junho a 17 de julho de 2019 (Campanha 3) em um sistema silvipastoril, no município de Jerônimo Monteiro, ES. Onde: campanha 1 (a, b), campanha 2 (c, d), campanha 3 (e, f).



Fonte: a autora.

Analisando a flutuação horária da temperatura do ar e do DPV (Figura 16) em dias de céu limpo, observou-se que, diferentemente da temperatura da superfície, as quatro encostas exibiram comportamento e valores semelhantes ao longo do dia na primeira campanha. Na segunda campanha, as diferenças marcantes foram observadas às 16h em que a temperatura do ar e o DPV da encosta NE são, respectivamente, 2,9 °C e 0,77 kPa menor que os da encosta SO. Na terceira campanha verificou-se que, nos horários de maior irradiância a temperatura do ar da vertente NE foi até 3,7 °C e 4,1 °C maior que a das vertentes SO e S, respectivamente.

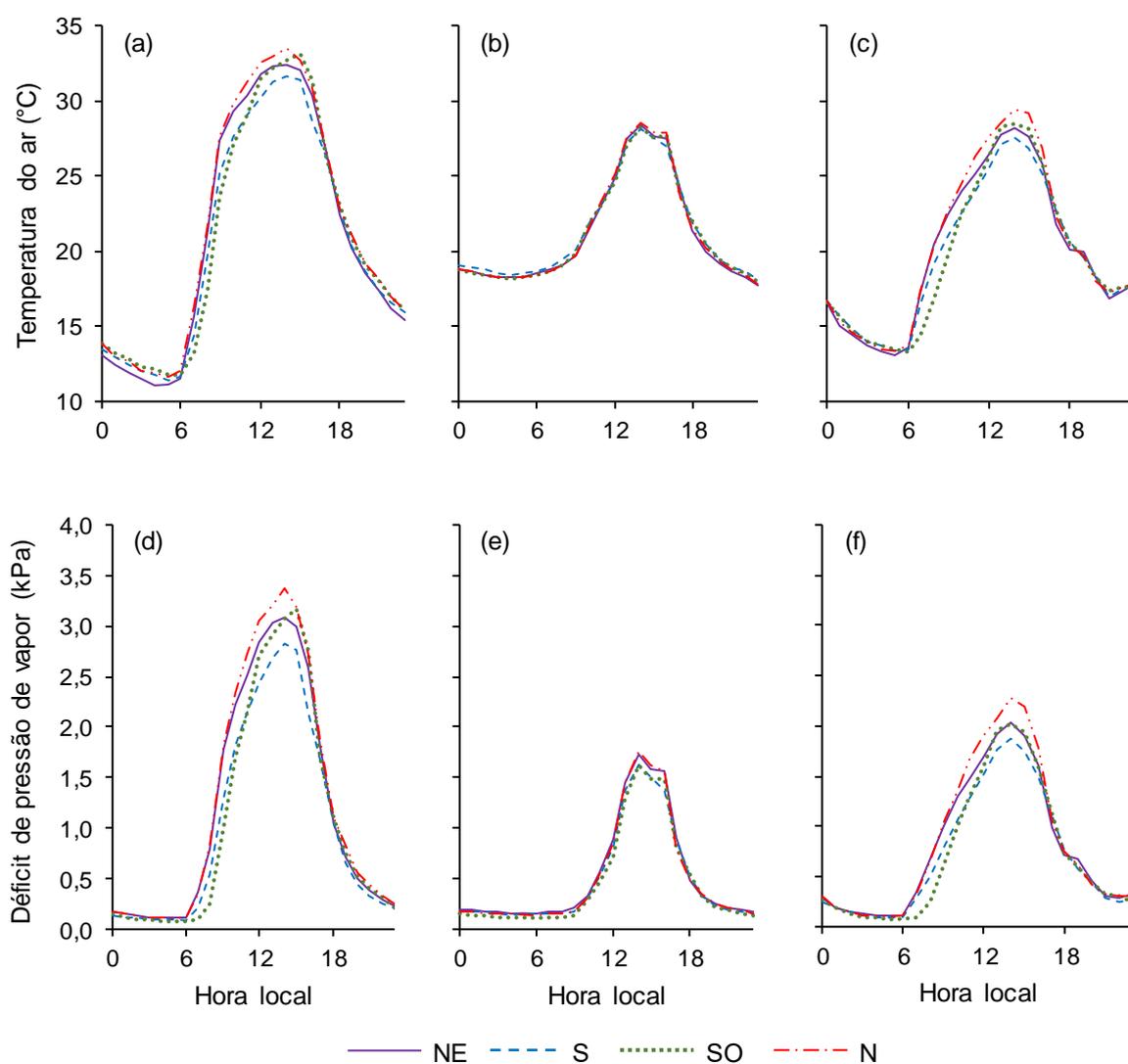
Figura 16 – Valores médios horários de temperatura do ar e déficit de pressão de vapor medidos em quatro encostas, a 0,2 m do solo, em três campanhas no município de Jerônimo Monteiro, ES. Onde, campanha 1 (a, d), campanha 2 (b, e), campanha 3 (c, f).



Fonte: a autora.

Na primeira campanha a variação das condições de nebulosidade e do regime pluviométrico (Figura 4) exerceram efeito atenuador na temperatura do ar e no DPV. Destaca-se a influência da nebulosidade, bem como do aumento da disponibilidade hídrica no ambiente sobre a variação da temperatura do ar e, conseqüentemente do DPV, por meio da análise dos dados médios horários de três dias típicos (Figura 17), sendo um dia de céu limpo advindo de um período de estiagem (30/07/18), um dia nublado (04/08/18) e um dia de céu limpo após o registro das chuvas (12/08/18).

Figura 17 – Valores médios horários de temperatura do ar e déficit de pressão de vapor em dia de céu limpo em período de estiagem (a, d), em dia nublado (b, e) e em dia de céu limpo após ocorrência de precipitação (c, f), medidos em quatro encostas, a 0,2 m do solo, no município de Jerônimo Monteiro, ES.



Fonte: a autora.

No dia nublado, observa-se que a temperatura do ar apresentou valores próximos, não variando mais do que 0,9 °C entre as encostas ao longo do dia. Em ambos os dias com céu limpo, por sua vez, verifica-se que a temperatura do ar variou entre as vertentes, apresentando-se relativamente inferior nas encostas à sul durante o período diurno. As quatro vertentes apresentaram grande amplitude térmica ao longo do dia, sendo ligeiramente menor na encosta S, a qual apresentou menor temperatura máxima. No entanto, observou-se que no dia posterior às chuvas os valores registrados na variação horária da temperatura foram relativamente atenuados.

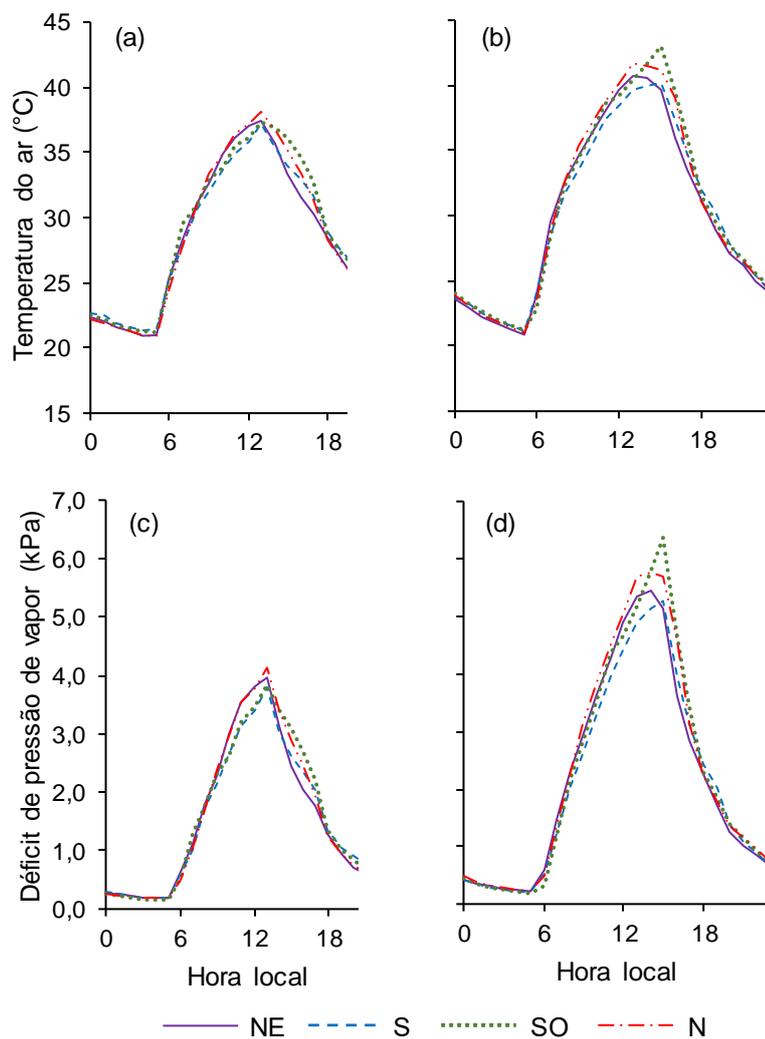
No dia de céu limpo anterior a chuva (30/07/2018), a temperatura média do ar na encosta N foi 0,6 °C; 0,7 °C e 1,0 °C maior que as encostas NE, SO e S, respectivamente. No dia de céu limpo posterior a ocorrência de chuva (12/08/2018), a diferença entre a temperatura média do ar da vertente N para as demais foi relativamente atenuada, passando a ser 0,4 °C superior a vertente NE, 0,7 °C maior que a vertente S e manteve-se 0,7 °C maior que a SO. Destaca-se que o saldo de radiação no dia 12/08 foi superior ao do dia 30/07 (Tabela 5).

No que concerne ao DPV, nota-se que variação ao longo do dia exhibe padrão semelhante ao da temperatura do ar nos diferentes dias analisados.

Em relação ao verão, período referente a segunda campanha, ausência de chuvas durante os dias analisados, também permite demonstrar a influência da disponibilidade hídrica na partição do saldo de radiação e, conseqüentemente, na variação da temperatura do ar e do DPV. Analisando dias com céu limpo (Figura 18), verificou-se que à medida em que se avançava o período de estiagem, a temperatura do ar e o DPV apresentavam-se ligeiramente maiores.

Destaca-se que no dia 30/01, mesmo com menor disponibilidade energética (Tabela 6), as encostas N, NE, SO e S apresentaram, respectivamente, temperatura média do ar 2,1 °C; 1,9 °C; 1,9 °C e 1,7 °C maior que o dia 11/01. O DPV médio do dia 30/01, por sua vez, em comparação ao dia 11, aumentou 0,80; 0,77; 0,70 e 0,66 kPA nas encostas N, SO, NE e S, respectivamente. A dispersão dos pontos na correlação entre o DPV médio das encostas e a estação de referência (Figura 15) evidência a amplitude do DPV na segunda campanha.

Figura 18 – Valores médios horários de temperatura do ar déficit de pressão de vapor em dia de céu limpo no início (a, c) e no final (b, d) da segunda campanha, medidos em quatro encostas, a 0,2 m do solo, em duas épocas do ano, no município de Jerônimo Monteiro, ES.



Fonte: a autora.

5. DISCUSSÃO

5.1 Radiação solar e saldo de radiação

A disparidade nos valores de radiação entre as encostas e entre as campanhas, sobretudo na primeira e na segunda, demonstraram a influência da topografia no regime de radiação (Tabela 3). Os efeitos topográficos são determinados pela influência conjunta das mudanças da declinação solar ao longo do ano que se relacionam com a latitude do local de estudo e alteram o regime de radiação incidente nas diferentes faces de orientação (CANO et al., 2002; ALLEN et al., 2006).

No inverno, o sol se encontra ao norte da linha do Equador em sua trajetória aparente. Assim, encostas voltadas para o sul apresentam menor incidência de radiação solar (TIAN et al., 2001), conforme foi observado neste estudo pelos menores valores de R_g e RAF nas encostas S e SO em relação às N e NE (Figuras 6 e 7). No verão, quando há uma diminuição da declinação solar, ocorre o processo inverso. Ademais, a trajetória aparente do sol ao longo do dia tende a apresentar movimento em sentido vertical, ou seja, reduzindo o ângulo zenital e, conseqüentemente, a diferença na incidência de radiação solar entre encostas norte e sul. Durante a segunda campanha, o ângulo zenital médio de $7,4^\circ$ à sul nos horários de maior insolação, favoreceu a maior incidência de radiação solar nas encostas S e SO e reduziu a diferença entre estas e as vertentes N e NE (Figuras 6 e 7).

Zou; Barron-Gafford; Breashers (2007) também observaram a redução da diferença na transmitância da radiação solar entre encostas norte e sul no período de máxima declinação solar. Adicionalmente, Bennie et al. (2008) estimaram diferenças de até 700 W. m^{-2} ao meio dia entre encostas norte e sul em dias de céu limpo.

Na terceira campanha, a maior altura do componente arbóreo foi capaz de interceptar a incidência de radiação solar, intensificando a influência da orientação e da declinação solar no regime de radiação das encostas, especialmente as S e SO (Figuras 6 e 7). A copa das árvores atua como uma barreira permeável entre a atmosfera e o solo, refletindo e absorvendo a radiação solar em proporções variáveis, dependendo do ângulo de incidência dos raios solares e da arquitetura da copa (MACHADO et al., 1985; ISABELLE et al., 2018).

Os maiores valores de R_g e RAF observados na encosta NE em relação a encosta N, se devem a menor altura e ao menor IAF das árvores que promoveram

menor projeção da sombra das árvores. A boa correlação obtida entre a R_g da encosta NE e da estação de referência (Figura 6) corroboram com esta inferência.

Zou; Barron-Gafford; Breashers (2007) verificaram que a diferença na transmitância da radiação solar entre encostas norte e sul, independentemente da estação do ano, reduzia potencialmente com o aumento da cobertura do dossel florestal, atenuando a influência topográfica. Para além, Pezzopane et al., (2015) observaram que uma redução de 9% na incidência de PAR no ponto médio entre dois renques de árvores de um sistema silvipastoril, enquanto que próximo a linha das árvores reduzia cerca de 40%.

A interceptação da radiação solar em sistemas silvipastoris é um ponto a ser considerado, uma vez que ao chegar ao dossel sofre modificações quantitativas e qualitativas. A energia da radiação solar absorvida pelas plantas é determinante da taxa fotossintética podendo influenciar negativamente no crescimento das espécies forrageiras (CARON et al., 2012). Estudos apontam que, comumente, a produtividade da forragem diminui à medida em que o percentual de sombreamento aumenta (GOMEZ; GUENNI; BRAVO DE GUENNI, 2013; BOSI et al., 2014; ABRAHAM et al., 2014; LIMA et al., 2019).

Além da influência da declinação solar e da atenuação exercida pelas árvores, o regime de radiação incidente varia conforme a predominância das componentes direta e difusa da radiação solar. Em dias encobertos as nuvens absorvem, refletem e espalham a radiação solar, reduzindo a transmitância e, conseqüentemente, a disponibilidade energética, uma vez que impedem que boa parte da radiação chegue até a superfície (QUERINO et al., 2011).

Assim, é importante destacar que os valores médios de R_g , RFA e SR, bem como a diferença na irradiância e na radiação líquida das quatro encostas na primeira campanha foram atenuados devido a predominância de dias nublados. Isto é evidenciado por meio da comparação dos dias típicos. No dia nublado (Figura 8), o caráter multidirecional da radiação difusa (PEZZOPANE et al., 2000) reduziu a influência do ângulo zenital especialmente no início da manhã, atenuando a diferença na radiação incidente nas quatro encostas, e ofuscando o efeito topoclimático na vertente SO.

A incidência de radiação solar global influenciou determinantemente o saldo de radiação nas três campanhas, sendo observado maior disponibilidade energética nas encostas que apresentaram maior irradiância (Figuras 7). O SR representa o balanço

entre as entradas e saídas de energia do sistema (SOARES et al., 2019). Durante o dia a radiação solar incidente na superfície a aquece, sendo o calor conduzido para as camadas mais profundas do solo. À noite este calor retorna à superfície pela condução do fluxo de calor no solo, compensando o resultado negativo do balanço entre a energia emitida pela superfície e a energia atmosférica (BARRY; CHORLEY, 2013). Dessa forma, nas três campanhas, o SR noturno foi relativamente mais negativo nas encostas que apresentaram maior temperatura da superfície, ou seja, maiores perdas de radiação ocorreram nas encostas N e NE na primeira e terceira campanha e nas vertentes S e SO na segunda (Figuras 7).

Holst; Rost e Mayer (2005) corroboram com os resultados encontrados neste estudo. Os autores verificaram que duas encostas (nordeste e sudoeste) não apresentavam diferenças no balanço de ondas longas, porém, a encosta nordeste recebia 9% menos radiação solar que a encosta sudoeste durante o verão, resultando em menor saldo de radiação.

5.2 Temperatura da superfície e temperatura do solo

A temperatura da superfície, bem como ao longo do perfil do solo responderam à disponibilidade energética de cada vertente nas três campanhas (Tabela 4). Assim, a face de exposição, a declinação solar e a altura das árvores determinaram a disparidade entre a temperatura das encostas nas três campanhas.

Os dias típicos que ocorreram na primeira campanha demonstram o efeito das variações no regime de radiação e nas propriedades térmicas sobre o fluxo de calor no solo (Figuras 11 e 12). No dia anterior a chuva os espaços porosos do solo estavam preenchidos por ar, cuja condutividade térmica é baixa, resultando em um fluxo de calor mais lento e, conseqüentemente, no superaquecimento das camadas superficiais. À noite, em resposta ao balanço de ondas longas, o menor calor específico do ar implica em maior perda de calor das camadas mais profundas em direção a atmosfera. Isto explica a grande amplitude térmica neste dia, especialmente nas encostas N e NE, as quais possuíam menor teor de umidade no solo. Segundo Andrés et al. (1996), quanto mais irradiância, mais quente e seco será o declive.

No dia nublado (Figuras 11 e 12), como os espaços porosos do solo estavam preenchidos por água, a condutividade térmica foi aumentada, potencializando a

transferência de energia para as camadas mais profundas. Destaca-se que além da menor disponibilidade energética em função da nebulosidade, a porção do SR destinada ao fluxo de calor no solo é baixa em função da demanda energética para o fluxo de calor latente. No período noturno, o maior calor específico da água reduziu a taxa de resfriamento das camadas superficiais. Dessa forma, observou-se a redução da temperatura máxima e o aumento da mínima nas camadas superficiais, bem como da variabilidade espaço-temporal e da disparidade entre a temperatura do solo das quatro encostas, porém, de maneira mais pronunciada nas vertentes NE e N.

No dia posterior a chuva (Figuras 11 e 12), mesmo com maior saldo de radiação, os extremos da temperatura da superfície não foram acentuados em virtude do consumo de energia para o processo de evapotranspiração, uma vez que o solo ainda estava úmido. Isto é destacado na variação espacial da temperatura ao longo do perfil do solo, especialmente nas encostas N e NE, em que houve menor discrepância térmica entre as profundidades, indicando que a transferência de calor da superfície para o interior do solo foi facilitada pela condutividade térmica da água.

Nos dias de céu limpo do início e do final da segunda campanha (Figuras 13 e 14) ocorre o mesmo em relação ao dia anterior a ocorrência da chuva apresentado na primeira campanha, indicando que quanto menor o teor de água no solo maior a será porção do SR para aquecê-lo.

No entanto, independente das condições atmosféricas, bem como dos períodos de avaliação, nas quatro encostas as camadas superficiais apresentaram maior amplitude térmica pois é onde os efeitos dos processos relacionados a troca de energia entre a atmosfera e a superfície são mais pronunciados (GEIGER; ARON; TODHUNTER, 1995).

Em relação a terceira campanha, destaca-se que as diferenças na temperatura da superfície no sentido norte-sul (Tabela 4) foram acentuadas em virtude da combinação dos efeitos da declinação solar com o sombreamento das árvores. A menor altura e o IAF da encosta NE permitiram maior incidência de radiação que, em conjunto, com o baixo teor de umidade resultaram em maior temperatura e amplitude térmica, especialmente nas camadas superficiais.

Destaca-se ainda a redução provocada na temperatura do solo (Figura 9), bem como na variação horária da temperatura da superfície (Figura 10) na terceira campanha em comparação com a primeira. Como parte da radiação é interceptada pelas árvores, a disponibilidade para o fluxo de calor no solo é reduzida, resultando

em temperaturas mais amenas. Esta diferença evidencia a eficácia do componente arbóreo em sistemas silvipastoris para promover melhorias no microclima local.

O estudo realizado por Jin et al. (2019) corrobora com os resultados encontrados neste estudo. Os referidos autores observaram que a temperatura do solo a 10 cm, 20 cm e 40 cm de profundidade de uma encosta coberta por floresta plantada foi inferior à de uma encosta coberta por pastagem nas quatro estações do ano. Para além, Karki e Goodman (2015), verificaram que a temperatura média do solo a 5 cm em um sistema silvipastoril era 2,1°C menor que a de uma pastagem aberta.

5.3 Temperatura do ar e DPV

Embora os valores médios diários de temperatura das quatro encostas tenham sido semelhantes nas três campanhas (Tabela 7 e Figura 15), a ocorrência da maior temperatura máxima nas encostas que apresentaram maior Rg e SR, indica que as variações ocorridas no regime de radiação em cada campanha influenciaram diretamente o comportamento da temperatura do ar. Assim, a maior irradiância nas encostas N e NE resultou em maior temperatura máxima destas na primeira e terceira campanha, enquanto na segunda campanha ocorreu o mesmo para as vertentes S e SO.

Bolstad et al. (1998), sugeriram que a temperatura máxima do ar é, em particular, sensível à orientação topográfica. Analisando os efeitos da topografia em um estudo nas Montanhas Apalaches do sul da América do Norte, os autores observaram que exposições à sul eram 1,4 °C superiores as exposições à noroeste em todos os meses do ano.

A influência da radiação foi destacada na flutuação diária da temperatura (Figuras 16), bem como na amplitude térmica, ainda que esta tenha apresentado diferenças tênues entre as encostas. No entanto, é importante considerar que, assim como a temperatura média diária, a temperatura instantânea influencia a resposta térmica das plantas podendo afetar o metabolismo do carbono (BUENO et al., 2012; BAHUGUNA; JAGADISH, 2015).

Na primeira campanha a dissemelhança na temperatura média entre as encostas (Figuras 17) foi atenuada pela predominância de dias nublados. A

nebulosidade reduz a transmitância da radiação, afetando diretamente o balanço de energia. Em dias nublados, no período diurno, o predomínio da radiação difusa resulta em menor disponibilidade energética para os termos do balanço de energia. Durante a noite, a energia emitida pela superfície é absorvida pelas nuvens e reirradiada para o solo, de modo que o calor fica retido entre este e a camada de nuvens. Assim, em dias nublados as nuvens impedem a ocorrência de máximas elevadas durante o dia e de mínimas muito baixas à noite, reduzindo a amplitude térmica (BARRY; CHORLEY, 2013).

De modo semelhante, Suggitt et al. (2011) verificaram temperaturas máximas do ar, são fortemente dependentes da incidência de radiação solar direta. Analisando duas encostas no Reino Unido, estes autores observaram que uma delas não apresentou diferenças de temperatura média do ar entre as vertentes norte e sul, possivelmente porque a nebulosidade diminuiu o efeito da orientação da encosta.

Analisando os dias típicos da primeira e da segunda campanha (Figuras 15 e 16), porém, é possível evidenciar que a variação da temperatura do ar depende não somente da radiação solar, mas também dos demais componentes do balanço de energia.

Na primeira campanha (Figuras 17), o dia de céu limpo após a chuva apresentou redução da temperatura do ar, mesmo com maior SR que o dia anterior a chuva, o que permite inferir que houve redução no fluxo de calor sensível e aumento no fluxo de calor latente em função da maior disponibilidade hídrica no sistema para evaporação.

Nos dias típicos da segunda campanha (Figura 18), a qual fora marcada pela estiagem, ocorreu exatamente o inverso. Ao final do período de avaliação (30/01/2019) a maior temperatura em um dia de menor SR, comparativamente a um dia no início da campanha (11/01/2019), demonstra que quanto menor o teor de água no ambiente, maior será a porção do SR gasta com o fluxo de calor latente, resultando em maior disponibilidade energética para o fluxo de calor sensível, ou seja, para aquecer o ar.

A temperatura do ar na terceira campanha também foi influenciada pelo componente arbóreo, uma vez que este interceptou boa parte da energia solar. O efeito foi mais pronunciado nas temperaturas máximas (Tabela 7), sendo destacado ao se observar a flutuação horária da temperatura, especialmente na encosta N, a qual possuía o maior IAF e as maiores temperaturas na primeira campanha.

De modo semelhante, outros estudos também observaram a promoção de mudanças na temperatura do ar provocada pelo componente arbóreo. Pezzopane et al., (2015) observaram que a temperatura do ar no ponto médio entre dois renques de árvores de um sistema silvipastoril era 2 °C maior do que próximo a linha das árvores. Karki e Goodman (2015), verificaram que a temperatura média do ar ao longo do ano em um sistema silvipastoril foi de 1% a 15% menor que na área de pastagem. Jin et al. (2019), observaram que uma encosta coberta por floresta plantada apresentou temperatura do ar diurna 1,14 °C menor e temperatura noturna 0,99 °C maior que uma encosta coberta por pastagem.

A variação da temperatura do ar, por sua vez, influenciou diretamente o déficit de pressão de vapor (DPV), variável que expressa a capacidade evaporativa do ar. A inter-relação entre essas variáveis se dá em virtude de a temperatura do ar exercer controle sobre a pressão máxima de saturação de vapor (es). Assim, a similaridade entre os valores médios do DPV (Tabela 7 e Figura 15), especialmente na primeira campanha, resulta dos valores igualmente semelhantes entre a temperatura média do ar das quatro encostas. O mesmo se aplica em relação as variações do DPV máximo.

É interessante destacar que nos dias típicos analisados na primeira e na segunda campanha (Figuras 17 e 18), a flutuação horária do DPV exibiu comportamento semelhante ao da temperatura do ar, podendo evidenciar o controle desta última variável sobre a primeira. À medida em que a temperatura do ar aumenta, a pressão de saturação de vapor é elevada resultando no aumento da demanda atmosférica (HARDWICK et al., 2015).

6. CONCLUSÕES

As diferentes faces de exposição da encosta influenciaram a incidência de radiação solar, provocando diferenças em vertentes com orientações opostas, notoriamente durante o período de aumento da declinação solar, evidenciando o efeito da sazonalidade.

O sombreamento provocado pelo componente arbóreo associado ao aumento da declinação solar modificou a dinâmica horária da incidência de radiação, especialmente nas encostas orientadas à sul.

O regime de radiação de cada encosta propiciou a formação de condições microclimáticas distintas entre as vertentes, especialmente após ao estabelecimento do sistema silvipastoril.

A temperatura da superfície, entre as variáveis analisadas, foi a que mais respondeu aos efeitos locais de incidência de radiação.

A influência da orientação e da declinação solar na temperatura do ar e no déficit de pressão de vapor foi mais evidente nos valores máximos.

As principais diferenças microclimáticas foram evidenciadas em dias de céu limpo e em escala horária.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, E. M., et al. "Growth, dry matter production, phenotypic plasticity, and nutritive value of three natural populations of *Dactylis glomerata* L. under various shading treatments." **Agroforestry systems**, 88.2 287-299, 2014.
- ADAMS; H. R.; HOLLY R.; BARNARD, H. R.; LOOMIS, A. K. Topography alters tree growth–climate relationships in a semi-arid forested catchment. **Ecosphere**, v. 5, n. 11, p. 1-16, 2014.
- AINSWORTH, J. A. W.; MOEA, S. R.; SKARPE, C. Pasture shade and farm management effects on cow productivity in the tropics. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 155, p.105-110, 2012.
- ALLEN. R. G.: TREZZA. R.: TASUMI. M. Analytical integrated functions for daily solar radiation on slopes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 139, n. 1-2, p. 55-73, 2006.
- ANDRADE, C. M. S. et al. de. Desempenho de Seis Gramíneas Solteiras ou consorciadas com o *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão e Eucalipto em Sistema Silvopastoril. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 32, n. 6, p. 1845-1850, 2003
- ANDRÉS. P.: ZAPATER. V.: PAMPLONA. M. Stabilization of motorway slopes with herbaceous cover, Catalonia, Spain. **Restoration Ecology**, v. 4, n. 1, p. 51-60, 1996.
- BAHUGUNA, R. N.: JAGADISH, K. S. V. Temperature regulation of plant phenological development. **Environmental and Experimental Botany**, v. 111, p. 83-90, 2015.
- BALBINO, L. C. et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 0-0, 2011.
- BALISCEI, M. A. et al. Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 35, n. 1, p. 49-56, 2013.
- BALDASSINI, P. et al. Silvopastoral systems of the Chaco forests: Effects of trees on grass growth. **Journal of arid environments**, v. 156, p. 87-95, 2018.
- BARNARD, D. M.; BARNARD, H. R.; MOLOTCH, N. P. Topoclimate effects on growing season length and montane conifer growth in complex terrain. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 6, p. 064003, 2017.
- BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013.
- BENNIE, J.; BRIAN, H.; WILTSHIRE, A.; HILL, O. M.; BAXTER, R. Slope, aspect and climate: Spatially explicit and implicit models of topographic microclimate in chalk

grassland. **Ecological modelling**, v. 216, n. 1, p. 47-59, 2008.

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. As plantas e o clima princípios e aplicações. Guaíba: Agrolivros, 2017. 352 p.

BODDEY, R.M et al. Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.103, p.389-403, 2004.

BOLSTAD, P. V. et al. Measured and predicted air temperatures at basin to regional scales in the southern Appalachian mountains. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 91, n. 3-4, p. 161-176, 1998.

BORBUREMA, J. B. et al. Influência de fatores ambientais sobre a produção e composição físico-química do leite. **ACSA – Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 4, p. 15-19, 2014.

BOSI, C. et al. Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 6, p. 449-456, 2014.

BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SENTELHAS, P. C. Soil water availability in a full sun pasture and in a silvopastoral system with eucalyptus. **Agroforestry Systems**, p. 1-12, 2019.

BUENO, A. C. R. et al. Daily temperature amplitude affects the vegetative growth and carbon metabolism of orange trees in a rootstock-dependent manner. *Journal of Plant Growth Regulation*, New York, v. 31, n. 3, p. 309-319, Nov. 2012.

BRUENING, J. M et al. Finescale modeling of bristlecone pine treeline position in the Great Basin, USA. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 1, p. 014008, 2017.

CAIADO, L. H. L.; SILVA, G. S. **Programa de assistência técnica e extensão rural proater 2011 - 2013 Jerônimo Monteiro - planejamento e programação de ações - (2011)**. INCAPER, 2011. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Caparao/Jeronimo_Monteiro.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2019.

CANO, A. et al. Local topoclimate effect on short-term cutslope reclamation success. **Ecological Engineering**, v. 18, n. 4, p. 489-498, 2002.

CARON, B. O. et al. Interceptação da radiação luminosa pelo dossel de espécies florestais e sua relação com o manejo das plantas daninhas. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, p. 75-82, 2012.

DE CASTRO SANTOS, D. et al. Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: Productivity of forage and an exploratory test of the animal response. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 266, p. 174-180, 2018.

DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das pastagens no Brasil. **Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E)**, 2014.

DOBROWSKI, S. Z. et al. How much influence does landscape-scale physiography have on air temperature in a mountain environment? **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 10, p. 1751-1758, 2009.

DODD, M. B. et al. Effects of variation in shade level, shade duration and light quality on perennial pastures. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 48, n. 4, p. 531-543, 2005.

DOS SANTOS, V. A. H. F.; MODOLO, G. S.; FERREIRA, M. J. How do silvicultural treatments alter the microclimate in a Central Amazon secondary forest? A focus on light changes. **Journal of environmental management**, v. 254, p. 109816, 2020.

FACCO, A. G. et al. Saldo de radiação em plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado. **Revista Árvore**. v.33, n.3, 2009.

FAUSTO, M. A. et al. Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 2, p. 350-361, 2016.

FINDELL, K. L. et al. Modeled impact of anthropogenic land cover change on climate. **Journal of Climate**, v. 20, n. 14, p. 3621-3634, 2007.

FISHER, R. A. et al. Evaluating climatic and soil water controls on evapotranspiration at two Amazonian rainforest sites. **agricultural and forest meteorology**, v. 148, n. 6-7, p. 850-861, 2008.

GALEANO, E. A. V; et al. Boletim da conjuntura agropecuária capixaba. Vitória/ES – Ano III – nº 12, Vitória, 2017. Disponível em: <<https://www.es.gov.br/Media/PortaIES/PDF/Boletim%20Incaper%20.pdf>>. Acesso em: 18 fev 2020.

GEIGER, R; ARON, R. H.; TODHUNTER, P. **The climate near the ground. 5 ed.** Havard University Press. Cambridge. Massachusetts. 1995.

GOBBI, K. F. et al. Morphological and structural characteristics and productivity of Brachiaria grass and forage peanut submitted to shading. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, p. 1645-1654, 2009.

GOMEZ, S.; GUENNI, O.; BRAVO DE GUENNI, L. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass Brachiaria decumbens Stapf. **Grass and Forage Science**, v. 68, n. 3, p. 395-407, 2013.

HARDWICK, S. R. et al. The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 201, p. 187-195, 2015.

HOLST, T.; ROST, J.; MAYER, H.. Net radiation balance for two forested slopes on opposite sides of a valley. **International Journal of Biometeorology**, v. 49, n. 5, p. 275-284, 2005.

IBA. Indústria brasileira de árvores. Relatório 2019. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>>. Acesso em: 23 nov 2019.

IBGE, Censo Agropecuário 2017 – Resultados definitivos. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/pecuaria>>. Acesso em: 18 fev 2020.

IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves. Cadernos Setoriais, 04. Disponível em: <<http://www.ijsn.es.gov.br/component/attachments/download/6852>>. Acesso em: 18 fev 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Atualização: massa de ar frio atinge grande parte do Brasil. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/notas_tecnicas/2019/Atualiza%C3%A7%C3%A3o_Nota_Frio_Julho_2019.pdf>. Acesso em: 30 jan 2020.

IOGNA, P. A. et al. Water relations and hydraulic architecture of two Patagonian steppe shrubs: effect of slope orientation and microclimate. **Journal of arid environments**, v. 75, n. 9, p. 763-772, 2011.

ISABELLE, P.-E. et al. Solar radiation transmittance of a boreal balsam fir canopy: Spatiotemporal variability and impacts on growing season hydrology. **Agricultural and forest meteorology**, v. 263, p. 1-14, 2018.

JIN, Z. et al. Efeitos do reflorestamento no solo e na temperatura do ar ambiente em um par de captações no planalto chinês de Loess. **Catena**. v. 175, p. 356-366, 2019.

JUCKER, T. et al. Canopy structure and topography jointly constrain the microclimate of human-modified tropical landscapes. **Global change biology**, v. 24, n. 11, p. 5243-5258, 2018.

KARKI, U.; GOODMAN, M. S. Diferenças microclimáticas entre silvopastura de loblolly-pinheiro madura e pastagem aberta. **Sistemas Agroflorestais**, v. 89, n. 2, p. 319-325, 2015.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 531 p.

LAWRENCE, D.; VANDECAR, K. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. **Nature climate change**, v. 5, n. 1, p. 27-36, 2015.

LIMA, M. A. et al. Productivity and nutritive value of *Brachiaria decumbens* and performance of dairy heifers in a long-term silvopastoral system. **Grass and forage science**, v. 74, n. 1, p. 160-170, 2019.

- MA, S. et al. Spatial variability in microclimate in a mixed-conifer forest before and after thinning and burning treatments. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 5, p. 904-915, 2010.
- MÜLLER, M. D. et al. Desenvolvimento vegetativo de pinhão-mansão em diferentes arranjos de plantio em sistemas agrossilvipastoris. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 49, n. 7, p. 506-514, 2014.
- MURGUEITIO, E. et al. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. **Forest Ecology and Management**. v. 261, p. 1654-1663, 2011.
- NOGUEIRA, G. S. et al. Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de pinus taeda L. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 855-860, 2008.
- PACIULLO, D. S. C. et al. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 573-579, 2007.
- PACIULLO, D. S. C. et al. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v. 141, n. 2-3, p. 166-172, 2011.
- PARENTE, L.; FERREIRA, L. Assessing the spatial and occupation dynamics of the Brazilian pasturelands based on the automated classification of MODIS images from 2000 to 2016. **Remote Sensing**, v. 10, n. 4, p. 606, 2018.
- PEREIRA, A. R.; ANGELLOCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. 1 ed. Guaíba-SP: Agropecuária, 2002.
- PEZZOPANE, J. E. M. et al. Balanço de radiação no interior de uma floresta estacional semidecidual secundária no domínio da Mata Atlântica. In: **Anais: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro–RJ**. 2000.
- PEZZOPANE, J. R. M. et al. Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. **Bragantia**, v. 74, n. 1, p. 110-119, 2015.
- PEZZOPANE, J. R. M. et al. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. **Journal of thermal biology**, v. 79, p. 103-111, 2019.
- QUERINO, C. A. S. et al. Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade (kt), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas–Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 204-294, 2011.
- RIIHIMAKI, H.; HEISKANEN, J.; LUOTO, M. The effect of topography on arctic alpine aboveground biomass and NDVI patterns. **International journal of applied Earth observation and geoinformation**.v. 56, p. 44-53, 2017.

RODRIGUES, C. O. D. et al. Light relations and performance of signal grass in silvopastoral system. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 36, n. 2, p. 129-136, 2014.

SETUR – Secretaria De Estado Da Cultura Do Espírito Santo. **Site da Secretaria de Estado do Turismo do Espírito Santo**: Geografia do Espírito Santo. Disponível em: <<https://setur.es.gov.br/Media/setur/Setur/Releases/Release%20Geografia%20do%20Esp%C3%ADrito%20Santo.pdf>>. Acesso em: 22 fev 2020.

SÊNIOR, R. A. et al. A pantropical analysis of the impacts of forest degradation and conversion on local temperature. **Ecology and evolution**, v. 7, n. 19, p. 7897-7908, 2017.

SOARES, J. et al. Surface radiation balance and weather conditions on a non-glaciated coastal area in the Antarctic region. **Polar Science**, 2019.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Meteorologia e climatologia florestal. Curitiba: Editor, 2004.

SUGGITT, A. J. et al. Habitat microclimates drive fine-scale variation in extreme temperatures. **Oikos Journal**.v. 120, n. 1, p. 1-8, 2011

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013, 954 p.

TIAN, Y.Q. et al. Estimating solar radiation on slopes of arbitrary aspect. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 109, n. 1, p. 67-74, 2001.

TROMP-VAN M. H. J.; MCDONNELL; J. J. On the interrelations between topography, soil depth, soil moisture, transpiration rates and species distribution at the hillslope scale. **Advances in Water Resources**, v. 29, n. 2, p. 293-310, 2006.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: UFV, 2000. 448 p.

VON ARX, G.; DOBBERTIN, M.; REBETEZ, M. Spatio-temporal effects of forest canopy on understory microclimate in a long-term experiment in Switzerland. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 166, p. 144-155, 2012.

WICK, B.; TIESSEN, H.; MENEZES, R. S. C. Mudanças na qualidade da terra após a conversão da vegetação natural em sistemas silvipastoris no semi-árido Nordeste do Brasil. **Planta e solo**, v. 222, n. 1-2, p. 59-70, 2000.

ZOU, C. B.; BARRON-GAFFORD, G. A.; BRESHEARS, D. D. Effects of topography and woody plant canopy cover on near-ground solar radiation: Relevant energy inputs for ecohydrology and hydrogeology. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 24, 2007.