

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**Painéis solares fotovoltaicos como tecnologia
para promover o bem-estar e a
sustentabilidade na produção de ovinos.**

**Eric de Andrade Culhari
Zootecnista**

2021

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

Painéis solares fotovoltaicos como tecnologia para promover o bem-estar e a sustentabilidade na produção de ovinos.

Eric de Andrade Culhari

Orientador: Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestra em Zootecnia.

2021

A553p Andrade, Eric Culhari de
Painéis solares fotovoltaicos como tecnologia para promover o bem-estar e a sustentabilidade na produção de ovinos / Eric Culhari de Andrade. -- Jaboticabal, 2021
26 p. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Alex Sandro Campos Maia

1. sombra. 2. ovino. 3. conforto térmico. 4. sustentabilidade. 5. fotovoltaico. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

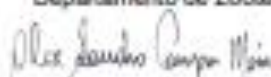
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS COMO TECNOLOGIA PARA PROMOVER O BEM-ESTAR E A SUSTENTABILIDADE NA PRODUÇÃO DE OVINOS

AUTOR: ERIC DE ANDRADE CULHARI

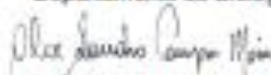
ORIENTADOR: ALEX SANDRO CAMPOS MAIA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:

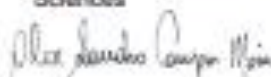
Prof. Dr. ALEX SANDRO CAMPOS MAIA (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. MARCOS CHIQUITELLI NETO (Participação Virtual)
Departamento de Biologia e Zootecnia-FEIS / Ilha Solteira/SP



Dr. HUGO FERNANDO MAIA MILAN (Participação Virtual)
Department of Biological and Environmental Engineering / Cornell University, College of Agriculture and Life Sciences



Jaboticabal, 05 de janeiro d'e 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Eric de Andrade Culhari nasceu em Valinhos no Estado de São Paulo no dia 25 de janeiro de 1992. Em 2011 ingressou no curso de Bacharelado em Zootecnia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, obtendo o título de Zootecnista em fevereiro de 2018. Foi membro da empresa júnior CAP Jr. e estagiário do Laboratório de Biometeorologia Animal, onde recebeu uma bolsa de estudos da “Universities Federation for Animal Welfare” para desenvolver um projeto de iniciação científica e apresentá-lo em Reading-UK. Em março de 2018 ingressou no curso de mestrado em Zootecnia no Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, dedicando-se a área de Biometeorologia Animal. Atualmente é integrante do Grupo de Inovação em Conforto Térmico e Bem-estar Animal (INO BIO-MANERA) e ocupa o cargo de Especialista pHi-Tech na empresa Phibro Animal Health.

Epígrafe

“Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas ou tocar uma alma humana, seja apenas outra alma humana.”

Carl G. Jung

Dedicatória

Dedico o meu trabalho aos meus sobrinhos (Luísa e Arthur Gregório
Culhari de Sousa).

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, por tudo que provê em minha vida.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Jaboticabal, e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia, pela oportunidade e confiança de trabalhar no grupo INOBIO-MANERA e por todos os ensinamentos compartilhados.

À Angrela Regina Arduíno, sempre um ombro amigo tanto nas horas tristes e difíceis, quanto nos momentos de confraternização. Obrigado por ter cuidado deste laboratório por tanto tempo.

Ao professor Dr. Marcos Chiquitelli e ao Eng. Dr. Hugo Fernando Maia Milan por comporem a banca de defesa de dissertação, bem como por toda ajuda durante a condução deste trabalho.

Ao Grupo de Inovação em Biometeorologia, Ambiência e Bem-Estar Animal (INOBIOMANERA), a todos os integrantes/amigos do grupo que me ajudaram nessa jornada, em especial: Ana Flávia, Caio, Carolina, Cíntia, Gustavo, Larissa, Patric e Vinicius, companheiros do dia-a-dia.

Aos meus professores da pós graduação, em especial aos Prof. Dr. Alex Maia, Glauco Rolim e Matheus Paranhos, que ministram as melhores disciplinas do meu curso de pós graduação, além de me munirem de um conhecimento que me fez evoluir enquanto profissional e ser humano.

Aos estagiários que participaram da execução do meu experimento, João Moss e Vinícius. Aos funcionários da FCAV que me ajudaram na execução do trabalho: Carlinhos, Turquinho e Joãozinho.

Aos amigos Jubinha e Pelotas, que dividiram casa comigo por um dos melhores anos que ja vivi nessa cidade, e fizeram muitos momentos difíceis se tornarem mais tranquilos.

À todos que, de alguma forma, me ajudaram a realizar essa caminhada.

SUMÁRIO

Certificado da Comissão de Ética no Uso de Animais.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT	iv
1 REVISÃO DE LITERATURA E JUSTIFICATIVA.....	1
1.1 Objetivo geral	4
1.2 Objetivos específicos	4
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
2.1 Animal e ambiente	5
2.2 Observação do comportamento	6
2.3 Dados meteorológicos	7
2.4 Avaliação térmica da estrutura de sombra	8
2.5 Variáveis fisiológicas	8
2.6 Energia elétrica gerada e pegada de carbono	9
2.7 Análise dos resultados	9
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
4 CONCLUSÃO.....	22
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

Certificado da Comissão de Ética no Uso de Animais



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal



CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado **“Utilização de painéis solares fotovoltaicos como recurso de sombreamento para ovinos lanados”**, protocolo nº 015314/18, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 08 de novembro de 2018.

Vigência do Projeto	19/11/2018 a 25/05/2019
Espécie / Linhagem	Ovinos / Corriedale
Nº de animais	10
Peso / Idade	50-80 kg / 3-5 anos
Sexo	Fêmeas
Origem	Laboratório de Bioclimatologia Animal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Unesp/Jaboticabal.

Jaboticabal, 08 de novembro de 2018.

Fabiana Pilarski
Profª Drª Fabiana Pilarski
Coordenadora – CEUA

Painéis solares fotovoltaicos como tecnologia para promover o bem-estar e a sustentabilidade na produção de ovinos.

RESUMO – O objetivo deste estudo foi Propor uma estrutura de sombreamento alternativa para ovinos criados em sistema de pastejo utilizando painéis solares fotovoltaicos como anteparo à radiação solar e determinar o impacto nas respostas fisiológicas e comportamentais de ovinos Corriedale. Foram utilizadas 9 ovelhas Corriedale, em pastejo em ambiente intertropical. As temperaturas corporais (vaginal, temperatura da superfície da pele e do velo, °C) e frequência respiratória (respirações minutos⁻¹) na sombra ou expostas à radiação solar foram avaliadas como medidas fisiológicas. Observações comportamentais foram realizadas entre as 08:00h e as 17:00h, em intervalos regulares de 10 minutos. As variáveis meteorológicas (temperatura e umidade do ar, irradiância solar e velocidade do vento) foram medidas em intervalos regulares de 1 minuto. A estrutura de sombra é composta por 10 painéis fotovoltaicos, projetando 19,3 m² de sombreamento, gerando uma média mensal de 429,51 kWh. Em até 150 Wm⁻² de irradiância solar os animais tem como comportamento predominante o pastejo ao sol. Os mesmos procuram sombra para realizar comportamentos de descanso como rinação e ócio. A temperatura de superfície do velo apresenta redução no decorrer do uso da sombra independente do nível de radiação. Já a temperatura da epiderme, apresenta este comportamento apenas a partir de 350Wm⁻². A frequência respiratória dos animais é maior quando estão à sombra do que quando expostos à irradiância solar, no entanto à mesma apresenta queda significativa no decorrer do uso do recurso de sombreamento. A carga térmica radiante foi cerca de 27% menor sob a estrutura de sombra, o que mostra que os animais usam sombra porque oferecem uma melhor condição de conforto térmico, controlando as temperaturas internas e de superfície e a taxa respiratória. Portanto, painéis solares fotovoltaicos promovem o bem-estar e a sustentabilidade do sistema de produção de ovinos.

Palavras-chave: sombra, ovino, conforto térmico, sustentabilidade, fotovoltaico

Photovoltaic solar panels as technology to promote welfare and sustainability in sheep production.

ABSTRACT – The aim of this study was to propose an alternative shading structure for sheep reared in a grazing system using photovoltaic solar panels as a shield to solar radiation and to determine the impact on the physiological and behavioral responses of Corriedale sheep. Nine Corriedale sheep were used, grazing in an intertropical environment. Body temperatures (vaginal, skin and fleece surface temperature, ° C) and respiratory rate (breaths min⁻¹) in the shade or exposed to solar radiation were assessed as physiological measures. Behavioral observations were made between 8 am and 5 pm, at regular 10-minute intervals. The meteorological variables (air temperature and humidity, solar irradiance and wind speed) were measured at regular intervals of 1 minute. The shadow structure consists of 10 photovoltaic panels, projecting 19.3 m² of shading, generating a monthly average of 429.51 kWh. At up to 150 Wm⁻² of solar irradiance, the animals have the predominant behavior of grazing in the sun. They seek shade to perform restful behaviors such as rumination and leisure. The surface temperature of the fleece is reduced during the use of the shade regardless of the radiation level. The temperature of the epidermis, however, shows this behavior only from 350Wm⁻². The respiratory frequency of the animals is higher when they are in the shade than when exposed to solar irradiance, however the same shows a significant decrease during the use of the shading feature. The radiant thermal load was about 27% lower under the shade structure, which shows that animals use shade because they offer a better condition of thermal comfort, controlling indoor and surface temperatures and the respiratory rate. Therefore, photovoltaic solar panels promote the well-being and sustainability of the sheep production system.

Keywords: shade, sheep, thermal comfort, sustainability, photovoltaic

1 REVISÃO DE LITERATURA E JUSTIFICATIVA

Em um ambiente tropical a radiação solar é o principal elemento meteorológico que altera o equilíbrio térmico, impactando o desempenho de animais de produção criados à campo (Silva et al., 2010). Sob esta condição bovinos de corte ou leite; ovinos e caprinos apresentam alterações comportamentais e fisiológicas (Silva, 2000; Silva&Maia, 2013) para minimizar o ganho de calor por radiação, por exemplo Silva et al.(2010), verificou que vacas Holandesas absorvem $\pm 640 \text{ Wm}^{-2}$ de calor via radiação, sendo $\pm 290 \text{ Wm}^{-2}$ via ondas curtas e 350 Wm^{-2} ondas longas. Maia et al. (2015) observou a elevação da frequência respiratória de caprinos SPRD de 25 para cerca de 200 respirações por minuto; redução na produção de calor via metabolismo quando esses animais foram expostos a radiação solar, enquanto o ganho de calor por radiação atingiu 320 Wm^{-2} .

Fornecer sombreamento para animais de produção criados em sistema de pastejo é uma das soluções existentes para minimizar os efeitos negativos da exposição à radiação solar. Clapperton et al. (1965) avaliando a contribuição da radiação solar nas trocas térmicas de ovinos em latitude de 55° observaram que a quantidade de calor liberado na superfície do pelo de animais com lã de pleno inverno chegou à três quartos da quantidade absorvida via radiação solar, e quando estes animais eram tosquiados o calor liberado na superfície corporal correspondeu a metade da quantidade absorvida. Titto et al. (2016) avaliando respostas fisiológicas de ovinos lanados e deslanados observaram aumento significativo ($p < 0,05$) na frequência respiratória das raças lanadas quando comparadas as deslanadas, sendo que quando eram protegidas da radiação solar direta, as raças lanadas também demoraram mais tempo para voltar aos padrões de frequência respiratória anterior à exposição, levando 45 e 30 minutos para as raças lanadas e deslanadas respectivamente.

A oferta de sombra pode ser feita de maneira natural, quando a sombra é projetada por árvores e/ou arbustos, ou então artificial, com a construção de estruturas físicas a fim de bloquear parte ou toda a radiação solar incidente. Em um experimento realizado com rebanhos comerciais de bovinos leiteiros, Scütz et al. (2014) confirmaram que a proporção de uso de sombra pelo rebanho aumentou quanto maior a área de sombreamento disponível para o rebanho, além de observarem redução proporcional na frequência respiratória. Outro ponto à ser considerado no fornecimento de um recurso de sombreamento é o nível de bloqueio da radiação solar que o mesmo

proporciona (Shutz et al., 2008; Shutz et al., 2009; Tucker et al., 2008). Oliveira et al (2017) trabalhando com bovinos Holandeses em ambiente tropical observaram que os animais utilizaram por maior tempo o recurso de sombreamento quanto maior o nível de bloqueio da radiação solar, sendo o mais utilizado o material que bloqueava 100% da radiação solar.

No entanto, a instalação de estruturas de sombreamento acarreta um custo adicional ao produtor, que muitas vezes investe buscando retorno financeiro sobre o capital investido oriundo do aumento na produção por animal. Os trabalhos não mostram claramente o retorno financeiro vindo do aumento do desempenho no caso de ovinos. Uma alternativa seria então a proposição de um sistema de sombreamento capaz de ser uma fonte de renda ao produtor rural, e ainda fornecer sombreamento para os animais, melhorando a condição de bem-estar animal e também o desempenho produtivo dos mesmos. Um material capaz de fazer estas duas funções simultaneamente é o painel solar fotovoltaico que converte parte da irradiância solar em energia elétrica, além de bloquear a radiação solar direta e difusa, projetando uma área de sombra que pode ser utilizado pelo animal (Maia et. al., 2020).

Alexandre Edmond Becquerel (1820 - 1891), cientista francês, observou pela primeira vez o fenômeno fotovoltaico em 1839. Após introduzir dois eletrodos, sendo um de prata e outro de platina, em um eletrólito, observou que quando havia incidência de radiação solar era produzida uma diferença de potencial, o que foi nomeado de efeito fotovoltaico. Com esta descoberta, e anos mais tarde com o advento da microeletrônica, foram criadas as primeiras células solares fotovoltaicas. Com custo até então elevado, o primeiro uso desta tecnologia como fonte de energia elétrica foi em uma estação espacial norte-americana, onde o custo não é um fator limitante na tomada de decisão. Além disso, utilizar células fotovoltaicas era a forma mais segura e eficiente de se gerar energia no espaço sideral (Grätzel, 2001).

O custo relacionado à implantação de sistemas fotovoltaicos vem diminuindo gradativamente ao longo dos anos (Ferreira et al., 2018). Esta evolução pode ser descrita de acordo com um conceito que nasceu na indústria da aviação (Trappey et al., 2016), chamado de curva de aprendizado (Learning Curve) descrito por Wright (1936). Este conceito é capaz de prever a evolução dos preços com base no histórico de produção de um determinado produto, onde o preço diminui proporcionalmente à medida que a produção é dobrada. No entanto, esta curva tende à estabilizar ao longo

do tempo, onde o aumento na quantidade produzida passa a não impactar mais no preço. São nestes momentos que tecnologias disruptivas são introduzidas no mercado, buscando aumento de eficiência do produto e, conseqüentemente, o início de uma nova curva de aprendizado. A indústria de células fotovoltaicas vem passando por esse momento atualmente, onde o preço apresenta uma tendência de estabilidade (Figura 1) e as pesquisas buscando novas tecnologias em células fotovoltaicas são eminentes (Green, 2001; Tonui et al., 2018; Sampaio et al., 2018).

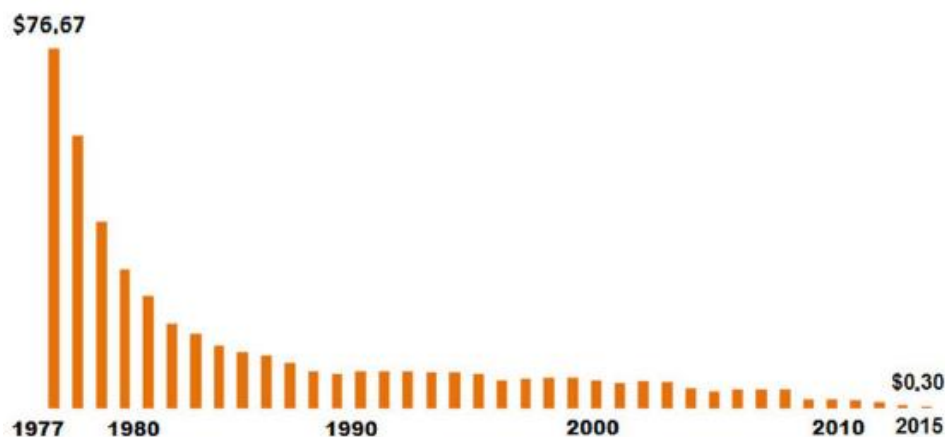


Figura 1 – Evolução histórica do preço médio das células fotovoltaicas de silício (Adaptado de Ferreira et al., 2018)

O elemento meteorológico que determina a quantidade de energia gerada por um sistema fotovoltaico é a irradiância solar, que por sua vez varia ao longo do ano em função da latitude influenciando no ângulo da declinação estacional e ao longo do dia em função do ângulo de elevação do sol (Silva e Maia, 2013). Sendo assim, quanto mais próximo de zero for o valor da latitude, maior será a irradiância medida e menor será a variação da mesma ao longo do ano (Silva, 2008).

A incidência de radiação solar extraterrestre pode ser calculada de acordo com Icropera & DeWitt (1998). O território brasileiro está localizado aproximadamente entre as latitudes 5° norte e 34° sul, a Alemanha que possui a maior capacidade instalada per capita (REN21, 2018) está localizada entre as latitudes 54° norte e 47° norte. O estado norte americano da Califórnia, que em 2018 passou a ser capaz de atender 50% da demanda de eletricidade via energia solar fotovoltaica (portal-energia, 2018), encontra-se entre as latitudes 41° norte e 32° norte. Ao longo do ano, próximo à linha do equador (0°), a incidência de radiação solar é aproximadamente 83% maior quando comparada

à incidência de radiação solar na Califórnia e 100% maior quando comparada aos limites de latitude da Alemanha (Figura 2). Sendo assim, o Brasil tem comprovadamente maior potencial de geração de energia elétrica oriunda de painéis fotovoltaicos que as duas localidades destacadas.

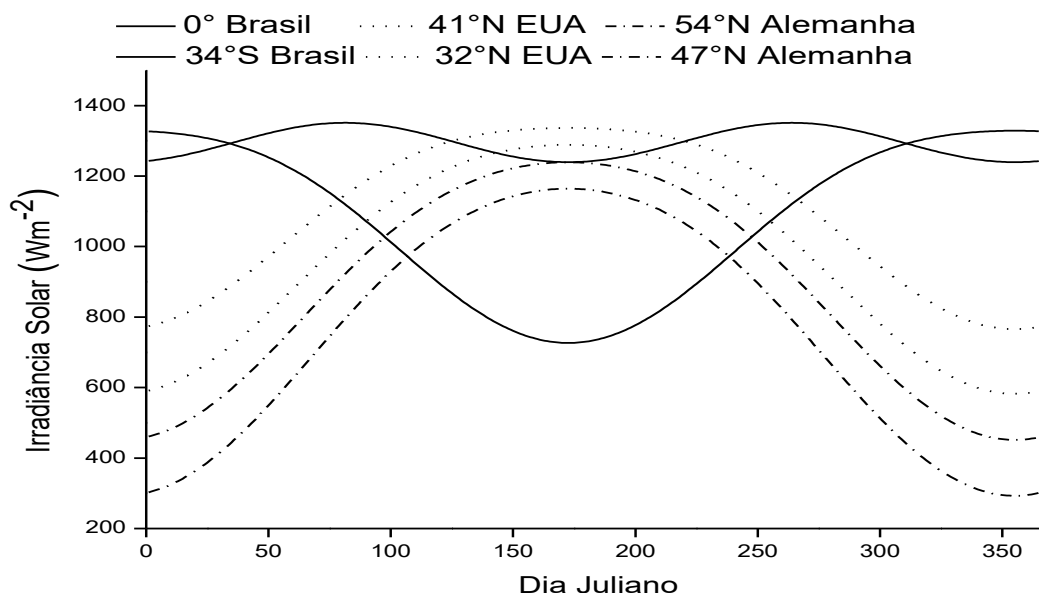


Figura 2 – Variação anual da irradiância solar no topo da atmosfera para diferentes latitudes do globo terrestre

1.1 Objetivo geral

Determinar o efeito do sombreamento projetado por painéis solares fotovoltaicos nas características de conforto térmico e bem-estar animal de ovinos lanados criados em sistema de pastejo.

1.2 Objetivos específicos

- (i) Identificar o impacto da sombra projetada de painéis solares fotovoltaicos no conforto térmico e bem-estar animal de ovinos Corriedale;
- (ii) Comprovar a sustentabilidade do sistema através da redução da emissão de carbono produzindo energia elétrica fotovoltaica

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Animais e ambiente

O protocolo de pesquisa e uso de animais (015314/18) foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. O presente estudo foi conduzido no Laboratório de Biometeorologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Latitude 21°15'17”S Longitude 48°19'20”E). Nove ovelhas da raça Corriedale pesando $78,75 \pm 12,58$ Kg (média \pm desvio padrão), foram monitoradas em julho de 2019, por treze dias (das 08:00h às 17:00h). Durante as avaliações, os animais foram mantidos em um piquete (área 2000m²) com forrageira do gênero Cinodon e água ad libitum. Havia uma estrutura de sombreamento dentro do piquete (menor altura: 3.0 m; ângulo de inclinação: 15°; largura: 4.0 m; comprimento: 5.0 m; área: 20 m²; área de sombra projetada: 19.3 m²; área de sombra por animal: 2.14 m² animal⁻¹), formada por um conjunto de dez painéis solares fotovoltaicos (Canadian Solar modelo CS6U-335P, Guelph, ON; instalados por Blue Sol, Blue Sol Energia Solar, Ribeirão Preto, SP) montados sobre uma estrutura simples de madeira (figura 3). Das 17:00h às 08:00 os animais eram mantidos em uma cabanha, e alimentados com silagem de milho e concentrado à base de milho moído, farelo de soja e mistura mineral.



Figura 3 – Foto mostrando ovelhas na sombra projetada pela estrutura de sombreamento feita de madeira e painéis solares fotovoltaicos

2.2 Observação do comportamento

As variáveis comportamentais foram monitoradas através do método de observação direta e registradas utilizando o método de amostragem instantânea do tipo “scan”, em intervalos regulares de dez minutos (Martin and Baetson, 2007) das 08:00h às 17:00h por um observador treinado. Os animais utilizados no estudo foram marcados em ambos os lados do corpo, nas partes anteriores e posteriores, logo abaixo da cernelha e garupa. O comportamento dos animais foi registrado considerando o local onde se encontravam (S: exposto à radiação solar direta; P: na sombra projetada pela estrutura de painéis fotovoltaicos), a atividade que estavam realizando (P: pastejando; R: ruminando; O: Ócio), e a postura em que se encontravam (EP: em pé; D: deitado) (Figura 4). Pastejando foi considerado quando o animal estava com a cabeça apontada para o solo, procurando ou ingerindo forragem; Ruminando foi definido quando o animal estava em comportamento sequencial de regurgitar, mastigar e engolir o alimento (Schutz et al., 2014); caso contrário, era considerado como Ócio. Em pé foi registrado quando o peso corporal do animal era suportado por seus membros; caso contrário, Deitado era registrado. Na sombra foi registrado quando ao menos a cabeça do animal estava sobre a sombra projetada pela estrutura de painéis fotovoltaicos; caso contrário, ao sol foi registrado (Maia et.al., 2019). Também foi registrado o horário (Hora e minuto) que cada animal entrou e saiu da sombra.

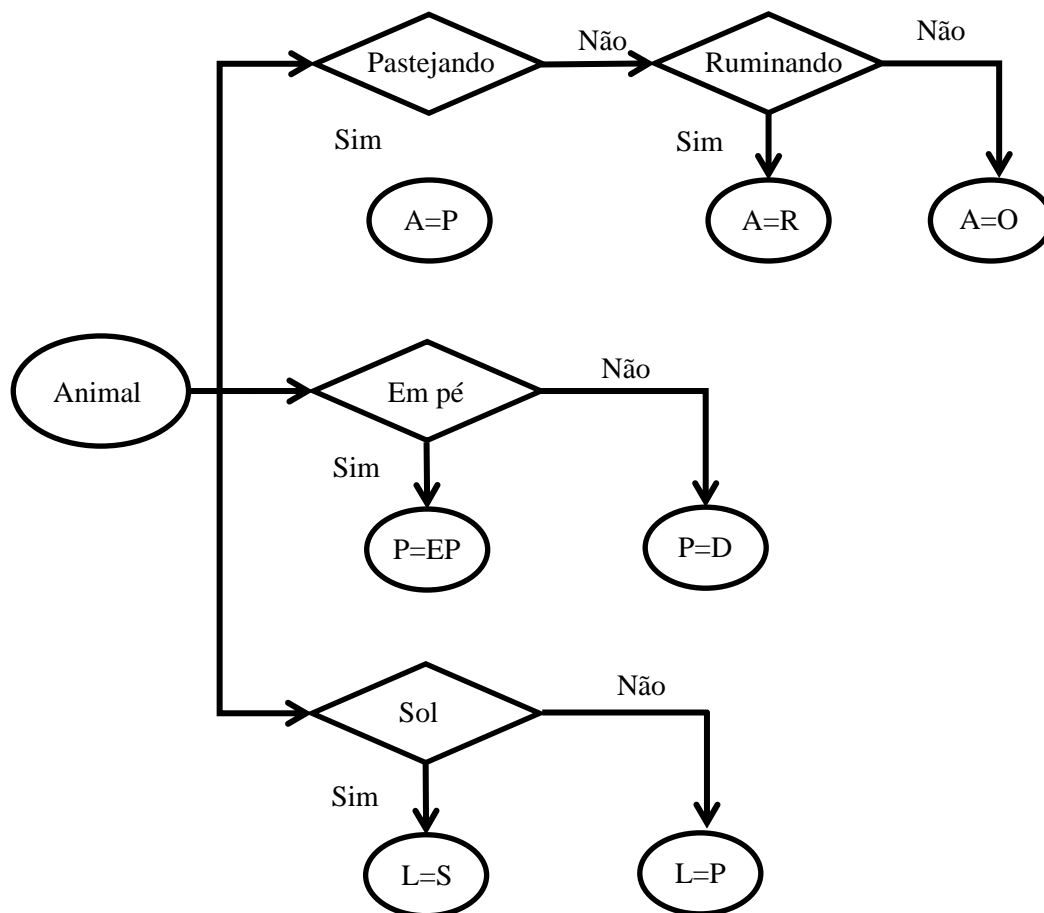


Figura 4 – Fluxograma do registro do comportamento

Desta forma, foi considerada a combinação de Atividade, Postura e Local, para a composição do comportamento apresentado pelo dado animal no momento da observação. De acordo com a figura 4 as combinações utilizadas foram: Pastejando Em Pé ao Sol (PEPS), Pastejando Em Pé à Sombra (PEPP), Pastejando Deitado ao Sol (PDS), Pastejando Deitado à Sombra (PDP), Ruminando Em Pé ao Sol (REPS), Ruminando Em Pé à Sombra (REPP), Ruminando Deitado ao Sol (RDS), Ruminando Deitado à Sombra (RDP), Ócio Em Pé ao Sol (OEPS), Ócio Em Pé à Sombra (OEPP), Ócio Deitado ao Sol (ODS), Ócio Deitado à Sombra (ODP).

2.3 Dados Meteorológicos

Os dados meteorológicos foram registrados a cada minuto por uma estação meteorológica do laboratório de Biometeorologia Animal (modelo CR10X, Campbell Scientific, Logan, UT), localizada próximo ao piquete experimental. As variáveis meteorológicas registradas foram: temperatura do ar (TA, °C, acurácia: ± 0.5 , intervalo de medida: de -35°C à 50°C), umidade relativa (UR, %, acurácia: $\pm 3\%$, intervalo de

medida: de 0 à 100%), velocidade do vento (VV, m s^{-1}), direção do vento (WD, °, range: de 0 à 359° a partir do Norte Magnético), radiação solar (RS, W m^{-2} , $\lambda = 0.39 - 3.6 \mu\text{m}$, acurácia: $\pm 5.0 \text{ W m}^{-2}$) e radiação solar ultravioleta (UV, W m^{-2} , $\lambda_{\text{UV}} = 0.28 - 0.4 \mu\text{m}$). Temperatura de globo negro exposto à radiação solar (TG, °C, acurácia: ± 0.5 , intervalo de medida: de -35°C à 50°C) foi medida utilizando um termopar (cobre-constantan) introduzido em uma esfera oca de cobre pintada de preto fosco.

2.4 Avaliação térmica da estrutura de sombreamento

O conforto térmico promovido pela estrutura de painéis solares fotovoltaicos foi estimado utilizando a Carga Térmica Radiante, como proposto por DaSilva & Maia (2013). A temperatura de globo negro à sombra dos painéis ($T_{\text{G-in}}$, °C, acurácia: ± 0.1 °C) e a temperatura da face interna dos painéis (T_{SP} , °C) foram registradas em intervalos regulares de um minuto, e armazenadas em um data logger. As coletas de dados foram realizadas durante dez dias em Junho/2019, antes das avaliações comportamentais, afim de evitar interferência na expressão do comportamento dos animais.

2.5 Variáveis fisiológicas

As variáveis fisiológicas avaliadas durante o período experimental foram: frequência respiratória (FR, $\text{respirações minuto}^{-1}$), temperatura interna (TI, °C), temperatura da superfície da epiderme (TEP, °C), e temperatura da superfície do velo (TS, °C). A frequência respiratória foi obtida através de observação direta e contagem do movimento do flanco. O tempo gasto para realizar dez movimentos respiratórios foi registrado para cada animal em intervalos regulares de vinte minutos. Este tempo foi convertido posteriormente em respirações por minuto. A temperatura interna foi medida na vagina utilizando um dispositivo T-Centi, inserido em seis animais de acordo com a metodologia proposta por Silva et al (2015). Tais dispositivos foram programados para registrar e armazenar dados de temperatura em intervalos regulares de um minuto. A temperatura da superfície da epiderme e do velo foram medidas utilizando um dispositivo I-Button, tendo um sido colado em uma área tricotomizada da epiderme e outro colado na superfície do velo de cada animal do experimento. O sensor que media a temperatura da superfície do velo foi coberto por uma proteção de isopor (figura 5).

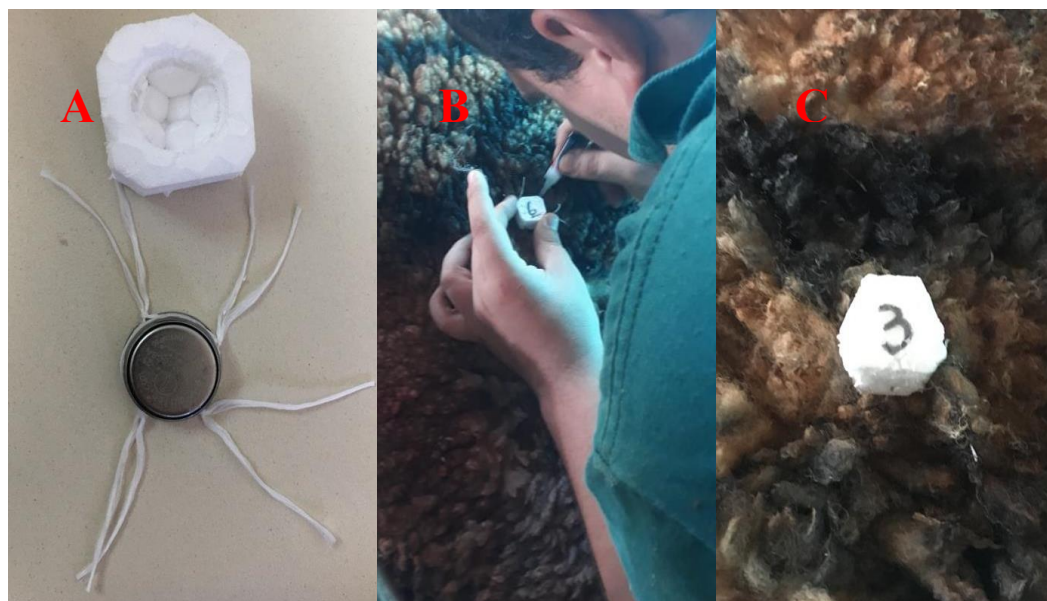


Figura 5 – Foto mostrando o sensor e a proteção de isopor (Figura 5A), o conjunto de sensor + proteção sendo colado no pelo do animal (Figura 5B) e conjunto de sensor + proteção fixado no pelo do animal (Figura 5C)

2.6 Energia elétrica gerada e pegada de carbono

A energia elétrica gerada pelo Sistema de painéis fotovoltaicos foi medida e registrada por um inversor de frequência (Fronius 3kWp), em intervalos regulares de cinco minutos, de Junho/2019 à Julho de 2020. A quantidade de CO₂ que deixou de ser emitida à atmosfera pelo uso da energia elétrica oriunda dos painéis fotovoltaicos em substituição àquela fornecida pela rede foi calculada utilizando o fator de emissão de CO₂ brasileiro para geração de energia elétrica ano base 2019 (MCTIC,2020).

2.7 Análise dos resultados

Devido a grande massa de dados coletados, foi realizado um trabalho de pré-processamento para organizar o banco de dados para possibilitar a análise de variância. Os valores de TS, TEP e TI foram extraídos dos dataloggers e salvos em diferentes planilhas utilizando o software Microsoft Excel®, com a extensão .xlsx. Utilizando o programa Jupyter.py, tais planilhas foram acessadas e os dados foram concatenados em um único Data Frame, indexado pela data e horário e número do animal, utilizando a biblioteca Pandas e a linguagem de programação Python. Este Data Frame foi posteriormente transformado novamente em arquivo .xlsx sendo este o arquivo utilizado para análise de variância.

O registro do comportamento foi feito através de um formulário eletrônico feito na aplicação Google Forms®, onde cada animal foi considerado como uma pergunta, e

os comportamentos (Pastejando, Ruminando, Ócio, Em pé, Deitado, Sol e Sombra) foram atribuídos como possibilidade de resposta. Cada pergunta (Animal) deveria ter ao menos 3 respostas (comportamentos), representando Atividade, Postura e Local. A cada 10 minutos um formulário completo era preenchido e as respostas salvas em uma planilha. Ao final do período experimental, foi extraído um relatório em formato .xlsx contendo uma planilha onde cada linha representava uma data e horário, e as colunas representavam os animais. A respectiva célula da combinação linha x coluna continha a resposta, como uma variável do tipo texto (String). Estes dados foram convertidos em valores binários para cada comportamento onde 0 representava a não expressão do dado comportamento e 1 a expressão do mesmo. Após esta etapa, foi feita a combinação entre Atividade, Postura e Local em cada linha de registro.

Outro procedimento de pré-processamento do banco de dados foi a determinação do tempo que cada animal ficou exposto ao sol e a sombra quando os mesmos alteravam seu comportamento. Esta determinação foi feita utilizando a função soma com algumas regras condicionais do software Microsoft Excel®. Desta maneira foi possível verificar a influência do tempo de exposição ao sol ou de permanência à sombra nas respostas fisiológicas medidas.

As variáveis fisiológicas (Ts, Tep, Ti e FR) foram analisadas através do método de quadrados mínimos (Silva, 1993), de acordo com o seguinte modelo:

$$Y_{ijklmno} = \mu + P_i + T_j + L_k + (PTL)_{ijk} + D_l + A_m + R_n(PTL)_{jkk} + e_{ijklmno}$$

Onde : μ = efeito geral da média;

P_i = efeito fixo do i-ésimo período do dia (i = manhã e tarde)

T_j = efeito fixo do j-ésimo tempo de exposição (j = <15 minutos, 15<= minutos<=35 e >35 minutos)

L_k = efeito fixo do k-ésimo local (k = sol ou a sombra)

PTL_i = Interação entre o fixo do i-ésimo período do dia com o efeito fixo do j-ésimo tempo de exposição com o k-ésimo local (k = sol ou a sombra);

D_l = efeito fixo do l-ésimo dia de coleta (l = 1, ...,13);

A_m = efeito fixo do m-ésimo animal (m = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9);

$R_n(PTL_i)$ = efeito aninhado da n-ésima classe de irradiância solar (n = 1 “0<RAD<=100”; 2 “100<RAD<=200”; 3 “200<RAD<=300”; 4 “300<RAD<=400”; 5 “400<RAD<=500”; 6 “500<RAD<=600”; 7 “600<RAD<=700”; 8 “700<RAD<=800”; e 9 “RAD>800”) dentro da interação entre o fixo do i-ésimo período do dia com o

efeito fixo do j-ésimo tempo de exposição com o k-ésimo local (k = sol ou a sombra)

e_{ijkl} = erro aleatório correspondente à observação Y_{ijk} no animal i e classe de hora j;

As variáveis comportamentais (PEPS, PEPP, PDS, PDP, REPS, REPP, RDS, RDP, OEPS, OEPP, ODS e ODP) foram analisadas através do método de quadrados mínimos (Silva, 1993), de acordo com o seguinte modelo:

$$Y_{ijklm} = \mu + P_i + D_j + A_k + R_l(P)_i + e_{ijklm}$$

Onde: μ = efeito geral da média;

P_i = efeito fixo do i-ésimo período do dia (i = manhã e tarde);

D_j = efeito fixo do j-ésimo dia de observação (j = 1, ..., 13);

A_k = efeito fixo do k-ésimo animal (k=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9);

$R_l(P)_i$ = efeito cruzado da l-ésima classe de irradiância solar (n =1 "0<RAD<=100"; 2 "100<RAD<=200"; 3 "200<RAD<=300"; 4 "300<RAD<=400"; 5 "400<RAD<=500"; 5 "500<RAD<=600"; 6 "600<RAD<=700"; 7 "700<RAD<=800"; e 8 "RAD>800") com o i-ésimo período do dia (i= manhã ou tarde);

e_{ijkl} = erro aleatório correspondente à observação Y_{ijk} no animal i e classe de hora j

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios medidos para temperatura do ar (TA), umidade relativa (UR), irradiância solar (RS), irradiância solar ultravioleta (UV) e velocidade do vento (VV) foram $17,5 \pm 0,016$ °C; $68,5 \pm 0,052$ %; $430,7 \pm 0,87$ W m⁻²; $14,5 \pm 0,034$ W m⁻²; e $0,5 \pm 0,001$ m s⁻¹ respectivamente. A figura 6 mostra o mesmo padrão para irradiância solar e irradiância solar ultravioleta, com valores acima de 600 W m⁻² para RS e 20 W m⁻² para UV próximos às 12:00h. Entre 8:00h as 17:00h que foi realizada as observações comportamentais e fisiológicas a TA, UR, RS, UV e VV foram $23,5 \pm 0,019$ °C; $48,1 \pm 0,05$ %; $474,2 \pm 0,83$ W m⁻²; $17,2 \pm 0,03$ W m⁻²; e $0,97 \pm 0,002$ m s⁻¹ respectivamente.

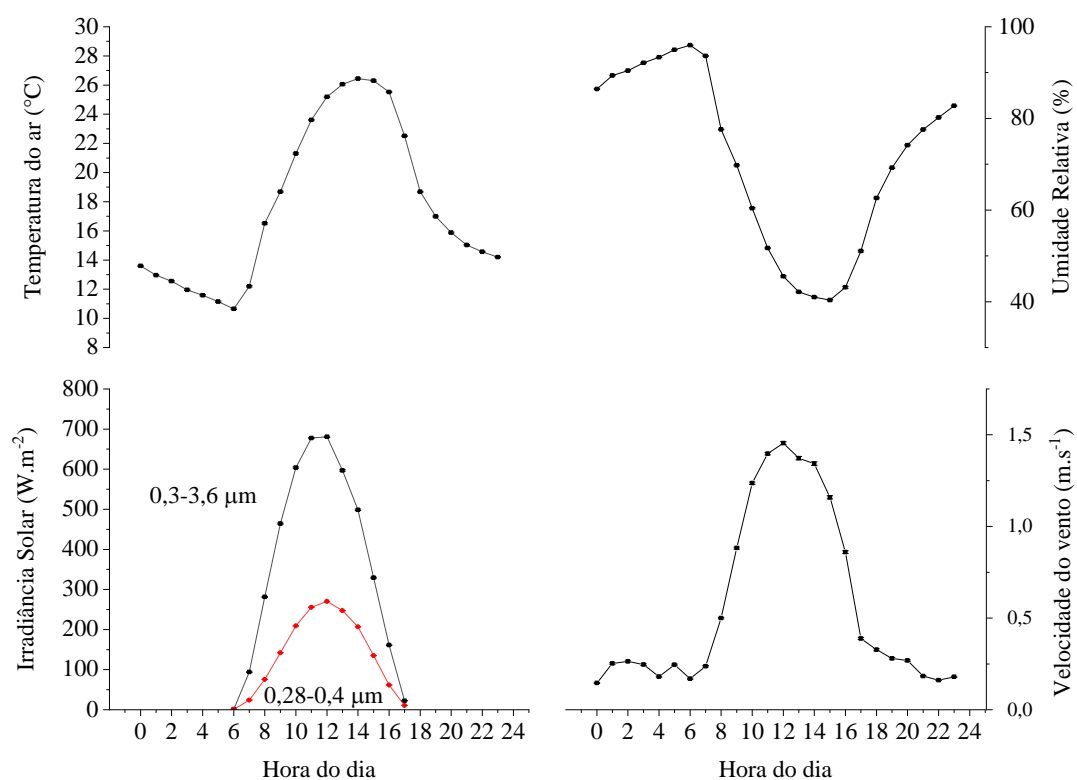


Figura 6 – Médias de temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), irradiância solar (W m⁻², faixa do espectro eletromagnético = 0,3 – 3,6 μm), radiação solar ultravioleta (W m⁻², faixa do espectro eletromagnético = 0,28 – 0,4 μm; estes valores devem ser divididos por 10) e velocidade do vento (m s⁻¹)

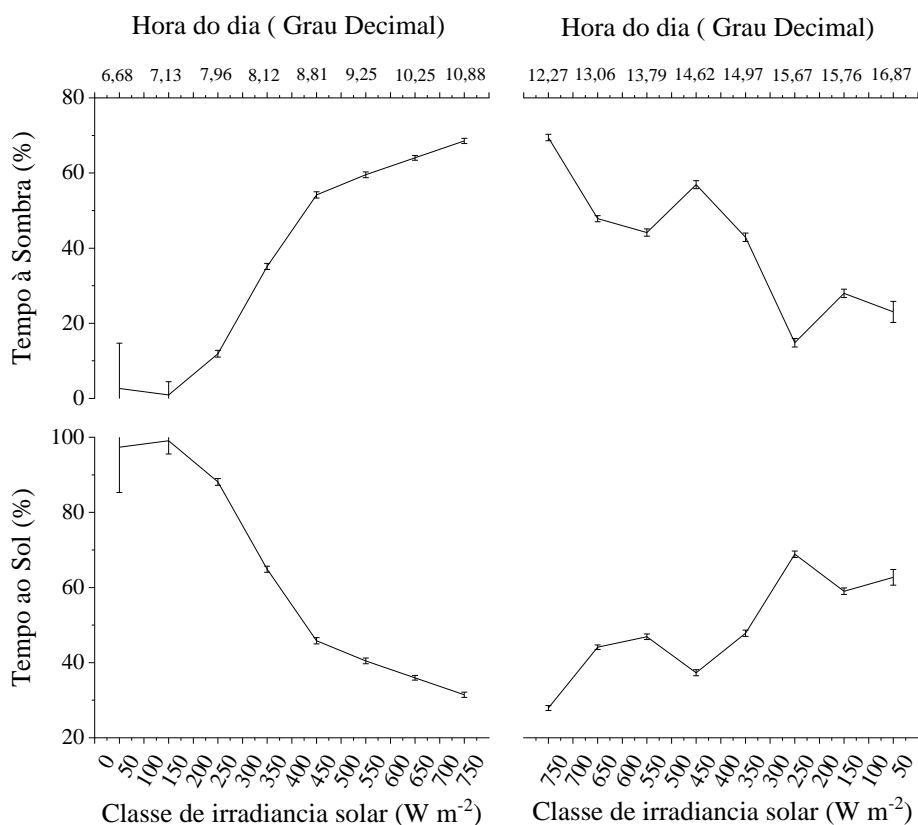


Figura 7 – Médias por quadrados mínimos (\pm EPM) do tempo que os animais ficaram ao sol ou à sombra nos diferentes períodos do dia (Manhã e Tarde), em cada classe de radiação solar

Com o aumento do nível de radiação, os animais diminuíram seu tempo de exposição ao sol e passaram a ficar à sombra dos painéis (Figura 7). Sendo assim, novamente a radiação solar se mostrou como o principal fator que vela ovinos a buscar sombra, assim como reportado por Maia et al (2020) e de acordo com o proposto por Silva et al (2010). No início da manhã o principal comportamento observado foi PEPS (Figura 8). De 50 a 150 W m⁻² os animais passaram 99,65 \pm 3,50% pastejando em pé ao sol, sendo que este tempo diminuiu gradativamente atingindo 38,77 \pm 0,82 % do tempo quando a radiação atingiu níveis de 450 W m⁻², se mantendo praticamente estável até o nível de 750 W m⁻² ainda no período da manhã passando 34,16 \pm 0,62 % neste comportamento. A diminuição do tempo em pastejo estando exposto à radiação levou à um aumento no tempo à sombra, onde os animais realizaram os comportamentos RDP e ODP. Tal padrão comportamental também foi encontrado por Maia et al. (2020) trabalhando com animais semelhantes, em condições mais intensas de radiação solar. No período da tarde é possível ver uma elevação da atividade de

pastejo quando a radiação solar caiu de 750 W m^{-2} para 55 W m^{-2} , passando de $26,97 \pm 0,64$ para $43,79 \% \pm 0,72$ do tempo em pastejo, sendo este o principal comportamento observado. No período da tarde, quando havia 450 W m^{-2} de radiação, o comportamento predominante foi a RDP onde os animais passaram $29,34 \pm 0,65$ % do tempo neste comportamento.

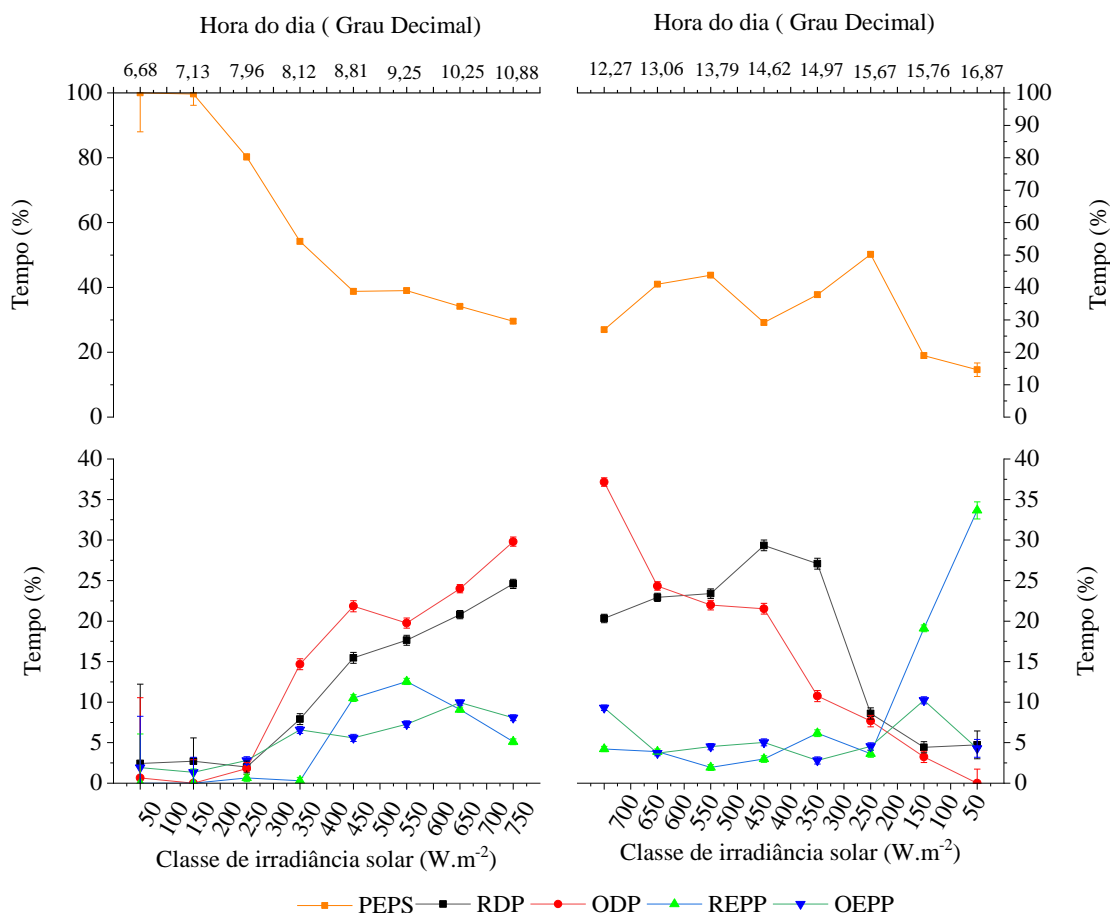


Figura 8 – Médias por quadrados mínimos (\pm EPM) do tempo que os animais despenderam pastejando em pé ao sol (PEPS, %), ruminando deitados à sombra (RDP, %), ócio deitados à sombra (ODP, %), ruminando em pé à sombra (REPP, %) e em ócio em pé à sombra (OEPP, %)

A Carga Térmica Radiante (CTR) foi utilizada para determinação do conforto térmico na projeção da sombra, que apresentou uma diferença de aproximadamente 200 W m^{-2} a menos na sombra (CTRin) em relação ao sol (CTR) (Figura 9). Este mesmo índice, calculado com base na temperatura do ar apresenta seu menor valor possível em um dado ambiente. Na figura 9 pode-se notar que a CTRin esta bem

próxima àquela calculada com base na temperatura do ar, enquanto que a CTR apresenta valores mais elevados. Tal fenômeno se dá devido ao bloqueio da maior parte da irradiância solar por parte dos painéis solares, que por sua vez utilizam esta radiação para geração de energia elétrica (Figura 14).

Observando as temperaturas de superfície da face interna dos painéis solares (TSP) e de Globo Negro (TG) medidas abaixo da estrutura é possível notar que a elevação da TSP não resultou em grandes elevações da TG, o que justifica o menor valor apresentado para CRTin. Atentando para o comportamento dos animais, conforme exposto na figura 7, pode-se observar que os animais procuram sombra dos painéis solares para realizar comportamentos de descanso como ruminância e ócio, indicando a condição de conforto térmico promovido pela estrutura de painéis e pela baixa carga térmica radiante. Este mesmo fenômeno também foi observado por Maia et al. (2019).

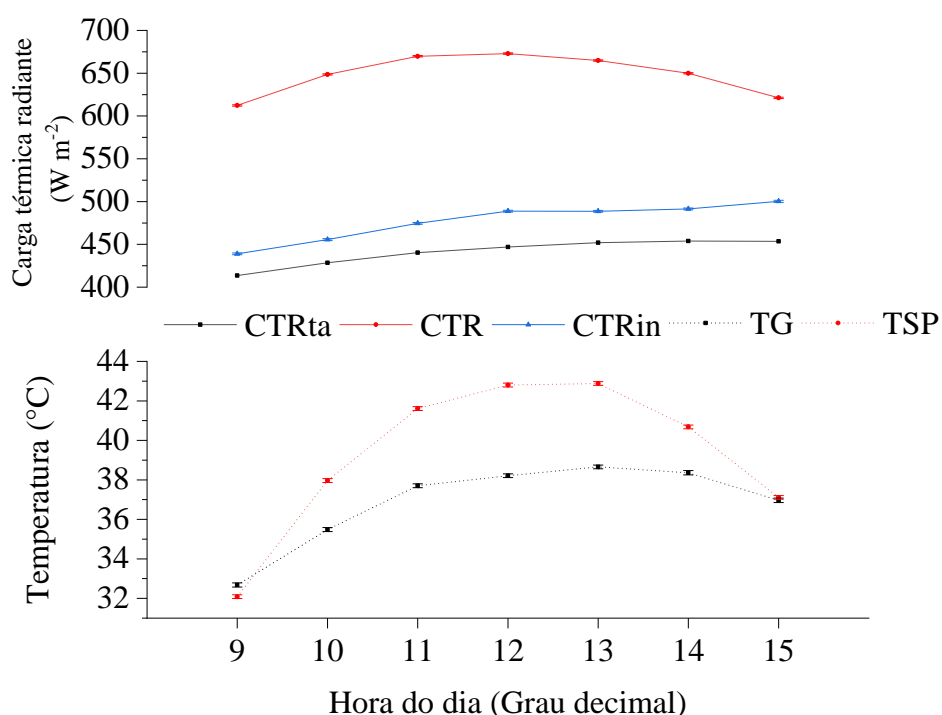


Figura 9 – Médias por quadrados mínimos (\pm EPM) da carga térmica radiante calculada com base na temperatura do ar (CTRta), ao sol (CTR) e à sombra dos painéis solares fotovoltaicos (CTR in), bem como as temperaturas de globo negro (TG) e da superfície da face interna dos painéis solares (TSP)

Pode-se notar uma diferença na temperatura de superfície do velo entre o

período da manhã e da tarde na mesma classe de irradância solar (Figura 10). O mesmo fenômeno também pode ser observado na temperatura da superfície da epiderme (Figura 11). Com 450 W m^{-2} no período da manhã, a temperatura da superfície do velo encontrava-se em $27,35 \pm 0,27 \text{ }^\circ\text{C}$, enquanto que na mesma classe de irradância solar, no período da tarde estava em $37,11 \pm 0,18 \text{ }^\circ\text{C}$. A temperatura da superfície da epiderme sofre menos influência da radiação solar, devido à proteção conferida pela camada de velo que a recobre. No entanto, o mesmo padrão de elevação é observado nos diferentes períodos do dia. Com 450 W m^{-2} de irradância solar, no período da manhã a temperatura da epiderme era de $37,75 \pm 0,06^\circ\text{C}$, enquanto que no período da tarde a mesma encontrava-se em $38,74 \pm 0,03^\circ\text{C}$. Este fenômeno indica um acúmulo de calor nestas camadas de cobertura do animal.

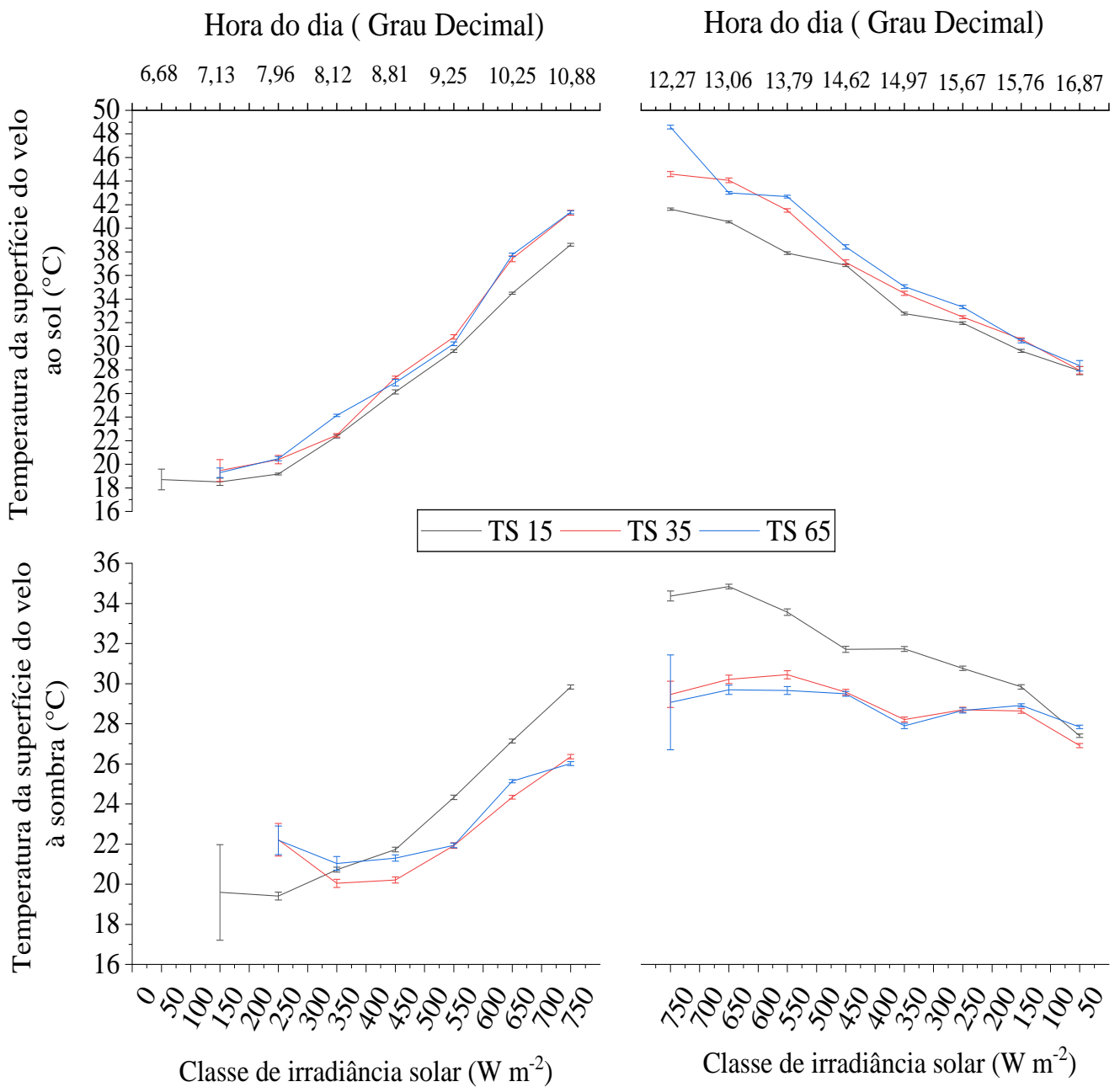


Figura 10 – Médias estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) da temperatura da superfície do vela ($^{\circ}$ C) de acordo com o tempo de permanência médio ao sol (15=14m30s, 35=34m0s e 65=68m15s) e a sombra (15=14m26s, 35=34m43s e 65=70m53s) pela manhã (08:00 até as 12:00 horas) e pela tarde (12:00 até as 17:00 horas)

Ao observar o tempo de exposição, é possível notar que quanto maior o tempo de exposição ao sol, maior é a temperatura de superfície do vela (Figura 10). Com a irradiância solar em 750W m⁻² no período da tarde podemos notar uma diferença de aproximadamente 7 $^{\circ}$ C entre os tempos 15 e 65 de exposição ao sol. Já na sombra,

ocorre o mesmo fenômeno, no entanto, de maneira inversa. Quanto maior o tempo que o animal permanece na sombra, menor é sua temperatura de superfície. Na mesma faixa de irradiância solar, 750 W m⁻², temos uma redução de 34,36 ± 0,09°C para 29,06 ± 0,08°C, do tempo 15 para o tempo 65.

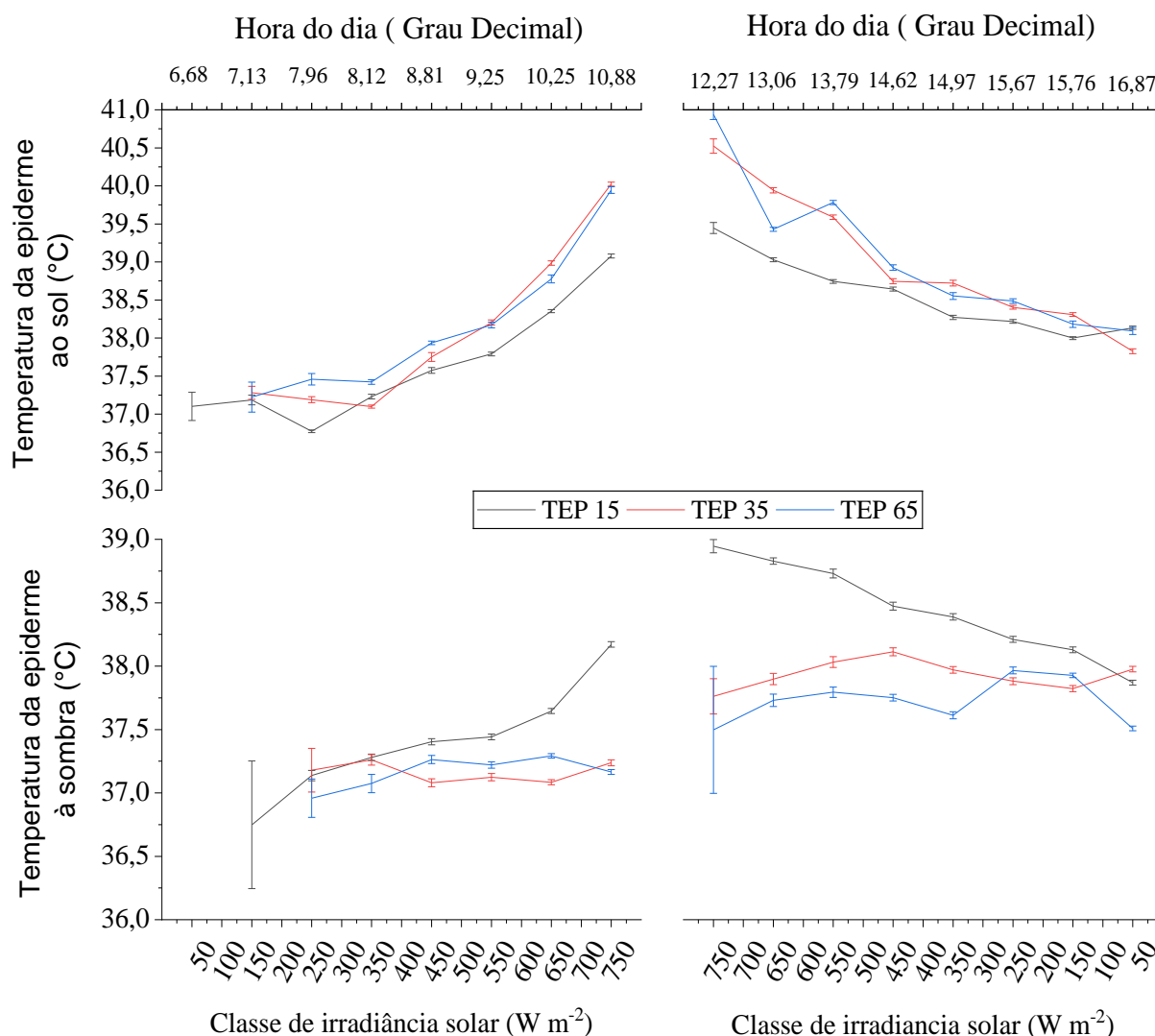


Figura 11 – Médias por quadrados mínimos (\pm EPM) da temperatura da superfície da epiderme (°C) de acordo com o tempo de permanência médio ao sol (15=14m30s, 35=34m0s e 65=68m15s) e a sombra (15=14m26s, 35=34m43s e 65=70m53s) pela manhã (08:00 até as 12:00 horas) e pela tarde (12:00 até as 17:00)

Os animais lançam mão de mecanismos latentes de perda de calor, aumentando sua frequência respiratória, por exemplo, quando a perda de calor sensível não é suficiente para manter o equilíbrio térmico (Maia et al. 2015). Com isso,

o mesmo passa a perder calor via evaporação no trato respiratório, em função da quantidade de ar deslocado em seu interior e do gradiente de umidade neste volume (daSilva & Maia, 2013). No entanto, é possível verificar na figura 12 que a frequência respiratória dos animais ao sol no período da manhã se manteve estável mesmo com a elevação dos níveis de radiação, saindo de $110,44 \pm 6,52$ resp. min⁻¹ para $112,29 \pm 3,57$ resp. min⁻¹. O fato dos animais não apresentarem uma elevação na frequência respiratória é uma vantagem em fornecer sombra aos animais, pois com isso os mesmos demandam de menos energia para termoregulação.

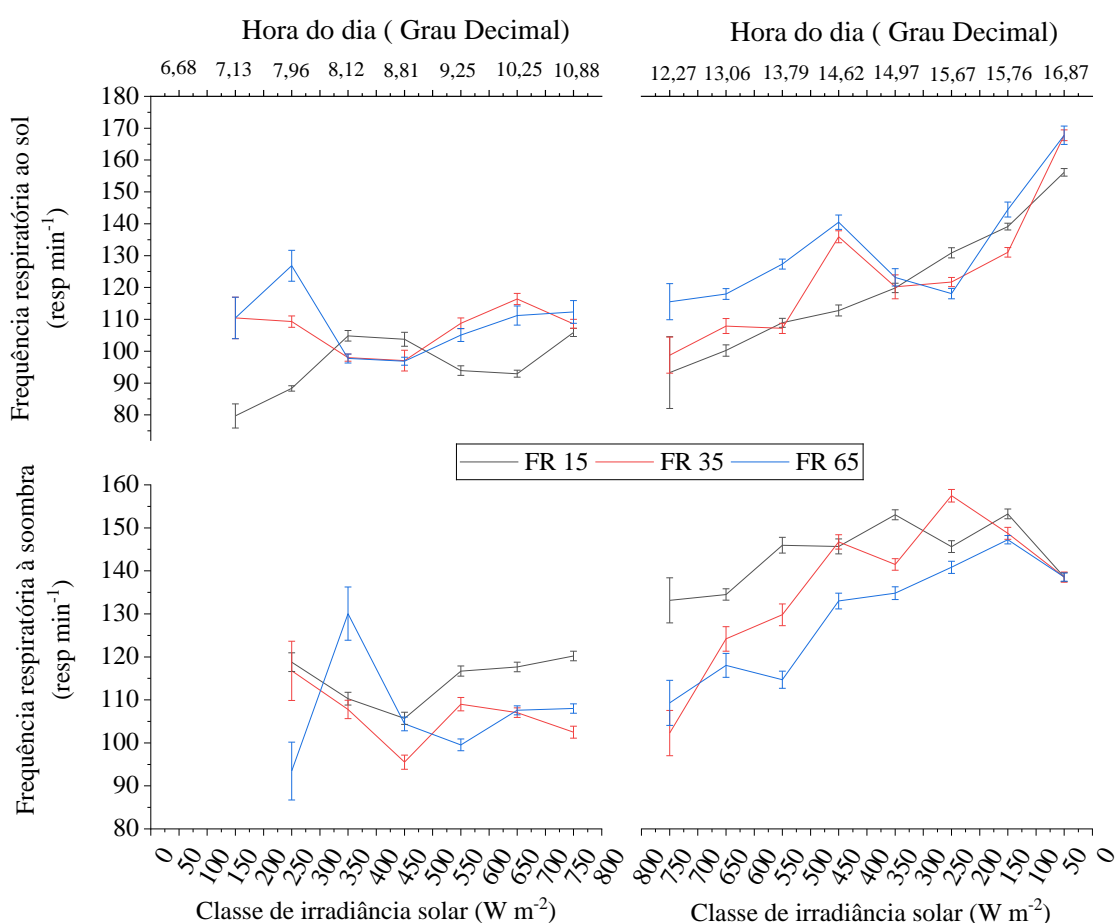


Figura 12 – Médias por quadrados mínimos (\pm EPM) da frequência respiratória (resp.min-1) de acordo com o tempo de permanência médio ao sol (14m30s, 34m0s e 68m15s) e a sombra (14m30s, 34m0s e 68m15s) pela manhã (08:00 até as 12:00 horas) e pela tarde (12:00 até as 17:00 horas)

Com base no comportamento é possível notar que os animais alteram entre a

exposição à radiação, em busca de alimento, e protegidos da radiação, para ruminar ou mesmo ficarem em ócio. Esta movimentação provoca elevação da temperatura interna, que é possível notar na figura 13 que a temperatura interna no período da tarde é maior que aquela medida no período da manhã. Isto se dá pelo fato do animal ser capaz de estocar calor, dentro de um limite fisiológico, que será então dissipado quando as condições ambientais estiverem favoráveis.

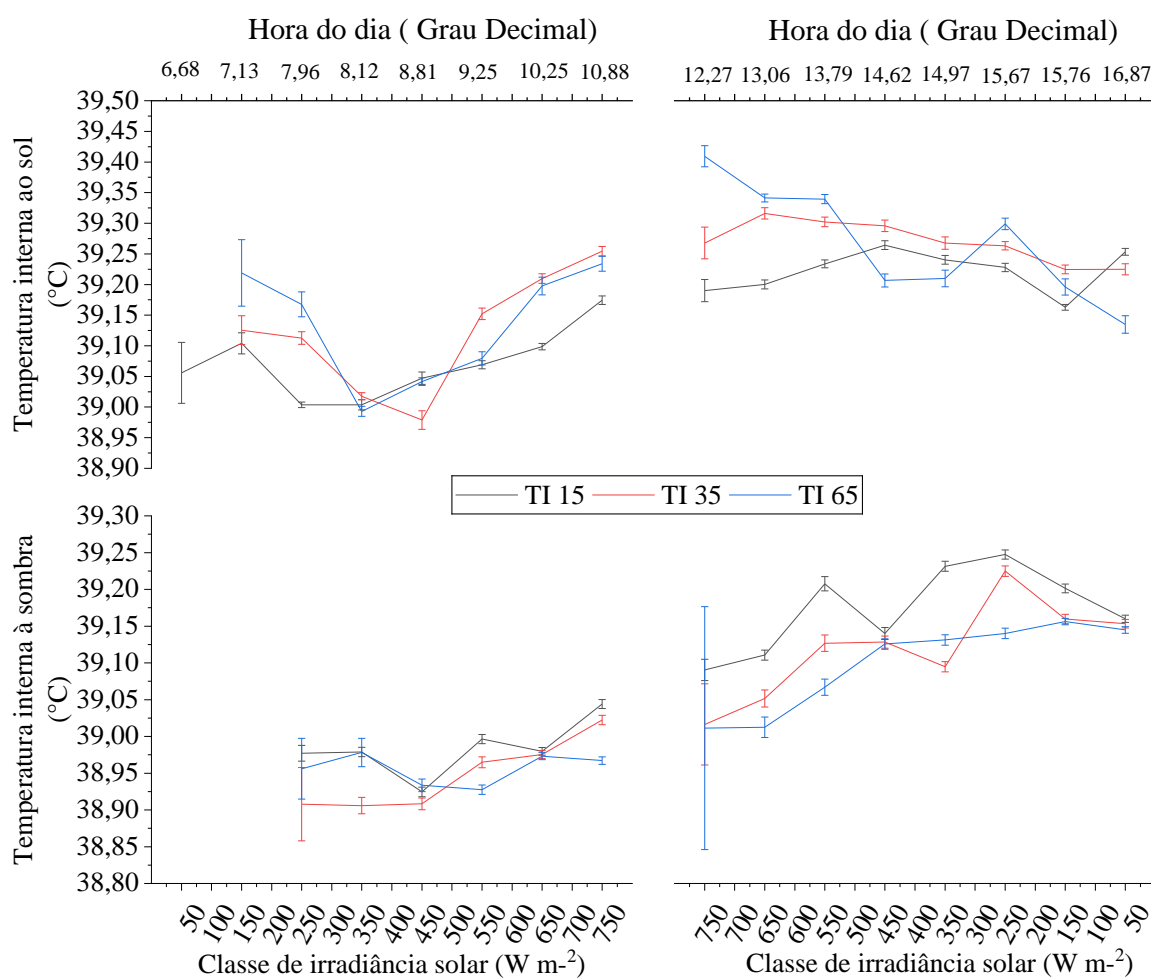


Figura 13 – Médias por quadrados mínimos (\pm EPM) da temperatura interna ($^{\circ}$ C) de acordo com o tempo de permanência médio ao sol (14m30s, 34m0s e 68m15s) e a sombra (14m30s, 34m0s e 68m15s) pela manhã (08:00 até as 12:00 horas) e pela tarde (12:00 até as 17:00 horas)

A Figura 14 mostra o padrão de geração de energia ao longo do ano de 2019

e também a quantidade de CO₂ que deixou de ser emitida na atmosfera. Ao longo do ano foi gerado 4,55 MWh e proporcionou uma redução na emissão de CO₂ na ordem de 2,32 ton de CO₂ à atmosfera. Considerando o preço do KWh praticado em São Paulo como R\$ 0,58 com o sistema fotovoltaico do presente estudo seria economizado aproximadamente R\$ 2.600,00. O custo de implantação foi de R\$ 30.000,00.

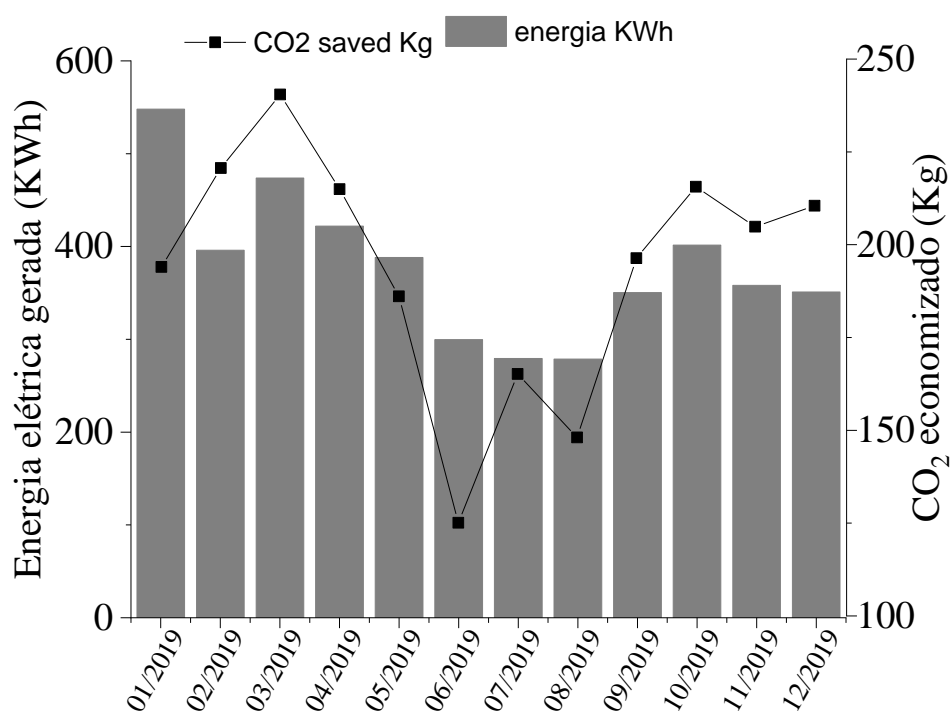


Figura 14 – Energia gerada mensalmente pelos painéis solares fotovoltaicos (Barras) e quantidade de CO₂ não emitido à atmosfera

4 CONCLUSÃO

A utilização de painéis solares fotovoltaicos como recurso de sombreamento melhora a condição de bem estar animal de ovinos por auxiliar os animais a lidar com o desafio térmico imposto pela radiação solar, e promove a sustentabilidade do sistema de produção por reduzir a pegada de carbono da atividade.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brown-Brandl T. M., Neinaber J. A., Eigenger R. A., Mader T. L., Morrow J. L., Dailey J. W. – **Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds** – Livestock Science – 2006

Brown-Brandl T. M., Eigenger R. A., Neinaber J. A. – **Beneffts of providing shade to feedlot cattle of different breeds** – American Society of Agricultural and Biological Engineers meeting - 2013

Collier R. J., Eley R. M., Sharma A. K., Pereira R. M., Buffington D. E. – **Shade Management in Subtropical Environment for Milk Yeld and Composition in Holstein and Jersey Cows**, Journal Dairy Science - 1981

Collier R. J., Dahl G. E., VanBaale M. J. – **Major Advances Associated with Environmental Effects on Dairy Cattle** - Journal Dairy Science - 2006

Eingenberg R. A., Brown-Brandl T. M., Nienaber J. A., Hahn G. A. – **Dynamic Response Indicators of Heatt Stress in Shaded and Non-shaded Feedlot Cattle, Part 2: Predictive Relationships** – Biosystems Engineering – 2005

Ferreira A., Kunh S. S., Fagnani K. C., De Souza T. A., Tonezer C., Dos Santos G. R., Coimbra-Araujo C. H. – **Economic overviw of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil** – Renewable and Sustainable Energy Reviews – 2018

Gebremedhin K. G., Lee C. N., Hillman P. E., Collier R. J. – **Physiological Responses of Dairy Cows during Extended Solar Exposure**, American Society of Agricultural and Biological Engineers - 2010

Grätzel M. – **Photoelectrochemical cells** – Nature – 2001

Green M. A. – **Third gerneration photovoltaics: Ultra-high conversion efficiency at low cost** – Progress in photovoltaics: research and applications – 2001

Incropera e DeWitt – **Fundamentos de transferência de calor e de massa** – Livros técnicos e científicos editora – 4ª edição – 1998

Mader T. L., Davis M. S., Brown-Brandl T. – **Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle** – Journal of Animal Science – 2006

Maia A. S. C., Silva R.G.S., Nascimento S. C., Nascimento C. C. N., Pedrosa H. P., Domingos H. G. T. – **Thermoregulatory responses of goats in hot environment** – Int. J Biometeorolol – 2015

Maia A. S. C., Milan H. F.M. - **Sistema e método para medição indireta da frequência respiratória de animais**. Brasil - 2016. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020160118794, data de depósito: 25/05/2016, Instituição de registro:INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Instituição(ões) financiadora(s): Agência UNESP de Inovação - AUIN.

MARTIN & BATESON – **Measuring Behavior: An Introductory Guide** – CAMBRIDGE – 2007

Milan H. F. M., Maia A. S. C., Gebremedhin K. G. – **Technical note: Device for measuring respiration rate of cattle under field conditions** - Journal of Animal Science - 2016

Oliveira S. E., Costa C. C., de Souza JB. Jr., de Queiroz J. P., Maia A. S. C., Costa L. L. – **Short-wave solar radiation level willingly tolerated by lactating Holstein cows in an equatorial semi-arid environment** - Tropical Animal Health Production – 2014

OLIVEIRA S.E., MAIA A.S.C, DE MELO COSTA C.C., DALLA COSTA F.A., CHIQUITELLI NETO M. – **Effects of shade location and its level of blockage against direct solar radiation on Holstein cow's behaviour** – VII Congresso Brasileiro de Biometeorologia, Ambiência, Comportamento e Bem-estar Animal – 2017

Sampaio P. G. V., Gónzales M. O. A., Vasconcelos R. M., dos Santos M. A. T., Toledo J. C., Pereira J. P. P. – **Photovoltaic Technologies: Mapping from patente analysis** –

Renewable and Sustainable Energy Reviews- 2018

SCHULLER L.K., BURNFEIND O., HEUWIESER W. – **Effect of short- and long-term heat stress on the conception risk of dairy cows under natural service and artificial insemination breeding programs** – Journal of Dairy Science – 2016

SCHÜTZ K. E., COX N. R., MATTHEWS L. R. – **How important is shade to dairy cows? Choice between shade or lying following different levels of lying** – Applied Animal Behaviour Science – 2008

SCHÜTZ K. E., ROGERS A. R., COX N.R., TUCKER C.B. – **Dairy cows prefer shade that offers greater protection against solar radiation in summer: shade use, behaviour, and body temperature** – Applied Animal Behaviour Science – 2009

Shutz K. E., Rogers A. R., Poulouin Y. A., Cox N. R., Tucker C. B. – **The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle** - Journal Dairy Science - 2010

Shutz K. E., Cox N. R., Tucker C. B. – **A field study of the behavior and physiological effects of varying amounts of shade for lactating cows at pasture** - Journal Dairy Science – 2014

Silva R. G. – **Manual de procedimentos em análises por quadrados mínimos** – Ed. FUNEP – São Paulo, Brasil – 1993

SILVA, R.G., MINOMO, F.R. - **Circadian and seasonal variation of the body temperature of sheep in a tropical environment** - Intern. J. Biometeorolol – 1995

SILVA R. G. - **Introdução à bioclimatologia animal** – Ed. Nobel – São Paulo, Brasil – 2000

SILVA R.G. – **Predição da configuração de sombras de árvores em pastagens para bovinos** – Eng. Agríc. – 2006

SILVA R.G. – **Biofísica Ambiental – Os animais e seu ambiente** – Ed. Funep – Jaboticabal, São Paulo, Brasil – 2008

SILVA R.G., GUILHERMINO M.M., de MORAIS D.A.E.F – **Thermal radiation absorbed by dairy cows in pasture** – Int. J. Biometeorolol – 2010

SILVA R.G., MAIA A. S. C., 2013 – **Principles of animal biometeorology** – Ed. Springer – Holanda

STOJANOVSK O., THURBER M., WOLAK F. – **Rural energy access through solar home systems: Use patterns and opportunities for improvement** – Energy for Sustainable Development – 2017

Tiba C., et al. – **Atlas Solarimétrico do Brasil** – Ed. Universitária da Universidade Federal de Pernambuco - 2000

Tonui P., Osnei S. O., Sharma G., Yan Q., Mola G. T. – **Perovskites photovoltaic solar cells: An overview of current status** – Renewable and Sustainable Energy Reviews - 2018
Trappey A. J. C., Trappey C. V., Tan H., Liu P. H. Y., Li S., Lin L. – **The determinants of photovoltaic system costs: an evaluation using a hierarchical learning curve model** – Journal of Cleaner Production – 2016

TUCKER C.B., ROGERS A.R., SCHÜTZ K.E. – **Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system** – Applied Animal Behaviour Science – 2008

Von Keyserlingk M. A. G., Martin N. P., Kebreab E., Knowlton K. F., Grant R. J., Stephenson M., Sniffen C. J., Harner J. P., Wright A. D. – **Invited review: Sustainability of the US dairy industry** - Journal Dairy Science – 2013

Wright T. P. – **Factors affecting the cost of airplanes** – J. Aeronaut Sci - 1936