



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS

Thiago Mombach Pinheiro Machado

**Ambiente térmico em Sistema Silvopastoril com Núcleos em implantação**

Florianópolis

2023

Thiago Mombach Pinheiro Machado

## **Ambiente térmico em Sistema Silvipastoril com Núcleos em implantação**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Agroecossistemas.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Daniele Cristina da Silva Kazama, Dra.

Coorientador: Prof. Abdon Luiz Schmitt Filho, Dr.

Coorientador: Prof. Rolnei Ruã Darós, Dr.

Florianópolis

2023

Pinheiro Machado, Thiago Mombach

Ambiente térmico em Sistema Silvipastoril com Núcleos em implantação / Thiago Mombach Pinheiro Machado ; orientadora, Daniele Cristina da Silva Kazama, coorientador, Abdon Luiz Schmitt Filho, coorientador, Rolnei Ruã Darós, 2023.

112 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Agroecossistemas. 2. Sistema Silvipastoril com Núcleos . 4. Biometeorologia. I. Kazama, Daniele Cristina da Silva. II. Schmitt Filho, Abdon Luiz . III. Darós, Rolnei Ruã IV. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. V. Título.

Thiago Mombach Pinheiro Machado

## **Ambiente térmico em Sistema Silvipastoril com Núcleos em implantação**

O presente trabalho em nível de Doutorado foi avaliado e aprovado, em quatorze de novembro de dois mil e vinte e três, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Matheus Deniz, Dr.

Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - Unesp de Botucatu

Prof. Rosandro Boligon Minuzzi, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Diego Peres Netto, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Doutor em Agroecossistemas.

Insira neste espaço a  
assinatura digital

Prof. Oscar José Rover

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a  
assinatura digital

Prof<sup>a</sup>. Daniele Cristina da Silva Kazama, Dr<sup>a</sup>.

Orientadora

Florianópolis, 2023.

Aos meus pais.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à UFSC pela oportunidade da capacitação. Ao grupo de pesquisa em Sistemas Silvopastoris com Núcleos por me permitir colaborar nas suas pesquisas. À minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Daniele Kazama e aos meus co-orientadores Prof. Abdon Schmitt Filho e Prof. Rolnei Ruã Darós pela oportunidade após uma troca de orientação, pela condução técnica e pela agradável companhia nesta caminhada. Aos muitos colegas dos cursos de pós-graduação e de graduação do CCA que colaboraram de alguma forma para este trabalho. Aos Professores Matheus Deniz, Diego Peres Netto e à Professora Grazyne Tresoldi pela colaboração na qualificação do projeto de tese de doutorado.

Aos colegas do CCB pela acolhida, incentivo e ajuda na reta final, especialmente, à Luciana Honorato, Andreia Cunha, Daiane Bobermin, Pedro de Souza e Prof. Tadeu Lemos.

Ao meu primo Caco e ao meu tio-avô Cao (*in memoriam*) pelo incentivo e interesse no meu desenvolvimento.

À minha avó Ilse pela presença, apesar da distância, pelos estímulos e por me proporcionar o convívio com os animais desde criança.

Ao meu avô Dulphe (*in memoriam*) e à Irene, vocês me apresentaram, com carinho, o cuidado aos animais.

À minha esposa Gabriela e ao meu filho Paulo, aos meus pais Dulphe e Alice, obrigado por tudo, amo vocês.

## RESUMO

O Sistema Silvipastoril com Núcleos (SSPnu) resulta na reabilitação ecológica por meio da mudança da paisagem alinhada à biodiversidade do bioma em que está inserido. Pouco tem sido estudado sobre SSPnu durante sua implantação. Partiu-se da hipótese de que a redução da velocidade do vento associada com a projeção insuficiente de sombra, características dos primeiros anos de sistemas silvipastoris (SSPs), podem interferir negativamente no microclima e no conforto térmico durante os meses mais quentes do ano. Assim, esse trabalho objetivou avaliar o ambiente térmico de bovinos em SSPnu em implantação com duas densidades (5% e 10% da área ocupada por núcleos, SSPnu5 e SSPnu10, respectivamente) comparadas à pastagem sem árvores (PSA) em dias quentes de verão com e sem nebulosidade em uma região de clima subtropical. As variáveis analisadas foram temperatura superficial do solo, temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura de globo negro e Índice de Carga Térmica (ICT) nas alturas de 20 e 120 cm. Em uma primeira análise que utilizou 10 dias sem nebulosidade, cada tratamento foi subdividido em 4 áreas: dentro do núcleo, entorno do núcleo, entorno do núcleo com sombra e internúcleos. Em um segundo momento foram analisadas somente as áreas pastoreáveis (entorno do núcleo e internúcleos) utilizando-se dados de 10 dias de sol e 8 dias nublados. Os resultados da primeira abordagem, analisando-se as quatro áreas em dias de sol apresentaram redução da velocidade do vento em SSPnu5 e SSPnu10 (51,58% e 68,47%), quando comparados ao PSA a 20 cm. A temperatura superficial do solo e a temperatura do ar a 120 cm foram maiores para SSPnu que para PSA. O mesmo efeito foi observado para o ICT. A 20 cm, o ICT indicou melhor conforto térmico no PSA que nos tratamentos SSPnu. Na segunda análise, enfatizando-se as áreas pastoreáveis e acrescentando 8 dias com alta nebulosidade, a velocidade do vento foi maior em PSA que nos demais tratamentos e suas áreas, à exceção do horário das 08:00 h, aos 20 cm de altura em dias nublados. A área do entorno dos núcleos de SSPnu10 apresentou a pior condição de conforto térmico, ou seja, os maiores valores de ICT. PSA apresentou valores mais baixos de ICT que os demais tratamentos, à exceção do horário das 16:00 h em condições de alta nebulosidade nas duas

alturas avaliadas. De maneira geral, dias nublados ofereceram melhores condições de conforto térmico que os sem nebulosidade. O efeito de redução da velocidade do vento de SSPnu em relação ao PSA foi significativo e variou de 22,34% na área internúcleos de SSPnu5, às 12:00 h, e a 120 cm em dias sem nebulosidade, a 75% na área do entorno dos núcleos de SSPnu10, às 08:00 h, aos 20 cm em dias nublados. A falta de projeção de sombra dos núcleos jovens em conjunto com a diminuição da velocidade do vento entre os núcleos causou uma maior temperatura do ar e conseqüentemente maior ICT nos tratamentos SSPnu. Esta condição foi denominada contraefeito do quebra-vento (windbreak countereffect). SSPnu reduziu o conforto térmico em relação ao PSA, sendo mais pronunciado no entorno dos núcleos e no tratamento com maior densidade de núcleos - SSPnu10. Os agricultores devem conhecer esse efeito ao implementar SSPs e, quando necessário, mitigá-lo com decisões de gestão adequadas. Entre essas, a utilização de dados climáticos de nebulosidade como indicador para a ocupação dos piquetes com núcleos em crescimento no verão, ou mesmo uso de áreas com sistemas silvipastoris em implementação durante o período noturno.

**Palavras-chave:** Contraefeito do quebra-vento; Conforto térmico; Biometeorologia.

## ABSTRACT

The Silvopastoral System with Nuclei (SPSnu) aims at ecological restoration through landscape transformation aligned with the biodiversity of the biome in which it is integrated. Little research has been conducted on SPSnu during its implementation. Therefore, this study aimed to evaluate the inferred thermal comfort of cattle in the establishment phase of SPSnu with two densities (5% and 10% of the area occupied by nuclei, SPSnu5 and SPSnu10, respectively) compared to treeless pasture (TLP) on hot summer days with and without cloud cover. The analyzed variables included soil surface temperature, air temperature, wind speed, relative humidity, black globe temperature, and Heat Load Index (HLI) at heights of 20 and 120 cm. In the first analysis, which covered 10 cloudless days, each treatment was subdivided into four areas: within the nuclei, around the nuclei, around the nuclei with shade, and internuclei. In a second analysis, only the grazable areas (around the nuclei and internuclei) were considered, using data from 10 Sunny days and 8 cloudy days. It was hypothesized that the reduction in wind speed associated with insufficient shade projection, characteristics of the early years of SPSs, could negatively influence microclimate and thermal comfort during the hot seasons. The results from the first approach, analyzing the four areas on Sunny days, showed a reduction in wind speed of 51.58% and 68.47% in SPSnu5 and SPSnu10, respectively, compared to TLP at 20 cm height. Soil surface temperature and air temperature at 120 cm were higher for SPSnu than for TLP. The same effect was observed for HLI. At 20 cm height, HLI indicated better thermal comfort in TLP than in the SPSnu treatments. In the second analysis, emphasizing grazable areas and adding 8 days with high cloud cover, wind speed was higher in TLP than in the other treatments and their areas, except at 8:00 h, at 20 cm height on cloudy days. The around the nuclei area of SPSnu10 presented the worst thermal comfort condition. TLP showed lower HLI values than the other treatments, except at 16:00 h under high cloud cover at both evaluated heights. Overall, cloudy days provided better thermal comfort conditions than clear days. The effect of reducing wind speed in SPSnu compared to TLP was significant and ranged from 22.34% in the internuclei area of SPSnu5 at 12:00 PM at 120 cm on clear days to 75% in the around the

nuclei area of SPSnu10 at 08:00 h at 20 cm on cloudy days. The lack of shade projection from the young nuclei, coupled with reduced wind speed between the nuclei, led to higher air temperatures and, consequently, higher HLI in the SPSnu treatments. This condition was termed the 'windbreak countereffect.' SPSnu reduced thermal comfort compared to the TLP, with a more pronounced effect observed around the nuclei and in the treatment with a higher density of nuclei - SPSnu10. Farmers must be aware of this effect when implementing SPSs and, when necessary, mitigate it with appropriate management decisions. Among these, the use of cloudiness as an indicator for the occupancy of paddocks with growing silvopastoral systems in the summer, or even utilizing these areas during nighttime.

**Keywords:** Windbreak countereffect; High Biodiversity Silvopastoral System with Nuclei; Bioclimatology.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	APRESENTAÇÃO.....	13
1.2	INTRODUÇÃO GERAL.....	15
<b>2</b>	<b>OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>17</b>
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>18</b>
3.1	SISTEMAS SILVIPASTORIS.....	18
3.2	ESTRESSE POR CALOR EM BOVINOS.....	20
3.3	COMPORTAMENTOS DE BOVINOS EM SISTEMAS SILVIPASTORIS.....	23
3.4	EFEITO QUEBRA-VENTO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS.....	25
3.5	VARIÁVEIS BIOFÍSICAS E ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS.....	28
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 2 - <i>Microclimate and the thermal comfort during the implementation of silvipastoral systems: the windbreak countereffect...</i></b>	<b>32</b>
	<i>Introduction.....</i>	<i>34</i>
	<i>Materials and Methods.....</i>	<i>36</i>
	<i>Results.....</i>	<i>40</i>
	<i>Discussion.....</i>	<i>48</i>
	<i>Conclusions.....</i>	<i>54</i>
	<i>References.....</i>	<i>55</i>
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO 3 – Ambiente térmico durante a implantação de sistemas silvipastoris .....</b>	<b>63</b>
	<b>Introdução.....</b>	<b>64</b>
	<b>Materiais e Métodos.....</b>	<b>66</b>
	<b>Resultados.....</b>	<b>72</b>
	<b>Discussão.....</b>	<b>83</b>
	<b>Conclusões.....</b>	<b>87</b>
	<b>Referências.....</b>	<b>88</b>

<b>6</b>	<b>CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>94</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>97</b>
	<b>ANEXO A – RESUMO EXPANDIDO.....</b>	<b>104</b>
	<b>ANEXO B – FOTOGRAFIAS DO EXPERIMENTO.....</b>	<b>109</b>
	<b>ANEXO C – PLANILHA DE CAMPO DE COLETA DE DADOS.....</b>	<b>112</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 APRESENTAÇÃO

A presente tese se situa no campo do desenvolvimento de processos produtivos agroecológicos. A sustentabilidade das práticas agropecuárias atuais está sendo questionada pela sociedade. Demanda-se do setor primário a adoção de sistemas de alta produtividade e regenerativos, ou seja, rentáveis e que, de maneira ética, colaborem para a reversão dos impactos causados pelas atividades agropecuárias ao ambiente. Nesse contexto o Sistema Silvipastoril com Núcleos (SSPnu) surge como uma tecnologia com potencial para incrementar os serviços ecossistêmicos e a rentabilidade através da diversificação produtiva. Um dos aspectos relevantes associados à implementação dos sistemas silvipastoris é a alteração do microclima pastoril que acarreta consequências para o conforto térmico e o bem-estar animal.

A Unidade de Ensino e Pesquisa em Sistema Silvipastoril com Núcleos (SSPnu) está localizada no biotério de bovinos da Fazenda Experimental da Ressacada do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina (FER/ CCA/ UFSC). O grupo de pesquisa, que é composto por pesquisadores da UFSC, da Universidade de Vermont e da Universidade de São Paulo, procura responder questões relacionadas ao desempenho e aprimoramento do SSPnu. As abordagens são as mais diversas, desde estudos das suas inter-relações com a biodiversidade, com os ciclos biogeoquímicos do solo, com as questões zootécnicas, botânicas, econômicas e de microclima.

Na presente tese avaliou-se o ambiente térmico de bovinos transversalmente no tempo, na fase de implantação dos núcleos arbóreos. No momento em que o experimento de campo foi executado, o SSPnu entrava no terceiro ano de estabelecimento. Previa-se a utilização de bovinos de corte e de leite com análises fisiológicas e de comportamento, inclusive o protocolo já havia sido aprovado pela Comissão de Ética para o Uso de Animais da UFSC. Inicialmente, em maio de 2021, executamos um projeto piloto de análise de concordância entre a equipe de observadores de comportamento dos animais. Este trabalho resultou na publicação de um resumo expandido que se encontra anexo ao final deste documento (Anexo A).

Em função da pandemia de Covid-19 as atividades de campo de vários pós-graduandos se concentraram no mesmo período, quando as atividades presenciais foram retomadas. Em decisão do grupo de pesquisa, o experimento de campo focou nas coletas de dados de microclima e no cálculo do Índice de Carga Térmica (ICT). As avaliações com animais foram adiadas para estudos futuros do grupo de pesquisa.

O biotério de bovinos da FER/ CCA/ UFSC é uma área de campo de aproximadamente 24 hectares, desprovida de sombra, ventosa, de topografia plana, localizada na Ilha de Santa Catarina. Antes da implantação de SSPnu a área recebeu algumas tentativas de plantio de espécies arbóreas com o propósito de oferecer sombra aos animais. Porém, em função das condições microclimáticas e edáficas, houve significativa mortalidade e os indivíduos que sobreviveram apresentaram baixo vigor.

O SSPnu está implantado em propriedades rurais de outras regiões de Santa Catarina. Na FER/ CCA/ UFSC, em função do histórico do plantio frustrado de árvores, projetou-se um elemento a mais na estrutura dos núcleos. Foram plantadas duas linhas de capim elefante (*Pennisetum purpureum*), uma na face sul e outra na face norte dos núcleos, que são as direções de origem dos ventos predominantes na região. O objetivo foi o de desempenharem temporariamente a função de quebra-vento e possibilitarem um microclima menos hostil para o desenvolvimento inicial das mudas arbóreas. Essas estruturas foram denominadas “grupo funcional zero” e foram projetadas para serem suprimidas após o crescimento inicial das árvores. A opção pelo capim elefante se deu pela observação da adaptação e excelente vigor dessa espécie em outras áreas da FER/ CCA/ UFSC. Observou-se que o rápido crescimento do capim elefante juntamente com a maior densidade das mudas arbóreas dispostas em núcleos, acarretou melhor desenvolvimento das plantas que nas tentativas anteriores.

Diante das peculiaridades do SSPnu da FER/ CCA/ UFSC, o presente trabalho foi desenvolvido com a intenção de obtermos registros científicos dessa etapa de desenvolvimento do sistema. Este trabalho foi estruturado em capítulos. Inicialmente, o Capítulo 1 apresentou uma revisão bibliográfica sobre os temas fundamentais para a pesquisa em microclima e conforto térmico de bovinos em sistemas silvipastoris. No Capítulo 2, a análise dessas variáveis em

dias de máximo desafio de calor (dias de verão sem nebulosidade, com as temperaturas próximas das máximas históricas para a região) resultou em um artigo submetido à revista *International Journal of Biometeorology*, no qual se trouxe à luz a percepção de um efeito de comprometimento do conforto térmico dos bovinos na fase de implantação de Sistemas Silvopastoris (SSPs) a que chamamos contraefeito de quebra-vento (*windbreak countereffect*). O Capítulo 3 apresentou outro artigo também formatado para ser submetido à revista *International Journal of Biometeorology*, em que se avançou no estudo das variáveis e do contraefeito de quebra-vento analisando-se dias quentes de verão com alta nebulosidade, além dos dias sem nebulosidade. O Capítulo 4 apresenta as considerações finais referentes aos resultados encontrados nos dois estudos.

## 1.2 INTRODUÇÃO GERAL

O processo de aquecimento global está sendo predominantemente causado por ações antrópicas (Steffen *et al.*, 2007; 2006; Ring *et al.*, 2012). O uso da terra é um dos fatores cujos efeitos nas mudanças climáticas são reconhecidos e determinantes (IPCC, 2019). As modificações nos biomas para a introdução de culturas agropecuárias acarretaram até o presente uma dinâmica de simplificação dos sistemas, supressão de espécies, degradação ecológica e redução dos serviços ecossistêmicos (Armenteras *et al.*, 2019).

A produção pecuária no Brasil é realizada em sua maioria (aproximadamente 90%) em sistemas extensivos a pasto que ocupam cerca de 20% do território nacional. Aproximadamente 50% das áreas de pastagens do país possuem algum grau de degradação, sendo que 44 Mha estão severamente degradados (Santos *et al.*, 2022).

A utilização de sistemas silvipastoris tem potencial para restaurar e reabilitar agroecossistemas (Schmitt Filho & Farley, 2020), proporciona aumento da biodiversidade (Gomez-Cifuentes, 2019), melhoria na fertilidade e estrutura física do solo (Porfírio-da-Silva, 2009), incrementa o sequestro de carbono (Cubbage *et al.*, 2012) e a provisão de serviços ecossistêmicos (Torralba *et al.*, 2016). Diversos desenhos e arranjos de espécies são possíveis (Cubbage *et al.*, 2012), espera-se que esses efeitos ambientais sejam pronunciados em sistemas que utilizam espécies nativas de maneira polifítica

como é o caso do Sistema Silvopastoril com Núcleos que pode compreender até 50 espécies por hectare (Schmitt Filho *et al.*, 2013; Schmitt Filho *et al.*, 2017; 2018; Schmitt Filho & Farley, 2020 ).

Outro fator-chave para a sustentabilidade de um sistema produtivo agropecuário é o bem-estar animal (Broom, 2010). Sistemas silvipastoris melhoram o bem-estar, pois melhoram o conforto térmico pela oferta de sombra, reduzem os eventos de ingestão de água, e induzem a manifestação, com maiores frequências, de comportamentos de conforto como o de ruminação e o decúbito esternal (Amendola *et al.*, 2018; Giro *et al.*, 2019). Um ambiente térmico mais confortável em SSPs induz, quando comparado aos sistemas sem árvores, aumento do tempo de pastoreio, redução da temperatura da superfície corporal e da frequência respiratória de bovinos (Deniz *et al.*, 2023). Esses efeitos tornam-se mais importantes diante das projeções de aquecimento climático que intensificarão os prejuízos por estresse por calor em animais (Thornton *et al.*, 2021).

Entretanto, esses efeitos positivos para o bem-estar de bovinos foram evidenciados em estudos que utilizaram sistemas silvipastoris consolidados. O período de implantação desde o plantio até o momento em que o porte das árvores influencia positivamente o bem-estar animal, ou seja, quando há sombra suficiente para melhorar o conforto térmico, pode ser longo, de no mínimo 41 meses (Porfírio-da-Silva *et al.*, 2012). Muitos produtores pecuaristas não podem fazer diferimento nas áreas de implantação de SSPs, pois perderiam rentabilidade e entre as principais motivações para a adoção do sistema estão o aumento e a diversificação da renda (Orefice *et al.*, 2019).

Os consórcios em sistemas silvipastoris demandam a ocupação simultânea dos elementos animais e arbóreos desde o plantio das mudas de árvores. O período de crescimento das plantas até a disponibilização de sombra suficiente para afetar positivamente o conforto térmico dos animais é longo. Assim, o presente trabalho teve como objeto de estudo o ambiente térmico no verão de uma região de clima subtropical durante o período de implantação de um Sistema Silvopastoril com Núcleos.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Investigar o ambiente térmico de bovinos em Sistema Silvipastoril com Núcleos (SSPnu) em fase de implantação.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Comparar as variáveis microclimáticas e o conforto térmico inferido de SSPnu com 5% e 10% da área ocupada com núcleos ao tratamento controle (pastagem sem árvores).

Aprofundar as comparações ao nível das áreas (entorno e distante do núcleo) de cada tratamento com relação à pastagem sem árvores.

Comparar essas variáveis em dias quentes de verão com e sem nebulosidade.

Investigar o comportamento das variáveis microclimáticas e do conforto térmico inferido em face do efeito quebra-vento causado pelo SSPnu.

### 3 CAPÍTULO 1

#### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A sociedade global desafia a comunidade científica a oferecer soluções para o desenvolvimento de práticas produtivas sustentáveis. A mitigação dos principais impactos da atividade pecuária passa pela implementação de técnicas economicamente rentáveis que aumentem a biodiversidade e a provisão de serviços ecossistêmicos, que possibilitem o bem-estar humano e animal e que resultem em produtos de alta qualidade biológica. Além disso, diante das mudanças climáticas, serão necessários agroecossistemas resilientes e que contribuam com as adaptações necessárias a que serão submetidas as espécies animais criadas.

#### 3.1 SISTEMAS SILVIPASTORIS

Os sistemas silvipastoris (*intercropping system*) integram a produção animal à base de pasto com espécies arbóreas no mesmo local e ao mesmo tempo (Porfírio-da-Silva, 2009) e podem oferecer soluções ambientalmente equilibradas para amenizar o estresse por calor (Deniz *et al.*, 2019; Schmitt Filho *et al.*, 2023). A oferta de sombra para os animais durante períodos de altas cargas radiantes é um dos principais impulsionadores da adoção de sistemas silvipastoris por pecuaristas (Pent, 2020). As espécies e manejos utilizados variam regionalmente de acordo com características biofísicas, econômicas, culturais e de mercado (Cubbage *et al.*, 2012). Sistemas silvipastoris (SSPs) melhoram o conforto térmico e o bem-estar dos animais (Améndola *et al.*, 2016; Deniz *et al.*, 2019), oferecem sombra e abrigo contra as intempéries, diversificam a produção e a renda, aumentam a biodiversidade (Gomez-Cifuentes, 2019), incrementam a fertilidade, melhoram a estrutura física do solo (Porfírio-da-Silva, 2009) e favorecem um maior sequestro de carbono (Cubbage *et al.*, 2012).

Os sistemas silvipastoris têm potencial para aumentar a produtividade total por área em até 55% quando comparados ao cultivo segregado de pastos e árvores (Pent, 2020). Sistemas silvipastoris resultam na oferta de forragens

de melhor qualidade nutritiva em função do microclima ao nível do dossel forrageiro estabelecido pela presença das árvores (Ford *et al.*, 2019, Schmitt Filho *et al.*, 2023).

A implementação dos sistemas silvipastoris pode ocorrer com diversas configurações de espécies, desenhos e propósitos. Em regiões de expansão da fronteira agrícola, a sua utilização pode ser uma alternativa para amenizar o impacto da conversão de florestas em áreas agrícolas, mantendo parcialmente a vegetação original (Orefice *et al.*, 2019), minimizando efeitos sobre as mudanças climáticas e a regulação hidrológica (Coble *et al.*, 2020). Ademais, os SSPs apresentaram um potencial para a reabilitação ecológica em 120 milhões de hectares de pastagens brasileiras localizadas em biomas florestais, e na sua maioria desprovidas de árvores (Santos *et al.*, 2022). Essa concepção permite restabelecer a paisagem, mesmo que parcialmente, para algo próximo daquilo que o bioma ofereceria, resultando colateralmente na oferta de diversos serviços ecossistêmicos (Schmitt & Farley, 2020).

A implantação de sistemas silvipastoris geralmente ocorre acompanhada de outras técnicas de intensificação e diversificação produtiva. Realizando uma revisão bibliográfica sistemática Smith *et al.*, (2022) citaram que em 96% das propriedades que adotaram sistemas silvipastoris o manejo de pastos se deu de forma rotativa, com algum grau de divisão de área. Os autores sugerem que o sistema silvipastoril foi primariamente utilizado como componente complementar do sistema rotativo de pastagens. Acrescentam que o sistema silvipastoril foi adotado para a criação de diversas espécies animais como bovinos, caprinos, ovinos, galinhas, perus, cavalos, bisões, suínos, gansos e patos.

Os SSP podem ser projetados com diferentes configurações com o objetivo de associar elementos arbustivos ou arbóreos de maneira sinérgica às criações animais. Os principais arranjos são árvores dispersas ou isoladas na pastagem, bosquetes, árvores em faixas ou renques. As principais finalidades são a de produção madeireira, lenhosa, frutífera, cerca-viva, banco forrageiro e quebra-vento (Franke & Furtado, 2001). No Brasil outras nomenclaturas são difundidas para os SSP, como por exemplo, Sistema de Integração Pecuária-Floresta (ILF). Quando há o consórcio de elementos pecuários, arbóreos e agrícolas, também utilizam-se os nomes Sistema de Integração Lavou-

Pecuária-Floresta (ILPF), Sistema Agrossilvipastoril ou Sistemas Agroflorestais (Almeida, 2010; Balbino *et al.*, 2011).

Dentre as várias possibilidades de desenhos dos sistemas silvipastoris (Cubbage *et al.*, 2012), do ponto de vista da agroecologia, o Sistema Silvipastoril com Núcleos (SSPnu) integra conceitos de reabilitação ecológica de agroecossistemas, oferece serviços ecossistêmicos variados e diversifica a renda. As propriedades que implementaram esse sistema utilizaram, como método de manejo do complexo sol-solo-planta-animal, o Pastoreio Racional Voisin (Machado, 2004; Machado Filho *et al.*, 2021).

O SSPnu foi desenvolvido pelo Prof. Abdon Luiz Schmitt Filho, com colaboração do Prof. Alfredo C. Fantini e do Eng. Agr. Michael Marcelino no âmbito do Laboratório de Sistemas Silvipastoris & Restauração Ecológica (LASSre/UFSC) e utiliza-se preferencialmente espécies nativas. O SSPnu é composto por até quarenta núcleos de 25 m<sup>2</sup> dispostos equidistantemente em um hectare de pasto. Estes núcleos arbóreos agroflorestais ocupam até 10% da área de pastagem com uma projeção de sombra de até 40%, dependendo da poda. Cada núcleo é composto por 20 árvores nativas, 4 bananeiras, além das ervas e arbustos iniciais (*Cavanus cajam*, *Penisetum purpurium*, *Araquis pinto*, *Bicha orellana*) e o sub-bosque de pastagem naturalizada polifítica. A diversidade pode variar entre 40 e 50 espécies arbóreas nativas por hectare, classificadas em diferentes grupos funcionais que se complementam para o estabelecimento de uma agrofloresta sucessional (Schmitt Filho *et al.*, 2013; Schmitt Filho *et al.*, 2017; 2018; Schmitt Filho & Farley, 2020 ).

A distribuição espacial difusa dos núcleos compostos por espécies nativas para ultimar produtos florestais não madeireiros (PFNM) é o diferencial para viabilizar sombra natural, bem-estar animal, renda adicional e a restauração ecológica dos agroecossistemas através do SSPnu. A utilização de espécies nativas é condição *sine qua non*, pois compõem a biodiversidade local e são adaptadas à fauna, ao clima e ao solo (Pott & Pott, 2003).

### 3.2 ESTRESSE POR CALOR EM BOVINOS

O estresse por calor é o resultado da inabilidade de um animal de dissipar calor suficiente para manter a homeostase (West, 1999). O estresse

por calor é um problema para o bem-estar dos bovinos e afeta a rentabilidade da bovinocultura mundial. A combinação de condições ambientais e fatores fisiológicos animais, que podem variar em função de raça, coloração da pelagem, competência imunológica, idade, categoria, escore de condição corporal, performance produtiva entre outros, podem levar a carga de calor corporal além da faixa fisiológica, a partir de então, inicia-se o estresse térmico (Gaughan *et al.*, 2002; Herbut *et al.*, 2018). Fatores de manejo como acesso à sombra, à água e a temperatura da água do bebedouro também podem determinar variações das respostas fisiológicas animais à carga térmica ambiental (Gaughan *et al.*, 2008). Os resultados fisiológicos negativos desse processo podem ocorrer de imediato ou com efeitos retardados ou prolongados e, ainda, cumulativos, inclusive com manifestações que perduram até a estação seguinte àquela em que houve os episódios de sobrecarga de calor (De Rensis & Scaramuzzi, 2003).

Projeções climáticas de longo prazo demonstram que as regiões produtoras de animais ficarão mais quentes e úmidas até o final do século 21. Em algumas áreas sugere-se que, a partir do ano 2050, as criações extensivas ficarão inviabilizadas pelo excessivo estresse térmico, especialmente em regiões vulneráveis economicamente e com criações pouco tecnificadas onde não serão possíveis adaptações para a amenização dos efeitos do calor (Thornton *et al.*, 2021). Paralelamente, a seleção dos animais de reposição nos rebanhos comerciais utiliza, predominantemente, critérios produtivos. Espera-se maiores produtividades individuais no futuro e essa *performance* tem um “custo” de calor metabólico que tornará esses animais ainda mais suscetíveis aos eventos de calor extremo (Lees *et al.*, 2022).

Os bovinos são animais homeotérmicos (mantém a temperatura corporal constante) e manifestam a termoneutralidade em uma determinada faixa de temperatura, que varia entre raças e espécies. As variações ambientais para fora desses limites determinam a ativação de mecanismos de compensação, seja para a produção, ou para a perda de calor (Renaudeau *et al.*, 2006). Variáveis físicas como temperatura, radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento determinam se o metabolismo animal destinará os nutrientes exclusivamente para os processos produtivos e de manutenção ou se será necessário desviá-los para os mecanismos de regulação de temperatura.

O estresse pelo calor ocorre pela combinação das variáveis físicas ambientais com o calor de origem metabólica (Jeelani *et al.*, 2019). Nessa circunstância o organismo animal falha ou é ineficaz em se ambientar através dos mecanismos de dissipação de calor (Azevêdo & Alves, 2009).

O fluxo de calor entre o corpo do animal e o ambiente pode ser classificado como troca de calor seco e troca de calor úmido. O primeiro tipo abrange as trocas de calor por condução, convecção e radiação, o segundo se dá pela evaporação. A troca de calor por condução depende da diferença de temperatura entre duas superfícies, de suas massas e de suas condutividades. Na troca por convecção a temperatura relevante é aquela do fluido com o qual o animal troca calor, neste caso o ar que o envolve (Mitchell *et al.*, 2018). A movimentação horizontal do ar (velocidade do vento) pode determinar uma troca “forçada” de calor por advecção. Em situações em que não há vento, a troca dependerá mais da diferença de temperatura entre o corpo do animal e o ar. A troca de calor por radiação ou irradiação se dá através de ondas eletromagnéticas emitidas pelos corpos aquecidos. A troca por evaporação se dá pela liberação de calor latente que é a quantidade de energia liberada por unidade de massa na mudança de fase (de líquido para gasoso) (Mitchell *et al.*, 2018).

Altas temperaturas associadas a variáveis físicas ambientais (alta umidade e baixa velocidade do vento) que ultrapassem os limites da zona de termoneutralidade determinam a aproximação ou até mesmo a extrapolação da temperatura ambiental à corporal. A partir desse momento, quando a troca (perda) de calor seco se torna impossível, a manutenção da homeotermia depende apenas da transferência de calor por evaporação, através da sudorese e da ofegação (Gonzalez-Rivas *et al.*, 2020). Entretanto, os mamíferos iniciam as trocas evaporativas antes de cessarem as possibilidades de troca de calor seco (Mitchell *et al.*, 2018).

Por meio da ativação do sistema nervoso autônomo, as consequências fisiológicas do estresse por calor incluem elevação das frequências cardíaca, respiratória e da temperatura corporal, aumento da irrigação sanguínea da pele para termorregulação em detrimento dos demais órgãos e ativação de rotas catabólicas que aceleram a glicogenólise muscular (Afsal *et al.*, 2018). Além disso, se elevam as concentrações sanguíneas de glicocorticoides que, por sua

vez, aumentam a perda de calor por vasodilatação (Kadim *et al.*, 2006), aumentam a proteólise e atuam de maneira antagônica aos reguladores anabólicos como a insulina e o IGF-1 (*insuline-like growth factor-1*) induzindo perda de massa corporal (Braun & Marks, 2015).

Outras consequências do estresse por calor incluem imunossupressão (Bagath *et al.*, 2019), redução do consumo de alimentos com consequente prolongamento do período de balanço energético negativo pós-parto, perdas reprodutivas como subfertilidade, alteração das manifestações comportamentais de estro (tornam-se discretas ou imperceptíveis), aumento do intervalo entre partos, redução da qualidade de oócitos (Baumgard & Rhoads, 2013, De Rensis & Scaramuzzi, 2003), aumento do consumo de água (Marai *et al.*, 2007), indução ao estresse oxidativo (Bernabucci *et al.*, 2002) e a outros distúrbios endócrinos como os relacionados à glândula tireoide (Magdub *et al.*, 1982). Vacas prenhas submetidas a estresse térmico comprometem o desenvolvimento da glândula mamária na lactação subsequente (Tao *et al.*, 2011), produzem terneiras com menor taxa de sobrevivência e com menor produtividade à primeira lactação. Esses processos induzem à perda expressiva de produtividade (Monteiro *et al.*, 2016).

### 3.3 COMPORTAMENTO DE BOVINOS EM SISTEMAS SILVIPASTORIS

A mudança no microclima nos sítios de pastoreio ocasionada pelo estabelecimento dos SSPs se dá pela redução da incidência de radiação solar, que ameniza as temperaturas elevando a umidade relativa do ar que, por sua vez, reduz a taxa de evapotranspiração vegetal (Bernardino & Garcia, 2009). A sombra, quando disponibilizada em momentos de altas cargas de calor, é prontamente utilizada pelos animais. Isto resulta na amenização dos efeitos da carga térmica. Bovinos com acesso à sombra apresentaram menores frequências respiratórias e escores de ofegação que aqueles a pleno sol. Quanto maior a área disponível de sombra para o rebanho, maior o número de animais a utilizam e consequentemente menores serão as manifestações respiratórias de estresse por calor (Schutz *et al.*, 2014).

Bovinos de leite possuem alta motivação para acessar a sombra (Cardoso *et al.*, 2021). Animais em condições de calor, após serem submetidos

à restrição de decúbito por 12 horas, preferiram acessar a sombra em estação, sem possibilidade de decúbito, que deitar-se. Sugere-se que bovinos ficam mais tempo em estação em resposta ao aumento da carga térmica, pois assim maximizam a área superficial corporal exposta ao ambiente e aumentam o fluxo de ar ao redor do corpo (Schutz *et al.*, 2008). Em estudo que monitorou a dinâmica da temperatura corporal de vacas leiteiras em produção Nordlund *et al.*, (2019) encontraram o comportamento de aumento de 0,5°C a cada hora de permanência em decúbito à sombra em confinamento. Já para os animais em estação, houve redução de 0,25°C e 0,09°C a cada hora nas baias do sistema *freestall* e nas áreas de espera da sala de ordenha, respectivamente. Portanto, em condições de calor, permanecer em estação representa busca por arrefecimento enquanto o decúbito será desempenhado para o descanso ao custo da elevação de temperatura corporal.

Durante episódios de estresse por calor os bovinos manifestam redução no consumo de alimentos e nos padrões de atividade, procuram sombra e vento, aumentam a frequência respiratória, a circulação sanguínea periférica e a transpiração (West, 2003). Já em ambientes sombreados alguns padrões etológicos e zootécnicos indicam melhor conforto térmico dos bovinos que quando mantidos a pleno sol, como passar mais tempo pastoreando (Karki & Goodman, 2010), ruminando, reduzir o tempo em pé à toa e se deslocar menos até o bebedouro (Giro *et al.*, 2019). Experimentalmente, Améndola *et al.* (2016), constataram que bovinos desempenham mais comportamentos sócio-positivos, indicando melhoria no bem-estar, já Paciullo *et al.* (2011) encontraram maiores ganhos de peso em bovinos recriados em sistema silvipastoril.

A preferência de localização de bovinos de leite em Sistemas Silvipastoris com Núcleos (SSPnu) com altura média das árvores de 10 metros foi estudada por Deniz *et al.*, (2020). Esses autores determinaram uma subdivisão da área do sistema em área sombreada no entorno dos núcleos, área sem sombra no entorno dos núcleos e área a pleno sol distante dos núcleos. Os animais preferiram desempenhar os comportamentos de pastoreio, ruminação e decúbito na área sombreada do entorno dos núcleos. Essa área apresentou microclima melhor que as demais com temperatura do ar, temperatura do solo e iluminância mais amenas para bovinos. Resultados

semelhantes foram apresentados por Craesmeyer *et al.*, (2017). Ressalta-se que essa interpretação ocorreu em bovinos de raças taurinas em região de clima subtropical em meses de calor.

A esses fatores de microclima, de comportamento e zootécnicos que evidenciam vantagens ao sistema silvipastoril em relação ao sistema a pleno sol, ainda pode-se acrescentar a redução da infestação de moscas-do-chifre (Oliveira *et al.*, 2017). Sugere-se que essa redução ocorra em função da predação natural pela fauna que se torna mais exuberante nos sistemas silvipastoris. A redução de ectoparasitas minimiza prejuízos econômicos e incrementa a qualidade de vida e a sanidade dos rebanhos bovinos.

Os sistemas silvipastoris proporcionam aos animais ambientes complexos e enriquecidos quando comparados aos sistemas extensivos desprovidos de sombra natural. Os gradientes microclimáticos horizontais e verticais nas áreas pastoris, de temperatura, iluminância e velocidade do vento, por exemplo, oferecem aos animais a oportunidade de manifestarem a sua agência/ competência cognitiva. Nesse contexto, o engajamento na resolução de desafios ambientais, no caso a busca por melhor conforto térmico, pode possuir um valor positivo para o bem-estar animal. Suprimir a possibilidade da interação do animal com o ambiente em condições muito controladas ou artificiais e cercear a possibilidade de manifestação de comportamentos de explorar e resolver problemas pode afetar negativamente o seu bem-estar (Spinka & Wemelsfelder, 2011).

### 3.4 EFEITO QUEBRA-VENTO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS

Os sistemas silvipastoris possuem como efeito colateral a influência na circulação de ar à altura do ambiente de pastoreio. Em regiões de clima temperado, a adoção de quebra-ventos na pecuária é consolidada e intencional, porém em climas tropicais e subtropicais a redução da circulação de ar pode ser um ônus ou pelo menos um efeito que deve ser considerado nas relações entre as culturas e criações em sistemas que utilizam os elementos silviculturais em consórcio (agroflorestas, sistemas silvipastoris ou agrossilvipastoris) (Oberschelp *et al.*, 2020).

Os quebra-ventos são estruturas agroflorestais compostas por árvores, arbustos e espécies forrageiras em consórcio ou em cultivos solteiros, de diversos formatos, com o propósito de servir como barreira de vento. Sua adoção resulta em efeitos secundários nos agroecossistemas. Os benefícios da sua utilização são semelhantes aos oferecidos pela implantação de agroflorestas: controle da erosão (Battisti *et al.*, 2020) e melhoria da qualidade do solo (Battisti *et al.*, 2018), proteção aos animais e às culturas vegetais contra o vento e radiação solar (Schmitt Filho *et al.*, 2023), estoque de carbono (Silva *et al.*, 2020), oportunidade de diversificação de retornos financeiros com produtos madeireiros e não-madeireiros (Buratto *et al.*, 2018; Schmitt Filho *et al.*, 2018, Schmitt Filho and Farley, 2020; Schmitt Filho *et al.*, 2018a), incremento da biodiversidade (Rover, 2019; Heck, 2020; Bento *et al.*, 2020; Simione *et al.*, 2022), melhoria da eficiência de uso da água, redução da dispersão de odores, controle de ruídos, contenção de derivas de agroquímicos e incremento estético (Lin *et al.*, 2006; Oberschelp *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2021).

Os quebra-ventos devem ter conformações vegetais que proporcionem a otimização do seu propósito (Mume & Workalemahu, 2021). A capacidade de bloqueio do vento depende da altura, da largura, da densidade, da orientação e da composição florística (Cleugh *et al.*, 2002). Arranjos de espécies com tamanhos e arquiteturas complementares possibilitam diferentes resultados no bloqueio do vento. A orientação do maior eixo do quebra-vento deve ser perpendicular à direção predominante de ventos incidentes na região (Quam *et al.*, 1994).

A utilização de quebra-ventos nas atividades agropecuárias ocorre predominantemente em regiões frias e ventosas e proporciona benefícios tanto no inverno quanto no verão (Quam *et al.*, 1994). O bloqueio do vento em estações quentes reduz o movimento do ar e conseqüentemente as perdas de calor por evaporação e convecção em bovinos (Mader *et al.*, 1999).

Desde os anos 1930 já está consolidada a percepção de que os quebra-ventos aumentam a produtividade das culturas vegetais de verão e de inverno (Osorio *et al.*, 2019). Em regiões frias, em explorações pecuárias de gado de corte Simroth *et al.*, (2017) constataram alta adoção (43%) do uso de quebra-ventos em uma amostra de 43 confinamentos nas regiões do planalto oeste e

meio-oeste norte americano. Bovinos de corte quando alojados próximos a quebra-ventos ganham mais peso que aqueles mais expostos aos ventos no inverno. Bovinos leiteiros têm maior taxa de sobrevivência e maior produção de leite em sistemas que utilizam quebra-ventos para amenizar as intempéries hibernais em clima temperado (Brandle *et al.*, 2004). Ovinos em sistemas com quebra-ventos recebem abrigo no inverno, época crítica em função da parição, e brisa fresca no verão. Esses efeitos associados a uma maior produção forrageira (Silva *et al.*, 2020) resultam em maior ganho de peso, maior produção de leite e lã (Quam *et al.*, 1994). Já em regiões quentes, em condições de altas cargas de calor e com disponibilidade de sombra sem vento, bovinos procuraram áreas com maiores fluxos de ar a pleno sol como estratégia de termorregulação (Schutz *et al.*, 2008).

Os principais fatores a serem considerados nos projetos dos quebra-ventos e que determinam a quantidade e a extensão do abrigo de vento gerado são a porosidade e a altura. Considerando a medida da altura do quebra-vento como H, a projeção da sua influência, em distância, varia tipicamente de -5 H até +30 H. A porosidade da estrutura determina o grau de abrigo (redução da velocidade do vento) que será gerado (Cleugh *et al.*, 2002). Assim, culturas vegetais sensíveis de alto valor agregado demandam estruturas mais altas e menos porosas. Já em explorações pecuárias em regiões de climas subtropicais, tropicais e equatoriais, sugere-se que estruturas que buscam bloqueio da radiação solar para incremento do conforto térmico (e tem como consequência os efeitos dos quebra-ventos), devem ter um gradiente vertical de porosidade, decrescente de baixo para cima, com copas altas, amplas e densas e com acentuada porosidade à altura do ambiente de pastoreio (Oberschelp *et al.*, 2020).

As consequências microclimáticas no abrigo do vento (tanto *upwind*-barlavento quanto *downwind* - sotavento) são de redução da velocidade do vento e aumento da temperatura do ar. Sugere-se que alguma fonte de origem edáfica como vapor de água ou calor esteja aumentada nessa zona, assim espera-se que a temperatura do ar e a umidade relativa do ar estejam aumentadas (Cleugh *et al.*, 2002). Do ponto de vista o conforto térmico animal e desconsiderando a radiação solar, um cenário com restrição de vento,

temperaturas elevadas e alta umidade pode ser interessante em estações frias, porém indesejado nas estações quentes.

O espaçamento entre os quebra-ventos deve considerar as suas zonas de influência, assim pode-se projetar os efeitos no microclima e na produtividade da cultura de interesse. Existem três áreas com comportamentos típicos nas variáveis de microclima e produtividade agropecuária ao redor dos quebra-ventos. A zona de competição (-2 H a 2 H), onde a competição por água, luz e nutrientes reduz a produtividade vegetal das espécies de interesse direto. A zona quieta (de abrigo, *quiet zone*) (2 H a 8H) onde há menor velocidade do vento, maior temperatura do ar, maior umidade e menor demanda atmosférica por água (perda potencial da superfície da terra para a atmosfera) e espera-se melhor eficiência do uso de água pelas culturas e maior produtividade de biomassa. E a terceira, que é a zona de vigília (*wake zone*) (> 8H) na qual os efeitos do quebra-vento já são menores, mas ainda há redução de riscos de danos diretos a plantas por desfolha ou rompimento de folhas (Cleugh *et al.*, 2002).

### 3.5 VARIÁVEIS BIOFÍSICAS E ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS

As respostas fisiológicas de bovinos diante das oscilações das variáveis biofísicas ambientais são bem conhecidas. No caso do estresse por calor, a aferição e o monitoramento dessas variáveis são as métricas utilizadas para prever essas respostas e fundamentar as tomadas de decisão nas rotinas de manejo e nos desenhos de sistemas de produção (Lees *et al.*, 2022).

O ambiente em que o bovino criado a pasto se encontra possui uma grande complexidade de possibilidades de transferências de calor, que podem, inclusive, ocorrer simultaneamente. Podem incidir sobre o animal a radiação solar direta e a radiação solar difusa. Solo, vegetação, rochas, lâminas d'água e outros animais emitem, ainda, a radiação térmica própria, pois acumulam calor. Há constantemente trocas por condução, que se acentuam nos períodos de decúbito pelo contato com os elementos do ambiente. Ainda ocorrem as trocas por advecção, seja ela livre ou forçada pelo movimento do ar (vento), e

as trocas de calor úmido que ocorrem através da respiração e da evaporação superficial dos corpos (Mitchell *et al.*, 2018).

O *status* térmico de um grande mamífero em seu ambiente natural, no caso dos bovinos, em áreas de pasto entremeadas de elementos arbóreos, parece ser mais influenciado pelas trocas de calor radiante que por trocas por condução e convecção (Mitchell *et al.*, 2018). Entretanto, um bovino dispõe de 8 a 16 horas por dia na posição de decúbito, situação em que 20 a 30% da sua superfície corporal estão em contato com o solo. Assim, devem ser encorajados estudos sobre a influência das propriedades de troca de calor e o comportamento das diferentes superfícies oferecidas aos animais nos sistemas de produção na manutenção da homeotermia (Herbut *et al.*, 2018).

As variáveis biofísicas padrão a serem utilizadas para captarmos o resultado dessas complexas interações e inferirmos sobre o conforto térmico de bovinos devem ser: temperatura ambiente, umidade relativa do ar, radiação, velocidade do vento e precipitação (Lees *et al.*, 2022). A radiação é comumente aferida em trabalhos zootécnicos compondo a temperatura de globo negro que é um índice que descreve o efeito combinado da temperatura do ar (aferida por termômetro de bulbo seco no interior do globo), do movimento do ar e da radiação recebida dos componentes do ambiente biofísico (Panagakis, 2011).

As variáveis biofísicas isoladamente não são suficientes para prever o conforto térmico de um bovino. Assim, desde a década de 1950 são desenvolvidos índices que englobam diferentes variáveis para inferir sobre o conforto térmico, inicialmente para humanos (Thom, 1959), e posteriormente adaptados de diversas formas para animais. Os índices são utilizados para determinar faixas de conforto térmico, fora das quais os animais ativam mecanismos de compensação (Gaughan *et al.*, 2008; Jeelani *et al.*, 2019).

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) foi amplamente utilizado até o momento para classificar a intensidade do ambiente térmico. A fórmula do ITU considera a temperatura do ar e a umidade relativa (Thom, 1959). Porém, esse índice foi superado, pois o movimento do ar e a radiação possuem importante influência nos mecanismos de troca de calor especialmente em sistemas desprovidos de sombra. Além disso, um índice próximo do ideal deveria utilizar outros fatores como as respostas fisiológicas dos animais, o efeito cumulativo

da carga térmica (Lees *et al.*, 2022) e ainda temperatura e condutividade da superfície em que os animais se encontram (Herbut *et al.*, 2018).

Em resposta às limitações do ITU, foram desenvolvidos os índices de temperatura e umidade ajustados, Índice de Carga Térmica (*Heat Load Index*) (ICT) e o Índice de Carga Térmica Radiante (*Radiant Thermal Load*) (ICTR) que consideram, também, o movimento de ar e a radiação em diferentes modelos matemáticos (Pezzopane *et al.*, 2019). As variáveis-resposta utilizadas para o desenvolvimento desses índices são os indicadores fisiológicos de mais fácil acesso como frequência respiratória, temperatura corporal, temperatura da pele, salivação e posturas corporais (Gaughan *et al.*, 2008; Lees *et al.*, 2018; Mader *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2018). Esses índices, porém, foram desenvolvidos em condições de confinamento e vêm sendo aprimorados com modelos para bovinos em sistemas não exclusivamente confinados e para bovinos de leite, especificamente. Um exemplo é o desenvolvimento do Índice de Carga Térmica Radiante para Bovinos de Leite (*Dairy Heat Load Index*) (ICTBL) (Lees *et al.*, 2018), que demanda mais pesquisas com rebanhos em condições de manejo e em regiões geográficas diversas, pois apesar de considerar a radiação e a velocidade do vento em seu modelo, não foi mais efetivo que o ITU em prever as respostas dos animais ao estresse térmico (Lees *et al.*, 2022).

As consequências da exposição ao calor dependem da sua magnitude, ou seja, da combinação da intensidade e da duração. Além disso, fatores como genótipo, fenótipo, coloração da pelagem, grau de aclimação, acesso à sombra, temperatura da água do bebedouro e status de saúde devem ser levados em conta para estimar-se os resultados fisiológicos da exposição ao ambiente. Dessa forma Gaughan *et al.*, (2008) desenvolveram o Índice de Carga Térmica Acumulada (*Accumulated Heat Load*) (ICTA), um índice que utiliza os limites inferiores e superiores de ICT para cada fenótipo e condição de manejo. Ou seja, os autores determinaram valores mínimos de ICT abaixo dos quais os animais dissipam calor (através de mecanismos fisiológicos para aquecimento) e valores máximos de ICT acima dos quais os animais irão ganhar calor. Com aferições ao longo do tempo, através de um índice térmico dinâmico e bidimensional estima-se o saldo térmico animal pelo tempo em que ele

permaneceu dentro ou fora dos limites de ICT para o seu genótipo, fenótipo e ambiente.

Outro índice desenvolvido para estimar o conforto térmico de um bovino de leite exposto à radiação solar é o Índice de Globo Negro e Umidade (*Black Globe Humidity Index*) (IGNU), também comumente utilizado em trabalhos zootécnicos da área da bioclimatologia (Buffington *et al.*, 1981). Esse índice substitui a temperatura aferida por termômetro de bulbo seco do modelo do ITU pela temperatura de globo negro que combina as informações de temperatura, radiação e movimento do ar. O IGNU possui melhor acurácia para estimar as respostas fisiológicas de temperatura corporal e produção de leite que o ITU (Buffington *et al.*, 1981).

Esta pesquisa bibliográfica reuniu elementos para a apropriação dos conhecimentos científicos produzidos nas áreas relacionadas aos métodos deste trabalho. Foram acessados os estudos que apresentaram resultados que devem ser discutidos com aqueles apresentados nos artigos científicos.

## 4 CAPÍTULO 2

Artigo submetido à revista International Journal of Biometeorology intitulado “*Microclimate and the thermal comfort during the implementation of silvopastoral systems: the windbreak countereffect*”.

### MICROCLIMATE AND THE THERMAL COMFORT DURING THE IMPLEMENTATION OF SILVOPASTORAL SYSTEMS: THE WINDBREAK COUNTEREFFECT

Thiago Mombach Pinheiro Machado<sup>1,2</sup>, Abdon L. Schmitt Filho<sup>1,2,3\*</sup>, Ruan Daros<sup>4</sup>, Joshua Farley<sup>2,3,5</sup>, Paulo A. Sinisgalli<sup>2,6</sup>, Daniele C. Kazama<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Agroecosystem Program - PPGA/UFSC, Federal University of Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, Brazil

<sup>2</sup>Silvopastoral Systems and Ecological Restoration Laboratory - LASSre/UFSC, Federal University of Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, Brazil

<sup>3</sup>Gund Institute for Environment, University of Vermont, Burlington, Vermont - UVM, United States of America

<sup>4</sup>Pontificia Universidade Católica do Paraná PUCPR, Curitiba, Brazil

<sup>5</sup>Department of Community Development and Applied Economics - CDAE, University of Vermont - UVM, Burlington, Vermont, United States of America

<sup>6</sup>Institute for Energy and Environment- IEE, University of Sao Paulo - USP, Sao Paulo, Brazil

**Abstract:** Little has been studied about microclimate and the thermal comfort during the implementation of silvopastoral systems. This study aimed to evaluate the microclimate and thermal comfort during the implementation of High Biodiversity Silvopastoral System with Nuclei (SPSnu). Three treatments were investigated, SPSnu with 5 and 10% of the pasture area with nuclei, (SPSnu5 and SPSnu10, respectively), and treeless pasture (TLP). Each treatment was subdivided into 4 areas: within the nuclei, around the nuclei, around the nuclei with shade and internuclei. The analyzed variables were soil surface temperature, air temperature, wind speed, relative humidity, black globe temperature and the Heat Load Index (HLI) at 20 and 120 cm height. We hypothesized that the wind speed reduction associated with insufficient shade projection typical of the first years of SPSs may interfere in microclimate and thermal comfort during the hot seasons. SPSnu5 and SPSnu10 had a reduction in wind speed of 51.58% and 68.47% respectively when compared to TLP at 20 cm. Soil surface temperature and air temperature at 120 cm were higher for SPSnu than TLP. The same effect was observed for the HLI. At 20 cm, HLI indicated better thermal comfort in TLP than in the SPSnu treatments. The lack of shade projection from young nuclei in conjunction

with the decrease of wind speed between the nuclei caused a higher air temperature and HLI in the SPSnu treatments, we called these conditions, windbreak countereffect. Farmers must knowledge this effect when implementing SPSs, and when necessary, mitigate with the proper management decisions.

**Keywords:** Bioclimatology; High Biodiversity Silvopastoral System; Thermal stress; Tree shade; Grass-based production.

## Introduction

Brazil has the largest commercial cattle herd in the world (USDA 2023), with 90% being grass-fed in 20% of the country's area occupied by pasture. Beef production for foreigners markets has been the first use of deforested land on agricultural frontiers (Parente et al. 2019). Besides the magnitude of the activity, 73 million hectares of Brazilian pastures had been classified as degraded. This is more than half (58.9%) of the 128 million hectares of the Brazilian pasture area (Santos et al. 2022).

Treeless pasture also has pushed forward ecological degradation, especially loss of biodiversity, soil degradation, vulnerability of water sources (Lamb et al. 2005, Murgueitio et al. 2011), and climate change (Thorton et al. 2021). Beef and dairy on treeless pastures are also less productive (Pent 2020; West 2003), since they are subjected to microclimate extremes in the tropics (Giro et al. 2019), and even in the subtropics and temperate regions during the hot seasons (Smith et al. 2021; Moons et al, 2014).

Silvopastoral systems (SPSs) are in permanent adaptation and development in order to make pasture-based animal production suitable to current welfare and ecological demands. High Biodiversity Silvopastoral System with Nuclei (SPSnu) establishment mimics natural succession, makes ecological rehabilitation of degraded pastures economically viable, due improvements in thermal comfort (Deniz et al. 2018, 2020; Schmitt et al. 2023), and supply of non-timber forest products (NTFP) from native trees. The system design made by Schmitt et al. (2017) was inspired by applied nucleation theory, an important ecological restoration technique to restore forests (Reis et al. 2010; Corbin & Holl 2012; Schmitt Filho & Farley 2020). SPSnu had a lower air temperature, illuminance, and soil temperature around the nuclei compared with treeless pasture (Deniz et al. 2018, 2020; Schmitt et al. 2023). This better microclimate improved the Temperature and Humidity Index. These areas around the nuclei had the highest frequency of grazing, ruminating and resting by dairy cows when compared to internuclei areas and treeless pasture (Deniz et al. 2018, 2020).

The intention to mitigate the effects of heat stress by offering natural shade to livestock is the main motivation to adopt SPSs (Pent et al. 2021). When possible, pastures are used during the implementation of SPSs' trees. The need to set aside pasture areas during tree planting has a high cost and has made system adoption unfeasible (Porfirio-da-Silva et al. 2012). Several artifacts have been developed to protect seedlings, from plastic tubes to even special fences. In these circumstances,

pasture areas can be used during tree plantation and development (Porfirio-da-Silva & Moraes 2010).

In SPSnu, forty 5 x 5 m nuclei are placed equidistantly in a hectare of treeless pasture and fenced off to protect the small agroforestry clumps. These nuclei account for 10% of the area, and the remaining 90% is shaded or unshaded pasture (Schmitt Filho et al. 2017). During the first stages of SPSnu, trees are not big enough to block solar radiation and provide shade out of the inner nucleus. Even so, at this early stage they already function as wind barriers.

In high latitudes, excess of cold wind can affect thermal comfort and limit livestock productivity (Workman et al. 2003). The reduction in wind speed and the increase in temperature are expected microclimatic consequences around windbreaks (Cleugh et al. 2002) and this can affect the thermal comfort of cattle in this area (Deniz et al. 2020).

Heat stress, because of an animal's inability to dissipate heat (West 1999), is an emerging scientific topic, especially considering the global climate warming projections (Thornton et al. 2021). In addition, it is an important problem for the cattle welfare (Polsky & von Keyserlingk 2017), affects productivity (Thornton et al. 2022) and profitability of grass-based animal production worldwide (Collier et al. 2006).

We propose the hypothesis that the wind speed reduction associated with insufficient shade projection typical of the first years of SPSs can negatively interfere microclimate and thermal comfort of pasture-based livestock during the hot seasons. The aim of this study was to evaluate microclimate and thermal comfort during the implementation of SPSnu under two nuclei densities, 5% and 10% of the pasture area with nuclei, and a treeless pasture area (TLP).

## Materials and methods

### Experimental area and treatments

The study was carried out at the *Ressacada* Experimental Farm at Federal University of Santa Catarina (FER/UFSC) during the summer, January and February of 2022, historically the warmest months of the year, with average maximum temperatures of 28.1 e 28.4° C (Wrege et al. 2012). The area is located in the Santa Catarina Island, in Florianópolis, Santa Catarina State, Southern coast of Brazil at 27° 41' 06.28" S and 48° 32' 38.81" W. The FER/UFSC is in a typical *Restinga* Forest ecosystem of Atlantic Forest Biome. The Köppen climate classification defines the location as a sub-region with a constantly humid sub-tropical climate, without a dry season and hot summers. Annual precipitation ranges from 1270 to 1600 mm. The average annual relative humidity is 82%, with total insolation from 2021 to 2166 hours (Wrege et al. 2012).

The experiment was conducted at High Biodiversity Silvicultural System Teaching and Research Unity at FER/UFSC. In this system, native species are used to integrating concepts of ecological restoration and rehabilitation into the production system. The SPSnu is made up of 40 agroforestry nuclei (5 m x 5 m) arranged equidistantly in the pasture areas. Each nucleus has 20 native trees, 4 banana plants (*Musa* spp.), in addition to the initial herbs and shrubs (*Cavanus cajam*, *Penisetum purpureum*, *Araquis pintoii*, *Bicha orellana*) and pasture understory. Species diversity ranges around 45 native trees, plus 5-10 shrubs and grasses per hectare. Species selection from the local Biome were made based on 5 functional groups (FG0 to FG4) that complement each other for the establishment of a successional agroforest alike nuclei (Schmitt Filho et al., 2013; Schmitt Filho et al., 2017; 2018; Schmitt Filho & Farley, 2020). The plant community in the nuclei reached an average height of 1.74 m at the time of the experiment with 15 seedlings per nucleus., four from FG0, six from FG1, and five from FG2.

As part of the functional group zero (Schmitt Filho & Farley 2020), two lines of elephant grass (*Pennisetum purpureum*) 0.5 m wide and 4 m long were planted in each nucleus, on both north and south faces. These are the directions of the prevailing winds in this region (Meteorological Data Bank from the National Institute of Meteorology, MS 83897 – Florianópolis Air Force). Both line of elephant grass quickly formed a dense barrier approximately 2.5 m high. Functional group zero was designed to provide shelter from the wind, biomass accumulation and a milder microclimate to the development of fast-growing pioneer trees. The experimental area is a *Restinga*

characterized by strong winds from south and north, and a sand soil with frequent water depths (Melo Júnior and Boeger, 2015). These conditions delayed the establishment of pioneer species, requiring ecological facilitation through the succession process (Huebner et al. 2022). The establishment of isolated trees without successional facilitation (FG0) has been proved to be unnatural, and in most cases, impossible under these conditions (Zanini et al. 2006).

The experimental field is inserted in an area of naturalized pasture managed under Management Intensive Grazing - MIG (Murphy 2010, Alvez et al. 2014) also known as *Pastoreio Racional Voisin - PRV* (Machado 2004; Machado Filho et al. 2021). This area has 18 paddocks distributed in three treatments: treeless pasture (TLP), SPSnu with 5% of the pasture area occupied by tree nuclei - (20 nuclei per hectare - SPSnu5) and SPSnu with 10% of the pasture area occupied by tree nuclei (40 nuclei per hectare - SPSnu10).

Meteorological data collection occurred in four areas within each of the 3 treatments (**Online Resource 1**). The areas were (1) within the nuclei - WN; (2) around the nuclei - AN, a 2.5 m strip that surrounds the nuclei; (3) around the nuclei with shade - ANS, areas around the nuclei under shade from the nuclei; (4) internuclei - IN, middle area between any two nuclei (Deniz et al. 2020; Schmitt Filho et al. 2023).

### **Data collection**

Data collection happened during 10 summer days, defined by consulting the main weather forecast for the region on the day before observation. Cloudless days with high temperatures were selected. Data collection was made three times per day (08:00 h, 12:00 h, 16:00 h) simultaneously in the treatments (SPSnu5, SPSnu10, and TLP). The sampling unit was the nucleus, with data being collected from nine nuclei per treatment each time. In each nucleus, six fixed collection points were defined. They were two in the area within the nuclei - WN (one centralized to the west and the other to the east), two in the area around the nuclei - AN (one on the south face and the other on the north face) and two in the internuclei area - IN (one on the south face and the other on the north face). A seventh point was collected around the nucleus when there was a shade projection from the nucleus vegetation. As stated before, this collection point was designed 'around the nuclei with shade' - ANS (**Online Resource 2**). Fictitious nuclei were marked in the TLP treatment with the same collection point arrangements.

At each point the following variables were measured: soil temperature (SST); air temperature (AT); relative humidity (RH); wind speed (WS) and black globe temperature (BGT). Except the soil temperature, data were collected at 20 cm and 120 cm, to infer microclimate conditions for cattle in sternal decubitus and standing, respectively. Whenever there was shade projection at some collection point, this phenomenon was recorded, and the respective data were grouped for an analysis of the shaded areas (**Online Resource 3**).

The data collection was made by tree groups of two collectors. Collectors and equipments were assigned to the treatments by drawing lots.. The route through the nuclei was alternated between north and south each day.

### **Equipment**

The data were recorded in a field worksheet. The equipment used were: three thermal stress measurers model AK887 (by Akso) to measure air temperature (dry bulb, scale from 0 to 50° C, precision  $\pm 0.6^\circ$  C, relative air humidity (scale 0 to 99%, precision  $\pm 3\%$ ) and black globe temperature (scale 0 to 80° C, precision  $\pm 0.6^\circ$  C); three model AK821 thermoanemometers (by Akso, scale 0.4 to 20 m/s, accuracy  $\pm 2\%$ ) to measure wind speed; three AK32 infrared thermometers (by Akso, range from -60 to 500° C, accuracy  $\pm 2^\circ$  C) to measure soil temperature. Each device was kept at the collecting point long enough avoid variations due movement.

### **Data analysis**

Data analysis started from a temperature and Heat Load Index (HLI) assessment in the different treatments (SPSnu5, SPSnu10 and TLP) to detail the comparisons among areas within each treatment and among themselves (**Online Resource 3**). In the comparisons that used the area “around the nuclei with shade” (ANS), only the averages of the times of 08:00h and 16:00h were analyzed. Due to the sun position and incipient tree canopy development, there was no shade projection outside of the nuclei at 12:00 h. Finally, the results of comparisons among the treatments of the variables wind speed, relative humidity and temperature of the black globe were demonstrated.

The Heat Load Index (HLI) was calculated according to the following (Gaughan et al. 2008):

- if the black globe temperature (BGT) was greater than 25°C:

$$HLI_{BGT>25} = 8.62 + (0.38 \times \text{relative humidity}) + (1.55 \times \text{BGT}) - (0.5 \times \text{wind speed}) + [e^{2.4 \times \text{wind speed}}]$$

Where e = natural logarithm base (approximate value of e = 2.71828).

-if the black globe temperature (BGT) was less than 25°C:

$$HLI_{BGT<25} = 10.66 + (0,28 \times \text{relative humidity}) + (1.3 \times \text{BGT}) - \text{wind speed}$$

Statistical analysis was performed using the R software (Team 2021) through the RStudio interface. Simple and mixed linear regression models were applied using the nucleus as a random measure. Repeated measurements over the ten days collection were grouped by simple average. For comparisons of overall treatment effect, data from each collection point, within, around, and in internuclei areas were averaged. Linear regression models were used with the treatment as a fixed effect (SPSnu5, SPSnu10 and TLP) and, when necessary, covariates were included. Tukey's tests were used to compare the means generated by the linear model, with significance set at 5%.

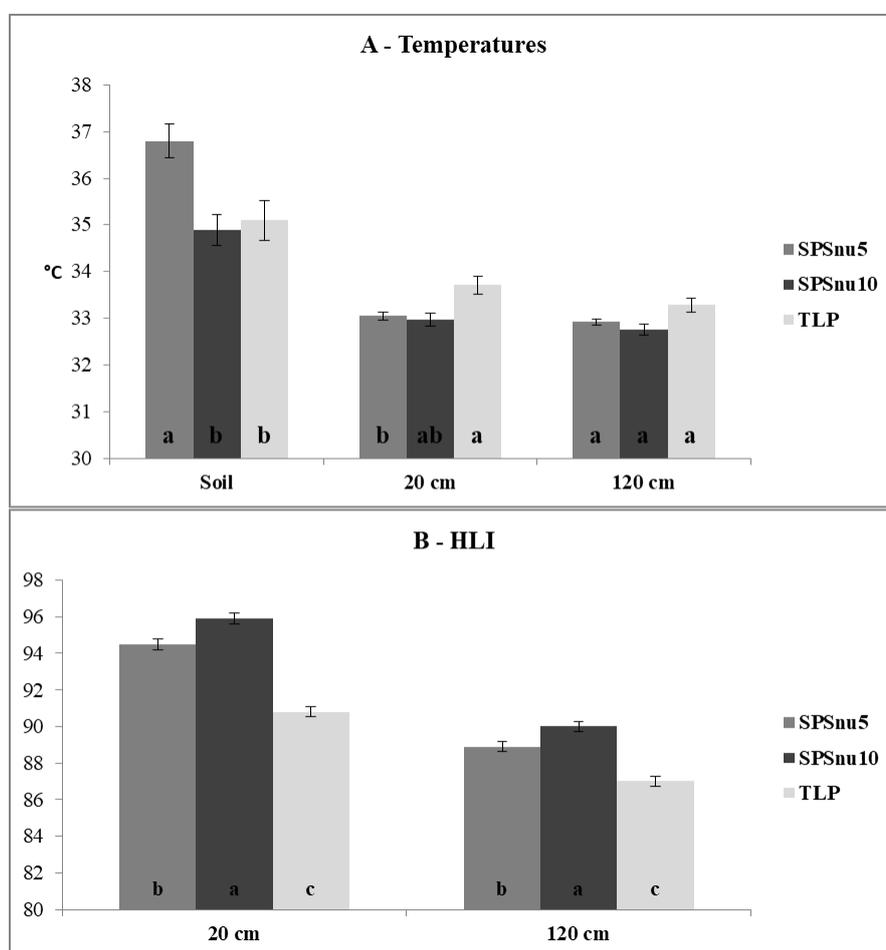
For comparisons among different areas within the same nucleus and their interactions with treatment, data were grouped by day and nucleus area, and the nucleus indicated as the random effect variable. Thus, mixed linear models were constructed and the averages compared using the Dunnet test ( $p < 0.05$ ) in specific contrasts elaborated according to the work objectives. As with the simple linear models, the mixed models also included the treatment variable and nucleus area and the effects of possible confounding variables as covariates in the model.

## Results

### General analysis of SPSnu5, SPSnu10 and TLP treatments

When analyzing soil temperatures ( $^{\circ}\text{C}$ ) (**Fig. 1**), SPSnu10 and TLP did not differ from each other ( $34.90\pm 0.33$ ;  $35.10\pm 0.43$ , respectively) and showed mean soil temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) lower than the SPSnu5 treatment ( $36.80\pm 0.36$ ). Air temperature at 20 cm was higher in the TLP ( $33.71\pm 0.19$ ) compared to the SPSnu5 ( $33.05\pm 0.08$ ), but it did not differ from the SPSnu10 ( $32.98\pm 0.14$ ). At 120 cm height, air temperatures did not differ among all treatments ( $32.92\pm 0.07$ ;  $32.76\pm 0.12$ ;  $33.29\pm 0.15$ , respectively).

The HLI values were lower in the TLP treatment, followed by 10% and 5% for 20 cm ( $90.80\pm 0.29$ ;  $95.90\pm 0.29$ ;  $94.5\pm 0.29$ , respectively), as well as in height 120 cm ( $87.00\pm 0.27$ ;  $90.00\pm 0.27$ ;  $88.90\pm 0.27$ , respectively).



**Fig. 1** A - Average values and standard errors of soil temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), air temperature at 20 cm ( $^{\circ}\text{C}$ ) and air temperature at 120 cm ( $^{\circ}\text{C}$ ). B - Average values and standard errors of HLI at 20 cm and at 120 cm.

**Component variables of the Heat Load in SPSnu5, SPSnu10 e TLP treatments**

There was no difference in relative humidity among the three treatments at the two evaluated heights. The same happened with black globe temperature at 120 cm. Black globe temperatures at 20 cm did not differ between SPSnu5 and SPSnu10, but these two were lower than TLP. Wind speed was higher in TLP followed by SPSnu5 and SPSnu10 at 120 and 20 cm (**Table 1**).

**Table 1.** Mean values and confidence intervals of 95% (CI) wind speed, relative humidity and black globe temperature at 20 and 120 cm (WS20 and WS120; RH20 and RH120; BGT20 and BGT120) during summer months for two densities (5% and 10%) of SPSnu and treeless pasture (TLP).

Treatment	SPSnu5			SPSnu10			TLP	
Variables	Mean	CI (95%)	ContrastSPSnu5 – TLP (%)	Mean	CI (95%)	ContrastSPSnu10 – TLP (%)	Mean	CI (95%)
WS20 (m/s)	0.840b	0.733 - 0.946	- 51.58	0.547c	0.441 - 0.653	- 68.47	1.735a	1.628 - 1.841
WS120 (m/s)	2.63b	2.43 – 2.83	-34.25	2.16c	1.96 – 2.36	- 46	4a	3.8–4.2
RH20 (%)	61.7	61.2 - 62.2	-	61.5	61 - 62	-	61.7	61.2 - 62.2
RH120 (%)	59.3	58.6 – 60.1	-	59.6	58.8 – 60.3	-	60.1	59.4 – 60.9
BGT20	36.1b	35.8 - 36.4	- 3.73	35.7b	35.2 - 36.2	- 4.8	37.5a	36.8 - 38.2
BGT120	36.5	36.2 - 36.8	-	36.5	36.2 - 36.8	-	36.6	36.4 - 36.9

Means followed by the same letter in the line do not differ ( $p < 0.05$ ) by Tukey's test.

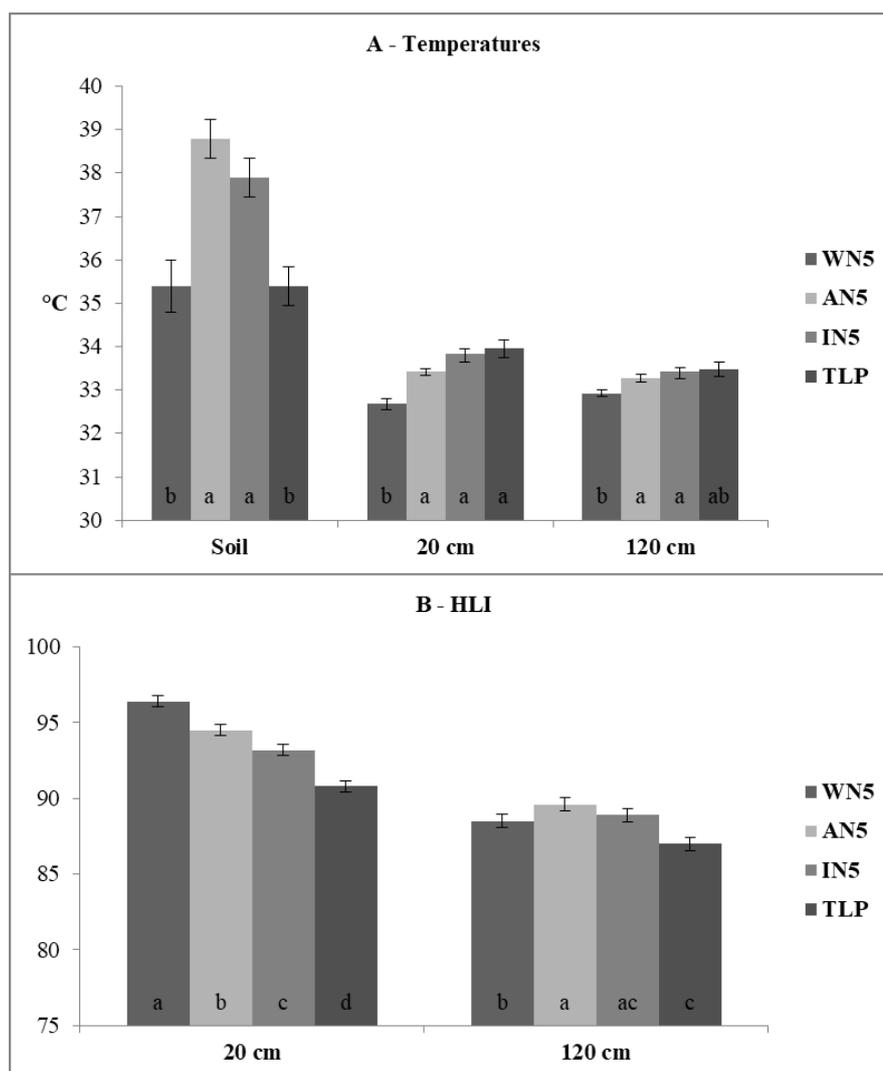
### **Analysis of shaded and Sunny areas**

Soil temperature was always higher in areas exposed to the sun (SPSnu5su, SPSnu10su and TLP treatments). Air temperatures also were higher in treatments without shade at 20 and 120 cm. The HLI was lower in the TLP compared to the other SPSnu treatments at 20 cm height resulted, both in the sun and shade. HLI in the TLP treatment was lower than the Sunny treatments (SPSnu5sun, SPSnu10sun), but did not differ from the shaded treatments (**Online Resource 3**).

### **Comparisons among areas within the nuclei (WN), around the nuclei (AN), internuclei (IN) and TLP within each treatment (SPSnu5 and SPSnu10)**

The lowest soil temperatures were recorded in the treatments SPSnu5 within the nucleus - WN5 ( $35.4 \pm 0.59$ ) and in TLP ( $35.4 \pm 0.45$ ) (**Fig. 2**). Air temperature at 20 cm was lower in the WN5 treatment ( $32.68 \pm 0.12$ ) than all the other treatments. Air temperature showed the lowest variation among treatments at 120 cm, none of SPSnu5 areas differed from TLP. WN5 was the treatment with the lowest air temperatures ( $32.93 \pm 0.09$ ) when comparing this variable among all SPSnu areas.

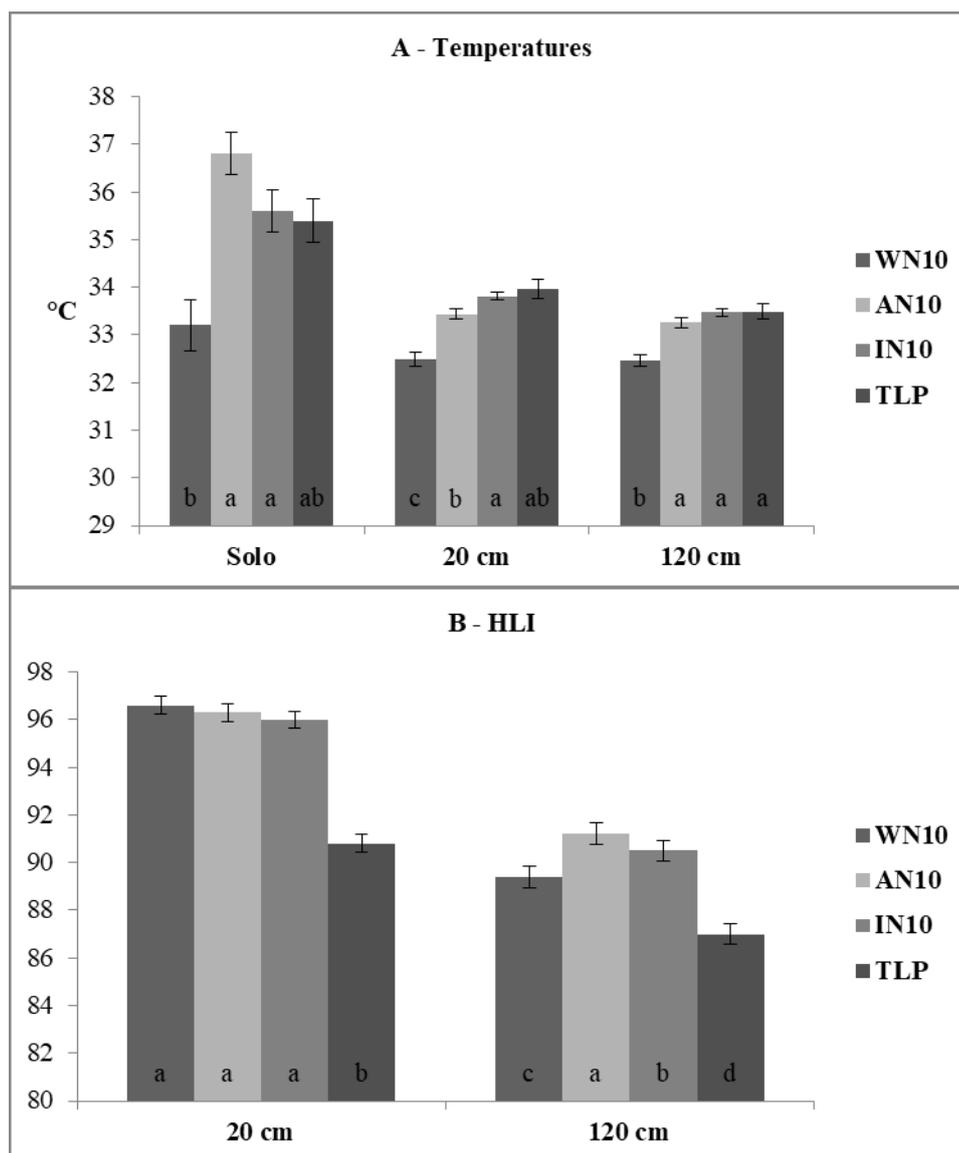
The HLI at 20 cm showed decreasing mean values from the inside to outside of the nucleus (WN5  $96.40 \pm 0.36$ ; AN5  $94.5 \pm 0.36$ ; IN5  $93.20 \pm 0.36$ ), and TLP was the lowest value ( $90.8 \pm 0.36$ ). At 120 cm, TLP and IN5 treatments had the lowest values for HLI,  $87.00 \pm 0.45$  and  $88.90 \pm 0.45$ , respectively. These HLI values were followed by WN5 ( $89.50 \pm 0.45$ ) and AN5 ( $89.60 \pm 0.45$ ) at 120 cm.



**Fig. 2** Comparison among the areas of the SPSnu5 treatment (within the nuclei (WN5), around the nuclei (AN5), internuclei (IN5)) and the treeless pasture treatment (TLP). A - Mean values and standard errors of soil temperature (°C), air temperature at 20 cm (°C) and air temperature at 120 cm (°C). B - Mean values and standard errors of HLI at 20 cm and at 120 cm.

When analyzing the relationship among SPSnu10 areas and TLP (**Fig. 3**), it was observed a lower soil temperature within the nuclei (WN10 -  $33.20 \pm 0.53$ ) than around the nuclei and internuclei (AN10  $36.80 \pm 0.44$  and IN10  $35.60 \pm 0.44$ ), but none of these three differed from TLP ( $35.40 \pm 0.45$ ). Air temperature at 20 cm was lower within the nuclei ( $32.49 \pm 0.15$ ) than in the other areas of SPSnu10 (AN10  $33.44 \pm 0.10$  and IN10  $33.81 \pm 0.08$ ) and TLP ( $33.96 \pm 0.20$ ). Around the nuclei showed lower temperatures than the internuclei, but these two did not differ from TLP. Air temperature at 120 cm was lower within the nuclei ( $32.47 \pm 0.12$ ) than in the other areas of SPSnu10 (EN10  $33.26 \pm 0.10$  and IN10  $33.47 \pm 0.08$ ) and TLP ( $33.49 \pm 0.17$ ). At 20 cm, there was no difference in temperature among the areas surrounding the nuclei, internuclei and TLP.

HLI at 20 cm showed a lower value in TLP ( $90.8\pm 0.36$ ) than in the other treatments (WN10  $96.60\pm 0.36$ ; AN10  $96.30\pm 0.36$ ; IN10  $96.00\pm 0.36$ ). These did not differ from each other. At 120 cm, the TLP treatment ( $87.00\pm 0.45$ ) also presented a lower value than the others for HLI. However, the other treatments differed, with the highest value being around the nucleus ( $91.20\pm 0.45$ ), followed by the internuclei treatment ( $90.50\pm 0.45$ ), and then by within the nuclei ( $89.40\pm 0.45$ ).



**Fig. 3** Comparison among the areas of the SPSnu10 treatment (within the nuclei (WN10), around the nuclei (AN10), internuclei (IN10)) and the treeless pasture treatment (TLP). A - Mean values and standard errors of soil temperature (°C), air temperature at 20 cm (°C) and air temperature at 120 cm (°C). B - Mean values and standard errors of HLI at 20 cm and at 120 cm.

**Comparisons among areas within the nuclei (WN), around the nuclei (AN), around the nuclei with shade (ANS), internuclei (IN) and TLP within each treatment (SPSnu5 and SPSnu10)**

The comparative analysis among the areas of SPSnu5 (WN5, AN5 and IN5), but also considering the shaded area around the nuclei (ANS5) and the TLP (**Table 2**) resulted in a lower value in ANS treatment for the soil temperature. The WN and TLP treatments showed soil temperatures higher than the ANS5, but lower than the AN5 and IN5 treatments. The air temperatures in the WN5 were lower than ANS5 and TLP treatments at 20 cm and 120 cm. The analysis of the HLI at 120 cm showed no differences among treatments. At 20 cm, the HLI lowest value was for TLP treatment, and highest value for WN5.

When comparing microclimatic variables of SPSnu10 (WN10, AN10, IN10, including shaded area around the nuclei ANS10) and the TLP (**Table 2**), soil temperature was lower in the shaded area (ANS10) than WN10 and TLP. Air temperature inside the nuclei (WN10), around the nucleus with shade (ANS10) and TLP did not differ. At 120 cm, air temperature was lower in the WN10 than ANS10, and both were lower than TLP.

HLI had a lower value in the shade (ANS10) and TLP than the other treatments at 20 cm. Further from the ground (120 cm) HLI presented distinct pattern, lower value inside the nuclei (WN10) than shaded (ANS10) and TLP. In addition, the shaded area was lower than TLP.

**Table 2** Comparisons among areas of treatments SPSnu5 (A) and SPSnu10 (B) - within the nuclei (WN5 and WN10), around the nuclei with shade (ANS5 and ANS10), around the nuclei (AN5 and AN10), internuclei (IN5 and IN10) and the treeless pasture treatment (TLP). Mean values and confidence intervals for soil surface temperature (SST), air temperature at 20 cm (AT20), air temperature at 120 cm (AT120), Heat Load Index at 20 cm (HLI20) and at 120 cm (HLI120).

A										
System	SPSnu								TLP	
Density of nuclei	5%								0%	
Area	WN5		ANS5		AN5		IN5		-	
Variables	Mean	CI (95%)	Mean	CI (95%)						
SST (°C)	32.4b	31.4 - 33.4	27.9c	27.2 - 28.6	34.7a	34 - 35.4	34.3a	33.6 - 35.1	32.3b	31.6 - 33
AT20 (°C)	31.7c	31.5 - 32	31.9bc	31.6 - 32.1	32.2ab	32 - 32.4	32.4a	32.2 - 32.6	32.1abc	31.8 - 32.4
AT120 (°C)	31.8ab	31.6 - 32	31.5b	31.2 - 31.7	32.2a	31.9 - 32.4	32.1a	31.8 - 32.3	31.7ab	31.4 - 32
HLI20	95.1a	94.4 - 95.8	91.7c	91 - 92.4	93.6b	92.9 - 94.4	92.3bc	91.6 - 93.1	90d	89.3 - 90.7
HLI120	87.6	86.6 - 88.6	87	86 - 87.9	89	88 - 89.9	88.1	87.1 - 89	86.3	85.3 - 87.3
B										
Density of nuclei	10%								0%	
Area	WN10		ANS10		AN10		IN10		-	
Variables	Mean	CI (95%)	Mean	CI (95%)						
SST (°C)	31.3c	30.4 - 32.2	27.7d	27 - 28.4	34.1a	33.4 - 34.8	32.9b	32.2 - 33.6	32.3bc	31.6 - 33
AT20 (°C)	31.4c	31.2 - 31.7	31.9bc	31.6 - 32.1	32.2ab	32 - 32.4	32.5a	32.3 - 32.7	32.1abc	31.8 - 32.4
AT120 (°C)	31.4b	31.2 - 31.7	31.5b	31.2 - 31.7	32.2a	31.9 - 32.5	32.2a	32 - 32.5	31.7ab	31.4 - 32
HLI20	95.2a	94.4 - 95.9	91.7b	91 - 92.4	95.2a	94.5 - 96	94.7a	94 - 95.5	90b	89.3 - 90.7
HLI120	88.7b	87.8 - 89.7	87b	86 - 87.9	90.4a	89.4 - 91.3	89.7a	88.7 - 90.7	86.3b	85.3 - 87.3

Means followed by the same letter in the line do not differ from each other ( $p < 0.05$ ) by Dunnet's test.

## Discussion

### HLI composition variables

When analyzing variables that made up the Heat Load Index (wind speed, relative humidity and black globe temperature) at 20 and 120 cm (**Table 1**), wind was the greatest impact factor on the inferred thermal comfort of cattle in this study. The windspeed on treeless pasture at 20 cm (1.735m/s) was proximately 300% higher than SPSnu5 (0.55m/s), and 200% than SPSnu10 (0.84 m/s). At 120 cm the wind speed pattern didn't change much. TLP wind speed (4.00m/s) was proximately 200% higher than SPSnu5 (2.16 m/s), and 250% than SPSnu10 (2.63 m/s).

Another HLI important variable is relative humidity (RH). In this study RH showed no difference between treatments at 20 cm (TLP 61.7%, SPSnu5 61.5%, SPSnu10 61.7%), and at 120 cm (TLP 60.1%, SPSnu5 59.6%, SPSnu10 59.3%). Even with a higher wind speed, relative humidity did not show any distinction between TLP and pasture with shrubs and low height trees under SPSnu. This also was observed by Souza et al (2010), and seems to be the case in insular areas where winds from the ocean can blow high humidity hiding microclimatic site variation of RH due evapotranspiration. However, in a less windy region far from the ocean, RH was greater in SPSnu when compared with TLP (Deniz et al. 2018; Schmitt et al. 2023). Increase in evapotranspiration within shrub and tree vegetation has been observed to increase RH (Lopes et al. 2016). This higher RH observed by Deniz et al. (2018) and Schmitt Filho et al. (2023) under SPSnu was enhanced by the observed decrease in wind speed in-between SPSnu (Deniz et al. 2018; Schmitt et al. 2023) since winds usually dissipates site specific RH (Farhat 2018).

The black globe temperature (BGT) at 20cm was lower in the SPSnu10 (35.7°C) and SPSnu5 (36.1°C), than TLP (37.5°C). However, at 120 cm BGT did no vary among treatments, SPSnu10 36.5°C, SPSnu5 36.5°C, and TLP – 36.6°C. This demonstrates that besides the insufficient shadow protection from low height young trees, SPSnu interfered in 20 cm BGT but not in the 120 cm. Even so, it was noted the great effect of young SPSnu on the wind speed at 20 cm and 120 cm, and therefore on BGT. Higher wind speed at 120 cm caused homogenization of BGT at 120 cm. SPSs under implementation have insufficient radiation blocking by young trees small shadow, however they slow the wind, and this is an essential factor on BGT (Gaughan et al. 2008; Gaughan et al. 2010; Mader et al. 1997).

### Soil and air temperature

The overall analyses of the tree treatments, SPSnu5, SPSnu10 and TLP (**Fig. 1**), showed no differences for air temperature at both heights, 20 and 120 cm. It is important to note these similar temperatures happened under a quite distinct wind speed, since on TLP the wind speed were between 200 and 300% higher than SPSnu. Understanding that wind has a cooling effect, one could assume that with equal wind speed TLP would present higher temperatures.

Furthermore, the analysis of shaded and Sunny areas in each treatment (**Online Resource 4**) showed that the SPSnu, even in the process of implementation, blocked solar radiation causing a reduction in temperatures in areas with shade. The average temperatures of the shaded spots were lower in the two SPSnu treatments in relation to the TLP in the soil and at the two heights (20 and 120 cm).

The greatest temperature differences between shaded and Sunny areas decreased from the ground up to 120 cm. Soil surface temperature differences were up to 7.5° C, at 20 cm height the differences were up to 1.6° C, and at 120 cm the differences were not more than 1.2° C. This effect of reducing temperatures in shaded areas can positively affect the behavior of cattle. On hot days, for every 1°C increase in the daily mean air temperature, dairy cattle spend 22 minutes less in decubitus per day (Tresoldi et al. 2019). Lying down behavior is negatively correlated by thermal stress, as it interferes with the body area of exposure to wind and radiation, and makes breathing less effective as a cooling function (Tucker et al. 2021).

When comparing SPSnu four areas (within the nucleus-WN, around the nucleus-AN, shaded around the nucleus-ANS, and internuclei-IN) among themselves and with TLP (**Fig. 2** and **Fig. 3**), we found lower soil temperatures in WN and TLP than in AN and IN in SPSnu5. In SPSnu10, the WN area presented lower values than all the others did. The reasons why these two areas were clustered in the same temperature spectrum are quite distinct. The WN area has a dense vegetation of shrubs and young trees, which shade the most part of the inner nucleus blocking radiation and cooling down the temperatures. The TLP area has no young trees to block the wind with the highest wind speeds, 200 % and 300% higher than SPSnu. Higher wind speed can explain this phenomenon of cooling down temperatures in TLP (Cleugh& Hughes, 2002).

Therefore, WN has lower temperatures because of radiation block (Schmitt Filho et al., 2023), and TLP because of wind cooling effect (Cleugh & Hughes, 2002).

The lowest temperatures between SPSnu5 and SPSnu10 at 20 cm were those inside the nuclei (WN). These temperature were expected since tree height average in the nuclei was 1.74 m with collection points predominantly deep in the shade. This shade pattern and its relationship with air temperature are expected for most consolidated SPSs (Deniz et al. 2020, Schmitt et al. 2023).

When analyzing shaded areas around the nuclei (**Table 2**), soil temperature on shaded areas were (ANS) 6.8° C lower than in the Sunny areas (AN) in SPSnu5, and 6.4° C lower in SPSnu10. In both measurements were done between 08:00h and 16:00h. Contrary to Deniz et al. (2020), it was noted that only the shaded areas around the nuclei had lower soil temperatures. Higher soil temperatures in the areas around the nuclei compared to TLP can be explained by the higher wind cooling those areas far from the nuclei (Mader et al. 1997). The differences between the temperature values were reduced as the collection points height increased. This is related to the low tree heights (1.74m), the distance from the ground, and a more homogeneous wind speed between the areas.

The comparison of shaded points around the nuclei in SPSnu5 and SPSnu10 with TLP (**Table 3**) showed differences only in soil temperature. These shaded points are around the nuclei where the herd would have access. These are small shadow projections from the young nucleus to their surroundings. Soil temperatures were 4.4 °C and 4.6 °C lower than the TLP in these shaded spots around the nuclei in SPSnu5 and SPSnu10, respectively. Cattle are highly motivated to access shade (Schütz et al. 2008) preferring shade to sprinkling as a cooling strategy (Schütz et al. 2011). Soil temperature also can be an important factor for this decision. Understanding the relationship of those multiple variable with thermal comfort and production needs further attention (Deniz et al. 2020).

Shaded points around the nuclei (ANS) where expected to have best thermal comfort as observed by Deniz et al. (2018) and Schmitt et al. (2023). Therefore, the herd would enjoy the most microclimatic advantages of the SPSnu and perform comfort behaviors at these areas as observed by Deniz et al. (2020) and Craesmeyer et al. (2017). Nevertheless, our results demonstrated that HLI around the nuclei (AN) was similar to pasture with no trees (TLP), where we expected to find the worst conditions of thermal comfort (control treatment) (Muller et al. 1994; Améndola et al. 2019).

This phenomenon is closely linked to two factors. First, a great reduction in wind speed in SPSnu when compared to TLP. The magnitude of this effect got up to 300% decrease in wind speed at 20 cm at the SPSnu (0.55 m/s) than TLP (1.73 m/s), and 250% decrease in wind speed at 120 cm in SPSnu (2.16 m/s) than TLP (4.00 m/s). The nuclei functioned as a windbreak compromising the cooling down effects of the wind during summer months. The second factor is lack of shade in the system due to the early stages of nuclei development with trees only up to 1.74 m.

These two factors defined the microclimatic pattern during this early phase of SPSnu implementation, with special emphasis to the fact that the young trees acted as a windbreak while they were not providing shade yet. These factors can increase HLI during the implementation of SPSs, especially in the tropics and subtropics. We call this phenomena windbreak countereffect (WbCe).

### **Heat Load Index**

The analysis of the general averages of the treatments (**Fig. 1**) demonstrated that young nuclei did not offer better HLI than treeless pasture in the two heights. Analyzes of this fact should consider that HLI formula has black globe temperature as one component. Black globe temperature is a microclimate variable that involves solar radiation, relative humidity, and wind speed on its value. HLI formula considers the wind as a cooling element, since the higher its speed, the lower the HLI value (Gaughan et al. 2008). As commented before, the average of tree height during the experimental period was only 1.74 meters, with no shade projection to block radiation.

Furthermore, the implementation of the zero functional group (FG0) produced the expected windbreak effect (Schmitt Filho & Farley 2020). The purpose of the zero functional group is creating a better microclimate for plant development. This means reduction of wind speed, increases in humidity and a better temperature within the nuclei, and on the protected and exposed sides (Cleugh & Hughes 2002). This results in a better environment for tree seedlings development in the nuclei. In contrast, these microclimatic condition created by zero functional group would negatively influence the thermal comfort (HLI) around the nuclei during the hot seasons due the interation of less wind and lack of shade.

The study shows that at this SPSnu initial phase, the greater nuclei per hectare, the higher were the HLI averages in the two heights. SPSnu in an advanced stage with a good tree canopy enhance thermal comfort around the nuclei (Deniz et al. 2020).

Otherwise, HLI was impaired during the early stages of SPSnu implementation due to windbreak countereffect. This seems to be a tradeoff in order to achieve the late microclimate improvement from well-developed trees (Pent et al. 2021).

Comparing Sunny and shaded areas (AN, IN, ANS, WN) of the two SPSnu treatments with the TLP (**Table 2**), we found that because of windbreak countereffect (WbCe) the SPSnu had worst thermal comfort (lower HLI) than TLP in the two heights. This was caused by the lack of cooling effect of higher wind speed in-between the nuclei due to WbCe. This indicates that the nuclei have influence on the microclimate of the internuclei areas. Previous studies by this research group compared areas surrounding the nuclei with internuclei (Deniz et al. 2020; Schmitt Filho et al. 2023), and surrounding the nuclei with TLP (Deniz et al. 2018; Schmitt Filho et al. 2023). In the present study, we also analyzed inside the nuclei, plus outside areas (surroundings with and without shade, internuclei) and TLP to understand the influence of the nuclei on the microclimate gradients and thermal comfort in SPSnu.

Due to the windbreak countereffect, TLP presented better thermal comfort than in Sunny areas of SPSnu treatments. This implies that, regions with high incidence of winds during hot seasons, the windbreak countereffect during the implementation of SPSs must be seen as a tradeoff, to be minimized by management strategies.

Comparing microclimate in the multiples areas of both SPSnu treatments and TLP (**Fig. 2** and **Fig. 3**), the HLI analyzes at 20 cm showed better thermal comfort in TLP, because the windbreak countereffect of the zero functional group reducing the wind speed (Cleugh & Hughes 2002). As a result, the HLI decreased in the areas as the collection points moved away from the nuclei. In SPSnu5, only WN presented HLI in the “extreme” category, while in SPSnu10 WN, AN and IN presented HLI in the “not extreme” category (Gaughan et al. 2010). This is an indicator of the windbreak causing wind blockage, and the mentioned countereffect (Gaughan et al. 2010). The HLI analyzes at 120 cm also indicated better thermal comfort in TLP, but none of the area averages were found that fit into the category of “extreme” HLI. At this height, the windbreak countereffect of functional group zero is not so evident. These results also can elucidate why herbivores prefer to stand during times of thermal stress (Tucker et al. 2021), as the heat dissipation capacity increases, HLI decreases.

When comparing shaded areas around the nuclei (ANS) with other areas (**Table 2**), HLI results in the SPSnu treatments were classified in the “very hot” category (Gaughan et al. 2010), although during hours of higher temperatures (12:00h) were not

used in this analysis (Karvattu Jr et al. 2016). When 12:00 was part of (**Fig. 2** and **Fig. 3**) HLI, it ended up being classified as “extreme” (Gaughan et al. 2010). These conditions indicate that mitigation of heat stress is necessary in hot days.

### **Mitigation of heat stress during the SPSnu implementation process**

It was noted that the first phases of SPSs could negatively influence microclimate and thermal comfort due to windbreak countereffect in summer months of a subtropical region. Setting aside areas for tree planting and establishment up to 41 months has been recommended to protect trees and mitigate thermal stress (Porfirio-da-Silva et al. 2012). However, this strategy is not always possible due to the costs of setting aside pasture areas, or even lack of paddocks and cultural reasons (Workman et al. 2003).

As successional agroforestry nuclei, fast growing pioneering trees will replace functional group zero. As time passes by, windbreak countereffect will be masked by the cool off effect of 30% tree shade from the nuclei, as observed by Deniz et al. (2020), Schmitt Filho and Farley (2020), and Schmitt et al. (2023).

In order to avoid heat stress related losses, farmers must be aware of the windbreak countereffect during the implementation of SPSs. Special attention must be given during the hot months in temperate and subtropical regions, and all year around in the tropics. When necessary, we do recommend strategies to mitigate heat stress during these hot periods. The provision of artificial shade (Blackshaw & Blackshaw 1994; Schutz et al. 2011), paddocks without wind barriers, paddocks with old growth trees, or even paddocks with forest remnants could be considered (Mader et al. 1997; Mader et al. 1999).

## **Conclusions**

During SPSs implementation, young trees function as a windbreak before providing shade for the system. This fact decreased wind speed, and changed overall microclimate, increasing HLI during the hot seasons. This process of young trees blocking the wind before producing enough shade, and therefore increasing temperature and HLI, was observed and called windbreak countereffect (WbCe).

The WbCe can be even more pronounced if SPSs implementation demands a successional preparation with functional group zero. This will be necessary in highly degraded pastures, extremely windy and too hot or cold environments or absence of A horizon soil. In these conditions, pioneering fast growing trees will not grow if planted on the bare soil without protection and mulch. In multiple circumstances, the implementation of SPSs may have to endure this tradeoff to create the minimal conditions to fast growing pioneering tree, then climax trees.

To mitigate a possible heat stress during the first years of SPSs adoption, farmers should be aware of windbreak countereffect and possible management options to mitigate higher HLI during the hot seasons.

The present work points to the need for more studies on radiation blocking, wind blocking configurations and the consequences of their different combinations in the silvopastoral systems design, especially during the initial years of implementation when tree species do not produce consistent shade.

## **Acknowledgments**

We leave a tribute to Prof. Luiz Carlos Pinheiro Machado (1928-2020); he taught us about the greatness of Pastoreio Racional Voisin. He knew restore pastureland through management. We thank the students from LASSre/UFSC who worked on data collection and implementation of SPSnu at FER/UFSC. We thanks the staff of FER/UFSC who helped the implementation of SPSnu.

## **Funding information**

The National Council on Scientific and Technological Development (Procam/USP PVE/CNPq) and Coordination for the Improvement of High Education Personnel (CAPES) funded this study.

### Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

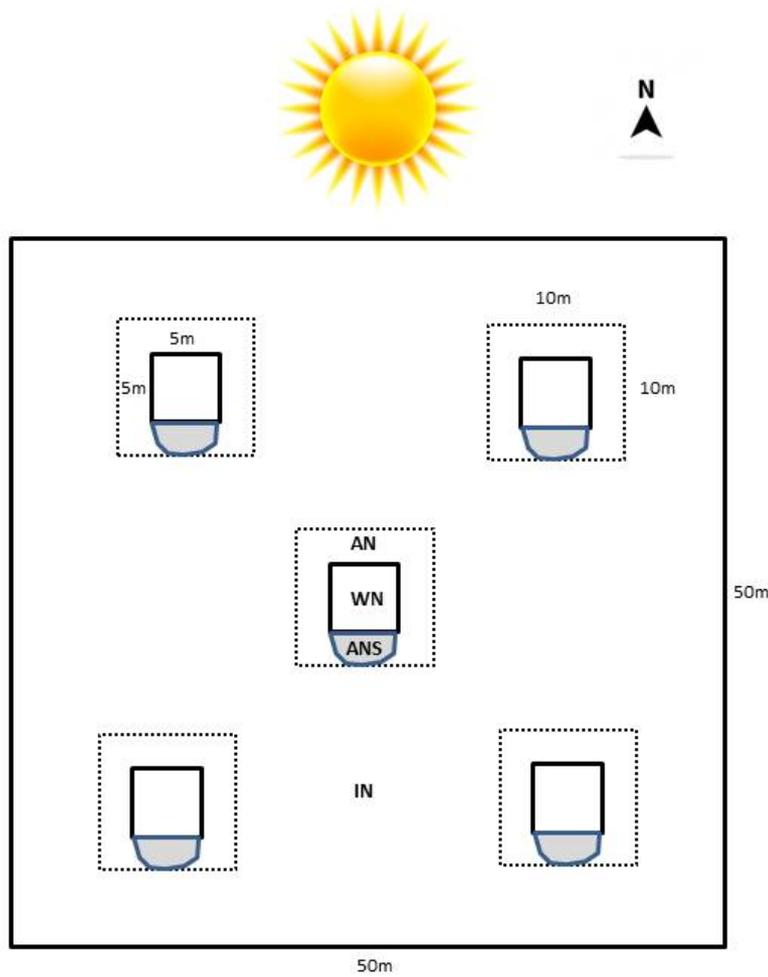
### References

- Alvez JP, Schmitt AL, Farley JC, Erickson JD, Méndez VE (2014) Transition from semiconfinement to pasture-based dairy in Brazil: farmers' view of economic and environmental performances. *Agroecol Sustain Food Syst* 38:995–1014. <http://dx.doi.org/10.1080/21683565.2013.859222>
- Améndola L et al. (2019) A pilot study on the foraging behaviour of heifers in intensive silvopastoral and monoculture systems in the tropics. *Animal* 13(3):606-616. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001532>
- Blackshaw JK; Blackshaw AW (1994) Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34(2):285-295. <https://doi.org/10.1071/EA9940285>
- Corbin JD, Holl Kd (2012) Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management* 265:37-46. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.10.013>
- Collier RJ; Dahl GE; Vanbaale MJ (2006) Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89(4):1244-1253. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72193-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72193-2)
- Cleugh HA, Hughes DE (2002) Impact of shelter on crop microclimates: a synthesis of results from wind tunnel and field experiments. *Australian Journal of experimental agriculture* 42(6):679-701. <https://doi.org/10.1071/EA02005>
- Craesmeier KC, Schmitt Filho AL, Hotzel MJ, Diniz M, Farley J (2017) Utilização da Sombra por Vacas Lactantes sob Sistema Voisin Silvopastoril no Sul do Brasil. *Cadernos de Agroecologia*, [S.l.], v. 11, n. 2
- Deniz M et al (2019) High biodiversity silvopastoral system as an alternative to improve the thermal environment in the dairy farms. *International Journal of Biometeorology* 63:83-92. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1638-8>
- Deniz M, Schmitt Filho AL, Hötzel MJ, de Sousa KT, Machado Filho LCP, Sinisgalli PA (2020) Microclimate and pasture area preferences by dairy cows under high biodiversity silvopastoral system in Southern Brazil. *International Journal of Biometeorology* 64(11):1877-1887. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01975-0>
- Deniz M et al (2023) A systematic review of the effects of silvopastoral system on thermal environment and dairy cows' behavioral and physiological responses. *International Journal of Biometeorology* 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02431-5>
- Farhat N (2018) Effect of relative humidity on evaporation rates in Nabatieh region. *Lebanese Science Journal* 19(1):59. <http://dx.doi.org/10.22453/LSJ-019.1.059-066>
- Gaughan JB, Mader TL, Holt SM, Lisle A (2008) A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 86(1):226-234. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0305>
- Gaughan JB, Mader TL, Holt SM, Sullivan ML, Hahn GL (2010) Assessing the heat tolerance of 17 beef cattle genotypes. *International Journal of Biometeorology* 54(6):617-627. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0233-4>

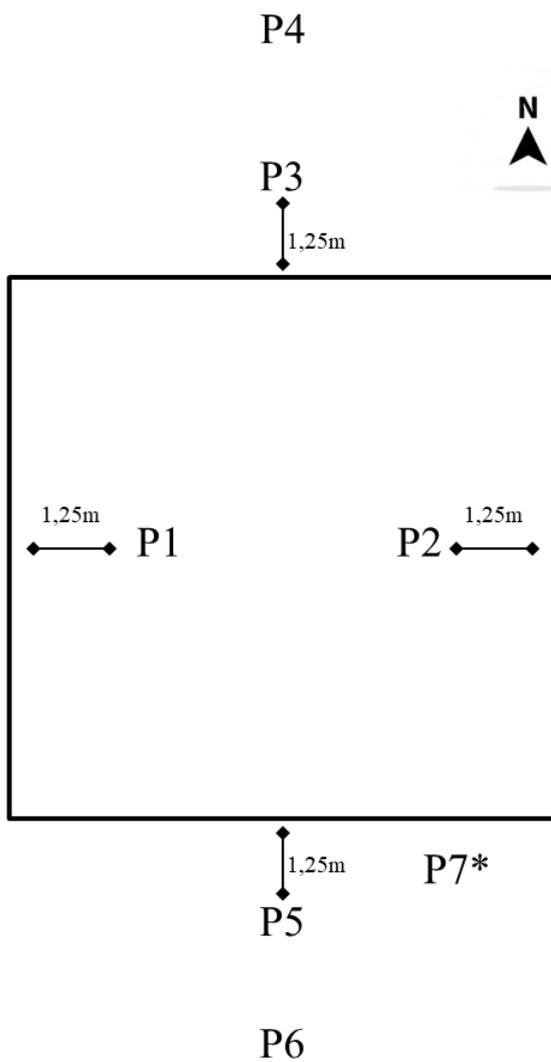
- Giro A et al (2019) Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. *Science of the Total Environment* 684:587-596. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.377>
- Huebner Let al. (2022) New approaches: Use of assisted natural succession in revegetation of inhabited arid drylands as alternative to large-scale afforestation. *SN Applied Sciences* 4(3):80-2022. <https://doi.org/10.1007/s42452-022-04951-y>
- Karvatte Jr N et al. (2016) Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. *International Journal of Biometeorology* 60:1933-1941. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1180-5>
- Lamb D, Erskine PD, Parrotta JA (2005) Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science* 310(5754):1628-1632. <https://doi.org/10.1126/science.1111773>
- Lopes LB et al. (2016) The influence of trees on the thermal environment and behaviour of grazing heifers in Brazilian Midwest. *Tropical Animal Health and Production* 48:755-761. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1021-x>
- Machado LCP (2004) Pastoreio Racional Voisin: tecnologia agroecológica para o terceiro milênio. *Cinco Continentes, Porto Alegre*
- Machado Filho LCP et al (2021) Voisin rational grazing as a sustainable alternative for livestock production. *Animals*, 11(12):3494. <https://doi.org/10.3390/ani11123494>
- Mader TL, Dahlquist JM, Gaughan JB (1997) Wind protection effects and airflow patterns in outside feedlots. *Journal of Animal Science*, 75(1):26-36. <https://doi.org/10.2527/1997.75126x>
- Mader TL et al. (1999) Shade and wind barrier effects on summertime feedlot cattle performance. *Journal of Animal Science* 77(8):2065-2072. <https://doi.org/10.2527/1999.7782065x>
- Melo Júnior JCF; Boeger MRT (2015) Riqueza, estrutura e interações edáficas em um gradiente de restinga do Parque Estadual do Acaraí, Estado de Santa Catarina, Brasil. *Hoehnea*, 42:207-232. <http://dx.doi.org/10.1590/2236-8906-40/2014>
- Moons CPH et al (2014) Importance of outdoor shelter for cattle in temperate climates. *Livestock Science*, 159:87-101. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.11.003>
- Muller CEA, Botha JA, Smith WA (1994) Effect of shade on various parameters of Friesian cows in a Mediterranean climate in South Africa.3. Behaviour. *South African Journal of Animal Science* 24(2):61-66
- Murphy B (2010) Greener pasture on your side of the fence: better farming voisin management intensive grazing, 7th edn. Arriba Publishing, Colchester
- Murgueitio E et al (2011) Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 261(10): 1654-1663. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.027>
- Parente L et al (2019). Assessing the pasturelands and livestock dynamics in Brazil, from 1985 to 2017: A novel approach based on high spatial resolution imagery and Google Earth Engine cloud computing. *Remote Sensing of Environment* 232:111301. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111301>
- Pent GJ (2020) Over-yielding in temperate silvopastures: a meta-analysis. *Agroforestry Systems* 94(5): 1741-1758. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00494-6>
- Pent GJ; Fike JH; Kim I (2021) Ewe lamb vaginal temperatures in hardwood silvopastures. *Agroforestry Systems* 95:21-32. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0221-y>

- Polsky L; von Keyserlingk MAG (2017) Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science* 100(11):8645-8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
- Porfírio-daSilva V; Moraes AD (2010) Sistemas silvipastoris: fundamentos para a implementação. In: Pires AV *Bovinocultura de corte*. Piracicaba: FEALQ, 2:1421-1455.
- Porfírio-da-Silva V et al (2012) Danos causados por bovinos em diferentes espécies arbóreas recomendadas para sistemas silvipastoris. *Brazilian Journal of Forestry* 32(70):67-76. <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.70.67>
- Reis A; Bechara FC; Tres DR (2010) Nucleation in tropical ecological restoration. *Scientia Agricola*, 67: 244-250. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000200018>
- Santos CO et al (2022) Assessing the Wall-to-Wall Spatial and Qualitative Dynamics of the Brazilian Pasturelands 2010–2018, Based on the Analysis of the Landsat Data Archive. *Remote Sensing*: 14:1024-1029. <https://doi.org/10.3390/rs14041024>
- Schmitt Filho A, Farley J, Alvez J et al (2013) Integrating agroecology with payments for ecosystems services in Santa Catarina's Atlantic Forest. In: Muradian R, Rival L (eds) *Governing the provision of Ecosystems services, studies in ecological economics*, 4th edn. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 333–355
- Schmitt Filho AL, Fantini AC, Farley J, Sinisgalli P (2017) Nucleation theory inspiring the design of High Biodiversity Silvopastoral System in the Atlantic Forest Biome: ecological restoration, family farm livelihood and agroecology. *Anais do VII World Conference on Ecological Restoration - SER 2017, V Congresso Iberoamericano Y del Caribe de Restauracion Ecológica, I Conferencia Brasileira de Restauracao Ecológica*. Foz do Iguacu – BR
- Schmitt Filho AL, Fantini A, Sinisgalli P, Farley J, Schmitt L (2018) Ecological restoration, livelihood and ecosystem services in a smallholder dominated rural landscape. *Proceedings of 2018 Conference of New England Branch of Society for Ecological Restoration /SER NE*, Southern CT State University, New Haven
- Schmitt Filho AL, Farley J (2020) Transdisciplinary case approaches to the ecological restoration of rainforest ecosystems. In: Fuders F, Donoso P (eds) *Ecological economic and socio ecological strategies for forest conservation: a transdisciplinary approach with special focus on Chile and Brazil*. Springer international publishing AG, Zug ISBN 978-3-030-35378-0.eB ISBN 978-3-030-35379-7
- Schmitt Filho AL; Kretzer SG; Farley J; Kazama DC; Sinisgalli PA; Deniz M (2023) Applied nucleation under high biodiversity silvopastoral system as an adaptive strategy against microclimate extremes in pasture areas. *International Journal of Biomethereology*. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02488-2>
- Schütz KE, Cox NR, Matthews LR (2008) How important is shade to dairy cattle? Choice between shade or lying following different levels of lying deprivation. *Applied Animal Behaviour Science* 114(3-4):307-318. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.04.001>
- Schütz KE et al (2011) Dairy cattle prefer shade over sprinklers: Effects on behavior and physiology. *Journal of Dairy Science* 94(1):273-283. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3608>
- Smith MM et al (2021) Windbreaks in the United States: A systematic review of producer-reported benefits, challenges, management activities and drivers of

- adoption. *Agricultural Systems*, 187:103032.  
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103032>
- Souza W et al. (2010) Microclimate in silvipastoral systems with eucalyptus in rank with different heights. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39: 685-694.  
<https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000300030>
- Thornton P, Nelson G, Mayberry D, Herrero M. (2021) Increases in extreme heat stress in domesticated livestock species during the twenty-first century. *Global Change Biology* 27(22):5762-5772. <https://doi.org/10.1111/gcb.15825>
- Thornton P, Nelson G, Mayberry D, Herrero M. (2022) Impacts of heat stress on global cattle production during the 21st century: a modelling study. *The Lancet Planetary Health* 6(3):192-201. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00002-X](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00002-X)
- Team RC (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Tresoldi G; Schütz KE; Tucker CB (2019) Cooling cows with sprinklers: Effects of soaker flow rate and timing on behavioral and physiological responses to heat load and production. *Journal of dairy science* 102(1):528-538.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2018-14962>
- Tucker CB, Jensen MB, de Passillé AM, Hänninen L, Rushen J (2021). Invited review: Lying time and the welfare of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 104(1):20-46. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18074>
- USDA (2023) Data & analysis – livestock and poultry: world markets and trade. [https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock\\_poultry.pdf](https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf). Accessed 18 april 2023.
- West JW (1999) Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow. *Journal of Animal Science* 77(suppl\_2): 21-35.
- West J W (1999) Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow. *Journal of Animal Science* 77(suppl\_2):21-35.  
[https://doi.org/10.2527/1997.77suppl\\_221x](https://doi.org/10.2527/1997.77suppl_221x)
- West JW (2003) Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 86(6):2131-2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
- Workman SW, Bannister ME, Nair PKR Agroforestry potential in the southeastern United States: perceptions of landowners and extension professionals. *Agroforestry Systems* 59:73-83, 2003.  
<https://doi.org/10.1023/A:1026193204801>
- Wrege et al (2012) Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Embrapa Clima Temperado, Embrapa Florestas, Pelotas e Colombo ISBN 978-85-7383-519-9
- Zanini L; Ganade G; Hubel I (2006) Facilitation and competition influence succession in a subtropical oldfield. *Plant Ecology* 185:179-190.  
<https://doi.org/10.1007/s11258-005-9093-0>



**Online Resource 1** Representation of different areas in a five nuclei paddock – SPSnu5 treatment. WN – within the nuclei; AN – around the nuclei; ANS – around the nuclei with shade; IN - internuclei. The paddocks are 2500 m<sup>2</sup> with 50 m sides, and the nuclei are 5 x 5 m placed equidistantly inside of each paddock.



**Online Resource 2** Tree nuclei and collection points. \*The P7 occurred only at times when there was shade projection from the nucleus to the surrounding area in the SPSnu5 and SPSnu10 treatments. The TLP treatment had no P7 collection point.

**Online Resource 3** Comparisons made among treatments and their areas.

<b>Comparisons</b>	<b>Illustration</b>	<b>Observations</b>
SPSnu5 X SPSnu10 X TLP	Fig. 1; Table 1	Treatment's general averages
SPSnu5sun X SPSnu5shade X SPSnu10sun X SPSnu10shade X TLP	Online Resource 4	Shaded/ unshaded areas averages X TLP
WN5 X AN5 X IN5 X TLP	Fig. 1	Areas averages within SPSnu5 X TLP
WN10 X AN10 X IN10 X TLP	Fig. 2	Areas averages within SPSnu10 X TLP
WN5 X AN5 X ANS5 X IN5 X TLP	Table 2	Areas averages within SPSnu5 X TLP without 12:00h
WN10 X AN10 X ANS10 X IN10 X TLP	Table 2	Areas averages within SPSnu10 X TLP without 12:00h
ANS5 X ANS10 X TLP	Table 3	Around the nuclei shaded areas of 5 and 10% X TLP without 12:00h

**Online Resource 4** Average values and confidence intervals (95%) for soil surface temperature (SST), air temperature at 20 cm (AT20), air temperature at 120 cm (AT120), Heat Load Index at 20 cm (HLI20) and at 120 cm (HLI120) for SPSnu5shade, SPSnu5sun, SPSnu10shade, SPSnu10sun and TLP treatments.

Variables	SPSnu				TLP
	5%		10%		0%
	Shade	Sun	Shade	Sun	Sun
SST (°C)	30.4c (29.6 - 31.3)	37.9a (37.2 - 38.6)	30.6c (29.7 - 31.4)	35.8b (35 - 36.5)	35.3b (34.4 - 36.2)
AT20 (°C)	32.4b (32.2 - 32.6)	33.4a (33.2 - 33.6)	32.3b (32 - 32.6)	33.4a (33.1 - 33.6)	33.9a (33.4 - 34.4)
AT120 (°C)	32.3b (32.1 - 32.5)	33.1a (33 - 33.3)	32b (31.8 - 32.2)	33.2a (32.9 - 33.4)	33.2a (32.9 - 33.5)
HLI20	94.5b (93.8 - 95.3)	94.5b (93.8 - 95.3)	95.1ab (94.3 - 95.8)	96.2a (95.5 - 97)	90.8c (90.1 - 91.6)
HLI120	87.7bc (86.9 - 88.5)	89.1b (88.3 - 89.9)	86.7c (85.9 - 87.5)	90.8a (90 - 91.6)	87c (86.2 - 87.8)

Means followed by the same letter in the line do not differ by Tukey's test ( $p < 0.05$ ).

## 5 CAPÍTULO 3

Artigo formatado para submissão conforme as orientações da revista *International Journal of Biometeorology* intitulado: “Ambiente térmico durante a implantação de sistemas silvipastoris”.

### AMBIENTE TÉRMICO DURANTE A IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS SILVIPASTORIS

#### Resumo

O Sistema Silvipastoril com Núcleos (SSPnu) busca a restauração ecológica através da mudança da paisagem na direção de uma condição de biodiversidade mais próxima daquela encontrada no bioma em que está inserido. O presente trabalho objetivou avaliar o conforto térmico inferido de bovinos em SSPnu em implantação com duas densidades (5% e 10% da área ocupada por núcleos, SSPnu5 e SSPnu10, respectivamente) comparadas à pastagem sem árvores (PSA) em dias de verão com e sem nebulosidade. Cada tratamento foi dividido em duas áreas classificadas como pastoreáveis: entorno do núcleo e internúcleos. As variáveis analisadas foram a temperatura superficial do solo, temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa, temperatura de globo negro e Índice de Carga Térmica (ICT) nas alturas de 20 e 120 cm. A velocidade do vento foi maior em PSA que nos demais tratamentos e suas áreas, à exceção do horário das 08:00 h, aos 20 cm de altura em dias nublados. A área do entorno dos núcleos de SSPnu10 apresentou a pior condição de conforto térmico. PSA apresentou valores mais baixos de ICT que os demais tratamentos, à exceção do horário das 16:00 h em condições de alta nebulosidade nas duas alturas avaliadas. De maneira geral, dias nublados ofereceram melhores condições de conforto térmico que os sem nebulosidade. O efeito de redução da velocidade do vento de SSPnu em relação ao PSA foi significativo e variou de 22.34% na área internúcleos de SSPnu5, às 12:00 h, aos 120 cm em dias sem nebulosidade a 75% na área entorno do núcleo de SSPnu10, às 08:00 h, aos 20 cm em dias nublados. Por causa dessa redução significativa na velocidade do vento (contraefeito de quebra-vento - *windbreak countereffect*) o SSPnu reduziu o conforto térmico em relação ao PSA. Esse efeito foi mais pronunciado no entorno dos núcleos e em SSPnu10. A fase de implantação de sistemas silvipastoris pode ser considerada um momento crítico para o conforto térmico dos animais. Os produtores devem estar atentos a isso e considerar a presença de nebulosidade um indicador para a ocupação dos piquetes com núcleos em crescimento no verão.

**Palavras-clave:** Contraefeito de quebra-vento; Sistema Silvipastoril com Núcleos; Conforto térmico; Microclima; Bioclimatologia.

## Introdução

Os seres humanos se tornaram capazes de interferir no sistema terrestre com magnitude semelhante às forças dos processos naturais, esse aumento da interferência inaugurou uma época geológica conhecida como antropoceno (Crutzen, 2006). Nesse contexto a pecuária extensiva foi associada ao desmatamento por frequentemente ser a atividade primária de exploração desses ambientes alterados (Bowman et al. 2012; Parente et al. 2019). As métricas de avaliação de desempenho dos sistemas produtivos bovinos não podem ser mais apenas a produtividade e a rentabilidade. Questões relacionadas às reduções nas emissões de carbono (Desjardins et al. 2012; Mazzetto et al. 2022; Stanley et al. 2018), à melhoria da eficiência energética (Hercher-Pasteur et al. 2020), à utilização de técnicas de regeneração ecológica (Gosnell et al. 2020; Teague & Kreuter 2020), à potencialização da biodiversidade (Alvarado et al. 2017), ao bem-estar animal (Mandel et al. 2022) e humano (Pinillos et al. 2016) devem ser consideradas.

A utilização de sistemas silvipastoris representa uma iniciativa de criação na direção da sustentabilidade para a bovinocultura, pois são consórcios de espécies arbóreas e arbustivas, com pastagens e criações, simultâneos ou escalonados no tempo (Cubbage et al. 2012). Os sistemas silvipastoris são mais biodiversos que a pecuária convencional (Harvey et al. 2006; Rover 2019; Bento 2020; Heck 2020; Simioni et al. 2022). Podem ser mais eficientes no balanço de carbono (Olaya-Montes et al. 2021, Silva et al. 2020), na produtividade (Ford et al. 2019), na diversificação de produtos (Buratto et al., 2018; Schmitt Filho et al. 2018a; Schmitt Filho et al. 2018b; Schmitt Filho & Farley 2020) e na oferta de um ambiente pastoril com melhor conforto térmico para os animais (Crasmeier et al. 2017; Deniz et al. 2019; Schinato et al. 2023). O Sistema Silvipastoril com Núcleos (SSPnu) utiliza predominantemente espécies arbóreas e arbustivas nativas do bioma local em núcleos de maneira difusa nas áreas de pastagem (Deniz et al. 2020, Schmitt Filho et al. 2023). Porém, essas espécies arbóreas levam alguns anos para desenvolverem estruturas que permitam interferir positivamente no microclima por meio da projeção de sombra (Porfírio-da-Silva et al. 2012).

O estresse por calor em bovinos é um problema emergente, de escala mundial (Thornton et al. 2021) e com muita relevância para sistemas a pasto em função da perspectiva de mudanças climáticas (Mee & Boyle 2020). A oferta de sombra para os animais tem reconhecidos benefícios para o conforto térmico em estações quentes (Van

laer et al. 2015) e é um dos principais fatores que pesam na tomada de decisão em favor da implementação de sistemas silvipastoris (Pent et al. 2021). Entretanto, pouco se discutiu sobre o efeito quebra-vento em decorrência das estruturas florestais em crescimento de sistemas silvipastoris em implantação e suas consequências para o conforto térmico de bovinos.

O objetivo do presente estudo foi avaliar o ambiente térmico em SSPnu em implantação com duas densidades (5% e 10% da área ocupada por núcleos) em dias de verão com e sem nebulosidade.

## Material e métodos

### Área experimental e tratamentos

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Florianópolis, SC, Brazil. O clima da região é subtropical, classificado como Cfa (27° 41' 06.28" S; 48° 32' 38.81" W, 4 m) (Kottek et al. 2006). O experimento foi conduzido no verão de 2022, entre os meses de janeiro e fevereiro, historicamente os mais quentes do ano com temperaturas médias máximas de 28.1° C e 28.4° C, respectivamente (Wrege et al. 2012).

O estudo foi desenvolvido em um Sistema Silvipastoril com Núcleos (SSPnu) em uma área de produção de bovinos com pastagem polifítica naturalizada subdividida e manejada sob os preceitos do Pastoreio Racional Voisin (Machado Filho et al. 2021). O SSPnu da UFSC é uma unidade didática e experimental de longo prazo que integra conceitos de sucessão e reabilitação ecológica ao sistema de produção. São utilizadas preferencialmente as espécies nativas para comporem núcleos agroflorestais arbóreos de 5 m x 5m distribuídos equidistantemente na pastagem. Em cada hectare são implantadas até 50 espécies nativas diferentes que compõem grupos funcionais complementares. Cada núcleo é composto por 20 árvores nativas, quatro bananeiras (*Musa spp.*), além de forrageiras e arbustos (*Cavanus cajam*, *Penisetum purpurium*, *Araquis pintoii*, *Bicha orellana*) (Schmitt Filho et al., 2013; Schmitt Filho et al., 2017; 2018; Schmitt Filho & Farley, 2020). A comunidade vegetal dos núcleos atingiu altura média de 1,74 m. À época de execução do experimento, estavam implantadas 15 mudas arbóreas por núcleo e a unidade experimental se encontrava em seu terceiro ano desde o início dos primeiros plantios.

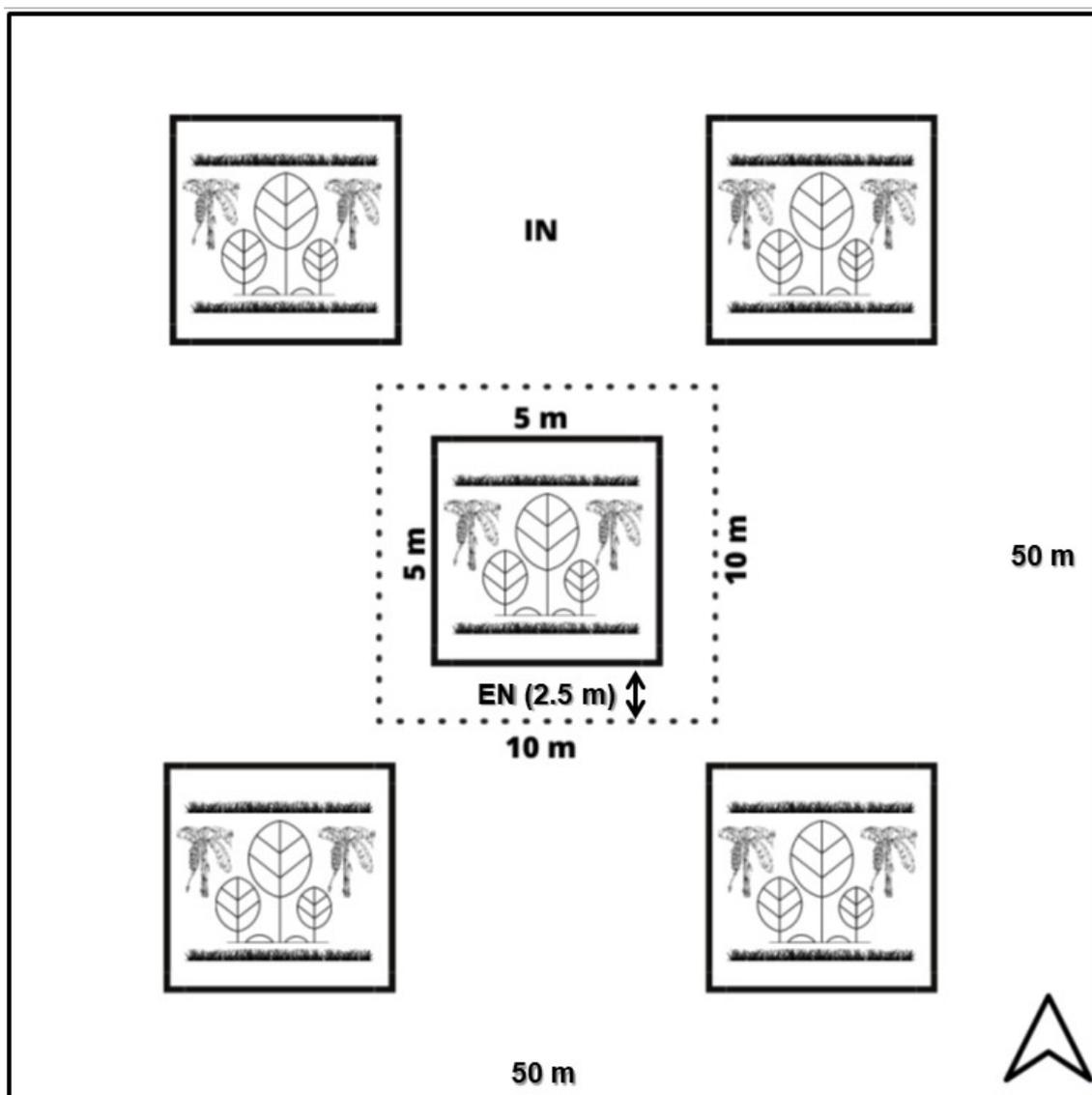
Devido à predominância de ventos fortes na área de implementação dos núcleos as mudas arbóreas apresentaram dificuldade de crescimento nos primeiros anos de implantação. Assim, foi realizado o plantio de *Pennisetum purpureum* na periferia dos núcleos, o que chamamos de grupo funcional zero. Foram introduzidas duas linhas de 0,5 m de largura por 4 m de comprimento nas faces norte e sul dos núcleos, que são as direções predominantes dos ventos na região (Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia, Estação Meteorológica 83897 – Base Aérea de Florianópolis). Essas estruturas foram projetadas para oferecer facilitação sucessional

às demais espécies através do provimento de sombra, proteção contra o vento e acumulação de biomassa (Huebner et al. 2022).

A área experimental conta com 18 piquetes de 2.500 metros quadrados (50 m x 50 m). Foram atribuídos seis piquetes para cada tratamento: pastagem sem árvores (PSA), SSPnu com 5% da área de pastagem ocupada por núcleos arbóreos - 20 núcleos por hectare (SSPnu5) e com 10% da área de pastagem ocupada por núcleos arbóreos - 40 núcleos por hectare (SSPnu10).

### **Coleta de dados**

A coleta de dados das variáveis climáticas ocorreu em duas áreas dentro de cada um dos 3 tratamentos (**Figura 1**). As áreas foram (1) entorno dos núcleos - EN, faixa de 2,5 m que circunda os núcleos; (2) internúcleos - IN, área entre os núcleos e fora do entorno dos núcleos. As nomenclaturas das áreas foram estabelecidas conforme Deniz et al. (2020).



**Figura 1** Representação ilustrativa das áreas em um piquete com cinco núcleos arbóreos – tratamento SSPnu5. EN – entorno do núcleo (área entre a linha pontilhada e o núcleo); IN - internúcleos. Os piquetes são quadrados com 50 m de lado e os núcleos são quadrados com 5 m de lado.

A coleta de dados ocorreu durante 18 dias quentes de verão (com médias de temperatura superiores à média máxima histórica para o mês (Wrege et al. 2012), sendo 10 dias ensolarados e sem nebulosidade e oito dias com alta nebulosidade. Os dias de coleta foram definidos sempre na véspera através de consultas aos principais sítios eletrônicos de previsão do tempo. Dias ensolarados foram considerados quando existia a ausência de nebulosidade e para os nublados, a presença de nuvens em todo o campo de visão com ausência de projeção de sombra das estruturas dos núcleos arbóreos. Calculou-se o índice de claridade (IK) para os dias em que se realizaram as coletas de dados. Nos dias nublados o IK médio foi de 0.399, o que classifica-os como “dias parcialmente nublados com predominância de componente difuso de radiação solar”. O

IK médio dos dias sem nebulosidade foi de 0.655 o que classifica-os como dias de “céu claro” conforme as categorias de IK definidas por Escobedo et al. (2009). A nomenclatura adotada para definir as duas condições de nebulosidade foi “dias nublados” e “dias de céu claro”.

As coletas foram realizadas simultaneamente nos tratamentos, em três horários por dia, às 08:00 h, às 12:00 h e às 16:00 h. A unidade amostral foi o núcleo arbóreo. Foram coletados dados de nove núcleos por tratamento por horário. Em cada núcleo foram definidos quatro pontos fixos de coleta, dois na área do entorno dos núcleos - EN (um na face sul e outro na face norte) e dois na área internúcleos - IN (um na face sul e outro na face norte). No tratamento PSA, os núcleos fictícios foram marcados com estacas no mesmo número e disposição dos demais tratamentos e os pontos de coletas foram equivalentes aos dos tratamentos SSPnu.

Em cada ponto de coleta foram medidas a altura da pastagem, umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (VV) e temperatura do globo negro (TGN). Com exceção da altura do pasto, os dados foram coletados em 20 cm e 120 cm, pois correspondem às alturas amostrais de microclima para bovinos em decúbito esternal e em pé, respectivamente. A direção da rota de coleta de dados foi alternada a cada dia, começando um dia no Sul e o dia seguinte no Norte. Equipes de coleta foram compostas e designadas para os tratamentos por meio de sorteio diários, bem como a distribuição dos equipamentos.

## **Equipamentos**

Os dados foram registrados em planilha de campo e os equipamentos utilizados foram: três aferidores de estresse térmico, modelo AK887 (fabricado pela Akso) para aferição de umidade relativa do ar (escala 0 a 99%, precisão  $\pm 3\%$ ) e temperatura do globo negro (escala 0 a 80° C, precisão  $\pm 0,6^\circ$  C); três termoanemômetros modelo AK821 (fabricados pela Akso, escala 0,4 a 20 m/s, precisão  $\pm 2\%$ ) para aferição da velocidade do vento. A altura do pasto foi medida com régua graduada em centímetros a cada dia de coleta. Cada equipamento foi mantido em cada ponto por tempo suficiente para a estabilização da variável medida. Todos os equipamentos foram calibrados pelo fabricante antes do início do experimento.

## **Análise dos dados**

O Índice de Carga Térmica foi calculado para as áreas EN e IN dos tratamentos SSPnu5 e SSPnu10 e para o controle PSA em todos os dias de coleta. Essas áreas foram comparadas entre si separadamente em cada horário e nas alturas de 20 cm e 120 cm. Da mesma forma, as variáveis que compuseram o ICT foram comparadas entre si para as duas alturas. E, por fim, foram calculados os contrastes de redução de vento em função dos diferentes tratamentos com relação ao PSA.

O Índice de Carga Térmica (ICT) foi calculado de acordo com o seguinte (Gaughan et al. 2008):

-temperatura de globo negro (TGN) maior que 25°C:

$$ICT_{TGN>25} = 8.62 + (0.38 \times \text{umidade relativa}) + (1.55 \times TGN) - (0.5 \times \text{velocidade do vento}) + [e^{2.4 \times \text{velocidade do vento}}]$$

e = base do logaritmo natural (valor aproximado de e = 2.71828).

- temperatura de globo negro (TGN) menor que 25°C:

$$ICT_{TGN<25} = 10.66 + (0,28 \times \text{umidade relativa}) + (1.3 \times TGN) - \text{velocidade do vento}$$

O efeito de redução da velocidade do vento pelo SSPnu foi calculado através da diferença expressa em percentagem relativa entre o PSA e as áreas de SSPnu5 e SSPnu10 dentro de cada horário e altura considerando o respectivo PSA como 100%.

A análise estatística foi realizada no software R (R Core Team, 2023) por meio da interface RStudio (RStudio, 2023). Foram aplicados modelos de regressão linear simples e mista utilizando o núcleo como medida aleatória. Os modelos mistos foram calculados por meio da função 'lmer' do pacote estatístico lme4 (Bates et al., 2015). Medidas repetidas ao longo dos dez dias ensolarados e dos oito dias nublados de coleta de dados foram agrupadas por média simples. Para comparações do efeito global do tratamento os dados de cada ponto de coleta no entorno e nas áreas internúcleos foram agrupadas para o cálculo da média. Foram utilizados modelos de regressão linear tendo o tratamento como efeito fixo (SSPnu5, SSPnu10 e PSA) e, quando necessário, foram incluídas covariáveis. Para a comparação das médias geradas pelo modelo linear utilizou-se teste de Tukey, com significância fixada em 5%.

Para comparações entre diferentes áreas e suas interações com o tratamento, os dados foram agrupados por dia e área do núcleo, sendo o núcleo indicado como variável

de efeito aleatório. Assim, foram construídos modelos lineares mistos e as médias comparadas pelo teste de Dunnett ( $p < 0.05$ ) em contrastes customizados elaborados de acordo com os objetivos do trabalho. Assim como nos modelos lineares simples, os modelos mistos também incluíram a variável de tratamento, a área e os efeitos de possíveis variáveis de confusão como covariáveis no modelo.

## Resultados

### Variáveis de composição do Índice da Carga Térmica aos 20 cm de altura (Tabela 1)

Às 08:00 h, a velocidade do vento foi maior em cada área dos dias com céu claro quando comparadas às respectivas áreas dos dias nublados, à exceção de IN em SSPnu10; PSA em dias de céu claro foi a área com a maior velocidade do vento. Já em dias nublados, PSA apresentou o maior valor de velocidade do vento apenas em relação a EN em SSPnu10. A umidade relativa do ar foi maior em cada área dos dias nublados quando comparadas às mesmas áreas dos dias de céu claro; os valores não diferiram entre as áreas em dias nublados. Já nos dias céu claro, a umidade apresentou maior valor em PSA em relação a áreas IN de SSPnu5 e de SSPnu10. A temperatura de globo negro foi superior em cada área dos dias de céu claro quando comparadas às mesmas áreas dos dias nublados. As áreas nos dias nublados não diferiram entre si enquanto que na condição de céu claro, a maior temperatura de globo negro foi encontrada nos IN de SSPnu10 e SSPnu5.

Às 12:00 h os tratamentos PSA de dias de céu claro e nublados apresentaram as maiores velocidades do vento quando comparadas às áreas da mesma condição de nebulosidade. A maior velocidade do vento foi encontrada em PSA de dias de céu claro. Na comparação das mesmas áreas de SSPnu nas diferentes condições de nebulosidade, os valores encontrados foram superiores em dias de céu claro, porém diferiram apenas nas duas áreas de SSPnu5. A umidade relativa do ar foi maior nos dias nublados quando comparadas aos dias de céu claro. A temperatura de globo negro foi superior nos dias de céu claro quando comparadas aos dias nublados; as áreas na condição nublado não diferiram entre si; na condição de céu claro, a maior temperatura de globo negro foi encontrada em IN de SSPnu10, as demais não diferiram entre si.

Às 16:00 h a maior velocidade do vento foi aferida na área PSA na condição de céu claro; os tratamentos PSA tanto em dias nublado quanto em dias de céu claro apresentaram as maiores velocidades do vento quando comparadas às áreas da mesma condição de nebulosidade; as áreas de SSPnu5 e SSPnu10 não diferiram entre si na condição nublado. A umidade relativa do ar foi maior em cada área dos dias nublados

quando comparadas às mesmas áreas dos dias de céu claro; os valores não diferiram entre as áreas dentro de cada condição de nebulosidade. A temperatura de globo negro foi superior em cada área dos dias de céu claro quando comparadas às mesmas áreas dos dias nublados; as áreas na condição nublado não diferiram entre si; na condição céu claro o tratamento PSA apresentou TGN maior que EN de SSPnu10 apenas, não diferindo das demais áreas.

**Tabela 1.** Médias e erros padrão de velocidade do vento, umidade relativa do ar, e temperatura de globo negro (VV, UR e TGN) a **20 cm** de altura durante o verão. Comparações entre as áreas entorno do núcleo (EN) e internúcleos (IN) de SSPnu5 e SSPnu10 e PSA em dias nublados e de céu claro.

Variáveis	Céu claro					Nublado				
	SSPnu5		SSPnu10		Controle	SSPnu5		SSPnu10		Controle
	EN	IN	EN	IN	PSA	EN	IN	EN	IN	PSA
<b>08:00 h</b>										
<b>VV</b>	0.754±0.073c	1.098±0.073b	0.450±0.073d	0.603±0.073cd	1.641±0.073a	0.288±0.073de	0.463±0.073d	0.178±0.073e	0.265±0.073de	0.712±0.073cd
<b>UR</b>	63.3±0.626bc	61.4±0.626c	63±0.626bc	61±0.626c	64.4±0.629b	71.9±0.626a	70.9±0.626a	72.1±0.633a	71.1±0.633a	71.6±0.626a
<b>TGN</b>	36.3±0.311b	37.3±0.311ab	36.6±0.311b	37.7±0.311a	36±0.312b	30.8±0.311c	31.1±0.311c	30.6±0.314c	31.1±0.314c	31.1±0.311c
<b>12:00 h</b>										
<b>VV</b>	1.026±0.093c	1.444±0.093b	0.749±0.093cd	0.853±0.093cd	1.987±0.093a	0.388±0.093d	0.604±0.093d	0.487±0.093d	0.638±0.093d	1.324±0.093bc
<b>UR</b>	55.7±0.422c	55±0.422cd	55.1±0.422cd	53.8±0.422d	56±0.425c	64.8±0.422a	63.5±0.422ab	63.8±0.428ab	63.1±0.428b	65.1±0.422a
<b>TGN</b>	39.5±0.255b	40.2±0.255b	40.2±0.255b	41.1±0.255a	39.4±0.257b	34.3±0.255c	34.6±0.255c	34.2±0.258c	34.7±0.258c	34±0.255c
<b>16:00 h</b>										
<b>VV</b>	0.797±0.063bc	1.066±0.063b	0.521±0.063c	0.732±0.063bc	1.576±0.063a	0.417±0.063c	0.503±0.063c	0.380±0.063c	0.422±0.063c	1.026±0.063b
<b>UR</b>	65.7±0.657b	65.1±0.657b	66.2±0.657b	65.2±0.657b	65±0.658b	70.7±0.657a	70.1±0.657a	70.1±0.660a	69.5±0.660a	70.9±0.657a
<b>TGN</b>	33.4±0.244ab	33.9±0.244ab	33.2±0.243b	33.6±0.243ab	34.1±0.245a	28.8±0.243c	28.8±0.243c	28.9±0.246c	29±0.246c	28.7±0.244c

Médias seguidas pelas mesmas letras nas linhas não diferiram entre si ( $p < 0.05$ ) pelo teste de Dunnet.

## Variáveis de composição do Índice de Carga Térmica aos 120 cm de altura (Tabela 2)

Às 08:00 h a maior velocidade do vento foi aferida na área PSA na condição de céu claro; os tratamentos PSA de dias de céu claro e nublados apresentaram as maiores velocidades do vento quando comparadas às áreas da mesma condição de nebulosidade; as velocidades do vento foram maiores em cada uma das áreas dos dias de céu claro quando comparadas às mesmas áreas dos dias nublados; SSPnu5 e SSPnu10 não diferiram entre si nos dias nublados. A UR foi mais alta em dias nublados que em dias de céu claro em todas as áreas e tratamentos; a umidade relativa do ar não diferiu entre as áreas de SSPnu5, SSPnu10 e o PSA em dias nublados; já nos dias de céu claro, a UR foi maior em PSA que nas demais áreas, que não diferiram entre si. As temperaturas de globo negro foram mais altas em todas as áreas e tratamentos dos dias de céu claro que as dos dias nublados; as áreas e tratamentos não diferiram entre si nos dias nublados; a TGN foi menor em PSA nos dias de céu claro.

Às 12:00 h a maior velocidade do vento foi aferida na área PSA na condição de céu claro; os tratamentos PSA de dias de céu claro e nublados apresentaram as maiores velocidades do vento quando comparadas às áreas da mesma condição de nebulosidade; em dias nublados as áreas de SSPnu5 e SSPnu10 não diferiram entre si; em dias de céu claro, à exceção da área IN de SSPnu5, onde a velocidade do vento foi mais alta, as áreas de SSPnu não diferiram entre si. Todas as áreas avaliadas apresentaram maiores umidades relativas do ar nos dias nublados que nos dias de céu claro; nos dias céu claro PSA e IN de SSPnu5 apresentaram as maiores UR. A temperatura de globo negro foi mais elevada em dias de céu claro que em dias nublados. Nos dias nublados não houve diferença entre as áreas e tratamentos. Nos dias de céu claro, apenas IN de SSPnu10 apresentou TGN maior que PSA, as demais áreas não diferiram do tratamento controle.

Às 16:00 h a maior velocidade do vento também foi aferida na área PSA na condição de céu claro; os tratamentos PSA de dias de céu claro e nublados também apresentaram as maiores velocidades do vento quando comparadas às áreas da mesma condição de nebulosidade; em dias nublados as áreas de SSPnu5 e SSPnu10 não diferiram entre si; em dias de céu claro, à exceção da área EN de SSPnu10, onde a velocidade do vento foi mais baixa, as áreas de SSPnu não diferiram entre si. A umidade relativa do ar foi mais alta nos dias nublados que nos dias de céu claro; não

houve diferença entre as áreas e tratamentos dentro de cada condição de nebulosidade. A temperatura de globo negro foi mais alta nos dias de céu claro que nos dias nublados; não houve diferença entre as áreas e tratamentos dentro de cada condição de nebulosidade.

**Tabela 2.** Médias e erros padrão de velocidade do vento, umidade relativa do ar, e temperatura de globo negro (VV, UR e TGN) a **120 cm** de altura durante o verão. Comparações entre as áreas entorno do núcleo (EN) e internúcleos (IN) de SSPnu5 e SSPnu10 e PSA em dias nublados e de céu claro.

Variáveis	Céu claro					Nublado				
	SSPnu5		SSPnu10		Controle	SSPnu5		SSPnu10		Controle
	EN	IN	EN	IN	PSA	EN	IN	EN	IN	PSA
<b>08:00 h</b>										
<b>VV</b>	1.982±0.121c	2.818±0.121b	1.794±0.121c	2.023±0.121c	3.788±0.121a	0.929±0.121d	1.217±0.121d	0.760±0.121d	0.917±0.121d	1.712±0.121c
<b>UR</b>	59.7±0.667c	59.9±0.667c	59.3±0.667c	59.3±0.667c	62.7±0.667b	69.7±0.667a	69.3±0.667a	69±0.667a	68.7±0.667a	69.5±0.667a
<b>TGN</b>	37.1±0.328ab	37.3±0.328a	37.4±0.328a	37.9±0.328a	36.2±0.330b	31±0.328c	31.2±0.328c	30.9±0.331c	31.3±0.331c	31.2±0.328c
<b>12:00 h</b>										
<b>VV</b>	3.07±0.205bc	3.58±0.205b	2.66±0.205c	3.17±0.205bc	4.61±0.205a	1.51±0.205d	1.78±0.205d	1.63±0.205d	1.77±0.205d	3.01±0.205bc
<b>UR</b>	52.7±0.471bc	53±0.471b	51.4±0.471c	51.5±0.471c	54±0.471b	61.6±0.471a	61.8±0.471a	61.3±0.471a	61.1±0.471a	62.5±0.471a
<b>TGN</b>	40±0.278b	40.2±0.278b	40.9±0.278ab	41.2±0.278a	39.5±0.279b	34.7±0.278c	34.6±0.278c	34.5±0.280c	34.8±0.280c	34.1±0.278c
<b>16:00 h</b>										
<b>VV</b>	2.33±0.126b	2.68±0.126b	1.58±0.126c	2.28±0.126b	3.61±0.126a	1.36±0.126c	1.62±0.126c	1.33±0.126c	1.55±0.126c	2.66±0.126b
<b>UR</b>	63.6±0.704b	63.4±0.704b	64.2±0.704b	64.2±0.704b	63.6±0.704b	69.2±0.704a	69.2±0.704a	69.4±0.704a	69.2±0.704a	69.4±0.704a
<b>TGN</b>	33.8±0.248a	34±0.248a	33.6±0.247a	33.7±0.247a	34.2±0.249a	28.9±0.248b	28.9±0.248b	28.9±0.250b	29±0.250b	28.7±0.248b

Médias seguidas pelas mesmas letras nas linhas não diferiram entre si ( $p < 0.05$ ) pelo teste de Dunnet.

### **Índice da Carga Térmica aos 20 cm de altura**

Às 08:00 h (**Figura 2 A**), o ICT apresentou valores inferiores em PSA que nas demais áreas dentro da mesma condição de nebulosidade; todas as áreas em dias de céu claro apresentaram ICT com valores superiores às dos dias nublados, à exceção de IN de SSPnu5; em dias nublados as áreas SSPnu não diferiram entre si e apresentaram pior conforto térmico que PSA; Em dias de céu claro PSA apresentou ICT inferior que demais áreas da mesma condição de nebulosidade; as áreas entorno do núcleo e internúcleos de SSPnu10 em dias de céu claro apresentaram as piores condições de conforto térmico.

Às 12:00 h (**Figura 2 B**), o ICT da área PSA em dias de céu claro não diferiu das áreas de SSPnu dos dias nublados e foi superior que PSA em dia nublados; as áreas entorno do núcleo e internúcleos de SSPnu10 em dias de céu claro apresentaram as piores condições de conforto térmico inferido às 12:00 h, também; comparando-se cada área de SSPnu em dias nublados com a mesma área em dias de céu claro, todos os valores de ICT foram superiores na última condição.

Às 16:00h (**Figura 2 C**), a área PSA em dias de céu claro apresentou ICT superior a todas as áreas e também a PSA em dias nublados; os valores de ICT de todas as áreas foram inferiores em dias nublados em comparação aos dias de céu claro; a área com valor de ICT mais alto foi entorno do núcleo de SSPnu10 que não diferiu de internúcleos de SSPnu10 e de entorno do núcleo de SSPnu5 nos dias de céu claro.

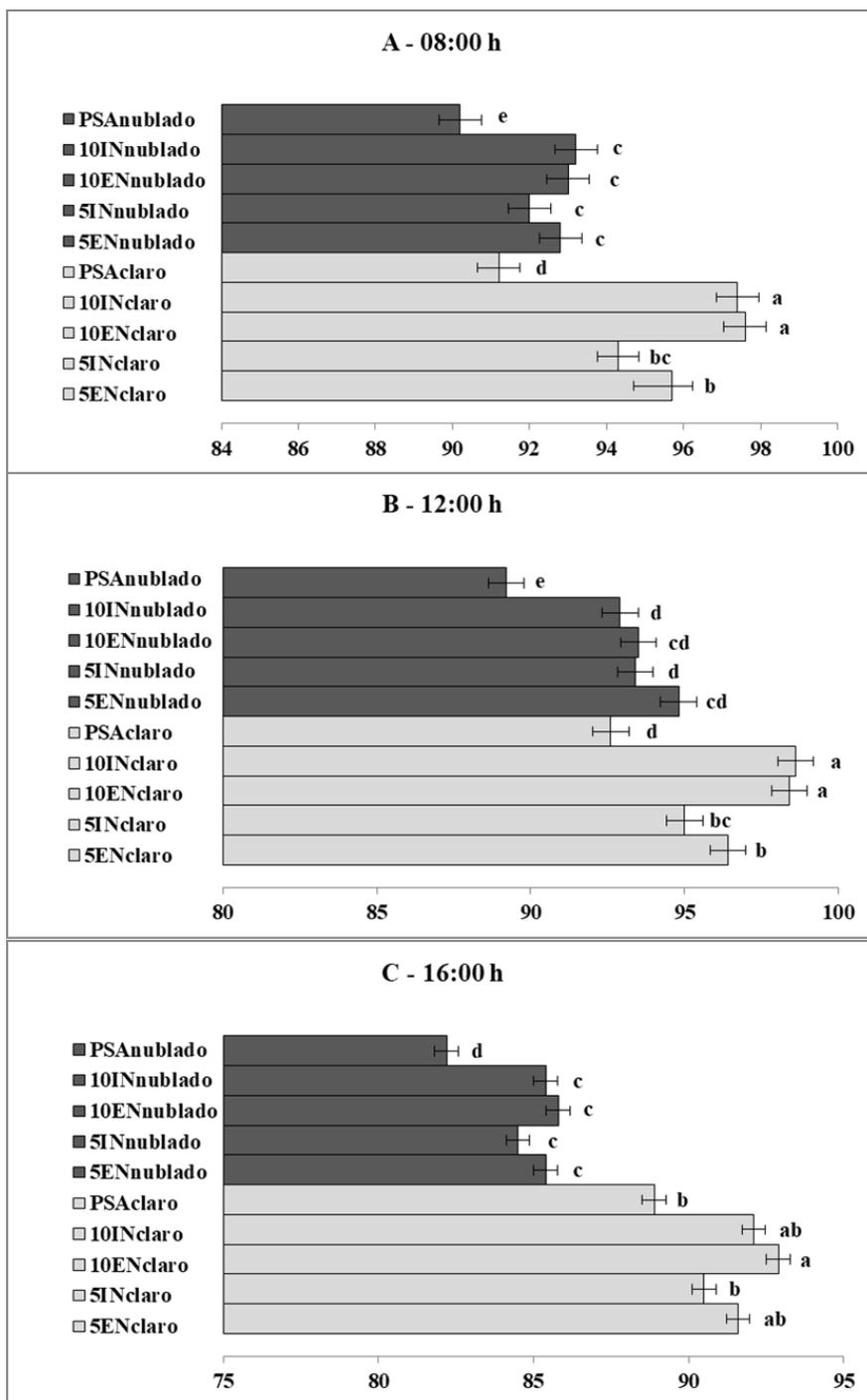
### **Índice de Carga Térmica aos 120 cm de altura**

Às 08:00 h (**Figura 3 A**) não foram encontradas diferenças no conforto térmico inferido entre os tratamentos PSA dos dias com e sem nebulosidade; PSA em dias de céu claro apresentou melhor conforto térmico que as áreas com núcleos em dias nublados à exceção de internúcleos de SSPnu5 na condição nublado com a qual não houve diferença.

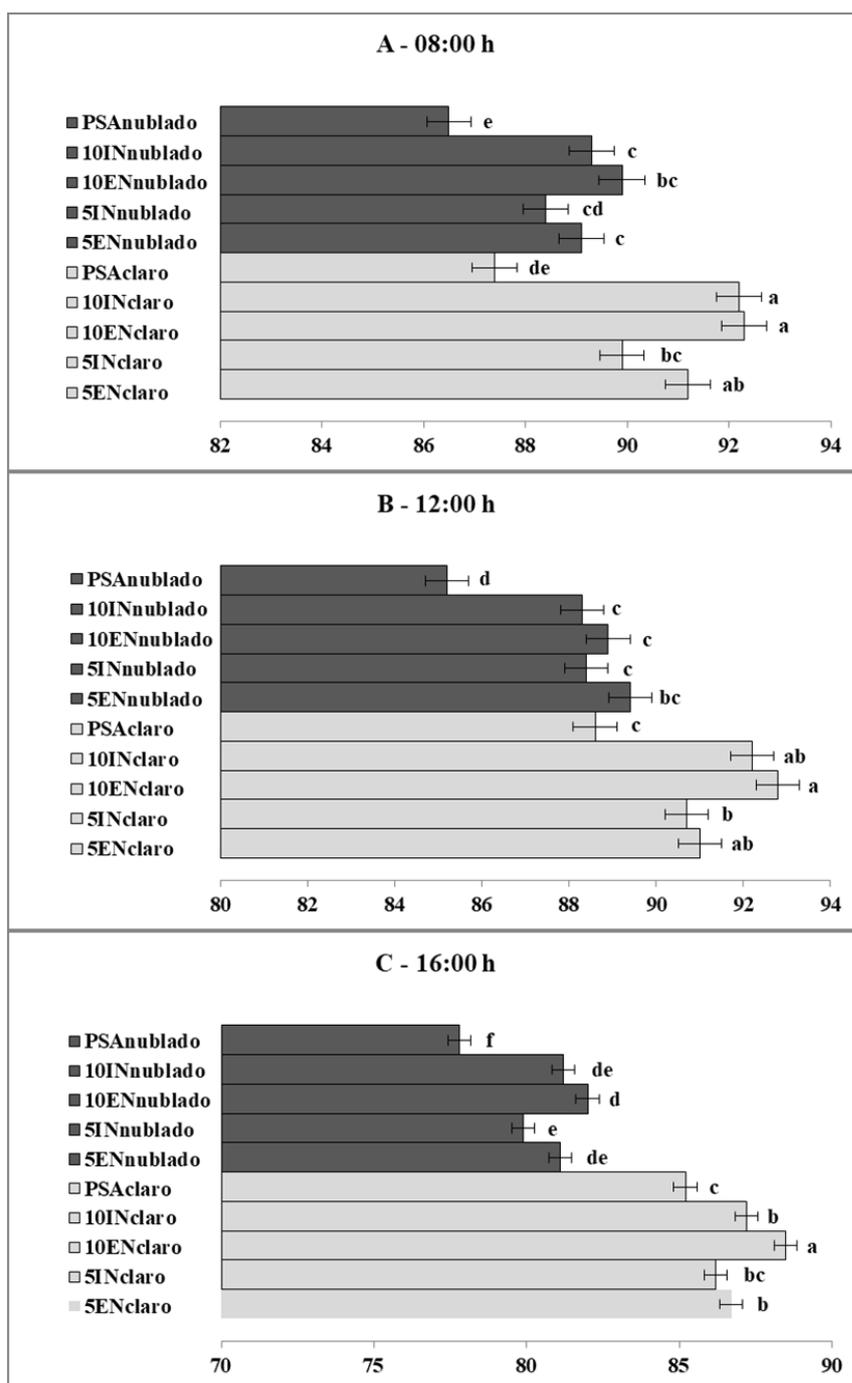
Tanto às 08:00 h (**Figura 3 A**) quanto às 12:00 h (**Figura 3 B**) os tratamentos PSA apresentaram o melhor conforto térmico inferido quando comparados às demais áreas da mesma condição de nebulosidade; as duas áreas de SSPnu10 e a área EN de SSPnu5 em dias de céu claro apresentaram os valores mais altos de ICT. Às 12:00 h (**Figura 3 B**), o ICT de PSA dos dias de céu claro foi mais alto que o PSA de dias

nublados; nenhuma área de SSPnu em dias nublados diferiu de PSA dos dias de céu claro.

Às 16:00 h (**Figura 3 C**), o ICT de PSA dos dias de céu claro foi mais alto que PSA dos dias nublados e que todas as áreas de SSPnu em dias nublados; PSA em dias de céu claro apresentou o melhor conforto térmico inferido nessa condição de nebulosidade à exceção da área internúcleos de SSPnu5 com a qual não diferiu; o ICT mais alto foi encontrado na área entorno do núcleo em SSPnu10 em dias de céu claro; todas as áreas de SSPnu em dias nublados e o controle apresentaram ICT inferior às áreas de SSPnu e controle nos dias de céu claro; PSA dos dias nublados apresentou o melhor conforto térmico inferido.



**Figura 2.** Comparações dos Índices de Carga Térmica das áreas entorno do núcleo (EN) e internúcleos (IN) de SSPnu5 (5) e SSPnu10 (10) e PSA em dias de céu claro (claro) e nublados (nublado). Dados das 08:00 h (A), 12:00 h (B) e 16:00 h (C) a 20 cm de altura.



**Figura 3.** Comparações dos Índices de Carga Térmica das áreas entorno do núcleo (EN) e internúcleos (IN) de SSPnu5 (5) e SSPnu10 (10) e PSA em dias de céu claro (claro) e nublados (nublado). Dados das 08:00 h (A), 12:00 h (B) e 16:00 h (C) a 120 cm de altura.

### Contrafeito do quebra-vento em Sistemas Silvipastoris com Núcleos (Tabela 3)

Todas as áreas de SSPnu5 e SSPnu10 em todos os horários, nas duas alturas estudadas e nas duas condições de nebulosidade apresentaram velocidade do vento reduzida em relação ao PSA (Tabela 3). A maior redução da velocidade do vento foi

aferida na área EN de SSPnu10 às 08:00 h, aos 20 cm de altura, em dias nublados, onde a VV foi 75% inferior ao PSA. O menor efeito de redução da velocidade do vento foi encontrado na área IN de SSPnu5 às 12:00h , aos 120 cm de altura, em dias de céu claro, que apresentou redução de 22.34% de redução em relação ao PSA.

Numericamente as magnitudes do efeito de redução da velocidade do vento foram sempre maiores aos 20 cm que aos 120 cm de altura. Assim como foram sempre maiores nas áreas EN que nas IN dentro de cada horário. Em dias de céu claro o SSPnu10 apresentou maior efeito de redução da velocidade do vento que SSPnu5, em dias nublados isso aconteceu às 08:00 h e às 16:00 h. No horário das 12:00 h, SSPnu5 apresentou maior redução da velocidade do vento, porém com valores muito próximos de SSPnu10.

**Tabela 3.** Contrastes expressos como percentagens de redução da velocidade do vento (m/s) entre tratamentos e controle (PSA).

<b>Céu claro</b>				
	<b>SSPnu5</b>		<b>SSPnu10</b>	
<b>20cm</b>	<b>EN</b>	<b>IN</b>	<b>EN</b>	<b>IN</b>
08:00 h	-54.05	-33.09	-72.58	-63.25
12:00 h	-48.36	-27.33	-62.30	-57.70
16:00 h	-49.43	-32.36	-66.94	-53.55
<b>120cm</b>				
08:00 h	-47.67	-25.60	-52.64	-46.59
12:00 h	-33.40	-22.34	-42.30	-31.24
16:00 h	-35.46	-25.76	-56.23	-36.84
<b>Nublado</b>				
	<b>SSPnu5</b>		<b>SSPnu10</b>	
<b>20cm</b>	<b>EN</b>	<b>IN</b>	<b>EN</b>	<b>IN</b>
08:00 h	-59.55	-34.97	-75	-62.78
12:00 h	-70.69	-54.38	-63.22	-51.81
16:00 h	-59.36	-50.97	-62.96	-58.87
<b>120cm</b>				
08:00 h	-45.73	-28.91	-55.60	-46.44
12:00 h	-49.83	-40.86	-45.85	-41.20
16:00 h	-48.87	-39.10	-50	-41.73

## Discussão

As variáveis climáticas mais comumente utilizadas para compreensão do ambiente térmico de bovinos são a temperatura ambiente, umidade relativa do ar, radiação, velocidade do vento e precipitação (Lees et al., 2022). Índices para inferir conforto térmico foram criados como modelos que combinam essas variáveis de diferentes formas (Herbut et al. 2018; Li et al. 2009). No presente trabalho utilizou-se ICT por ser um índice amplamente empregado em trabalhos de bioclimatologia zootécnica, por ser o melhor preditor de desconforto térmico (Van laer et al. 2015) e por considerar o maior número de variáveis com importância para o ambiente outdoor (Gaughan et al. 2008).

Em dias nublados há um ambiente com menor incidência de radiação solar (Pereira et al. 2017) e a sombra aparente é suprimida dos tratamentos SSPnu. Nessa condição as variáveis umidade relativa do ar e velocidade do vento passam a ter maior importância na composição do conforto térmico inferido pelo ICT (Gaughan et al. 2008).

Considerando que não houve diferença na umidade relativa do ar entre os tratamentos nos dias nublados, nessa condição o vento passa a ser o fator mais importante de arrefecimento. Enquanto a temperatura do fluido que envolve os animais (ar) for inferior à temperatura corporal, a troca de calor por convecção é relevante para a manutenção da homeostase, nesse contexto uma maior movimentação do ar (velocidade do vento) promove uma troca forçada de calor (Mitchell et al. 2018).

As piores condições de conforto térmico inferido foram encontradas nos dias de céu claro no tratamento SSPnu10 nas áreas do entorno dos núcleos e no internúcleos, portanto, quanto maior a densidade dos núcleos, piores foram as condições microclimáticas no verão. O efeito quebra-vento foi mais acentuado quanto maior a proximidade dos núcleos. A redução da velocidade do vento foi de 75% no entorno do núcleo de SSPnu10 em dias nublados e de 72.58% na mesma área em dias de céu claro. Em SSPnu5 também no entorno do núcleo a redução foi de 59.55% e 54.05% em dias nublados e de céu claro, respectivamente. A esse efeito de redução de conforto térmico em SSPnu em implantação onde não há projeção de sombra suficiente para um bloqueio significativo da radiação, e onde suas estruturas acarretam redução da velocidade do vento, denominou-se contrafeito de quebra-vento.

O efeito de redução da velocidade do vento também foi apresentado por Deniz et al. (2019) em Sistema Silvipastoril com Núcleos com sete anos de implantação, nas quatro estações. A presença de sombra no trabalho de Deniz et al. (2019), em função da idade e do porte das árvores, acabou resultando em melhor conforto térmico inferido pelo Índice de Temperatura e Umidade (ITU) para bovinos. Porém, esse índice não utiliza a velocidade do vento em seu modelo matemático. Em outro estudo com SSPnu Schmitt Filho et al. (2023) também demonstraram a redução da velocidade do vento pela influência dos núcleos arbóreos com relação ao PSA. Nesse trabalho o SSPnu tinha 8 anos de implantação e, no verão, a redução do vento foi encontrada tanto nas áreas sombreadas quanto não sombreadas das proximidades dos núcleos.

O mesmo efeito de redução do vento foi relatado por Sousa et al. (2010), porém com porcentagem de redução de no máximo 50% em sistema silvipastoril com eucaliptos com 18 m de altura plantados em rank. No trabalho de Schinato et al. (2023) também demonstrou-se a redução da velocidade do vento em sistema silvipastoril, com efeitos maiores sob as árvores que nos espaços entre linhas, porém em função do tempo de estabelecimento do sistema e do porte das árvores (eucaliptos com 7 a 9 anos), os índices de conforto térmico foram melhores em SSP que em pleno sol. A porosidade da estrutura do quebra-vento juntamente com a sua altura são os fatores determinantes para a magnitude da redução do vento (Oberschelp et al. 2020). Em SSPnu há uma grande densidade de plantas nos núcleos além da presença do grupo funcional zero o que pode intensificar esse efeito.

A redução da velocidade do vento ocorre tanto a barlavento quanto a sotavento e tem um comportamento esperado com maior intensidade nas proximidades do quebra vento na chamada *quiet zone* – distância horizontal de duas a oito vezes a altura do quebra-vento. O efeito do quebra-vento pode se estender até a distância de trinta vezes a altura do quebra-vento (Cleugh et al. 2002). Esse gradiente, com efeito decrescente de redução da velocidade do vento à medida que o ponto de coleta se afasta dos núcleos, também foi apresentado no presente trabalho.

Condições ambientais, espaciais e temporais podem resultar em variações nos benefícios agropecuários de quebra-ventos ou de estruturas similares (SSPnu jovens) (Baker et al. 2021), podendo, inclusive, resultar em redução de produtividade em bovinos no verão (Mader et al. 1997). Sistemas silvipastoris em implantação podem

intensificar os efeitos do calor em eventos extremos pelo bloqueio do vento, portanto, essas variações demandam estratégias de refinamento no manejo desses agroecossistemas.

Os valores de ICT, quando analisados conforme a categorização proposta por Gaughan et al. (2010) (**Material Suplementar 1**): termoneutros quando  $ICT < 70$ ; amenos,  $ICT 70.1 - 77$ ; quentes,  $77.1 - 86$ ; muito quentes,  $ICT 86.1 - 96$  e extremos quando  $ICT > 96$ ; demonstraram que as condições de conforto térmico categorizadas como extremos foram encontradas apenas nos dias de céu claro, aos 20 cm de altura do solo. Essa condição ocorreu às 08:00 h e às 12:00 h em SSPnu10 e apenas às 12:00 h em SSPnu5. Esse fenômeno se deve à proximidade do solo que emite radiação térmica própria e refletida e acarreta aquecimento. Outro fator é a reduzida velocidade do vento aos 20 cm em relação aos 120 cm. Isso ajuda a explicar porque em situações de calor extremo os animais adotam a posição de estação com mais frequência (Tucker et al. 2008), pois além de proporcionar maior superfície de troca de calor por convecção (Mitchell et al. 2018), o ambiente térmico se torna mais confortável à medida que o corpo se afasta do solo.

A ocorrência da condição extrema cedo na manhã (08:00 h) reforça a preocupação com manejos diferenciados em SSPnu em implantação em dias de céu claro. Por outro lado, os dias nublados se mostraram mais amenos e apenas no horário das 12:00 h aos 120 cm de altura o PSA se enquadrou em categoria de melhor conforto térmico que SSPnu, encorajando a ocupação com animais em SSPnu em dias quentes, porém nublados. O principal fator de melhoria do conforto térmico em sistemas silvipastoris é a sombra das árvores que interfere na troca de calor por radiação. Durante a implantação, fase em que a sombra esperada ainda não está disponível, há uma neutralização do efeito do sistema. Associado a isso, o efeito quebra-vento já evidente, influencia o ambiente térmico para o lado do prejuízo ao conforto dos animais.

A intensidade e a duração do desafio térmico, além da possibilidade de recuperação no período da noite definem as consequências metabólicas e comportamentais do estresse térmico por calor aos animais (Renaudeau et al. 2012). As coletas das 16:00 h nas duas condições de nebulosidade foram as que apresentaram as condições mais amenas com maior frequência, indicando que há um arrefecimento para uma faixa tolerável já a partir das 16:00 h e que deve se intensificar à noite. Em dias

nublados a categorização do conforto térmico inferido não diferiu entre as duas densidades de SSPnu possivelmente porque a velocidade do vento basal (em PSA) foi inferior nos dias nublados, nas duas alturas e nos três horários. Em sistemas silvipastoris espera-se uma maior magnitude de redução do vento pelo efeito quebra-vento quanto maior a velocidade do vento (Souza et al. 2010).

Diante dos resultados, sugere-se que a ocupação com animais em sistemas silvipastoris em processo de implantação deve considerar o seu efeito quebra-vento associado à oferta insuficiente de sombra. O diferimento pode ser uma alternativa no verão, encorajado pela redução da qualidade do conforto térmico através do bloqueio parcial do vento (Souza et al. 2010) e pelo insuficiente bloqueio da radiação em função da estrutura das plantas. Outro fator a se considerar nessa fase é o risco de danos às espécies arbóreas por herbivoria dos bovinos (Porfírio-da-Silva et al. 2012).

Sugerimos que a implantação de SSPnu escalonada no tempo possibilitaria o estabelecimento de estruturas agroflorestais de diferentes tamanhos. Essa estratégia seria potencializada com a presença da divisão de área de pastagens. Com isso também seria possível manter áreas sem árvores até que os primeiros núcleos ofereçam suficiente projeção de sombra e um gradiente de porosidade com maior circulação de ar na altura dos animais (Oberschelp et al. 2020). No caso do SSPnu da UFSC, o grupo funcional zero poderia ser suprimido após o estabelecimento das mudas arbóreas para favorecer maior porosidade à movimentação de ar na altura do ambiente de pastoreio. Nos dias de calor extremo, as ocupações dos piquetes com núcleos jovens poderiam ocorrer à noite. Já nos dias de frio extremo, a qualquer momento, pois o efeito quebra-vento dos núcleos seria bem-vindo para o melhor conforto térmico (Brandle et al. 2004).

O plantio de estruturas agroflorestais de abrigo em regiões tropicais tem sido recomendado pelas agências de fomento e deverá ser cada vez mais encorajado diante da perspectiva de ocorrência de eventos climáticos extremos, tanto de frio, quanto de calor, em função das mudanças climáticas mundiais (Weilhammer et al. 2021). Para um melhor entendimento dos efeitos de SSPnu nas variáveis climáticas durante o inverno, serão necessários estudos nessa estação.

## **Conclusões**

As estruturas do SSPnu em fase de implantação interferiram negativamente no conforto térmico de bovinos no verão tanto em dias de céu claro quanto em dias nublados. Esse efeito está relacionado ao contrafeito de quebra-vento observado neste estágio de desenvolvimento das árvores. O contrafeito de quebra-vento foi mais pronunciado nos tratamentos com maior densidade de núcleos nas subáreas entorno do núcleo e internúcleos devido a menor velocidade do vento e ausência da projeção das sombras das árvores jovens. Os dias nublados ofereceram melhor conforto térmico inferido que os dias de céu claro, já que de certa forma a nebulosidade supriu a ausência da sombra das árvores jovens. A presença de nebulosidade pode ser um indicador positivo para a ocupação de áreas de SSPnu em implantação.

## Referências

- Alvarado F et al (2018) The role of livestock intensification and landscape structure in maintaining tropical biodiversity. *Journal of Applied Ecology* 55(1):185-194. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12957>
- Baker TP et al (2021) Temporal, environmental and spatial changes in the effect of windbreaks on pasture microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology* 297:108265. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108265>
- Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S (2015) Fitting linear mixed-effect models using lme4. *J. Stat. Softw.* 67:1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Bento GP, Schmitt Filho AL, & Fanta MR (2020) Silvopastoral systems in Brazil: a systematic review. *Research, Society and Development*, 9(10), e7019109016. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i109016>  
<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/9016/8105>
- Bowman MS et al (2012) Persistence of cattle ranching in the Brazilian Amazon: A spatial analysis of the rationale for beef production. *Land use policy* 29(3):558-568. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.09.009>
- Brandle JR, Hodges L, Zhou XH (2004) Windbreaks in North American agricultural systems. In: *New vistas in agroforestry* 65-78 Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-2424-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-017-2424-1_5)
- Buratto T, Schmitt Filho AL, Sinisgalli PA, Amazonas I, Fantini A (2018). When restoration of agroecosystems generates multiple ecosystem services and increases farmers income, *Proceedings of Ecosystem Service Partnership Regional Conference - Latin America 2018 /ESP LAC2018*. [www.espconference.org/latinamerica2018/wiki/385098/book-of-abstracts#.W-GgHpNKhPY](http://www.espconference.org/latinamerica2018/wiki/385098/book-of-abstracts#.W-GgHpNKhPY), Campinas SP, Brazil. October 22-26, 2018.
- Cleugh HA, Hughes DE (2002) Impact of shelter on crop microclimates: a synthesis of results from wind tunnel and field experiments. *Australian Journal of experimental agriculture* 42(6):679-701. <https://doi.org/10.1071/EA02005>
- Craesmeyer KC, Schmitt Filho AL, Hotzel MJ, Deniz M, Farley J. (2017) Utilização da Sombra por Vacas Lactantes sob Sistema Voisin Silvopastoril no Sul do Brasil. *Cadernos de Agroecologia*, [S.l.] 11(2). ISSN 2236-7934.
- Crutzen PJ (2006) The “anthropocene”. In: *Earth system science in the anthropocene*. Berlin Heidelberg, p. 13-18, Berlin.
- Cubbage F et al (2012) Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. *Agroforestry Systems* 86:303-314. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9482-z>
- Deniz M et al (2019) High biodiversity silvopastoral system as an alternative to improve the thermal environment in the dairy farms. *International Journal of Biometeorology* 63:83-92. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1638-8>
- Deniz M, Schmitt Filho AL, Hötzel MJ, de Sousa KT, Machado Filho LCP, Sinisgalli PA (2020) Microclimate and pasture area preferences by dairy cows under high biodiversity silvopastoral system in Southern Brazil. *International Journal of Biometeorology* 64(11):1877-1887. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01975-0>
- Desjardins RL et al (2012) Carbon footprint of beef cattle. *Sustainability* 12(4):3279-3301. <https://doi.org/10.3390/su4123279>
- Escobedo JF et al (2009) Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy* 86(3):299-309. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.04.013>

- Ford MM et al (2019) Impact of managed woodland grazing on forage quantity, quality and livestock performance: the potential for silvopasture in Central Minnesota, USA. *Agroforestry Systems* 93:67-79. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0098-1>
- Gaughan JB, Mader TL, Holt SM, Lisle A (2008) A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 86(1):226-234. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0305>
- Gaughan JB, Mader TL, Holt SM, Sullivan ML, Hahn GL (2010) Assessing the heat tolerance of 17 beef cattle genotypes. *International Journal of Biometeorology* 54(6):617-627. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0233-4>
- Gosnell H, Charnley S, Stanley P (2020) Climate change mitigation as a co-benefit of regenerative ranching: insights from Australia and the United States. *Interface Focus* 10(5). <https://doi.org/10.1098/rsfs.2020.0027>
- Harvey CA et al (2006) Patterns of animal diversity in different forms of tree cover in agricultural landscapes. *Ecological Applications* 16(5):1986-1999. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[1986:POADID\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[1986:POADID]2.0.CO;2)
- Heck AC (2020) Diversidade e Composição de Formigas no Sistema Silvopastoril com Núcleos: a Reabilitação Ecológica de Agroecossistemas Inspirada na Nucleação Aplicada. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Programa de Pós-Graduação, Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. <https://tede.ufsc.br/teses/PAGR0459-D.pdf>
- Herbut P, Angrecka S, Walczak J (2018) Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle—a review. *International Journal of Biometeorology* 62:2089-2097. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1629-9>
- Hercher-Pasteur J et al (2020) Energetic assessment of the agricultural production system. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 40:1-23. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00627-2>
- Huebner L et al (2022) New approaches: Use of assisted natural succession in revegetation of inhabited arid drylands as alternative to large-scale afforestation. *SN Applied Sciences* 4(3):80-2022. <https://doi.org/10.1007/s42452-022-04951-y>
- Kottek M et al (2006) World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. <http://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Lees JC, Lees AM, GAUGHAN JB (2022) The influence of shade availability on the effectiveness of the Dairy Heat Load Index (DHLI) to predict lactating cow behavior, physiology, and production traits. *International Journal of Biometeorology* 66:289-299. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02186-x>
- Li S et al (2009) Evaluation of thermal stress indices for cattle. In: 2009 Reno, Nevada, June 21-June 24. American Society of Agricultural and Biological Engineers. <https://doi.org/10.13031/2013.27441>
- Machado Filho LCP et al (2021) Voisin rational grazing as a sustainable alternative for livestock production. *Animals*, 11(12):3494. <https://doi.org/10.3390/ani11123494>
- Mader TL, Dahlquist JM, Gaughan JB (1997) Wind protection effects and airflow patterns in outside feedlots. *Journal of Animal Science*, 75(1):26-36. <https://doi.org/10.2527/1997.75126x>
- Mandel R et al (2022) Dairy vs beef production—expert views on welfare of cattle in common food production systems. *Animal* 16(9):100622. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100622>

- Mazzeto AM, Falconer S, Ledgard S (2022) Mapping the carbon footprint of milk production from cattle: A systematic review. *Journal of Dairy Science* 105(12): 9713-9725. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22117>
- Mee JF, Boyle LA (2020) Assessing whether dairy cow welfare is “better” in pasture-based than in confinement-based management systems. *New Zealand Veterinary Journal* 68(3):168-177. <https://doi.org/10.1080/00480169.2020.1721034>
- Mitchell D et al (2018) Revisiting concepts of thermal physiology: predicting responses of mammals to climate change. *Journal of Animal Ecology* 87(4):956-973. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12818>
- Oberschelp J et al (2020) Cortinas forestales: rompevientos y amortiguadoras de deriva de agroquímicos. EEA Concordia. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ediciones INTA. Buenos Aires. ISBN 978-987-8333-42-7
- Olaya-Montes A et al (2021) Restoring soil carbon and chemical properties through silvopastoral adoption in the Colombian Amazon region. *Land Degradation & Development* 32(13):3720-3730. <https://doi.org/10.1002/ldr.3832>
- Parente L et al (2019) Assessing the pasturelands and livestock dynamics in Brazil, from 1985 to 2017: A novel approach based on high spatial resolution imagery and Google Earth Engine cloud computing. *Remote Sensing of Environment* 232:111301. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111301>
- Pent GJ; Fike JH; Kim I (2021) Ewe lamb vaginal temperatures in hardwood silvopastures. *Agroforestry Systems* 95:21-32. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0221-y>
- Pereira EB et al (2017) Atlas brasileiro de energia solar.: Inpe, São José dos Campos. <http://doi.org/10.34024/978851700089>
- Pinillos RG et al (2016) One Welfare – a platform for improving human and animal welfare. *Veterinary Record* 179(16):412-413. <https://doi.org/10.1136/vr.i5470>
- Porfírio-da-Silva V et al (2012) Danos causados por bovinos em diferentes espécies arbóreas recomendadas para sistemas silvipastoris. *Brazilian Journal of Forestry* 32(70):67-76. <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.70.67>
- R Core Team (2023) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org/>
- Renaudeau D et al (2012) Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal* 6(5):707-728. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>
- Rover CM (2019) Diversidade de besouros escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeinae) e remoção de massa fecal em Sistema Silvopastoril com Núcleos. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Programa de Pos-Graduação, Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. <https://tede.ufsc.br/teses/PAGR0431-D.pdf>
- RStudio, Posit Team (2023) Integrated Development Environment for R. Posit Software.
- Souza W et al. (2010) Microclimate in silvipastoral systems with eucalyptus in rank with different heights. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39: 685-694. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000300030>
- Schinato F et al (2023) Microclimate, forage production and carbon storage in a eucalypt-based silvipastoral system. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 344:108290. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108290>
- Schmitt Filho A, Farley J, Alvez J et al (2013) Integrating agroecology with payments for ecosystems services in Santa Catarina’s Atlantic Forest. In: Muradian R,

- Rival L (eds) Governing the provision of Ecosystems services, studies in ecological economics, 4th edn. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 333–355
- Schmitt Filho AL, Fantini AC, Farley J, Sinisgalli P (2017) Nucleation theory inspiring the design of High Biodiversity Silvopastoral System in the Atlantic Forest Biome: ecological restoration, family farm livelihood and agroecology. Anais do VII World Conference on Ecological Restoration - SER 2017, V Congresso Iberoamericano Y del Caribe de Restauracion Ecologica, I Conferencia Brasileira de Restauracao Ecológica. Foz do Iguacu – BR
- Schmitt Filho AL, Fantini A, Sinisgalli P, Farley J, Schmitt L (2018b) Ecological restoration, livelihood and ecosystem services in a smallholder dominated rural landscape. Proceedings of 2018 Conference of New England Branch of Society for Ecological Restoration /SER NE, Southern CT State University, New Haven
- Schmitt Filho AL, Fantini A, Farley J, Sinisgalli P (2018a) High Biodiversity Silvopastoral System: Addressing livelihood, ecosystem services and ecological restoration in Brazil's most endangered Biome, Proceedings of Ecosystem Service Partnership Regional Conference - Latin America 2018 /ESP LAC2018. [www.espconference.org/latinamerica2018/wiki/385098/book-of-abstracts#.W-GgHpNKhPY](http://www.espconference.org/latinamerica2018/wiki/385098/book-of-abstracts#.W-GgHpNKhPY), Campinas SP, Brazil.
- Schmitt Filho AL, Farley J (2020) Transdisciplinary case approaches to the ecological restoration of rainforest ecosystems. In: Fuders F, Donoso P (eds) Ecological economic and socio ecological strategies for forest conservation: a transdisciplinary approach with special focus on Chile and Brazil. Springer international publishing AG, Zug ISBN 978-3-030-35378-0.eB ISBN 978-3-030-35379-7
- Schmitt Filho AL; Kretzer SG; Farley J; Kazama DC; Sinisgalli PA; Deniz M (2023) Applied nucleation under high biodiversity silvopastoral system as an adaptive strategy against microclimate extremes in pasture areas. International Journal of Biomethereology. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02488-2>
- Silva AS et al (2020) Estoques de carbono e nitrogênio no Sistema Silvopastoril com Núcleos: a nucleação aplicada viabilizando a pecuária de baixo carbono. Research, Society and Development 9(10): e2799108589-e2799108589. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8589>
- Simioni GF et al (2022) Response of birds to high biodiversity silvopastoral systems: Integrating food production and biodiversity conservation through applied nucleation in southern Brazil. Agriculture, Ecosystems & Environment 324:107709. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107709>
- Souza W et al. (2010) Microclimate in silvipastoral systems with eucalyptus in rank with different heights. Revista Brasileira de Zootecnia 39: 685-694. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000300030>
- Stanley PL et al (2018) Impacts of soil carbon sequestration on life cycle greenhouse gas emissions in Midwestern USA beef finishing systems. Agricultural Systems 162:249-258. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.02.003>
- Teague R, Kreuter U (2020) Managing grazing to restore soil health, ecosystem function, and ecosystem services. Frontiers in Sustainable Food Systems 4:157. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.534187>
- Thornton P, Nelson G, Mayberry D, Herrero M. (2021) Increases in extreme heat stress in domesticated livestock species during the twenty-first century. Global Change Biology 27(22):5762-5772. <https://doi.org/10.1111/gcb.15825>

- Tucker CB, Jensen MB, de Passillé AM, Hänninen L, Rushen J (2021). Invited review: Lying time and the welfare of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 104(1):20-46. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18074>
- Van laer E et al (2015) Effect of summer conditions and shade on behavioural indicators of thermal discomfort in Holstein dairy and Belgian Blue beef cattle on pasture. *Animal* 9(9):1536-1546. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000804>
- Weilhammer V et al (2021) Extreme weather events in Europe and their health consequences—A systematic review. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 233:113688. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113688>
- Wrege et al (2012) Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Embrapa Clima Temperado, Embrapa Florestas, Pelotas e Colombo ISBN 978-85-7383-519-9



## 6 CAPÍTULO 4

### Considerações finais

O presente estudo foi desenvolvido em uma unidade de Sistema Silvopastoril com Núcleos de longa duração para fins didáticos e experimentais. Essa estrutura possibilita ao grupo de pesquisa abordagens simultâneas com diferentes enfoques técnicos com a finalidade de avaliar e adaptar o SSPnu, em um processo dinâmico de gestão e manejo, às especificidades ecológicas e edafoclimáticas locais. A proposição da adoção e do estudo de Sistemas Silvopastoris com Núcleos extrapola, portanto, o foco metodológico no microclima e no conforto térmico sob a perspectiva do interesse zootécnico, que foi o objeto deste trabalho de pesquisa. A restauração e a reabilitação das paisagens rurais produtivas (ou agroecossistemas) com a implantação de estruturas tróficas mais semelhantes às das condições climáticas dos biomas é uma demanda global que poderá minimizar o antagonismo entre a produção primária e os serviços ecossistêmicos.

Este trabalho utilizou uma metodologia de análise de corte transversal na fase inicial de desenvolvimento das estruturas arbóreas do sistema silvopastoril. O desenvolvimento de espécies silvícolas é lento, considerando os ciclos habituais agropecuários. A grande maioria dos trabalhos se ocupou em investigar os efeitos dos sistemas silvopastoris consolidados, ignorando um efeito que pode impactar por alguns anos o ambiente pastoril até o estabelecimento das estruturas que bloqueiem de forma consistente a radiação solar.

O SSPnu como ferramenta de produção agropecuária regenerativa possui potencial para reverter processos como a degradação de pastagens e do solo, que são encontrados em extensas áreas do território brasileiro. Condições como essas, quando ocorrem em regiões ventosas e com extremos de temperaturas, podem intensificar os desafios da restauração e reabilitação dos agroecossistemas. Assim, a facilitação sucessional oferecida pela nucleação juntamente com a implantação de estruturas provisórias de quebra-vento, que neste projeto chamamos de grupo funcional zero, são técnicas que aumentam a chance de êxito do processo de implantação dos SSPnu. Porém,

o período de crescimento das espécies arbóreas entre o plantio e o provisionamento de sombra, ou bloqueio de radiação, determina influências na movimentação do ar no ambiente pastoril.

A troca de calor por convecção em pastagens sem árvores, ou com árvores em fase de crescimento sem oferta de sombra, é um dos principais mecanismos de arrefecimento dos animais em condições de estresse por calor. O SSPnu reduziu a velocidade do vento ocasionando aumento de temperatura e piora do conforto térmico inferido pelo ICT com relação à pastagem sem árvores. Esse efeito que chamamos de contraefeito de quebra-vento foi mais evidente nas proximidades dos núcleos e no tratamento com maior densidade de núcleos (10%) por área. A investigação de dois níveis de estandes arbóreos demonstrou que, nessa fase de desenvolvimento, há um gradiente de efeito microclimático claro entre os tratamentos SSPnu5 e SSPnu10. Hipotetizamos, para estudos futuros, que quanto maior o “preço” a se pagar na fase de crescimento, em prejuízo do conforto térmico, em função da área de núcleos implantada, maior será o benefício futuro quando da plenitude das estruturas arbóreas.

A avaliação dos dias nublados, por óbvio que pareça, apresentou melhores condições de conforto térmico. Nessa condição de nebulosidade, o contraefeito de quebra-vento também foi evidenciado, porém os tratamentos apresentaram condições de conforto térmico inferido mais apropriadas aos preceitos de bem-estar de bovinos de acordo com a classificação de Gaughan et al., (2010). Essa informação, juntamente com o fato de que sistemas silvipastoris geralmente são adotados em propriedades com outras tecnologias de intensificação produtiva como o pastoreio rotativo, nos permite sugerir que as áreas com SSPnu em crescimento sejam ocupadas em dias de alta nebulosidade. Essa estratégia de refinamento de manejo mitigaria os prejuízos ao conforto térmico ocasionados pelo contraefeito de quebra-vento.

Eventos climáticos extremos e atípicos são cada vez mais frequentes. O uso de estruturas de abrigo tem sido encorajado por agências de fomento em regiões de clima tropical, não apenas pelos seus efeitos esperados de arrefecimento térmico nos meses quentes. Mas, também para evitar mortalidade em ondas de frio intenso que afetam principalmente as raças índicas. SSPnu pode ser uma ferramenta interessante nesse sentido, já

atuando durante o período de crescimento por meio do contraefeito de quebra-vento. Por outro lado, também devido a esse efeito, a adoção de SSPnu em climas temperados demanda atenção durante os eventos de calor extremo nos meses de verão.

## REFERÊNCIAS

- AFSAL, A., SEJIAN, V., BAGATH, M., KRISHNAN, G., DEVARAJ, C., BHATTA, R. Heat Stress and Livestock Adaptation: Neuro-endocrine Regulation. **Int J Vet Anim Med**; v 1(2):108. 2018.
- ALMEIDA, RG de et al. Sistemas agrossilvipastoris: benefícios técnicos, econômicos, ambientais e sociais. **Encontro Sobre Zootecnia De Mato Grosso Do Sul**, v. 7, p. 1-10, 2010.
- AMÉNDOLA, L. et al. Social behaviour of cattle in tropical silvopastoral and monoculture systems. **Animal**, v. 10, n. 5, p. 863-867, 2016.
- AZEVÊDO, Danielle Maria Machado Ribeiro Azevêdo; ALVES, Arnaud Azevêdo. **Bioclimatologia aplicada à produção de bovinos leiteiros nos trópicos**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009.
- BAGATH, M. et al. The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. **Research in veterinary science**, 2019.
- BALBINO, Luiz Carlos et al. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. 2011.
- BATTISTI, Luiz Fernando Zin et al. Soil chemical attributes in a high biodiversity silvopastoral system. **Acta Agronômica**, v. 67, n. 4, p. 486-493, 2018.
- BATTISTI, Luiz Fernando Zin et al. Atributos físicos do solo em um sistema silvipastoril com núcleos arbóreos no estado de santa catarina. **Holos**, v. 6, p. 1-16, 2020.
- BAUMGARD, Lance H.; RHOADS JR, Robert P. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. **Annu. Rev. Anim. Biosci.**, v. 1, n. 1, p. 311-337, 2013.
- Bento GP, Schmitt Filho AL, & Faima MR (2020) Silvopastoral systems in Brazil: a systematic review. **Research, Society and Development**, 9(10), e7019109016.
- BERNABUCCI, Umberto et al. Markers of oxidative status in plasma and erythrocytes of transition dairy cows during hot season. **Journal of dairy science**, v. 85, n. 9, p. 2173-2179, 2002.
- BERNARDINO, Fernando Salgado; GARCIA, Rasmô. Sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p. 77, 2009.
- BRANDLE, James R.; HODGES, Laurie; ZHOU, Xinhua H. Windbreaks in North American agricultural systems. In: **New vistas in agroforestry**. Springer, Dordrecht, 2004. p. 65-78.
- BRAUN, Theodore P.; MARKS, Daniel L. The regulation of muscle mass by endogenous glucocorticoids. **Frontiers in physiology**, v. 6, p. 12, 2015.

BROOM, Donald M. Animal welfare: an aspect of care, sustainability, and food quality required by the public. **Journal of veterinary medical education**, v. 37, n. 1, p. 83-88, 2010.

BUFFINGTON, D. E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, v. 24, n. 3, p. 711-0714, 1981.

Buratto, T., Schmitt Filho, A.L., Sinisgalli, P.A., Amazonas, I., Fantini, A., 2018. When restoration of agroecosystems generates multiple ecosystem services and increases farmers income, **Proceedings of Ecosystem Service Partnership Regional Conference - Latin America 2018 /ESP LAC2018**. [www.esconference.org/latinamerica2018/wiki/385098/book-of-abstracts#.W-GgHpNKhPY](http://www.esconference.org/latinamerica2018/wiki/385098/book-of-abstracts#.W-GgHpNKhPY), Campinas SP, Brazil. October 22-26, 2018.

CARDOSO, Clarissa Silva et al. Dairy Heifer motivation for access to a shaded area. **Animals**, v. 11, n. 9, p. 2507, 2021.

CLEUGH, H. A. et al. The Australian National Windbreaks Program: overview and summary of results. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 42, n. 6, p. 649-664, 2002.

COBLE, Adam P. et al. Influence of forest-to-silvopasture conversion and drought on components of evapotranspiration. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 295, p. 106916, 2020.

Craesmeyer, K.C., Schmitt Filho, A.L., Hotzel, M.J., Diniz, M., Farley, J. Utilização da Sombra por Vacas Lactantes sob Sistema Voisin Silvopastoril no Sul do Brasil. **Cadernos de Agroecologia**, [S.l.], v. 11, n. 2, jan. 2017. ISSN 2236-7934.

CUBBAGE, Frederick et al. Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. **Agroforestry Systems**, v. 86, n. 3, p. 303-314, 2012.

DENIZ, Matheus et al. High biodiversity silvopastoral system as an alternative to improve the thermal environment in the dairy farms. **International journal of biometeorology**, v. 63, n. 1, p. 83-92, 2019.

DENIZ, Matheus et al. Microclimate and pasture area preferences by dairy cows under high biodiversity silvopastoral system in Southern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 11, p. 1877-1887, 2020.

DE RENSIS, Fabio; SCARAMUZZI, Rex John. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow—a review. **Theriogenology**, v. 60, n. 6, p. 1139-1151, 2003.

FORD, Madeline M. et al. Impact of managed woodland grazing on forage quantity, quality and livestock performance: the potential for silvopasture in Central Minnesota, USA. **Agroforestry systems**, v. 93, n. 1, p. 67-79, 2019.

FRANKE, Idésio Luiz; FURTADO, Sérvulo Casas. Sistemas silvipastoris: fundamentos e aplicabilidade. 2001.

GAUGHAN, J. B. et al. A new heat load index for feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 1, p. 226-234, 2008.

GAUGHAN, J. B. et al. Review of current assessment of cattle and microclimate during periods of high heat load. **Anim. Prod. Aust**, v. 24, p. 77-80, 2002.

GIRO, Alessandro et al. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. **Science of the Total Environment**, v. 684, p. 587-596, 2019.

GÓMEZ-CIFUENTES, Andrés et al. Tree retention in cattle ranching systems partially preserves dung beetle diversity and functional groups in the semideciduous Atlantic forest: The role of microclimate and soil conditions. **Basic and Applied Ecology**, v. 34, p. 64-74, 2019.

GONZALEZ-RIVAS, Paula A. et al. Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. **Meat Science**, v. 162, p. 108025, 2020.

Heck AC (2020) Diversidade e Composição de Formigas no Sistema Silvopastoril com Núcleos: a Reabilitação Ecológica de Agroecossistemas Inspirada na Nucleação Aplicada. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Programa de Pos-Graduação, Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. <https://tede.ufsc.br/teses/PAGR0459-D.pdf>

HERBUT, Piotr; ANGRECKA, Sabina; WALCZAK, Jacek. Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle—a review. **International journal of biometeorology**, v. 62, n. 12, p. 2089-2097, 2018.

JEELANI, Rakhshan et al. Reassessment of temperature-humidity index for measuring heat stress in crossbred dairy cattle of a sub-tropical region. **Journal of thermal biology**, v. 82, p. 99-106, 2019.

IPCC, 2019 In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. <https://www.ipcc.ch/srccl/>

KADIM, I. T. et al. Effects of transportation at high ambient temperatures on physiological responses, carcass and meat quality characteristics of three breeds of Omani goats. **Meat Science**, v. 73, n. 4, p. 626-634, 2006.

KARKI, U.; GOODMAN, M. S. Landscape use by cattle in silvopasture versus open pasture. **Agrofor Syst**, v. 78, p. 159-168, 2010.

LEES, J. C.; LEES, A. M.; GAUGHAN, J. B. Developing a heat load index for lactating dairy cows. **Animal Production Science**, v. 58, n. 8, p. 1387-1391, 2018.

LEES, J. C.; LEES, A. M.; GAUGHAN, J. B. The influence of shade availability on the effectiveness of the Dairy Heat Load Index (DHLI) to predict lactating cow behavior, physiology, and production traits. **International Journal of Biometeorology**, v. 66, n. 2, p. 289-299, 2022.

LIN, X.-J. et al. Influence of windbreaks on livestock odour dispersion plume in the field. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 116, n. 3-4, p. 263-272, 2006.

MACHADO FILHO, Luiz Carlos Pinheiro et al. Voisin rational grazing as a sustainable alternative for livestock production. **Animals**, v. 11, n. 12, p. 3494, 2021.

MACHADO, Luiz Carlos Pinheiro. Pastoreio Racional Voisin: tecnologia para o terceiro milênio. **Porto Alegre: Ed. Cinco Continentes**, 2004.

MADER, Terry L. et al. Shade and wind barrier effects on summertime feedlot cattle performance. **Journal of Animal Science**, v. 77, n. 8, p. 2065-2072, 1999.

MADER, Terry L.; DAVIS, M. S.; BROWN-BRANDL, Tami. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. **Journal of animal science**, v. 84, n. 3, p. 712-719, 2006.

MAGDUB, A.; JOHNSON, H. D.; BELYEA, R. L. Effect of environmental heat and dietary fiber on thyroid physiology of lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v. 65, n. 12, p. 2323-2331, 1982.

MARAI, I. F. M. et al. Physiological traits as affected by heat stress in sheep—a review. **Small ruminant research**, v. 71, n. 1-3, p. 1-12, 2007.

MITCHELL, Duncan et al. Revisiting concepts of thermal physiology: predicting responses of mammals to climate change. **Journal of Animal Ecology**, v. 87, n. 4, p. 956-973, 2018.

MONTEIRO, A. P. A. et al. In utero heat stress decreases calf survival and performance through the first lactation. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 10, p. 8443-8450, 2016.

MUME, Ibsa Dawid; WORKALEMAHU, Sisay. Review on Windbreaks Agroforestry as a Climate Smart Agriculture Practices. **American Journal of Agriculture and Forestry**, v. 9, n. 6, p. 342-347, 2021.

NORDLUND, K. V. et al. Thermodynamics of standing and lying behavior in lactating dairy cows in freestall and parlor holding pens during conditions of heat stress. **Journal of dairy science**, v. 102, n. 7, p. 6495-6507, 2019.

OBERSCHELP, Javier et al. Cortinas forestales: rompevientos y amortiguadoras de deriva de agroquímicos. **EEA Concordia. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ediciones INTA. Buenos Aires**, 2020.

OLIVEIRA, Márcia Cristina de S. et al. Differential Haematobia irritans infestation levels in beef cattle raised in silvopastoral and conventional pasture systems. **Veterinary parasitology**, v. 246, p. 96-99, 2017.

OREFICE, Joseph et al. Forage productivity and profitability in newly-established open pasture, silvopasture, and thinned forest production systems. **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 1, p. 51-65, 2019.

OSORIO, Raúl J.; BARDEN, Charles J.; CIAMPITTI, Ignacio A. GIS approach to estimate windbreak crop yield effects in Kansas–Nebraska. **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 4, p. 1567-1576, 2019.

PACIULLO, Domingos Sávio Campos et al. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v. 141, n. 2-3, p. 166-172, 2011.

PANAGAKIS, P. Black-globe temperature effect on short-term heat stress of dairy ewes housed under hot weather conditions. **Small Ruminant Research**, v. 100, n. 2-3, p. 96-99, 2011.

PENT, Gabriel J. Over-yielding in temperate silvopastures: a meta-analysis. **Agroforestry Systems**, v. 94, n. 5, p. 1741-1758, 2020.

PEZZOPANE, José Ricardo Macedo et al. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. **Journal of thermal biology**, v. 79, p. 103-111, 2019.

PORFÍRIO-DA-SILVA, Vanderley et al. Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras: implantação e manejo. **Colombo: Embrapa Florestas**, 2009.

POTT, A.; POTT, V. J. Plantas Nativas Potenciais para Sistemas Agroflorestais em Mato Grosso do Sul. In: SEMINÁRIO SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Campo Grande. 2003. **Anais...** Campo Grande: Embrapa, 2003.

QUAM, Vernon et al. Windbreaks for livestock operations. **Papers in Natural Resources**, p. 123, 1994.

RENAUDEAU, David; LECLERCQ-SMEKENS, Michèle; HERIN, Michel. Differences in skin characteristics in European (Large White) and Caribbean (Creole) growing pigs with reference to thermoregulation. **Animal Research**, v. 55, n. 3, p. 209-217, 2006.

RING, Michael J. et al. Causes of the global warming observed since the 19th century. *Atmospheric and Climate sciences*, v. 2, n. 04, p. 401, 2012.

Rover CM (2019) Diversidade de besouros escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeinae) e remoção de massa fecal em Sistema Silvopastoril com Núcleos. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Programa de Pós-Graduação, Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. <https://tede.ufsc.br/teses/PAGR0431-D.pdf>

SANTOS, Claudinei Oliveira dos et al. Assessing the wall-to-wall spatial and qualitative dynamics of the Brazilian pasturelands 2010–2018, based on the analysis of the Landsat data archive. **Remote Sensing**, v. 14, n. 4, p. 1024, 2022.

SCHMITT, A. L. et al. Integrating agroecology with payments for ecosystem services in Santa Catarina's Atlantic Forest. In: **Governing the Provision of Ecosystem Services**. Springer, Dordrecht, 2013. p. 333-355.

SCHMITT FILHO, A. L. et al. Nucleation theory inspiring the design of High Biodiversity Silvopastoral System in the Atlantic Forest Biome: ecological restoration, family farm livelihood and agroecology. In: **World Conference on Ecological Restoration. Foz do Iguaçu PR. 2017. p. 450.**

Schmitt Filho, A.L., Fantini, A., Farley, J., Sinisgalli, P., 2018a. High Biodiversity Silvopastoral System: Addressing livelihood, ecosystem services and ecological restoration in Brazil's most endangered Biome, **Proceedings of Ecosystem Service Partnership Regional Conference - Latin America 2018 /ESP LAC2018.** [www.espcconference.org/latinamerica2018/wiki/385098/book-of-abstracts#.W-GgHpNKhPY](http://www.espcconference.org/latinamerica2018/wiki/385098/book-of-abstracts#.W-GgHpNKhPY), Campinas SP, Brazil.

Schmitt Filho AL, Fantini A, Sinisgalli P, Farley J, Schmitt L Ecological restoration, livelihood and ecosystem services in a smallholder dominated rural landscape. In: Proceedings of 2018b **Conference of New England Branch of Society for Ecological Restoration /SER NE**, Southern CT State University, New Haven CT USA, October 11-13, **2018a.** [https://6zvjw1i9d632in9ii1izgap9-wpengine.netdna-ssl.com/newengland/files/2018/10/Abstracts\\_wBios\\_SER\\_10.07.18-2.pdf](https://6zvjw1i9d632in9ii1izgap9-wpengine.netdna-ssl.com/newengland/files/2018/10/Abstracts_wBios_SER_10.07.18-2.pdf)

SCHMITT FILHO, A. L.; J. FARLEY . Transdisciplinary case approaches to the ecological restoration of rainforest ecosystems.. In: Felix Fuders and Pablo Donoso. (Org.). Ecological economic and socio ecological strategies for forest conservation: A transdisciplinary approach with special focus on Chile and Brazil. 1ed.Zug Switzerland: Springer International Publishing AG, 2020, v. 1, p. 165-192.

SCHMITT FILHO, Abdon L. et al. Applied nucleation under high biodiversity silvopastoral system as an adaptive strategy against microclimate extremes in pasture areas. **International Journal of Biometeorology**, p. 1-14, 2023.

SCHÜTZ, Karin E.; COX, Neil R.; MATTHEWS, Lindsay R. How important is shade to dairy cattle? Choice between shade or lying following different levels of lying deprivation. **Applied animal behaviour science**, v. 114, n. 3-4, p. 307-318, 2008.

SCHÜTZ, K. E.; COX, N. R.; TUCKER, C. B. A field study of the behavioral and physiological effects of varying amounts of shade for lactating cows at pasture. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 6, p. 3599-3605, 2014.

SILVA, A. S. et al. Estoques de carbono e nitrogênio no Sistema Silvopastoril com Núcleos: a nucleação aplicada viabilizando a pecuária de baixo carbono. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e2799108589-e2799108589, 2020.

Simioni GF, Schmitt Filho AL, Joner F et al (2022) Agriculture, ecosystems and environment response of birds to high biodiversity silvopastoral systems: integrating food production and biodiversity conservation through applied nucleation in southern Brazil. **Agric Ecosyst Environ** 324:107709.

SIMROTH, J. C. et al. A survey to describe current cattle feedlot facilities in the High Plains region of the United States. *The Professional Animal Scientist*, v. 33, n. 1, p. 37-53, 2017.

SMITH, Matthew M. et al. Windbreaks in the United States: a systematic review of producer-reported benefits, challenges, management activities and drivers of adoption. **Agricultural Systems**, v. 187, p. 103032, 2021.

SMITH, Matthew M. et al. Silvopasture in the USA: A systematic review of natural resource professional and producer-reported benefits, challenges, and management activities. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 326, p. 107818, 2022.

ŠPINKA, Marek; WEMELSFELDER, Françoise. Environmental challenge and animal agency. 2011.

STEFFEN, Will et al. The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature. **Ambio-Journal of Human Environment Research and Management**, v. 36, n. 8, p. 614-621, 2007.

TAO, S. et al. Effect of heat stress during the dry period on mammary gland development. **Journal of dairy science**, v. 94, n. 12, p. 5976-5986, 2011.

THOM, Earl Crabill. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, n. 2, p. 57-61, 1959.

THORNTON, Philip et al. Increases in extreme heat stress in domesticated livestock species during the twenty-first century. **Global Change Biology**, v. 27, n. 22, p. 5762-5772, 2021.

WANG, Xiaoshuai et al. A predictive model of equivalent temperature index for dairy cattle (ETIC). **Journal of Thermal Biology**, v. 76, p. 165-170, 2018.

WEST, Joe W. Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow. **Journal of animal science**, v. 77, n. suppl\_2, p. 21-35, 1999.

WEST, Joe W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. **Journal of dairy science**, v. 86, n. 6, p. 2131-2144, 2003.

## ANEXO A – RESUMO EXPANDIDO

22 a 25  
Novembro  
2021

YOUTUBE.COM/EMBRAPA

**Confiabilidade entre observadores de comportamento de bovinos em sistema silvipastoril com núcleos em fase inicial de implantação.**

*Reliability among cattle behaviour observers in a silvopastoral system with nuclei in the initial phase of implantation.*

MACHADO, Thiago Mombach Pinheiro<sup>1</sup>; SCHMITT FILHO, Abdon Luiz<sup>2</sup>; DAROS, Ruan Rolnei<sup>3</sup>; DENIZ, Matheus<sup>4</sup>; MACHADO FILHO, Luiz Carlos Pinheiro<sup>5</sup>; KAZAMA, Daniele Cristina da Silva<sup>6</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, [thiago.mpm@ufsc.br](mailto:thiago.mpm@ufsc.br); <sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, [abdon.filho@ufsc.br](mailto:abdon.filho@ufsc.br); <sup>3</sup> Pontifícia Universidade Católica do Paraná, [r.daros@pucpr.br](mailto:r.daros@pucpr.br); <sup>4</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [matheus-utfpr@hotmail.com](mailto:matheus-utfpr@hotmail.com); <sup>5</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, [pinheiro.machado@ufsc.br](mailto:pinheiro.machado@ufsc.br); <sup>6</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, [daniele.kazama@ufsc.br](mailto:daniele.kazama@ufsc.br).

**Eixo temático: Desenho e manejo de agroecossistemas de base ecológica e em transição.**

**Resumo**

O projeto objetiva investigar os efeitos do Sistema Silvipastoril com Núcleos (SSPNúcleos) em fase inicial de implantação no conforto térmico, comportamento e bem-estar de bovinos. Entretanto, existe um desafio na condução da observação direta do comportamento dos animais em sistemas Silvipastoris. Este estudo avaliou a confiabilidade entre observadores de comportamento de bovinos em SSPnúcleos com 10% da área de pastagem com núcleos arbóreos. Realizaram-se as análises de confiabilidade entre observadores para comportamentos e sua relação com a permanência em áreas de sol e sombra e proximidade aos núcleos. Utilizou-se o R, versão 4.1.0, software RStudio, pacote irr. A confiabilidade resultou perfeita para os dados comportamentais qualitativos e excelente para o dado comportamental quantitativo (número de interações agonísticas). Os núcleos arbóreos não dificultaram a observação direta do comportamento bovino e a equipe está apta a coletar os dados das próximas etapas do projeto.

**Palavras-chave:** agricultura regenerativa; ambiência; agroecologia; bem-estar animal.

**Keywords:** regenerative agriculture; ambience; agroecology, animal welfare.

**Introdução**

Os agroecossistemas pecuários brasileiros caracterizam-se, predominantemente, por desenhos em que os componentes arbóreos são escassos. Isso ocorre em função do avanço das fronteiras agropecuárias para regiões originalmente florestais, com consequente desmatamento (Fearnside, 2006; Lapola et al., 2013), ou pelo desenvolvimento das atividades pecuárias nas áreas de campos (Menezes et al., 2018).

A intervenção mínima nos agroecossistemas e o uso de espécies zootécnicas adaptadas possibilitam a eficiência ambiental em sistemas de produção agroecológicos (Francis et al., 2008). Almeja-se, assim, obter-se produtividade e a manutenção dos serviços ecossistêmicos em agroecossistemas que não serão indutores de mudanças climáticas (Dumont et al., 2012).

O conjunto de técnicas produtivas agroecológicas objeto deste estudo consiste no Sistema Silvipastoril com Núcleos (SSPNúcleos). Utilizam-se preferencialmente espécies nativas integrando conceitos de restauração e reabilitação ecológica ao sistema produtivo.

O SSPNúcleos é composto por núcleos de 25 m<sup>2</sup> dispostos equidistantemente nas áreas de pastoreio ocupando de 5 a 10% da área de pastagem, com uma projeção de sombra de 30 a 40%, dependendo da poda. Cada núcleo é composto por 20 árvores nativas, quatro bananeiras, além das ervas e arbustos iniciais e o sub-bosque de pastagem naturalizada polifítica. A diversidade pode variar entre 40 e 50 espécies arbóreas nativas por hectare, classificadas em cinco grupos funcionais que se complementam para o estabelecimento dos núcleos arbóreos. Estes se constituem em pequenas agroflorestas sucessionais com o objetivo de produzir sombra para os animais a partir do terceiro ano, produtos florestais não madeireiros e restauração ecológica dos agroecossistemas. A utilização de espécies nativas é condição *sine qua non*, pois compõem a biodiversidade local e são adaptadas à fauna, ao clima e ao solo (Schmitt Filho et al., 2017).

Estudos comportamentais são utilizados, entre outros propósitos, para estabelecer indicadores de eficiência de agroecossistemas pecuários. A precisão, a acurácia e a estabilidade da coleta de dados por observadores determinará quanto da variância dos verdadeiros escores é causada pelo erro de concordância entre os observadores (Hallgren, 2012). O treinamento da equipe e a posterior aferição da confiabilidade entre observadores é condição essencial em estudos etológicos. Especialmente em uma área experimental em que há barreiras físicas (elementos arbóreos agroflorestais) para a observação visual direta, onde a captura digital de imagens é dificultada, pois os observadores devem se movimentar constantemente para obterem as melhores perspectivas.

O objetivo geral do projeto é investigar os efeitos do SSPNúcleos em fase inicial de implantação no conforto térmico, ambiência, bem-estar e comportamento de bovinos a pasto estabelecendo métricas de avaliação de ambiência para um projeto de longo prazo. O objetivo específico desta fase do projeto foi executar um piloto a campo para fazermos uma análise de confiabilidade entre observadores.

### **Metodologia**

O experimento foi realizado no Biotério de Bovinos da Fazenda Experimental da Ressacada da UFSC, no município de Florianópolis. Este projeto possui aprovação pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Santa Catarina, protocolo nº 3473220420.

A área experimental permanente é composta por 24 piquetes de 2500 m<sup>2</sup> cada, divididos em três tratamentos de oito piquetes. Quais sejam: tratamento piquetes sem árvores; tratamento com cinco núcleos por piquete (5% da área ocupada por núcleos); e tratamento dez núcleos por piquete (10% da área ocupada por núcleos).

Algumas subáreas foram determinadas nos piquetes, pois foram referências para localização de animais nas observações de comportamento e para as coletas de dados. As subáreas são: área sem acesso do animais dentro de cada núcleo arbóreo agroflorestal (0%, 5% ou 10% da área); entorno do núcleo que será uma área fixa com 2,5 m ao redor dos núcleos; pleno sol que será a área sem sombra entre os núcleos e fora do entorno dos núcleos. Registrou-se a permanência dos animais na sombra ou no sol quando no entorno dos núcleos, única área passível de ser sombreada e com sombra móvel - já que a sombra se desloca do oeste para o leste durante o dia pela face norte dos núcleos. Também registrou-se quando os animais se encontravam no entorno do bebedouro, em um raio de 2,5 m ao redor do bebedouro.

O estudo das variáveis etológicas compreendeu as interações sócio-positivas, interações sócio-negativas (agonísticas), mineralização e consumo de água. Essas observações foram feitas de forma contínua das 09:00h às 18:00h. Os comportamentos de permanência ao redor do bebedouro, ruminação, descanso em estação, descanso em decúbito, pastoreio e permanência na sombra foram registrados através de observações instantâneas (*scans*) a cada 10 minutos (Altmann, 1974).

O projeto piloto consistiu em ocupar um piquete do tratamento com 10% da área ocupada por núcleos com um grupo de 12 animais por um dia e realizar as coletas de dados previstas, com toda a equipe (cinco observadores). Houve um treinamento a campo para o preenchimento das planilhas, para a identificação dos comportamentos e para a correta localização dos animais nas subáreas. Cada página de planilha foi estruturada para registrar por uma hora tanto os comportamentos observados continuamente quanto aqueles observados por *scans* (seis *scans* por hora). Os observadores foram previamente orientados sobre as siglas utilizadas para a descrição dos comportamentos e das subáreas. Antes do início dos registros do teste de confiabilidade, foram realizadas observações em conjunto até que todos estivessem seguros e sem dúvidas com relação às planilhas, aos comportamentos e à localização dos animais. Optou-se por executar o projeto piloto em um piquete do tratamento com maior densidade de núcleos (10% da área com núcleos), pois esse representa a situação com maior dificuldade para a visualização dos comportamentos e localização dos animais.

Foram tabulados e analisados para confiabilidade entre observadores os dados de comportamentos dos animais, permanência em áreas de sol e sombra, permanência nas subáreas e de interações agonísticas entre os animais. A análise de confiabilidade/ reprodutibilidade demonstra o grau de capacidade que dois ou mais observadores possuem para diferenciar sujeitos, objetos ou situações em condições similares de observação. Essa análise corrige para a concordância ao acaso (Kottner et al., 2011). A análise dos dados foi realizada através do teste do Coeficiente de Kappa, pois trata-se de variáveis categóricas nominais (qualitativas). Cinco observadores foram treinados e avaliados. Entre os diferentes coeficientes de Kappa, o indicado para a análise de dados de observações de mais de dois observadores é o coeficiente de Kappa Fleiss (Hallgren, 2012). Já os dados do número de interações agonísticas entre os animais foram avaliados pelo teste de

Coefficiente de Correlação Intraclasse (ICC), pois a variável é quantitativa discreta e este teste também permite a avaliação de mais de dois observadores simultaneamente (Hallgren, 2012). Para tanto, utilizou-se o R, versão 4.1.0, através do software RStudio, pacote irr (Hallgren, 2012).

### Resultados e Discussão

Os resultados de confiabilidade/ reprodutibilidade entre observadores para as variáveis categóricas nominais e para a variável quantitativa discreta estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise de confiabilidade interobservadores de comportamentos, de permanência em subáreas, permanência ao sol ou sombra e número de interações agonísticas.

Variável observada	Teste	Valor	Intervalo de confiança 95%	Valor de p
Comportamentos	Kappa Fleiss	K = 0.95	0.946<K<0.969	<0,001
Subáreas	Kappa Fleiss	K = 1.00	0.960<K<0.990	<0,001
Sol ou sombra	Kappa Fleiss	K = 0.975	0.981<K<1.018	<0,001
Interações agonísticas	ICC	ICC = 0.852	0.787<ICC<0.904	<0,001

Fonte: os autores.

A interpretação dos resultados dos testes de confiabilidade é realizada através da categorização dos valores dos coeficientes de Kappa e ICC. Os resultados foram enquadrados na categoria perfeita confiabilidade ( $0.81 \leq k \leq 1.00$ ) para os dados qualitativos (McHugh, 2012) e como excelente confiabilidade para os dados quantitativos ( $ICC=0,75-1.00$ ), (Hallgren, 2012).

Durante as coletas de dados a principal dificuldade encontrada foi a necessidade de movimentação do observador no entorno da área experimental com os núcleos. Indicamos que o observador esteja atento e sempre buscando alguma perspectiva para a visualização de todos os animais simultaneamente.

### Conclusões

A equipe está apta a realizar as observações diretas de comportamento em SSPnúcleos. A complexidade espacial do sistema não prejudicou a qualidade das observações comportamentais.

### Agradecimentos

Este projeto é financiado pelo CNPq através do "Analyzing Ecosystem Services from Agroecology in the Atlantic Forest: a Participatory Modeling Approach (PVE / CNPq 71/2015)" no âmbito do PROCAM/USP, do Laboratório de Sistemas Silvopastoris e Restauração Ecológica da UFSC e do PPGA/UFSC. O Estudo contou com o apoio da CAPES e do GUND INSTITUTE FOR ENVIRONMENT da University of Vermont GUND IE/UVM EUA.

### Referências bibliográficas

Cadernos de Agroecologia – ISSN 2236-7934 – V. 00, N. 0, Xxx.

ALTMANN, J. Observational study of behavior: sampling methods. **Behaviour**, v. 49, n. 3, p. 227-266, 1974.

DUMONT, B. et al. Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. **animal**, v. 7, n. 6, p. 1028-1043, 2013.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta amazônica**, v. 36, p. 395-400, 2006.

FRANCIS, C. et al. Agroecology: The ecology of food systems. **Journal of sustainable agriculture**, v. 22, n. 3, p. 99-118, 2003.

GIRO, A. et al. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. **Science of the Total Environment**, v. 684, p. 587-596, 2019.

HALLGREN, K. A. Computing inter-rater reliability for observational data: an overview and tutorial. **Tutorials in quantitative methods for psychology**, v. 8, n. 1, p. 23, 2012.

KOTTNER, J. et al. Guidelines for reporting reliability and agreement studies (GRRAS) were proposed. *International journal of nursing studies*, v. 48, n. 6, p. 661-671, 2011.

LAPOLA, D. M. et al. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature climate change**, v. 4, n. 1, p. 27-35, 2014.

MCHUGH, M. L. Interrater reliability: the kappa statistic. **Biochemia medica**, v. 22, n. 3, p. 276-282, 2012.

MCMANUS, Concepta et al. Infrared thermography in animal production: An overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 123, p. 10-16, 2016.

MENEZES, L. S. et al. Plant species richness record in Brazilian Pampa grasslands and implications. **Brazilian Journal of Botany**, v. 41, n. 4, p. 817-823, 2018.

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.

SALLES, M. S. V. et al. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography. **Journal of thermal biology**, v. 62, p. 63-69, 2016.

SCHMITT FILHO, A. L. et al. Nucleation theory inspiring the design of High Biodiversity Silvopastoral System in the Atlantic Forest Biome: ecological restoration, family farm livelihood and agroecology. In: **World Conference on Ecological Restoration. Foz do Iguaçu PR**. 2017. p. 450.

## ANEXO B – FOTOGRAFIAS DO EXPERIMENTO

**Figura 1 ANEXO B.** Coleta de dados no Sistema Silvipastoril com Núcleos.



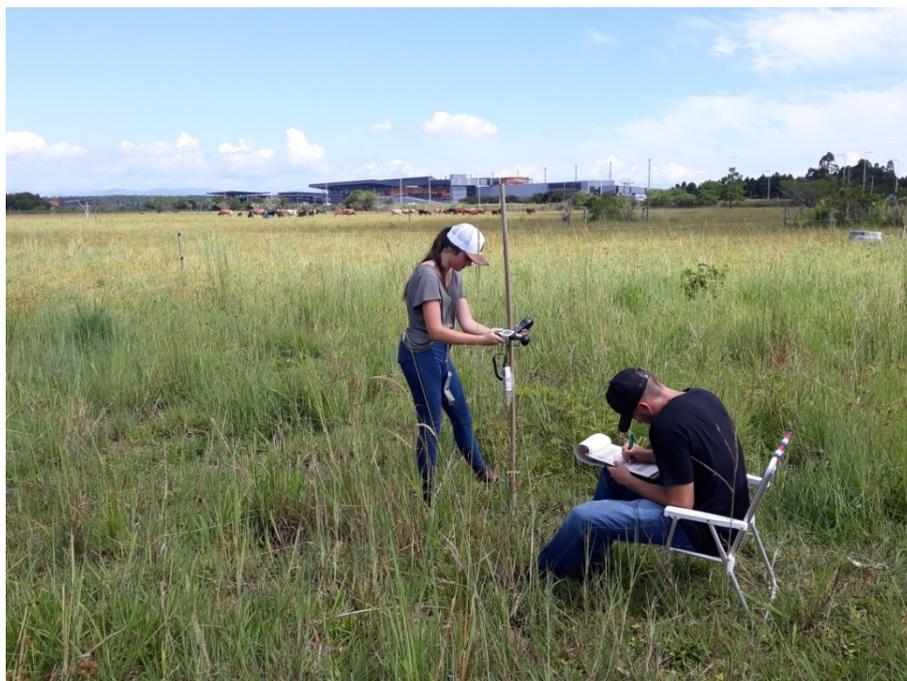
Fonte: o autor, 2022.

**Figura 2 ANEXO B.** Núcleo arbóreo com grupo funcional zero.



Fonte: o autor, 2022.

**Figura 3 ANEXO B.** Coleta de dados no tratamento controle – pastagem sem árvores.



Fonte: o autor, 2022.

**Figura 4 ANEXO B.** Grupo funcional zero de núcleo arbóreo.



Fonte: o autor, 2022.

**Figura 5 ANEXO B.** Piquete do tratamento SPSnu10.



Fonte: o autor, 2022.

**Figura 6 ANEXO B.** Piquetes dos tratamentos SPSnu5, SPSnu10 e PSA.



Fonte: Google Earth, acesso em 14 de setembro de 2023.

## ANEXO C – PLANILHA DE CAMPO DE COLETA DE DADOS

Trat.: ___%		Bloco: _____			Dir. vento: _____			
Data: ___/___/2022		Hora: ___ h às ___ h			Equipe: _____			
<b>Altura pastagem:</b>		<b>Núcleo: _____</b>						
Altura	Variável	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3 (N)</b>	<b>P4 (N)</b>	<b>P5 (S)</b>	<b>P6 (S)</b>	<b>P7 *</b>
Solo 0 (Infravermelho)	<b>Temp.</b>							
Solo < 2,5 (espeto)	<b>Temp.</b>							
20 cm	<b>UR</b>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>
	<b>Temp. ar</b>							
	<b>GT</b>							
	<b>DPT</b>							
120 cm	<b>UR</b>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>
	<b>Temp. ar</b>							
	<b>GT</b>							
	<b>DPT</b>							
	<b>V. vento</b>							
<b>Altura pastagem:</b>		<b>Núcleo: _____</b>						
Altura	Variável	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3 (N)</b>	<b>P4 (N)</b>	<b>P5 (S)</b>	<b>P6 (S)</b>	<b>P7 *</b>
Solo 0 (Infravermelho)	<b>Temp.</b>							
Solo < 2,5 (espeto)	<b>Temp.</b>							
20 cm	<b>UR</b>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>
	<b>Temp. ar</b>							
	<b>GT</b>							
	<b>DPT</b>							
120 cm	<b>UR</b>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>
	<b>Temp. ar</b>							
	<b>GT</b>							
	<b>DPT</b>							
	<b>V. vento</b>							
<b>Altura pastagem:</b>		<b>Núcleo: _____</b>						
Altura	Variável	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3 (N)</b>	<b>P4 (N)</b>	<b>P5 (S)</b>	<b>P6 (S)</b>	<b>P7 *</b>
Solo 0 (Infravermelho)	<b>Temp.</b>							
Solo < 2,5 (espeto)	<b>Temp.</b>							
20 cm	<b>UR</b>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>
	<b>Temp. ar</b>							
	<b>GT</b>							
	<b>DPT</b>							
120 cm	<b>UR</b>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>
	<b>Temp. ar</b>							
	<b>GT</b>							
	<b>DPT</b>							
	<b>V. vento</b>							