ANA CAROLINA FRANÇA BOGO

EFEITOS DO PEQUIZEIRO EM PARÂMETROS DE BEM-ESTAR ANIMAL E QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL NA AMAZÔNIA MATOGROSSENSE

Dissertação de Mestrado

ALTA FLORESTA-MT

2023

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E AGROECOSSISTEMAS AMAZÔNICOS

ANA CAROLINA FRANÇA BOGO

EFEITOS DO PEQUIZEIRO EM PARÂMETROS DE BEM-ESTAR ANIMAL E QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL NA AMAZÔNIA MATOGROSSENSE

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

Orientador: Dr. Gustavo Caione
Co-orientador: Dr. Alexandre de Azevedo Olival

ALTA FLORESTA-MT

2023

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO, CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catalogação na publicação
Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias

Walter Clayton de Oliveira CRB 1/2049

B674e

BOGO, Ana Carolina França.
Efeitos do Pequizeiro em Parâmetros de Bem-Estar Animal e Qualidade do Solo em Sistema Silvipastoril na Amazônia Matogrossense. / Ana Carolina França Bogo – Alta Floresta, 2023.
82 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim)

Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Mestrado Acadêmico) Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias, Câmpus de Alta Floresta, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2023.
Orientador: Gustavo Caione
Coorientador: Alexandre de Azevedo Olival

1. Arborização de Pastagem. 2. Caryocar Brasiliense Camb.. 3. Microclima. 4. Conforto Térmico. 5. Ciclagem de Nutrientes. I. Ana Carolina França Bogo. II. Efeitos do Pequizeiro em Parâmetros de Bem-Estar Animal e Qualidade do Solo em Sistema Silvipastoril na Amazônia Matogrossense.: .
CDU 634.11

EFEITOS DO PEQUIZEIRO EM PARÂMETROS DE BEM-ESTAR ANIMAL E QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL NA AMAZÔNIA MATOGROSSENSE

ANA CAROLINA FRANÇA BOGO

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

Aprovada em: 04/04/2023

Documento assinado digitalmente
gov.br
GUSTAVO CAIONE
Data: 31/05/2023 22:34:53-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Gustavo Caione
Orientador – UNEMAT / PPGBioAgro

Documento assinado digitalmente
gov.br
ALEXANDRE DE AZEVEDO OLIVAL
Data: 01/06/2023 08:55:52-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Alexandre de Azevedo Olival
Co-orientador – UNEMAT / PPGBioAgro

Documento assinado digitalmente
gov.br
MARCO ANTONIO CAMILLO DE CARVALHO
Data: 01/06/2023 14:30:31-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Marco Antonio Camillo de Carvalho
UNEMAT/ PPGBioAgro

Documento assinado digitalmente
gov.br
SAULO EDUARDO XAVIER FRANCO DE SOU
Data: 01/06/2023 18:44:57-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Saulo Eduardo Xavier Franco de Souza
CIFOR/ICRAF

DEDICATÓRIA

De todo meu coração, dedico este trabalho à minha família, especialmente ao meu esposo Lucas e minha filha Helena, que com amor, apoio, paciência e incentivo me motivaram a cumprir essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus pela vida, por sua misericórdia e pelas oportunidades concedidas.

Ao meu querido companheiro Lucas de Paula Mera, por ter me incentivado em todo processo, por ser presente e ser meu suporte sempre que precisei.

À minha filha amada Helena Bogo Mera, que mesmo pequena e sem saber, me ensinou tanto, e, apesar de tantos momentos em que estive ocupada até tarde e aflita nesse processo, foi paciente para que eu conseguisse chegar até aqui.

À toda minha família, especialmente à minha mãe, por sempre acreditar e ser um porto seguro acolhedor.

Ao Instituto Ouro Verde, agricultores e equipe, em especial minha amiga Andrezza Alves Spexoto Olival, pelo apoio e incentivo para esta pesquisa, e principalmente pela inspiração e ensinamentos que guiaram minha jornada pessoal e profissional.

A UNEMAT, aos saudosos professores e funcionários, pelo compromisso e acolhimento de tantos anos, primeiro para graduação e agora para o mestrado, e foram base importante para meu desenvolvimento.

Ao PPGBioAgro, especialmente aos nobres professores pela oportunidade de aprender tanto, ao secretário Diego Cardoso, pela paciência e auxilio nos esclarecimentos e solicitações.

Ao meu querido orientador Dr. Gustavo Caione pelo incentivo e confiança em todo o processo, e pelos ensinamentos que contribuíram muito para meu desenvolvimento.

Ao meu amigo e co-orientador Dr. Alexandre de Azevedo Olival pela motivação, inspiração, paciência e ensinamentos que tanto me orientaram na jornada profissional e quanto contribuíram para este trabalho.

A toda equipe do LASAF, professores, técnicos e bolsistas, que foram fundamentais para a realização das coletas de solo e análises, e que me ensinaram tanto nesse processo.

A família Mantovani, que sempre foram muito amáveis e solícitos, e disponibilizaram a área para a realização dessa pesquisa, auxiliando em todas

as etapas a campo.

Ao querido Lucas Mantovani, que foi fundamental para a realização dessa pesquisa para as coletas de dados de microclima, e que sempre foi muito prestativo, responsável e paciente em todo o processo.

Às professoras Dra. Ivone Vieira da Silva, Dra. Renata Evangelista do Oliveira, e aos professores Dr. Marco Antonio Camillo de Carvalho, Dr. Edgley Pereira da Silva e ao pesquisador Dr. Saulo Eduardo Xavier Franco de Souza pelas contribuições a este trabalho desde o projeto até a defesa da dissertação.

Aos mestrandos da minha turma, tão importantes nesse processo, pela amizade, sempre apoiando, animando, compartilhando os medos, dificuldades, saberes, alegrias e conquistas.

E a todos, que direta ou indiretamente me apoiaram e incentivaram nesses 2 anos com atitudes, palavras de carinho e acolhimento, orações e vibrações...

Agradeço!

" É preciso ter esperança, mas ter esperança do verbo esperançar; porque tem gente que tem esperança do verbo esperar. E esperança do verbo esperar não é esperança, é espera. Esperançar é se levantar, esperançar é ir atrás, esperançar é construir, esperançar é não desistir! Esperançar é levar adiante, esperançar é juntar-se com outros para fazer de outro modo..."

Paulo Freire

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS viii
LISTA DE FIGURAS ix
RESUMO x
ABSTRACT xii
1 INTRODUÇÃO GERAL 1
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 5
3 CAPÍTULOS 9
3.1 INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO DO PEQUIZEIRO NA DINÂMICA MICROCLIMÁTICA E CONFORTO TÉRMICO EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL 9
Resumo 9
Abstract 10
Introdução 11
Material e métodos 13
Caracterização da área e manejo 13
Caracterização dos pequizeiros e coleta de serapilheira 14
Variáveis microclimáticas 15
Índices de conforto térmico 16
Resultados e Discussão 17
Variáveis microclimáticas 17
Índices de conforto térmico animal 21
Influência da serapilheira 25
Conclusões 27
Referências bibliográficas 27
3.2 QUALIDADE DO SOLO EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL COM PEQUIZEIRO NA AMAZÔNIA MATOGROSSENSE 34
Resumo 34
Abstract 35
Introdução 36
Material e Métodos 39
Caracterização da área e manejo 39
Definição da amostragem 40
Análise química 41
Análise física 42
Análise biológica 44
Análise de serapilheira 45
Condições edafoclimáticas 46
Análise estatística 46

Resultados e Discussão 47
Indicadores químicos 47
Indicadores físicos 49
Indicadores biológicos 51
Característica das árvores e qualidade da serapilheira 54
Conclusões 57
Referências Bibliográficas 57
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização dos pequizeiros quanto a altura, área de copa e DAP. 18

Tabela 2. Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão (DP) do índice bulbo úmido termômetro de globo (IBUTG), temperatura do ar (TA), temperatura do globo negro (TG), umidade relativa do ar (U) ao longo de 43 semanas (entre fevereiro e novembro de 2022) sob sombra e a pleno sol..... 18

Tabela 3. Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão (DP) do índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) ao longo de 43 semanas (entre fevereiro e novembro de 2022) sob sombra e a pleno sol. 21

Tabela 4. Valores médios dos atributos químicos do solo na camada de 0-0,20 e 0,20-0,40 m sob a copa, no limite da copa e em pleno sol. 48

Tabela 5. Textura média do solo na camada de 0-0,20 e 0,20-0,40 m sob a copa, no limite da copa e em pleno sol. 50

Tabela 6. Densidade e porosidade média na camada de 0,5-0,10 e 0,15-0,20 m sob a copa, limite da copa e pleno sol. 50

Tabela 7. Atividade enzimática média (p-nitrofenol g^{-1} h^{-1}) sob a copa, limite da copa e pleno sol. 51

Tabela 8. Variáveis microclimáticas do solo sob sombra e sol. 53

Tabela 9. Aporte de serapilheira e teor de macro e micronutrientes e lignina. 55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo em Terra Nova do Norte - MT. 13
Figura 2. (a) Disposição dos coletores de serapilheira instalados sob a copa do pequizeiro de forma suspensa; (b) coletor com serapilheira depositada. 15
Figura 3. Médias do índice de bulbo úmido e termômetro de globo (IBUTG), temperatura do ar, temperatura do globo negro, e umidade relativa do ar sob sombreamento do pequizeiro e a pleno sol, durante 43 semanas, entre fevereiro e novembro de 2022. 19
Figura 4. Médias do índice de temperatura e umidade (ITU) (A - alerta, P - perigo, E - emergência), sob sombreamento do pequizeiro e a pleno sol, durante 43 semanas, entre fevereiro e novembro de 2022. 22
Figura 5. Médias do índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) (A - alerta, P - perigo, E - emergência), sob sombreamento do pequizeiro e a pleno sol, durante 43 semanas, entre fevereiro e novembro de 2022. 23
Figura 6. Coeficientes de Correlação de Spearman entre o aporte de serapilheira total (ST) dos pequizeiros, características das árvores, variáveis microclimáticas e de conforto térmico entre os meses de fevereiro a setembro de 2022. 25
Figura 7. U - umidade relativa do ar (%); IBUTG - índice bulbo úmido termômetro de globo; TA - temperatura do ar (°C); TG - temperatura do globo negro (°C); ITU – índice de temperatura e umidade; ITGU - índice de temperatura do globo negro e umidade, e estimativa da deposição de serapilheira (S) dos pequizeiros por hectare entre os meses de fevereiro a setembro de 2022. 26
Figura 8. Localização da área de estudo em Terra Nova do Norte - MT. 40
Figura 9. Identificação das distâncias e quatro pontos cardeais sob a copa e limite da copa dos pequizeiros para coleta de amostras de solo. 41
Figura 10. (a) Disposição dos coletores de serapilheira instalados sob a copa do pequizeiro de forma suspensa; (b) coletor com serapilheira depositada. 45
Figura 11. Médias da umidade do solo, temperatura do solo e condutividade elétrica do solo sob sombreamento do pequizeiro e a pleno sol, durante 30 semanas, entre fevereiro e agosto de 2022. 53

RESUMO

BOGO, Ana Carolina França. M.Sc. Universidade do Estado de Mato Grosso, Fevereiro de 2023. **Efeitos do pequizeiro em parâmetros de bem-estar animal e qualidade do solo em sistema silvipastoril na Amazônia matogrossense.** Orientador: Dr. Gustavo Caione. Co-orientador: Dr. Alexandre de Azevedo Olival.

A pecuária é uma das atividades produtivas mais relevantes para a composição da renda no meio rural em Mato Grosso, especialmente para a agricultura familiar, porém é também uma das principais causas de desmatamento e perda de biodiversidade em regiões de fronteira agrícola, como o Território Portal da Amazônia. Os sistemas silvipastoris (SSP) tem sido usados na região como práticas de manejo alternativas à pecuária extensiva. Para que sejam eficientes, é importante conhecer as características e influências dos diferentes indivíduos que compoem sistemas, como as espécies arbóreas. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo compreender os efeitos do pequizeiro nas condições microclimáticas e de conforto térmico para o gado (capítulo 1) e na qualidade do solo (capítulo 2) em um sistema silvipastoril em Terra Nova do Norte/MT. Foram coletados semanalmente dados como temperatura do ar, temperatura do globo negro, e umidade relativa do ar sob o sombreamento de 10 pequizeiros e comparados com dados à pleno sol. A partir desses dados, foram calculados dois índices de conforto térmico: ITU (índice de temperatura e umidade) e ITGU (índice de temperatura do globo negro e umidade). Em relação à qualidade do solo foram avaliados pH, matéria orgânica, macro e micronutrientes em duas profundidades (0-0,20 e 0,20-0,40 m) como atributos químicos; textura, densidade, macro e microporosidade como atributos físicos; atividade enzimática da arilsulfatase, betaglicosidase e fosfatase ácida como atributos biológicos; e dados sobre temperatura, umidade do solo. Todas as variáveis do solo foram coletadas em 3 condições de sombreamento (sob a copa, no limite da copa e a pleno sol). Além disso, foram instalados coletores suspensos nos 10 pequizeiros para levantamento do aporte mensal e qualidade de serapilheira, correlacionando com dados de conforto térmico e de qualidade do solo. O sombreamento do pequizeiro

reduziu a temperatura do ar e do globo negro, aumentou a umidade relativa, e consequentemente apresentou melhores índices de conforto térmico para o gado que a pleno sol, porém não a níveis adequados, permanecendo em condição de estresse moderado em grande parte do período estudado. O aporte de serapilheira não influenciou nos índices de conforto térmico. Quanto ao solo, os dados químicos, físicos e biológicos em sua maioria se mostraram melhores à pleno sol, indicando que o pequizeiro, no presente arranjo agroflorestal, seja pela qualidade da serapilheira ou pelas condições específicas desse SSP, não contribui para a melhoria da qualidade do solo.

Palavras-chave: Arborização de pastagem, *Caryocar brasiliense* Camb., microclima, conforto térmico, ciclagem de nutrientes, serapilheira.

ABSTRACT

BOGO, Ana Carolina France. M.Sc. Mato Grosso State University, April 2023. **Effects of pequi tree on animal welfare parameters and soil quality in a silvopastoral system in the Mato Grosso Amazon.** Advisor: Dr. Gustavo Caione. Co-advisor: Dr. Alexandre de Azevedo Olival.

Livestock is one of the most relevant productive activities for the composition of income in rural areas in Mato Grosso, especially for family farming, but it is also one of the main causes of deforestation and loss of biodiversity in agricultural frontier regions, such as the Portal Territory from the Amazon. Silvopastoral systems (SPS) have been used in the region as alternative management practices to extensive livestock. For them to be efficient, it is important to know the characteristics and influences of the different individuals that make up systems, such as tree species. In this context, the present work aimed to understand the effects of pequi trees on microclimatic conditions and thermal comfort for cattle (chapter 1) and soil quality (chapter 2) in a silvopastoral system in Terra Nova do Norte/MT. Data such as air temperature, black globe temperature, and relative humidity were collected weekly under shading of 10 pequi trees and compared with data under full sun. From these data, two thermal comfort indices were calculated: THI (temperature and humidity index) and BGHI (black globe temperature and humidity index). Regarding soil quality, pH, organic matter, macro and micronutrients were evaluated at two depths (0-0.20 and 0.20-0.40 m) as chemical attributes; texture, density, macro and microporosity as physical attributes; enzymatic activity of arylsulfatase, betaglucosidase and acid phosphatase as biological attributes; and data on temperature, soil moisture. All soil variables were collected under 3 shading conditions (under canopy, canopy edge and full sun). In addition, suspended collectors were installed on the 10 pequi trees to survey the monthly input and litter quality, correlating with data on thermal comfort and soil quality. The shading of the pequi tree reduced the temperature of the air and the black globe, increased the relative humidity, and consequently presented better thermal comfort indexes for the cattle than in full sun, but not at adequate levels, remaining in a condition of moderate stress in large part of the studied

period. The input of litter did not influence the thermal comfort indices. As for the soil, the chemical, physical and biological data were mostly better in full sun, indicating that the pequi tree, in the present agroforestry arrangement, either due to the quality of the litter or the specific conditions of this SPS, does not contribute to the improvement of quality from soil.

Keywords: Pasture afforestation, *Caryocar brasiliense* Camb., microclimate, thermal comfort, nutrient cycling, litter.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A pecuária no Brasil tem passado por transformações conceituais e mudanças significativas de paradigmas nos últimos anos, especialmente por ser uma das principais causas de desmatamento e perda de biodiversidade em regiões de fronteira agrícola, como o Portal da Amazônia, norte de Mato Grosso (OLIVAL et al., 2022). De acordo com Projeto MapBiomas (2022), em 2021 o Brasil possuia mais de 152 milhões de hectares de pastagem, sendo quase 70 milhões de hectares na Amazônia Legal. Destes, 56,6% estão em algum nível de degradação. No Mato Grosso são 20,5 milhões de hectares, sendo que 75,8% estão em algum nível de degradação (PROJETO MAPBIOMAS, 2022).

A degradação de pastagens pode ser resultado de preparo incorreto do solo, escolha incorreta da espécie forrageira, uso de sementes de má qualidade, práticas de pastejo e manejo inadequadas, ataques de insetos e doenças, ausência de rodízio de piquetes, taxa de lotação inadequada, ou a baixa fertilidade natural dos solos sem a reposição correta de nutrientes (DIAS-FILHO, 2014; CARVALHO et al., 2017; LANGE et al., 2019).

As consequências econômicas e ambientais dessa degradação têm levado à busca por práticas intensivas convencionais, intensivas ecológicas ou agroecológicas (DARNET et al., 2021), que otimizem o fluxo energético e a ciclagem de nutrientes no ecossistema de pastagem (SOUZA et al.; 2018). Além disso, há uma pressão global por práticas produtivas de alto rendimento e maior responsabilidade ambiental reduzindo impactos de desmatamento e mudanças climáticas (JOSE e DOLLINGER, 2019).

No contexto da agricultura familiar, a pecuária é uma das atividades mais relevantes para a composição da renda e uso dos espaços (DARNET et al., 2021). Em Mato Grosso, 78,13% dos estabelecimentos rurais do estado tem a pecuária bovina como atividade produtiva, e deste total, 70,7% estão classificados como estabelecimentos da agricultura familiar (IBGE, 2018), demonstrando a importância socioeconômica que a pecuária familiar tem no estado.

Dentre as práticas de manejo alternativas à pecuária extensiva estão os sistemas silvipastoris (SSP), que são arranjos agroflorestais que combinam

propositalmente árvores, forrageiras e animais em uma mesma área (LEMES et al., 2021), de modo que surjam benefícios mútuos pela interação de seus componentes (JOSE, WALTER e KUMAR, 2017; ALMEIDA et al., 2019). Em determinados arranjos, o produto animal é o prioritário e em outros, o produto principal é o arbóreo, como, por exemplo, naqueles cuja finalidade é a produção de madeira, celulose, látex e frutos (CARVALHO e XAVIER, 2005).

Os SSP podem oferecer inúmeros benefícios econômicos como geração de renda a partir de produtos como carne, leite, frutos, sementes, madeira, potencial turístico dentre outros; benefícios ambientais como integração e enriquecimento da biodiversidade local, armazenamento de carbono, regulação do clima, resiliência às mudanças climáticas, mitigação de gases de efeito estufa, ciclagem de nutrientes, ciclagem e armazenamento de água, formação e qualidade do solo, abrigo, sombra e alimento para o gado; e benefícios socioculturais como diversidade e segurança alimentar, bem-estar, identidade cultural, recreação, qualidade estética, e conhecimento local (SUROVÁ et al., 2017; PEZZOPANI et al., 2018; CHARÁ et al., 2019; JOSE e DOLLINGER, 2019; JOSE, WALTER E KUMAR, 2019; BOSI et al., 2020; SALES-BAPTISTA e FERRAZ-DE-OLIVEIRA, 2021).

Esses sistemas permitem a intensificação da produção pecuária com base em processos naturais e são reconhecidos como uma abordagem integrada para o uso sustentável da terra (CHARÁ et al., 2019), tanto em pequena quanto em grande escala (JOSE e DOLLINGER, 2019). O principal critério é a otimização do uso de recursos espaciais, temporais e físicos, obtendo o máximo de interações positivas e o mínimo de competição entre os componentes (JOSE, WALTER e KUMAR, 2019). Para que sejam eficientes é fundamental que a escolha de espécies arbóreas, pastagens e animais priorizem indivíduos adaptados às peculiaridades regionais dos biomas, dos ecossistemas das propriedades e das condições socioeconômicas e culturais dos agricultores (BALBINO et al., 2011).

Em relação às espécies arboreas, ainda existem lacunas significativas de informações quanto ao uso, benefícios, formas de implantação e manejo, ou seu potencial de consórcio em sistemas de pastejo (OLIVAL et al., 2022). Por isso a importância em realizar estudos regionalizados que permitam conhecer as características e influências das espécies nativas ou já adaptadas

no fornecimento de serviços ambientais, apresentando o potencial de uso dessas espécies em sistemas integrados locais. Além disso, a realização de medições sistemáticas dos componentes do sistema em termos de mudanças na fertilidade do solo, microclima e disponibilidade de recursos (água, nutrientes e luz) pode fornecer informações essenciais para definição de estratégias de manejo que maximizem os benefícios dessas interações (PEZZOPANI et al., 2015).

No Território Portal da Amazônia, norte de Mato Grosso, desde 2010, centenas de projetos agroflorestais, incluindo SSP, foram implementados junto aos agricultores familiares da região, especialmente através do trabalho de organizações locais, e recursos do Fundo Amazônia, conciliando recuperação ambiental, produção e renda para as famílias (OLIVAL et al., 2022). Com a implementação dessas áreas, algumas espécies tiveram grande destaque entre os agricultores, seja pela melhoria ambiental que proporcionam nas áreas ou pelo potencial econômico, como o pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Cambess.).

O pequizeiro é uma espécie perenifolia frutífera nativa do bioma Cerrado com grande importância social, cultural e econômica (MOURA et al., 2013), de alcance internacional (AFONSO e ANGELO, 2009), já muito presente no Portal da Amazônia em projetos agroflorestais e silvipastoris, especialmente no município de Terra Nova do Norte - MT, que se destaca como município produtor de pequi no território. É considerada uma espécie de grande interesse econômico, principalmente devido ao uso do seu fruto na culinária, a extração de óleos para a fabricação de cosméticos e suas propriedades terapêuticas (DE CARVALHO et al., 2015).

Sua floração ocorre durante os meses de agosto a novembro, com a maturação dos frutos em meados de novembro, sendo encontrados até o início de fevereiro (ALMEIDA et al., 1998), porém, na região do Portal da Amazônia, a floração ocorre de junho a agosto, e a produção de outubro a início de dezembro. Pode atingir de 8 a 12 metros de altura (OLIVEIRA et al., 2008). Seus galhos são longos, grossos e ligeiramente inclinados (DE CARVALHO et al. 2015), com copa grande porém pouco densa. É uma espécie é semidecídua, com redução parcial da folhagem durante a estação seca. A floração ocorre logo após a emissão das folhas novas e os frutos

alcançam a maturidade entre três e quatro meses após a floração (OLIVEIRA et al., 2008). As raízes da espécie são pivotantes e profundas, facilitando sua adaptação em solos rasos, pobres em nutrientes minerais e com elevado teor de alumínio (ANTUNES et al., 2006).

O pequi cultivado na região é chamado de pequi gigante, ou pequi do Xingu, que se destacou nos projetos pelo potencial econômico através da comercialização dos frutos, que são muito apreciados. Essa espécie, que tem origem de pequizeiros selecionados e melhorados por povos indígenas do Parque Nacional do Xingu ao longo dos anos, pode ser considerada como componente de uma variedade local de *Caryocar brasiliense*, apresenta frutos relativamente maiores, com polpa de coloração avermelhada e de maior espessura, podendo ocorrer também frutos com sementes de coloração mais amarela até quase brancas (SMITH e FAUSTO, 2016). Atualmente são reconhecidas duas subespécies de *Caryocar brasiliense* Camb. de ocorrência em Mato Grosso e em outros estados brasileiros: *C. brasiliense* subsp. *brasiliense* e C. *brasiliense* subsp *intermedium* (PRANCE e PIRANI, 2020).

Além dos benefícios econômicos da espécie, algumas características como altura, formato da copa, tipo de raízes e sombreamento se mostram favoráveis para o desenvolvimento de forragem, sendo muito utilizada nos SSP locais, porém, pouco se sabe sobre os efeitos que essa espécie desempenha nos sistemas.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo compreender os efeitos do pequizeiro em relação às condições microclimáticas e de conforto térmico animal, e à qualidade do solo em um sistema silvipastoril. O primeiro capítulo foi movido pela hipótese de que o sombreamento do pequizeiro proporciona mudanças de temperatura e umidade no ambiente pastagem, gerando condições favoráveis de conforto térmico do gado. O segundo capítulo baseou-se na hipótese de que o pequizeiro em consórcio com forragem melhora as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, tornando possível a diferenciação de áreas cultivadas convencionalmente.

2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, S. R.; ANGELO, H. Mercado dos produtos florestais não madeireiros do cerrado brasileiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 3, p. 315-326, 2009.

ALMEIDA, E. M.; ALMEIDA, R. G. A.; MIYAGI, E. S.; FREITAS, P. V. D. X.; RIBEIRO, F. M.; FERNANDES, P. B.; GARCIA, E. C. Sistemas silvipastoris: uma abordagem sobre a interação dos componentes bióticos e abióticos. **Revista Científica Rural**, Bagé, v.21, n.2, p. 438 - 454, 2019.

ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E. B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. Cerrado: espécies vegetais úteis. Planaltina: **EMPRAPA-CEPAC**. 1998.

ANTUNES, E. C.; ZUPPA, T. O. ANTONIOSI FILHO, N.; CASTRO, S. S. Utilização do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb) como espécie recuperadora de ambientes degradados no cerrado e fornecedora de matéria prima para a produção de biodiesel. In: I CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BIODIESEL, Brasília. Anais... Brasília: **Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica.** 2006.

BALBINO, L. C., CORDEIRO, L. A. M., PORFÍRIO-DA-SILVA, V., MORAES, A. D., MARTÍNEZ, G. B., ALVARENGA, R. C., & GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, 2011.

BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SENTELHAS, P. C. Silvopastoral system with *Eucalyptus* as a strategy for mitigation the effects of climate change on Brazilian pasturelands. **Agrarian Sciences**, Annals of the Brazilian Academy of Sciences, v. 92 (suppl 1), 2020.

CARVALHO, M.M.; XAVIER, D. F. Sistemas Silvipastoris para Recuperação e Desenvolvimento de Pastagens, Cap. 22. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L.

de. **Agroecologia: Princípios e Técnicas para uma Agricultura Orgânica Sustentável**, Brasilia-DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 497- 517, 2005.

CARVALHO, W. T. V.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURICIO, R. M.; PEREIRA, R. V. G.; Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **PUBVET**, v.11, n.10, p.1036-1045, 2017.

CHARÁ, J.; REYES, E.; PERI, P.; OTTE, J.; ARCE, E.; SCHNEIDER, F. Silvopastoral Systems and their Contribution to Improved Resource Use and Sustainable Development Goals: Evidence from Latin America. **FAO**, CIPAV and Agri Benchmark, Cali, 60 p., 2019.

DARNET, L. A. F.; POCCARD-CHAPUIS, R. J. M.; CLAUDINO, L. S. D.; CARVALHO, S. A. Aptidões biofísicas e intensificação agroecológica da pecuária leiteira em assentamentos da Amazônia brasileira. **Geografia Ensino e Pesquisa**, Santa Maria, v. 25, n.1, 2021.

DE CARVALHO, L. S.; PEREIRA, K. F.; DE ARAÚJO, E. G. Características botânicas, efeitos terapêuticos e princípios ativos presentes no pequi (Caryocar brasiliense). **Arq. Cienc. Saúde UNIPAR**, Umuarama, v. 19, n. 2, p. 147-157, 2015.

DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das pastagens no Brasil. **Embrapa Amazônia Oriental**, Belém-PA, 36 p., 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2017**: Resultados Definitivos, 2018.

JOSÉ, S.; DOLLINGER, J. Silvopasture: a sustainable livestock production system, **Agroforestry Systems**, v.93, p. 1 - 9, 2019.

JOSE, S., WALTER, D.; MOHAN KUMAR, B. Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. **Agroforestry Systems**, v. 93, p. 317–331, 2019.

LANGE, A.; DANTAS, J.; FREDDI, O. S.; BURATTO, W.; SPAZIANI, C.; CAIONE, G. Degradação do solo e pecuária extensiva no norte de Mato Grosso, **Nativa**, Sinop, v.7, n.6, p. 642-648, 2019.

LEMES, A. P.; GARCIA, A. R.; PEZZOPANE, J. R. M.; BRANDÃO, F. Z.; WATANABE, Y. F.; COOKE, R. F.; SPONCHIADO, M.; PAZ, C. C. P.; CAMPLESI, A. C.; BINELLI, M.; GIMENES, L. U. Silvopastoral system is an alternative to improve animal welfare and productive performance in meat production systems, **Scientific Reports**, v.11, 14092, 2021.

MOURA, N. F. et al. Characterization of pequi fruits (*Caryocar brasiliense* Camb.) from Brazilian cerrado. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 905-912, 2013.

OLIVAL, A. A.; OLIVEIRA, R. E.; SAIS, A. C.; SOUZA, S. E. X. F. Conhecimento local de agricultores familiares sobre árvores nativas em pastagens do Portal da Amazônia, MT. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 59, p. 319-337, 2022.

OLIVEIRA, M. E. B.; GUERRA, N. B.; BARROS, L. M.; ALVES, R. E. A. Aspectos agronômicos e de qualidade do pequi. Fortaleza : **Embrapa Agroindústria Tropical**, 32 p., 2008.

PEZZOPANI, J. R. M.; BOSI, C.; NICODEMO, M. L. F.; SANTOS, P. M.; DA CRUZ, P. G.; PARMEJIANI, R. S. Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. **Bragantia**, Campinas, v.74, n. 1, p.110-119, 2015.

PRANCE, G.T.; PIRANI, J.R. 2020. *Caryocaraceae in* **Flora do Brasil 2020.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB28266>. Acesso em: 21 abr. 2023.

PROJETO MAPBIOMAS – **Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**, acessado em 03 de Dezembro de 2022,

através do link: [https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/]

SALES-BAPTISTA, E., FERRAZ-DE-OLIVEIRA, M.I. Grazing in silvopastoral systems: multiple solutions for diversified benefits. **Agroforestry Systems**, v.95, p.1–6, 2021.

SMITH, M.; FAUSTO, C.. Socialidade e diversidade de pequis (*Caryocar brasiliense*, Caryocaraceae) entre os Kuikuro do alto rio Xingu (Brasil). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 11, n. 1, p. 87-113, jan.-abr. 2016.

SOUZA, M. S.; JARDIM, A. M. R. F.; ARAÚJO JR. G. N.; SILVA, J. R. I.; LEITE, M. L. M. V.; TEIXEIRA, V. I.; SILVA, T. G. F. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens tropicais, **PUBVET**, v.12, n.5, p.1-9, 2018.

SUROVÁ, D.; RAVERA, F.; GUIOMAR, N.; SASTRE, R. M.; PINTO-CORREIA, T. Contributions of Iberian Silvo-Pastoral Landscapes to the Well-Being of Contemporary Society, **Rangeland Ecology & Management**, 2017.

3 CAPÍTULOS

3.1 INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO DO PEQUIZEIRO NA DINÂMICA MICROCLIMÁTICA E CONFORTO TÉRMICO EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL

Resumo

O estresse térmico pode diminuir a produção e a qualidade do leite, a produção de carne, a eficiência reprodutiva e a saúde animal. O sombreamento das árvores nas pastagens podem proporcionar ambiente mais adequado ou menos restritivo ao desempenho animal. Este estudo buscou compreender os efeitos do sombreamento do pequizeiro em relação às mudanças microclimáticas e de conforto térmico para o gado em um sistema silvipastoril no município de Terra Nova do Norte/MT. Com o auxílio de um termômetro de globo negro foram coletadas informações semanalmente de índice de calor, temperatura média do ar, temperatura do globo negro e umidade relativa do ar sob a copa de 10 pequizeiros e em 10 pontos a pleno sol entre fevereiro e novembro de 2022. Com esses dados, foram calculados dois índices de conforto térmico: ITU (índice de temperatura e umidade) e ITGU (índice de temperatura do globo negro e umidade). Foram instalados coletores suspensos nos 10 pequizeiros para levantamento do aporte mensal de serapilheira, correlacionando com dados de conforto térmico. Houve efeito significativo para a condição de sombreamento do pequizeiro e para as semanas, reduzindo a temperatura do ar e do globo negro, aumentando a umidade relativa do ar, e consequentemente melhores índices de conforto térmico para o gado. O aporte de serapilheira não influenciou nesses índices de conforto térmico. Portanto, o pequizeiro pode ser uma espécie de potencial econômico interessante para a melhoria das condições microclimáticas e de conforto térmico do gado em arranjos silvipastoris na amazônia matogrossense.

Palavras Chave: arborização de pastagem, *Caryocar brasiliense* Cambess., bem estar animal.

INFLUENCE OF SHADING OF PEQUARY TREE ON MICROCLIMATIC DYNAMICS AND THERMAL COMFORT IN A SILVIPASTORAL SYSTEM

Abstract

Heat stress can decrease milk production and quality, meat production, reproductive efficiency and animal health. The shading of trees in pastures can provide a more suitable or less restrictive environment for animal performance. This study sought to understand the effects of pequi tree shading in relation to microclimatic changes and thermal comfort for cattle in a silvopastoral system in the municipality of Terra Nova do Norte/MT. With the aid of a black globe thermometer, weekly information was collected on heat index, average air temperature, black globe temperature and relative air humidity under the canopy of 10 pequi trees and at 10 points in full sun between February and November 2022. With these data, two thermal comfort indices were calculated: THI (temperature and humidity index) and BGHI (black globe temperature and humidity index). Suspended collectors were installed on the 10 pequi trees to survey the monthly input of litter, correlating it with thermal comfort data. There was a significant effect for the shading condition of the pequi tree and for the weeks, reducing the temperature of the air and of the black globe, increasing the relative humidity of the air, and consequently better indices of thermal comfort for the cattle. The input of litter did not influence these thermal comfort indices. Therefore, the pequi tree can be a species with interesting economic potential for improving the microclimatic conditions and thermal comfort of cattle in silvopastoral arrangements in the Mato Grosso Amazon.

Keywords: afforestation of pasture, *Caryocar brasiliense* Cambess., animal welfare.

Introdução

O bem estar animal é uma condição essencial para a produtividade ótima dos animais em pastejo e o conforto térmico é um dos fatores determinantes para isso. Os bovinos são animais homeotérmicos, ou seja, capazes de controlar sua temperatura corporal dentro de uma faixa de temperatura termoneutra, através de um mecanismo fisiológico de termorregulação. Essa faixa denominada de Zona de Conforto Térmico varia em função da espécie, da adaptação da raça, ou nível de produção e é onde ocorre maior eficiência produtiva e reprodutiva, devido ao mínimo gasto energético (RASHAMOL et al., 2018).

Elementos climáticos como temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento estão altamente associados ao conforto térmico (OLIVEIRA et al., 2018). À medida que a temperatura ambiente aumenta, aproximando-se da temperatura interna corporal, os animais tornam-se cada vez mais susceptíveis ao estresse térmico. Isso pode diminuir a produção e a qualidade do leite, a produção de carne, a eficiência reprodutiva e a saúde animal (RASHAMOL et al., 2018). Embora algumas raças mais adaptadas apresentem alta capacidade de manter a homeotermia, os principais mecanismos de perda de calor (condução, convecção e radiação) dependem da diferença de temperatura entre o animal e o ambiente (ALVES et al., 2019).

A interação animal e ambiente precisa ser considerada quando se busca maior eficiência na exploração pecuária, pois a identificação correta dos fatores que interferem na produtividade animal permite ajustes nas práticas de manejo dos sistemas de produção, possibilitando sustentabilidade e viabilidade econômica (NAVARINI et al., 2009). Devido às crescentes preocupações com as mudanças climáticas e bem-estar dos animais, bem como a escala crescente das operações agrícolas atuais, muitas abordagens de redução do estresse térmico tem sido estudadas e aplicadas (WANG et al., 2018).

Dentre as medidas protetivas contra os efeitos climáticos, a sombra natural é a mais recomendada para evitar a transferência de calor em sistemas de produção a pasto (KARVATTE JUNIOR et al., 2016). O sombreamento das árvores reduz a radiação solar direta e a velocidade do vento, e consequentemente atenua a temperatura do ar, aumenta a umidade por meio

da evapotranspiração e favorece a movimentação do ar sob a copa, proporcionando melhores condições ambientais (VIEIRA et al., 2021). Portanto, os Sistemas Silvipastoris (SSP) são apontados para reduzir condições térmicas extremas, melhorando os índices de conforto animal (PEZZOPANE et al., 2019; BOSI et al., 2020) pois proporcionam ambiente mais adequado ou menos restritivo ao desempenho animal, e otimizam o uso de energia, que ao invés de ser gasta na regulação da temperatura corporal pode ser utilizada para converter alimentos em carne ou leite, promovendo aumento da produtividade (DOMICIANO et al., 2016; VIEIRA JUNIOR et al, 2019).

Em ambiente tropical todos os meses do ano são caracterizados por elevadas temperaturas e intensa radiação solar, que podem comprometer a dissipação de calor, e muitas vezes, poderá ocorrer ganho de energia por radiação, comprometendo o equilíbrio térmico (STORTI et al., 2019). As medições microclimáticas de longo prazo e determinação de índices de conforto térmico em sistemas silvipastoris permitem caracterizar o potencial dos SSP para a melhoria do conforto térmico animal (PEZZOPANE et al., 2019).

O índice de temperatura e umidade (ITU) foi desenvolvido como um índice de segurança climática para monitorar e reduzir perdas relacionadas ao estresse térmico (AKYUZ et al., 2010). Não é o índice mais completo para determinação do conforto térmico pois não leva em consideração os efeitos da luz solar direta (MAGALHÃES et al., 2020), porém, é um dos mais utilizados por envolver somente informações meteorológicas mais facilmente disponíveis como a temperatura ambiente e a umidade relativa (WANG et al., 2018). Já o Índice de temperatura do globo e umidade (ITGU) é mais amplo pois agrega, além da umidade e temperatura, o efeito da radiação (BUFFINGTON et al., 1981), podendo ser considerado de maior confiabilidade para animais criados a pasto.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo compreender os efeitos do sombreamento do pequizeiro em relação às mudanças de temperatura e umidade no ambiente pastagem, e a relação com as condições de conforto térmico do gado, a partir dos índices ITU e ITGU, em um sistema silvipastoril no bioma amazônico. Baseou-se na hipótese de que o sombreamento do pequizeiro proporciona mudanças de temperatura e umidade no ambiente pastagem, gerando condições favoráveis de conforto térmico do

gado.

Material e métodos

Caracterização da área e manejo

O estudo foi realizado no Sítio Boa Vista, Comunidade São José, município de Terra Nova do Norte-MT (Figura 1), Território Portal da Amazônia, entre fevereiro e novembro de 2022. O município está localizado geograficamente à -10.5183º latitude Sul e -55.2322º longitude Oeste, altitude de 323 metros e apresenta clima tropical de monção (Am), segundo a classificação de Koppen, com temperatura média de 26°C, e preciptação anual de 2.800mm (ALVARES et al., 2013), com período de seca entre maio e setembro (SEPLAN, 2001).

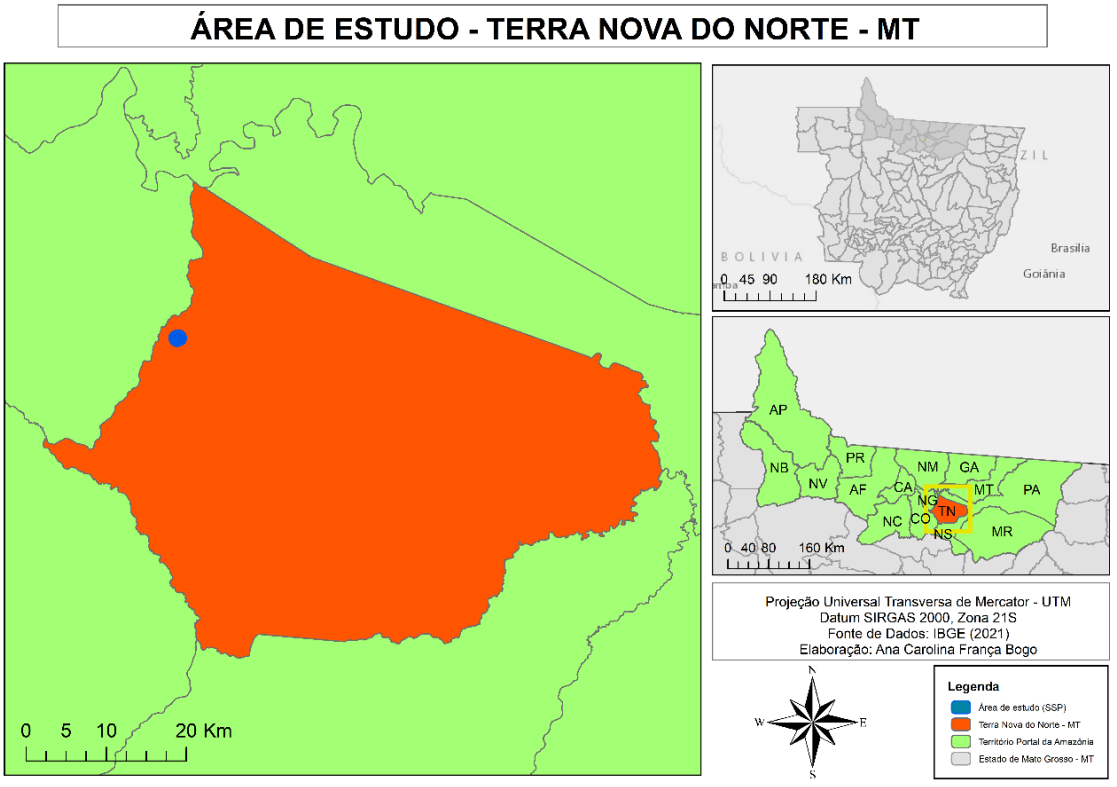

Figura 1. Localização da área de estudo em Terra Nova do Norte - MT.

Em 2014, a área de 2,6 ha que antes era de *Brachiaria brizantha* e havia sofrido com a morte súbita das pastagens, foi gradeada e transformada em uma área de produção de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). As mudas de pequizeiro foram plantadas numa distância de 12x12 metros e nas entrelinhas foram plantadas leguminosas como leucena (*Leucaena leucocephala)*, gliricídea (*Gliricidia sepium)*, feijão guandu (*Cajanus cajan)*, feijão de porco (*Canavalia ensiformis),* dentre outras, num arranjo agroflorestal.

Também, em parte da área, nas primeiras 2 entrelinhas de pequizeiro, foram plantados milho (*Zea mays)* no primeiro ano e depois cana-de-açucar (*Saccharum officinarum*), ambos para silagem, alimentando o gado no período seco. Em parte do plantio de cana, os pequizeiros ficaram abafados e não se desenvolveram, formando uma falha (clareira). Após 4 anos de estabelecimento do pequi, a área foi novamente gradeada, retirando as espécies de ciclo curto para o plantio de capim massai (*Megathyrsus maximus* x *M. infestum* cv. Massai), transformando a área num sistema silvipastoril (SSP). A cana-de-açucar permaneceu no sistema por quase 1 ano a mais, sendo depois consumida pelo gado e plantado o capim no lugar, conforme o restante do sistema. Inicialmente o SSP atendeu o gado leiteiro, e depois foi direcionado para gado de corte. Hoje, o SSP possui 185 pequizeiros e, por safra, são colhidos aproximadamente 1.800 kg de pequi (fruto já beneficiado).

A área do SSP faz parte de um piquete maior, de 7,5 ha total, e durante os 10 meses do estudo foram manejados aproximadamente 120 animais da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) entre bezerros, novilhas e gado adulto (aproximadamente 80 UA), com ocupação média de 5 dias por mês e descanso de 18 a 22 dias.

Caracterização dos pequizeiros e coleta de serapilheira

Para o estudo, foram caracterizados 10 pequizeiros quanto altura, DAP, área de copa. As alturas das árvores foram mensuradas com hipsómetro Blume Leiss (FELICIANO et al., 2016). A área de projeção da copa foi obtida com as medidas de 08 raios, estabelecendo 08 triângulos. A área total foi obtida pela soma da área de cada um dos triângulos (COSTA et al., 2013). Foi também obtida a circunferência à altura do peito (CAP) de todas as árvores

selecionadas, e posteriormente transformadas em diâmetro (SOUZA et al., 2016).

Em cada pequizeiro selecionado foram instalados dois coletores suspensos de 0,50x0,50 m cada (Figura 2) a fim de determinar o aporte mensal de serapilheira disponibilizada pelas árvores ao longo do tempo, e verificar a relação com as variáveis microclimáticas e de conforto térmico estudadas. A escolha por coletores suspensos se deu para evitar perdas ou possíveis estragos com a presença do gado na área.



Figura 2. (a) Disposição dos coletores de serapilheira instalados sob a copa do pequizeiro de forma suspensa; (b) coletor com serapilheira depositada. Sitio Boa Vista, Terra Nova do Norte – MT. Março/2022.

Variáveis microclimáticas

Para identificar as possíveis mudanças microclimáticas proporcionadas pelo sombreamento dos pequizeiros no SSP, foram coletadas informações do índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo (WBGT/IBUTG) (°C), temperatura média do ar (°C), temperatura do globo negro (ºC) e umidade relativa do ar (%) utilizando termômetro de globo negro modelo WBGT8758, da InstruFiber. Os valores dessas variáveis microclimáticas resultam das médias

dos 4 pontos cardeais sob a copa por árvore, e de 10 pontos distribuídos aleatóriamente na área de pastagem a pleno sol, onde não há presença de árvores. A coleta dessas informações ocorreu 1 vez por semana entre o período das 11h e 13h (horário local), de fevereiro a novembro de 2022. Os dados foram detalhados em função das semanas de coleta a fim de verificar a variação sob a copa e a pleno sol ao longo de todo o período de estudo.

Índices de conforto térmico

Com as leituras obtidas, foram calculados dois índices como indicadores de conforto térmico animal: o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), originalmente proposto por Thom (1958) apud BUFFINGTON et al. (1981), sendo uma das equações:

$$\mathbf{ITU = t + (0,36 \times tpo) + 41,5}$$

Em que:

t = temperatura de bulbo seco (ºC);

tpo = temperatura do ponto de orvalho (°C).

e o Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU), proposto por BUFFINGTON et al (1981), onde:

$$\mathbf{ITGU = tgn + (0,36 \times tpo) + 41,5}$$

Em que:

tgn = temperatura do globo negro (ºC);

tpo = temperatura do ponto de orvalho (°C).

A temperatura do ponto de orvalho (tpo) usada nas equações foi calculada a partir da fórmula:

$$\mathbf{tpo = \sqrt[8]{UR/100*[112+ (0,9*t)]+ (0,1*t)-112}}$$

Em que:

UR = umidade relativa (%);

t = temperatura do bulbo seco (°C) (MACOME et al., 2012).

Análise estatística

Para análise estatística, foram avaliados os efeitos do sombreamento e das semanas nas diferentes variáveis climáticas e nos índices ITU e ITGU, considerando o período de fevereiro a novembro de 2022. Também foi avaliada a correlação das variáveis microclimáticas e de conforto térmico com o aporte de serapilheira mensal, de maneira a identificar possível relação da queda das folhas do pequizeiro ao longo do período com os indicadores ambientais. O aporte de serapilheira de outubro e novembro foram somados, não registrando o valor mensal. Portanto, a análise de correlação considerou dados de fevereiro a setembro.

Como os dados não atenderam aos pressupostos de normalidade, foi utilizada a análise não paramétrica de medidas repetidas no tempo. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o pacote “nparLD” (NOGUCHI et al., 2012) no software R (R CORE TEAM, 2022), considerando nível de significância de 5% e intervalo de confiança de 95%. As estatísticas utilizadas na análise foram a Tipo-Wald e Tipo-Anova, propostas por Brunner et al. (1999), para caracterizar efeito do tempo (semanas) e do tratamento (sombrado x pleno sol). No caso de identificação de efeito do tempo sob as variáveis, foi utilizado o teste de Wilcoxon para detectar diferenças entre a condição de sombreamento e a pleno sol a cada semana.

A análise de correlação foi feita com base no coeficiente de correlação de Spearman, utilizando-se a função ggcorrplot do pacote “ggcorrplot” (KASSAMBARA, 2022), permitindo visualizar as variáveis mais significativas.

Resultados e Discussão

Variáveis microclimáticas

A altura média dos pequizeiros foi de 7,7 m e DAP de 29,75 cm (Tabela 1). A média da área de projeção da copa foi 45,77 m^2, variando de 28,35 a 73,92 m^2. O sombreamento das árvores proporcionou uma diferença média de -4,29°C no IBUTG, -5,61 ºC na temperatura do ar, -13,43°C na temperatura do globo negro, 12,03% a mais de umidade relativa, quando comparado à área a

pleno sol (Tabela 2). Não foram identificadas estações meteorológicas no município ou em municípios vizinhos para definição atualizada de características climáticas e de preciptação, e para relacionar com os dados desta pesquisa.

Tabela 1. Caracterização dos pequizeiros quanto a altura, área de copa e DAP.

ÁRVORES	Altura (m)	Área de projeção da copa (m^2)	DAP
1	7	40,28	25,59
2	8,7	38,03	25,62
3	8,4	54,91	29,38
4	8,4	63,67	28,14
5	7,5	36,26	19,42
6	9,2	62,47	25,46
7	7,1	32,68	27,77
8	9	73,92	32,39
9	6,1	28,35	19,83
10	6,3	39,79	19,74
MÉDIA	**7,77**	**45,77**	**24,79**

Tabela 2. Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão (DP) do índice bulbo úmido termômetro de globo (IBUTG), temperatura do ar (TA), temperatura do globo negro (TG), umidade relativa do ar (U) ao longo de 43 semanas (entre fevereiro e novembro de 2022) sob sombra e a pleno sol.

Variáveis	SOMBRA				SOL			
	Máx.	Mín.	Média	DP	Máx.	Mín.	Média	DP
IBUTG (°C)	29,59	23,20	27,38	1,53	38,92	27,76	31,67	2,49
TA (°C)	38,27	28,57	33,50	2,43	50,81	29,55	39,11	4,54
TG (ºC)	42,50	33,05	37,31	2,32	71,14	18,47	46,24	14,70
U (%)	64,86	39,11	50,74	6,24	65,14	13,46	34,21	13,83

O sombreamento do pequizeiro proporcionou melhores condições microclimáticas ($p<0,05$) quando comparado a pleno sol ao longo das semanas para todas as variáveis (Figura 3), exceto na semana 12 para o IBUTG ($p=0,3841$); semana 5 e 31 para temperatura do ar ($p=0,8204$ e $p=0,3071$);

semana 1, 13 e 32 para umidade relativa do ar (p=0,1402, p=0,6301, p=0,112).

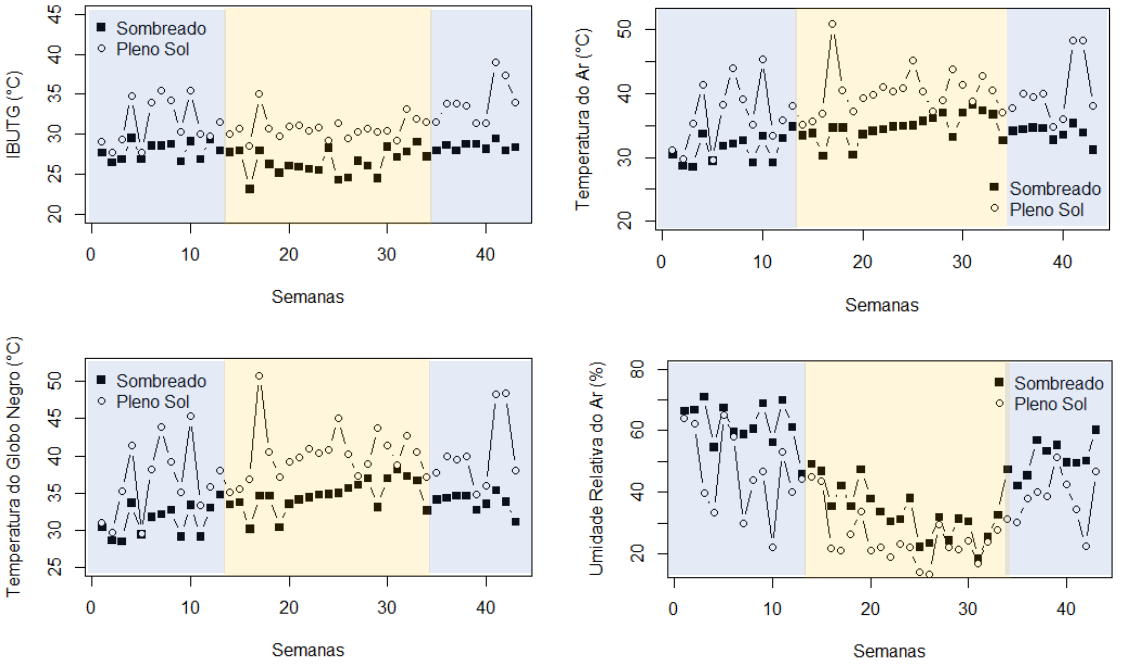

Figura 3. Médias do índice de bulbo úmido e termômetro de globo (IBUTG), temperatura do ar, temperatura do globo negro, e umidade relativa do ar sob sombreamento do pequizeiro e a pleno sol, durante 43 semanas, entre fevereiro e novembro de 2022 (em azul, período chuvoso e em laranja, período seco – maio a setembro).

De Melo Costa et al. (2017), ao estudar o equilíbrio térmico de bovinos Nelore, mostra que sob condições de sombra e temperatura do ar variando de 24 a 35°C, a produção de calor metabólico, a taxa respiratória e a ventilação permanecem estáveis, o que é indicativo de menor custo energético para a termorregulação em comparação com algumas raças europeias criadas em ambiente tropical. Neste estudo, TA média sob a copa do pequizeiro foi de 33,5°C, permanecendo dentro da faixa de equilíbrio a maior parte do tempo, enquanto que no sol foi de 39,11°C, indicando melhor condição térmica sob a sombra.

A amplitude térmica sob a sombra do pequizeiro foi de 9,7 ºC ao longo do estudo, e no sol foi de 21,26°C, mostrando que as árvores proporcionam melhor regulação climática ao longo das estações seca e chuvosa, com condições mais estáveis que favorecem o bem estar animal.

A TG fornece uma estimativa dos efeitos combinados da energia térmica radiante consequente do meio ambiente em todas as direções possíveis, da temperatura do ar e da velocidade do vento, representando a sensação térmica do ambiente no qual o animal está inserido (ARANHA et al., 2019). A TG média sob a sombra neste estudo foi alta, de 37,31ºC, porém a pleno sol foi de 50,74°C, indicando condição térmica altamente desconfortável sob o sol.

Quanto a umidade relativa, a média sob a sombra foi de 46,24%, ficando abaixo da zona de conforto térmico indicada por Baeta e Souza (2010), que é de 60 a 70%. A média é baixa pois no período seco a umidade cai consideravelmente, chegando a registrar mínima de 18,47% sob a sombra. A pleno sol, porém, a umidade média foi 12,03% menor, registrando mínima de 13,46%, 5% a menos de umidade em relação a sombra na época mais seca. As plantas respondem à menor umidade do ar aumentando a transpiração, dentro de certos limites, e se tiverem acesso à água no solo. Dessa maneira, em sistemas arborizados, as árvores utilizam a água que acessam em maiores profundidades do solo para continuar transpirando, por isso conseguem viabilizar mais umidade, mesmo no período mais seco (NICODEMO e PRIMAVESI, 2019).

De acordo com IPCC (2013), o aumento da temperatura e a redução das chuvas serão significativos em muitas regiões do mundo. Assim, a proteção contra a radiação solar, como a proporcionada pelo sistema silvipastoril, pode ser muito importante para mitigar os efeitos das mudanças climáticas em locais onde a evapotranspiração aumenta em função de maior temperatura, menor precipitação e menor nebulosidade (BOSI et al., 2020).

O índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo (IBUTG), disponibilizado automaticamente pelo termômetro utilizado, foi menor sob a sombra (27,38ºC) do que a pleno sol (31,67ºC). É um índice de conforto térmico, porém mais comumente utilizado para avaliar a exposição ocupacional ao calor, considerando temperatura, velocidade do ar, umidade do ar e calor radiante (BUDD, 2008; CARVALHO et al., 2014). Não foram encontrados trabalhos relacionando este índice com conforto térmico animal.

Índices de conforto térmico animal

Como consequência das melhores condições microclimáticas, o sombreamento das árvores proporcionou -5,5 pontos no ITU, e -13,33 pontos no ITGU, quando comparado à área a pleno sol (Tabela 3).

Tabela 3. Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão (DP) do índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) ao longo de 43 semanas (entre fevereiro e novembro de 2022) sob sombra e a pleno sol.

Variáveis	**SOMBRA**				**SOL**			
	Máx.	Mín.	Média	DP	Máx.	Mín.	Média	DP
ITU	84,67	72,70	80,35	3,26	100,50	76,31	85,85	4,89
ITGU	89,88	77,59	84,15	3,52	112,84	85,68	97,48	6,36

Tradicionalmente, o ITU possui 4 níveis de referência propostos a partir do Índice de Segurança do Clima Pecuário desenvolvido pelo LCI - Livestock Conservation Inc. (1970): normal, ITU < 74; alerta, 74 < ITU < 79; perigo, 79 < ITU < 84; e emergência, ITU > 84, no entanto, em alguns trabalhos, esses níveis são descritos de maneira diferente para levar em conta as diferentes tolerâncias ao calor de várias raças, especialmente gado leiteiro (WANG et al., 2018). Como o ITGU foi desenvolvido a partir de uma adaptação do ITU, os níveis de referência são os mesmos.

Sob a condição de sombreamento, o ITU variou de 72,7 a 84,67 (Figura 4), passando a maioria das semanas entre níveis de alerta e perigo, enquanto que a pleno sol variou de 76,31 a 100,50, em níveis de perigo e emergência principalmente, podendo comprometer seriamente a produtividade e o bem estar animal. Não houve diferença significativa da condição de sombreamento nas semanas 5, 12, 27 e 31 para ITU ($p=0,8205$, $p=0,07555$, $p=0,1303$, $p=0,496$ respectivamente).

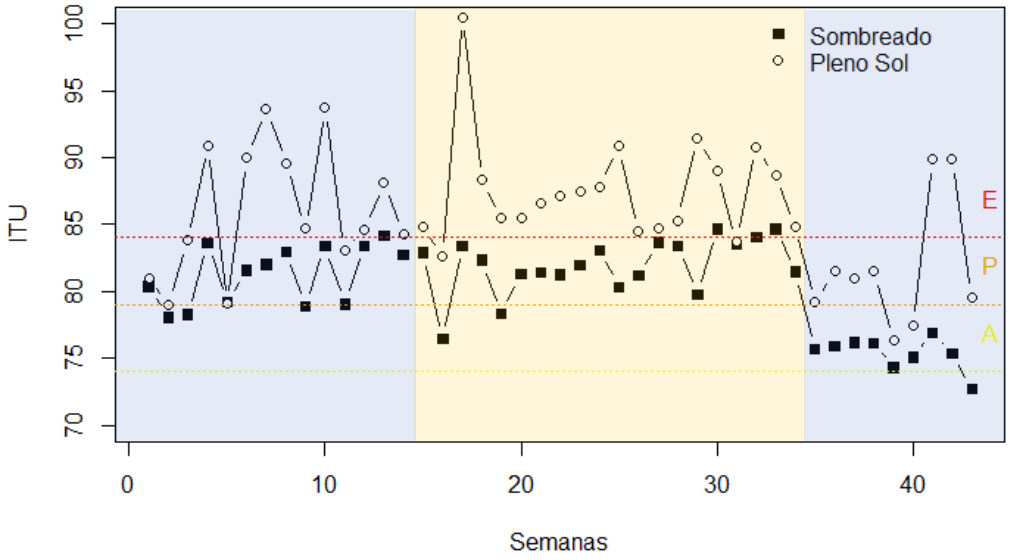

Figura 4. Médias do índice de temperatura e umidade (ITU) (A - alerta, P - perigo, E - emergência), sob sombreamento do pequizeiro e a pleno sol, durante 43 semanas, entre fevereiro e novembro de 2022 (em azul, período chuvoso e em laranja, período seco – maio a setembro).

O ITGU, que inclui o fator radiação, através de dados de temperatura do globo negro, também se mostrou melhor sob sombreamento em todas as semanas, no entanto, mesmo no sombreamento os níveis foram altos (entre perigo e emergência), variando entre 77,59 e 89,88 (Figura 5), gerando preocupação quanto às condições de estresse térmico dos animais. Isso demonstra que mesmo em um ambiente sombreado, as condições térmicas da região, especialmente no período de estiagem, podem ser estressantes. A pleno sol o ITGU permaneceu em nível de emergência em todo o período do estudo. O sombreamento atenuou o stress dos animais, mesmo assim não conseguiu reduzir o índice a níveis seguros.

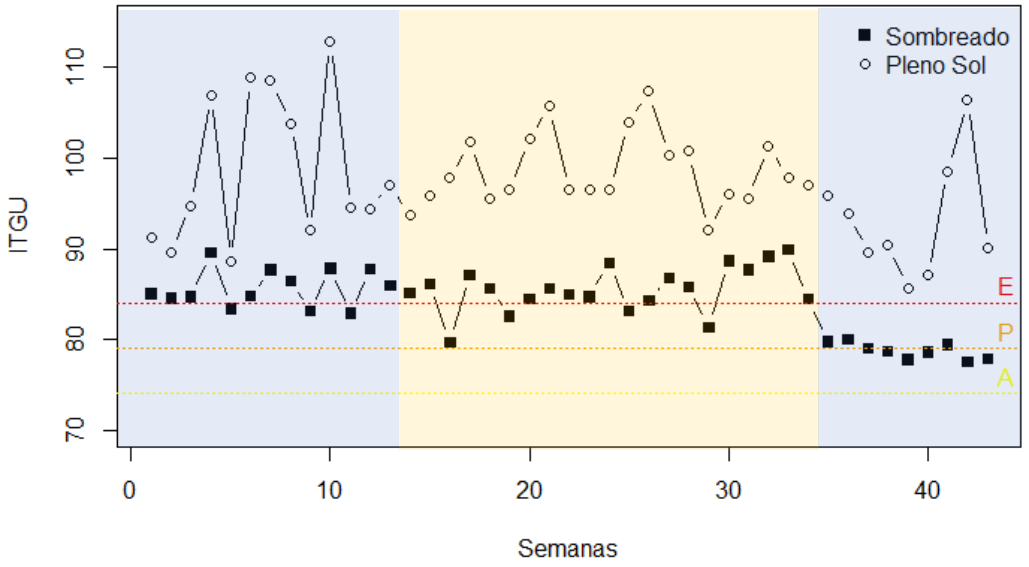

Figura 5. Médias do índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) (A - alerta, P - perigo, E - emergência), sob sombreamento do pequizeiro e a pleno sol, durante 43 semanas, entre fevereiro e novembro de 2022 (em azul, período chuvoso e em laranja, período seco – maio a setembro).

Outros autores também encontraram valores menores de ITU e ITGU sob sombreamento de árvores em relação a pleno sol, mesmo ainda indicando condição de desconforto. Navarini et al. (2009), por exemplo, ao avaliarem o conforto térmico do gado Nelore sob condições de sombreamento de área de bosque, árvores isoladas e a pleno sol no oeste do Paraná, observaram índices de alerta para ITU (76 e 78) de perigo para ITGU (79 e 82) no bosque e árvores isoladas, respectivamente, sendo menores do que na área a pleno sol (ITU 80 e ITGU 84).

Aranha et al. (2019) analisaram as condições de conforto térmico para gado Nelore em dois sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta com diferentes densidades de eucalipto (linha simples e linha tripla) e um sistema de integração lavoura-pecuária (a pleno sol) no estado de São Paulo. Nos ILPF a medição foi realizada sob a sombra e sob o sol também. Os índices altos de ITU (média de 81,01 e 80,44) e ITGU (média de 84,24 e 82,71) nas duas áreas sombreadas (linha simples e tripla respectivamente), com aumento no horário mais quente, entre 10h e 13h, porém menores em relação a ILP (ITU 83,91 e ITGU 88,28). Até mesmo os valores dos índices sob o sol nos ILPF foram menores do que no ILP (ITU 81,38 e 81,75; e ITGU 86,71 e 88,21 para linha

simples e tripla respectivamente). Apesar dos valores altos, não foi observada redução do ganho de peso nos animais que permaneceram sem sombra e com sombra.

Magalhães et al. (2020), ao estudarem índices de conforto térmico para gado Nelore em sistemas agroflorestais de pastagem com eucalipto em linha simples e linha tripla em relação à pastagem a pleno sol, no norte de Mato Grosso, observaram índices menores de ITU (média de 76,8 e 77,0) e ITGU (média de 83 e 83,8) para linha tripla e linha simples, respectivamente, em relação à pleno sol (ITU 77,2 e ITGU 85,4). O ITU não foi um indicador adequado dos níveis de conforto térmico na região sul da Amazônia onde as temperaturas costumam ser altas, pois não leva em consideração os efeitos da luz direta do sol gerando alto estresse térmico. Já o ITGU mostrou que a presença de árvores aumentou o conforto térmico ao proporcionar áreas sombreadas independentemente da configuração do sistema. Segundo os autores, mesmo que os valores de ITGU possam ultrapassar 79 em sistemas agroflorestais, as reduções de produtividade são minimizadas porque as áreas críticas são reduzidas e zonas sombreadas com valores de menores de ITGU ficam à disposição dos animais.

Este estudo com pequizeiro não envolveu a análise de capacidade termoregulatória do gado Nelore (zebuíno), que é mais adaptado e resistente ao calor quando comparado a raças europeias (HANSEN, 2004), não sendo possivel afirmar se os altos índices que indicam estresse térmico proporcionaram ou não a redução de ganho de peso ou algum outro prejuízo aos animais, porém permitiu identificar a diferença significativa que o sombreamento dos pequizeiros proporcionam na área melhorando as condições de conforto térmico.

Pezzopani et al. (2019), ao avaliarem índices de conforto térmico em sistemas silvipastoris com diferentes arranjos arbóreos em São Carlos/SP, observaram que no sistema contendo árvores nativas, os valores de ITGU superiores a 79 ocorreram quando a temperatura do ar (estação meteorológica) foi de pelo menos 27,1 °C, enquanto a pleno sol ocorreu a 24,9 °C. No sistema contendo eucalipto, o ITGU foi de 79 quando a temperatura do ar foi de 26 °C, enquanto a pleno sol esse limite foi alcançado com 24,8 °C. Essas estimativas indicam o grande potencial dos sistemas silvipastoris para proporcionar maior

conforto térmico e adaptação dos animais sob o cenário de mudanças climáticas.

Influência da serapilheira

Levando em consideração dados de fevereiro a setembro de 2022, houve diferença ($p<0,05$) de aporte de serapilheira ao longo dos meses. A Figura 6 mostra a correlação entre o aporte de serrapilheira do período e as características das árvores, as variáveis microclimáticas e os índices de conforto térmico animal. De acordo com Schober et al. (2018), a partir dos coeficientes de correlação, a correlação entre as variáveis pode ser muito forte (0,80 – 1), forte (0,70 – 0,79), moderada (0,40 – 0,69), fraca (0,10 – 0,39) ou negligenciável (0,00 – 0,10).

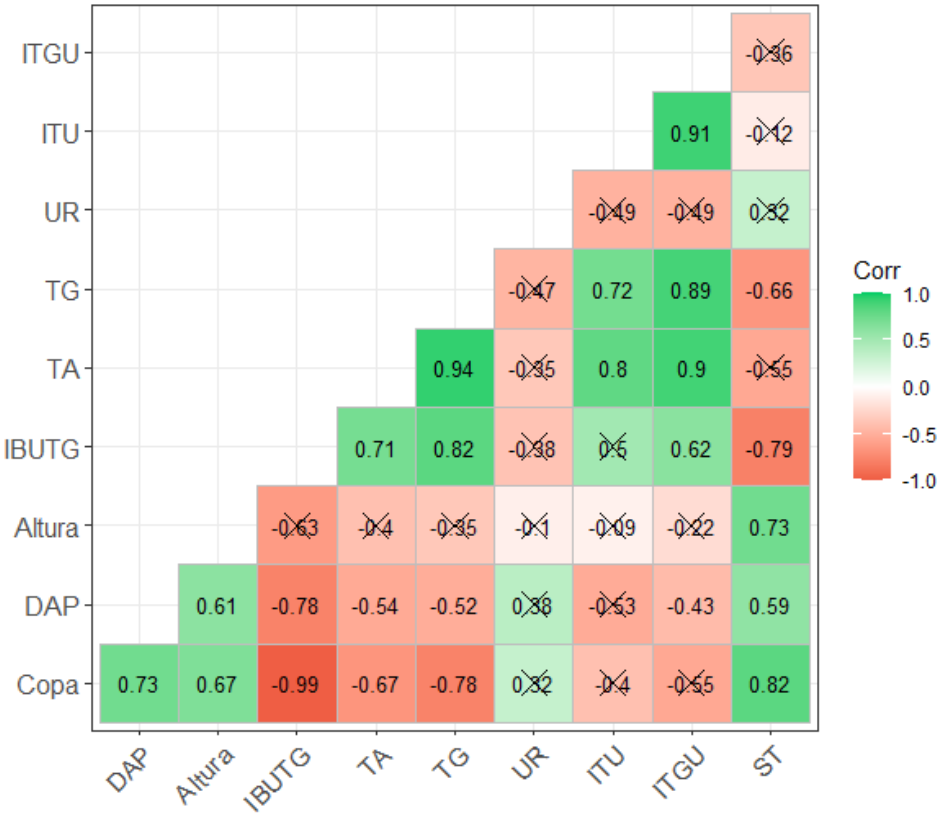

Figura 6. Coeficientes de Correlação de Spearman entre o aporte de serapilheira total (ST) dos pequizeiros, características das árvores, variáveis microclimáticas e de conforto térmico entre os meses de fevereiro a setembro de 2022 (IBUTG - índice bulbo úmido termômetro de globo; TA – temperatura do ar; TG - temperatura do globo negro; U - umidade relativa do ar; ITU – índice de temperatura e umidade; ITGU - índice de temperatura do globo negro e umidade). Em X estão as correlações não significativas.

O tamanho da área de copa, DAP e altura da árvore tem correlação positiva moderada a muito forte com a quantidade de serapilheira fornecida, portanto, quanto maior a altura, copa e DAP, maior o aporte de serapilheira. A área de copa, DAP e aporte de serapilheira tem correlação negativa moderada a muito forte com IBUTG, TA e TG, ou seja, quanto maior a árvore, maior capacidade de sombreamento, menor o valor dessas variáveis. A correlação com a umidade é positiva, porém não é significativa.

Quanto aos índices de conforto térmico e as características das árvores houve correlação negativa moderada significativa apenas com o DAP. O aporte de serapilheira, que está diretamente correlacionado com o tamanho das árvores (área de copa, altura e DAP) não influenciou nos índices ITU e ITGU. Isso se confirma na Figura 7. Mesmo havendo maior queda de folhas no período seco, os índices ITU e ITGU sob a copa dos pequizeiros se mantiveram relativamente equivalentes ao longo dos meses.

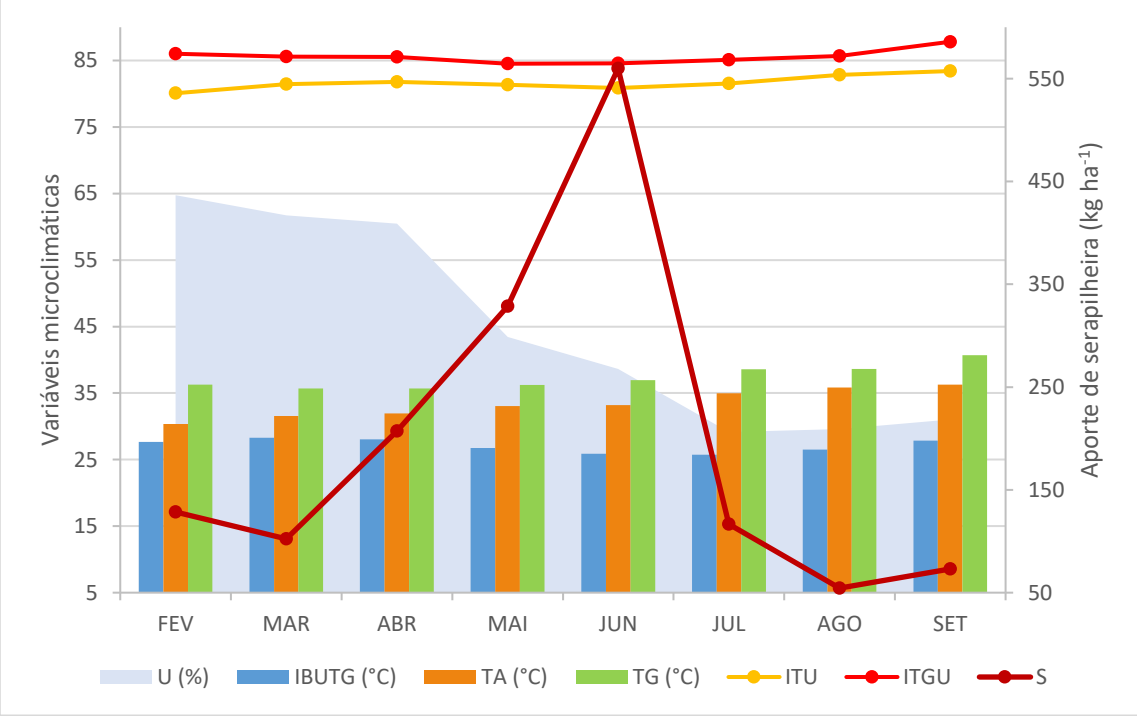

Figura 7. U - umidade relativa do ar (%); IBUTG - índice bulbo úmido termômetro de globo; TA - temperatura do ar (°C); TG - temperatura do globo negro (°C); ITU – índice de temperatura e umidade; ITGU - índice de temperatura do globo negro e umidade, e estimativa da deposição de serapilheira (S) dos pequizeiros por hectare entre os meses de fevereiro a setembro de 2022.

O pequizeiro tem comportamento semidecíduo, com queda mais acentuada de folhas durante a estação seca (OLIVEIRA et al., 2008). Porém, essa característica não promoveu influência sobre os índices de conforto térmico, que se mantiveram relativamente estáveis em todo o período de estudo. De acordo com Andrade et al. (2012), ao avaliar as características desejáveis de uma espécie arbórea para arborização de pastagens, o fato de a espécie ser perenifólia não foi considerado um atributo de grande relevância, pois mesmo as espécies caducifólias proveem sombra para o gado na maior parte do ano.

Conclusões

O sombreamento do pequizeiro proporcionou melhores condições microclimáticas no ambiente ao longo do ano e, consequentemente, melhores índices de conforto térmico aos animais quando comparados a área não sombreada. Portanto, o pequizeiro pode ser uma espécie de potencial econômico interessante para a melhoria das condições de conforto térmico do gado em pastagens e arranjos silvipastoris na amazônia matogrossense.

É importante em próximos estudos avaliar a capacidade de termoregulação dos animais nessas condições para identificar de forma mais efetiva a resistência do gado e o potencial de estresse da área.

Referências bibliográficas

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p. 711-728, 2013.

ALVES, F. V.; NICODEMO, M. L. F.; SILVA, V. P. da. Bem-estar animal em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. In: CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária-floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde,** Brasília, DF: Embrapa, p.273-289, 2015.

ALVES, F.V.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; KARVATTE JUNIOR, N. Bem-estar animal e ambiência na ILPF (Cap. 15). In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (Ed.). **ILPF : inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta,** Brasília, DF:Embrapa, p. 207-223, 2019.

ANDRADE, C. M S., SALMAN, A. K. D.; OLIVEIRA, T. K. (Edit.) Guia arbopasto: manual de identificação e seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris. **Embrapa**, Brasília - DF, 345 p., 2012.

AKYUZ, A.; BOYACO, S.; CAYLI, A. Determination of critical period for dairy cows using temperature humidity index. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v.9, n.13, p.1824 - 1827, 2010.

ARANHA, H. S.; ANDRIGHETTO, C.; LUPATINI, G. C.; BUENO, L. G. F.; TRIVELIN, G. A.; MATEUS, G. P.; LUZ, P. A. C.; SANTOS, J. M. F; SEKIYA, B. M. S.; VAZ, R. F. Produção e conforto térmico de bovinos da raça Nelore terminados em sistemas integrados de produção agropecuária. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.71, n.5, p.1686-1694, 2019.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. Ambiência em edificações rurais – Conforto animal. 2.ed. Viçosa: UFV, 269p, 2010.

BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SENTELHAS, P. C. Silvopastoral system with *Eucalyptus* as a strategy for mitigation the effects of climate change on Brazilian pasturelands. **Agrarian Sciences**, Annals of the Brazilian Academy of Sciences, v. 92 (suppl 1), 2020.

BUDD, G. M. Wet-bulb globe temperature (WBGT) - its history and its limitations, **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.11, p. 20-32, 2008.

BUFFINGTON, D.E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G.H.; PITT, D.; THATCHER, W.W.; COLLIER, R.J. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.24,

n.3, p.711-714, 1981.

BRUNNER, E.; MUNZEL, U.; PURI, M. L. Rank-Score Tests in Factorial Designs with Repeated Measures. **Journal of Multivariate Analysis**, v.70, p. 287-317, 1999.

CARVALHO, C. C. S.; SANTOS, T. C.; SILVA, G. C.; SANTOS, L. V.; MOREIRA, S. J. M.; BOTELHO, L. F. R. Conforto térmico animal e humano em galpões de frangos de corte no semiárido mineiro, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.7, p.769–773, 2014.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; CUNHA, T. A. da. Influência da posição social e do número de raios na estimativa da área de copa em araucária. **Revista Floresta**, v. 43, n. 3, p. 429 - 438, 2013.

DE MELO COSTA, C. C.; MAIA, A. S. C.; NASCIMENTO, S. T.; NASCIMENTO, C. C. N.; CHIQUITELLI NETO, M.; FONSECA, V. F. C. Thermal balance of Nellore cattle. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, n. 5, p. 723-731, 2018.

DOMICIANO, L. F.; MOMBACH, M. A. ; CARVALHO, P.; SILVA, N. M. F. ; PEREIRA, D. H.; CABRAL, L. S.; LOPES, L. B.; PEDREIRA, B. C. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. **Animal Production Science**, v.58, n.5, p. 920-929, 2016.

DOS SANTOS, M. M.; SOUZA-JUNIOR, J. B. F.; DANTAS, M. R. T.; COSTA, L. L. M. An updated review on cattle thermoregulation: physiological responses, biophysical mechanisms, and heat stress alleviation pathways. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 24, p. 30471-30485, 2021.

FELICIANO, M. E.; RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; VITOR, P. C. G. Avaliação de diferentes hipsômetros na estimativa da altura total. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** , v. 11, n. 2, p. 01-05, 2016.

GARCIA, R.; TONUCCI, R. G.; GOBBI, K. F. Sistemas silvipastoris: uma integração pasto, árvore e animal. In: OLIVEIRA NETO, S. N.; VALE, A. B.; NACIF, A. P.; VILAR, M. B.; ASSIS, J. B. (Ed.). Sistema agrossilvipastoril: integração lavoura, pecuária e floresta. **Sociedade de Investigações Florestais**, Viçosa, p.123-165, 2010.

HANSEN, P. J. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. **Animal Reproduction Science**, v.82-83, p. 349-360, 2004. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2004.04.011.

IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, **Cambridge: Cambridge University Press**, 1st ed., 2013.

KARVATTE JUNIOR, N.; KLOSOWSKI, E. S.; ALMEIDA, R. G. de; MESQUITA, E. E.; OLIVEIRA, C. C. de; ALVES, F. V. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. **International Journal of Biometeorology**, v.60, p.1-9, 2016.

KASSAMBARA, A. _ggcorrplot: Visualization of a Correlation Matrix using 'ggplot2'_. R package version 0.1.4,2022 <https://CRAN.R-project.org/package=ggcorrplot>

MACOME, F.M.; OLIVEIRA, R.L.; ARAUJO, G.G.L.; BARBOSA, L.P.; CARVALHO, G.G.P.; GARCEZ NETO, A.F.; SILVA, T.M. Respostas de ingestão e fisiologicas de cordeiros alimentados com torta de dendê (*Elaeis guineensis*). **Archivos de Zootecnia**, vol. 61, núm. 235, p. 335-342, 2012.

MAGALHÃES, C. A. S.; ZOLIN, C. A.; LULU, J.; LOPES, L. B.; FURTINI, I. V.; VENDRUSCULO, L. G.; ZAIATZ, A. P. S. R.; PEDREIRA, B. C. Improvement of thermal comfort indices in agroforestry systems in the southern Brazilian

Amazon. **Journal of Thermal Biology**, v. 91, 2020.

NAVARINI, F. C.; KLOSOWSKI, E. S.; CAMPOS, A. T.; TEIXEIRA, R. A. T.; ALMEIDA, C. P. Conforto térmico de bovinos da raça nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.4, p.508-517, 2009.

NICODEMO, M. L. F.; PRIMAVESI, O. Serviços ambientais em Sistemas Silvipastoris. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (Ed.) ILPF : inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF : **Embrapa**, p. 140-151, 2019.

NOGUCHI, K.; GEL, Y. R.; BRUNNER, E.; KONIETSCHKE, F. “nparLD: An R Software Package for the Nonparametric Analysis of Longitudinal Data in Factorial Experiments.” **Journal of Statistical Software**, v.50, n.12, p. 1–23, 2012.

OLIVEIRA, C. C.; ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G.; GAMARRA, E. L.; VILLELA, S. D. J.; MARTINS, P. G. M. A. Thermal comfort indices assessed in integrated production systems in the Brazilian savannah. **Agroforestry Systems**, v.92, p. 1659–1672, 2018.

OLIVEIRA, M. E. B.; GUERRA, N. B.; BARROS, L. M.; ALVES, R. E. Aspectos Agronômicos e de Qualidade do Pequi. **EMBRAPA Agroindustria Tropical**, Documento 113, CE, 2008.

PEZZOPANE, J. R. M.; NICODEMO, M. L. F.; BOSI, C.; GARCIA, A. R.; LULU, J. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. **Journal of Thermal Biology**, v.79, p. 103-111, 2019.

RASHAMOL, V. P. et al. Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v.6, n.3, p. 62 - 71, 2018.

R CORE TEAM. R: A language and envieronment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2022. URL https://www.R-project.org/

SALES-BAPTISTA, E., FERRAZ-DE-OLIVEIRA, M.I. Grazing in silvopastoral systems: multiple solutions for diversified benefits. **Agroforestry Systems**, v.95, p.1 - 6, 2021.

SEPLAN. Secretaria de Estado de Planejamento. Governo de Mato Grosso. Mapa A021 - Unidades Climáticas do Estado de Mato Grosso, 2001.

SCHOBER, P.; BOER, C.; SCHWARTE, L. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. **Anesthesia & Analgesia.** v.126, n. 5, p. 1763–1768, 2018.

SOUZA, A.; PAVÃO, H. G.; LASTORIA, G.; GABAS, S. G.; CAVAZZANA, G. H.; PARANHOS FILHO, A. C. Um estudo de conforto e desconforto térmico para o Mato Grosso do Sul. **Revista de estudos ambientais** (Online), v.12, n. 2, p. 15-25, 2010.

SOUZA, P. F. de; SILVA, J. A. da; LUCENA, D. da S.; SANTOS, W. de S.; HENRIQUES, I. G. N.; LUCENA, M. de F. de A.; SOUZA, A. D. Estudos fitossociológicos e dendrométricos em um fragmento de caatinga, São José de Espinharas-PB, Nota Técnica, **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1317-1330, 2016.

STORTI, A. A.; NASCIMENTO, M. R. B. M.; FARIA, C. U.; SILVA, N. A. M. Índices de estresse térmico para touros jovens nelore criados em ambiente tropical, **Acta Scientiae Veterinariae**, v.47, p.1670, 2019.

THOM, E.C. Cooling degree: day air conditioning, heating, and ventilation. In: **Transactions of the Amer. Soc. Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engrs**. v. 55, p. 65-72, 1958.

VIEIRA, F. M. C.; PILATTI, J. A.; CZEKOSKI, Z. M. W.; FONSECA, V. F. C.; HERBUT, P.; ANGRECKA, S.; VISMARA, E. S.; MACEDO, V. P.; SANTOS, M. C. R.; PASMIONKA, I. Effect of the Silvopastoral System on the Thermal Comfort of Lambs in a Subtropical Climate: A Preliminary Study. **Agriculture,** v.11, p. 790, 2021.

VIEIRA JUNIOR, N. A.; SILVA, M. A. A.; CARAMORI, P. H.; NITSCHE, P. R.; CORREA, K. A. B.; ALVES, D. S. Temperature, thermal comfort, and animal ingestion behavior in a silvopastoral system. **Semina: Ciências Agrárias,** Londrina, v. 40, n. 1, p. 403-416, 2019.

WANG, X., BJERG, B. S., CHOI, C. Y., ZONG, C., ZHANG, G. A review and quantitative assessment of cattle-related thermal indices. **Journal of thermal biology**, v. 77, p. 24-37, 2018.

3.2 QUALIDADE DO SOLO EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL COM PEQUIZEIRO NA AMAZÔNIA MATOGROSSENSE

Resumo

O solo é um componente fundamental de suporte dos sistemas agrícolas e entender o potencial que as espécies vegetais tem de influenciar sobre a qualidade do solo proporciona escolhas mais acertivas para os arranjos silvipastoris. Este estudo buscou compreender os efeitos da arborização por pequizeiro em relação a qualidade do solo em um sistema silvipastoril (SSP) no município de Terra Nova do Norte/MT. As amostras do solo foram coletadas em 3 condições sendo essas sob a copa e no limite da copa de 10 pequizeiros, e em 10 pontos a pleno sol. Foram realizadas análises químicas, sendo determinados o pH, matéria orgânica, disponibilidade de macro e micronutrientes, e atributos calculados. As análises físicas foram a textura, densidade, macro e microporosidade. As análises biológicas foram a determinação da atividade enzimática da arilsulfatase, betaglicosidase e fosfatase ácida. Além disso foram realizadas determinações de temperatura, umidade e condutividade elétrica do solo. Foram também instalados coletores suspensos nos 10 pequizeiros para levantamento do aporte mensal e qualidade de serapilheira, correlacionando com dados de qualidade do solo. O pequizeiro melhorou as condições de temperatura e umidade do solo, porém os dados químicos, físicos e biológicos em sua maioria se mostraram melhores à pleno sol, indicando que o pequizeiro, seja pela qualidade da serapilheira ou pelas condições desse SSP, não contribui para a melhoria da qualidade do solo.

Palavras-chave: Arborização de pastagem, *Caryocar brasiliense* Camb., saúde do solo, ciclagem de nutrientes, serapilheira.

SOIL QUALITY IN A SILVIPASTORAL SYSTEM WITH PEQUI TREE IN THE MATOGROSSENSE AMAZON

Abstract

Soil is a fundamental support component of agricultural systems and understanding the potential that plant species have to influence soil quality provides more accurate choices for silvopastoral arrangements. This study sought to understand the effects of afforestation by pequi trees in relation to soil quality in a silvopastoral system (SPS) in the municipality of Terra Nova do Norte/MT. Soil samples were collected in 3 conditions, these being under the canopy and at the edge of the canopy of 10 pequi trees, and at 10 points in full sun. Chemical analyzes were carried out, determining the pH, organic matter, availability of macro and micronutrients, and calculated attributes. The physical analyzes were texture, density, macro and microporosity. The biological analyzes were the determination of the enzymatic activity of arylsulfatase, betaglucosidase and acid phosphatase. In addition, determinations of temperature, humidity and electrical conductivity of the soil were carried out. Suspended collectors were also installed on the 10 pequi trees to survey the monthly input and litter quality, correlating with soil quality data. The pequi tree improved the soil temperature and moisture conditions, but the chemical, physical and biological data were mostly better in full sun, indicating that the pequi tree, either due to the quality of the litter or the conditions of this SPS, does not contribute to the improvement of soil quality.

Keywords: Pasture afforestation, *Caryocar brasiliense* Camb., soil health, nutrient cycling, litter.

Introdução

Os sistemas silvipastoris (SSP) são arranjos agroflorestais que combinam gramíneas forrageiras com arbustos e árvores para diferentes funções como, por exemplo, nutrição animal e melhoria da fertilidade do solo, contribuindo para a atividade pecuária mais sustentável, pois dentre outros benefícios, reduzem o impacto nos recursos naturais, aumentando a eficiência, diversidade e rentabilidade de uma mesma área (HUERTAS et al., 2021; JOSE e DOLLINGER, 2019).

O pasto, as árvores, os animais e o solo são componentes básicos nos SSP, e requerem práticas de manejo específicas, porém, o efeito das interações entre eles não devem ser observados ou interpretados de forma isolada, já que a integração é o fator chave para a consolidação desse ecossistema de produção (GARCIA et al., 2010). A diversidade de elementos nesses sistemas com a presença de espécies lenhosas e herbáceas impacta diretamente a qualidade do solo pois contribui para a ciclagem de nutrientes, melhora a estrutura do solo e retenção de água, e favorece a biota do solo (SILVA-OLAYA et al., 2022).

Qualidade do solo se refere a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites do ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade animal e vegetal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e apoiar a saúde humana e a habitação (KARLEN, et al., 1997). A análise de qualidade depende da finalidade para qual o solo servirá, estando relacionada com a composição natural do solo e com as práticas intervencionistas do homem (ARAÚJO et al., 2012).

Para avaliar a qualidade do solo nos sistemas produtivos, é preciso conhecer a capacidade do solo em suprir e reciclar nutrientes para as plantas, bem como suportar o crescimento e desenvolvimento das raízes proporcionando uma adequada atividade biológica, entre outros fatores (CASALINHO et al., 2007). As propriedades medidas para inferências sobre a qualidade do solo são citadas como indicadores ou índices da qualidade do solo, que são atributos mensuráveis de forma quantitativa ou qualitativa

capazes de avaliar alterações ocorridas num dado ecossistema (SILVA, 2019). Os indicadores são geralmente divididos em físicos, químicos e biológicos de acordo com os atributos do solo analisados. Sob nenhuma hipótese devem ser usados de maneira isolada para a determinação da qualidade do solo, devendo levar em consideração, a complexidade de suas inter-relações (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009; FREITAS et al., 2012).

Os principais indicadores físicos são textura; espessura (horizonte A; solum); densidade do solo; resistência à penetração; porosidade; capacidade de retenção d'água; condutividade hidráulica; e estabilidade de agregados (ARAÚJO et al., 2012). As propriedades físicas do solo estão diretamente envolvidas no suporte ao crescimento radicular, infiltração, armazenagem e disponibilidade de água, ciclagem de nutrientes, trocas gasosas, atividade biológica e resistência ao manejo (SILVA et al., 2020).

Os indicadores químicos são, normalmente, agrupados em variáveis relacionadas com o teor de matéria orgânica do solo, a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes, elementos fitotóxicos (Al^{3+}, por exemplo) e determinadas relações como a saturação de bases (V%) e de alumínio (m) (ARAÚJO el al., 2012). O estudo das propriedades químicas do solo é capaz de possibilitar a compreensão sobre a fertilidade da área, permitindo observar possíveis modificações sofridas em função do manejo adotado (FREITAS et al., 2017).

Entre os indicadores biológicos, ou bioindicadores, destacam-se as avaliações de biomassa microbiana, respiração basal e de atividade enzimática, especialmente enzimas beta-glicosidase e celulase (ciclo do C), arilsulfatase (ciclo do S), e fosfatase ácida (ciclo do P), pois apresentam maior sensibilidade para detectar alterações no solo, em função do sistema de manejo (MENDES et al., 2015). Solos biologicamente ativos são mais produtivos em virtude da contribuição dos microrganismos para os processos ecossistêmicos (BATISTA et al., 2018). No solo, as enzimas atuam como catalizadoras de reações metabólicas intracelulares que ocorrem nos seres vivos. Também são fundamentais em várias reações que resultam na decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, formação da matéria orgânica e da estrutura do solo (MENDES et al., 2018). Portanto, as atividades enzimáticas do solo refletem como a comunidade

microbiana investe na aquisição de energia e nutrientes.

Para além de todos esses atributos, é necessário levar em consideração outros fatores que afetam diretamente a dinâmica do solo e podem auxiliar na compreensão de sua qualidade e na tomada de decisão, como manejo da atividade, arranjo e diversidade de espécies, aporte de serapilheira, dentre outros. É necessário se utilizar de estratégias que reduzem as perdas e aumentam a eficiência no uso do solo, da água e dos nutrientes como agricultura de conservação, manejo integrado de nutrientes, cobertura vegetal contínua, como cobertura morta e cultivo de cobertura, e pastoreio controlado em taxas de lotação apropriadas (LAL, 2015).

A complexidade dos ecossistemas faz a diferença para o desempenho eficiente das funções do solo, determinando sua qualidade e a qualidade ambiental e isso pode ser alcançada pelo cultivo contínuo e diversificado de plantas (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Em arranjos florestais e agroflorestais, o aporte e qualidade da serapilheira promovida pelas espécies arbóreas é um dos principais mecanismos responsáveis pela ciclagem de nutrientes (ANDRADE et al., 2003).

A deposição de serapilheira contribui para aumentar o teor de carbono no solo, incrementando a disponibilidade de água e de nutrientes, resultando no aumento na diversidade de micro e mesorganismos do solo (ALMEIDA et al., 2014). Sem a intervenção das raízes das árvores atuando como “rede de retenção”, parte desses nutrientes seria perdida por lixiviação ou ficaria indefinidamente indisponível para a vegetação herbácea (DIAS-FILHO, 2006).

Portanto, sistemas integrados como os SSP, com maior aporte de resíduos, podem contribuir para melhoria na qualidade do solo e para respostas favoráveis dos indicadores da qualidade do solo (BATISTA et al., 2018). No entanto, mesmo reconhecendo a importância das árvores nos SSP para a manutenção do equilíbrio ecossitêmico das pastagens, ainda faltam informações sobre os seus benefícios, formas de implantação e manejo, e seu potencial de consórcio em sistemas de pastejo (OLIVAL et al., 2022), bem como o impacto nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, e as suas interações (SILVA-OLAYA et al., 2022).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo compreender a influência do pequizeiro na qualidade do solo, relacionando aspectos físicos,

químicos e biológicos do solo e à contribuição da serapilheira no aporte de nutrientes em um sistema silvipastoril no bioma amazônico. Baseou-se na hipótese de que o pequizeiro em consórcio com forragem melhora as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, tornando possível a diferenciação de áreas cultivadas convencionalmente.

Material e Métodos

Caracterização da área e manejo

O estudo foi realizado em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico, localizado no Sítio Boa Vista, Comunidade São José, município de Terra Nova do Norte-MT (Figura 8), Território Portal da Amazônia, entre fevereiro e novembro de 2022. O município está localizado geograficamente à -10.5183º latitude Sul e -55.2322º longitude Oeste, altitude de 323 metros e apresenta clima tropical de monção (Am), segundo a classificação de Koppen, com temperatura média de 26°C, e preciptação anual de 2.800mm (ALVARES et al., 2013), com período de seca entre maio e setembro (SEPLAN, 2001).

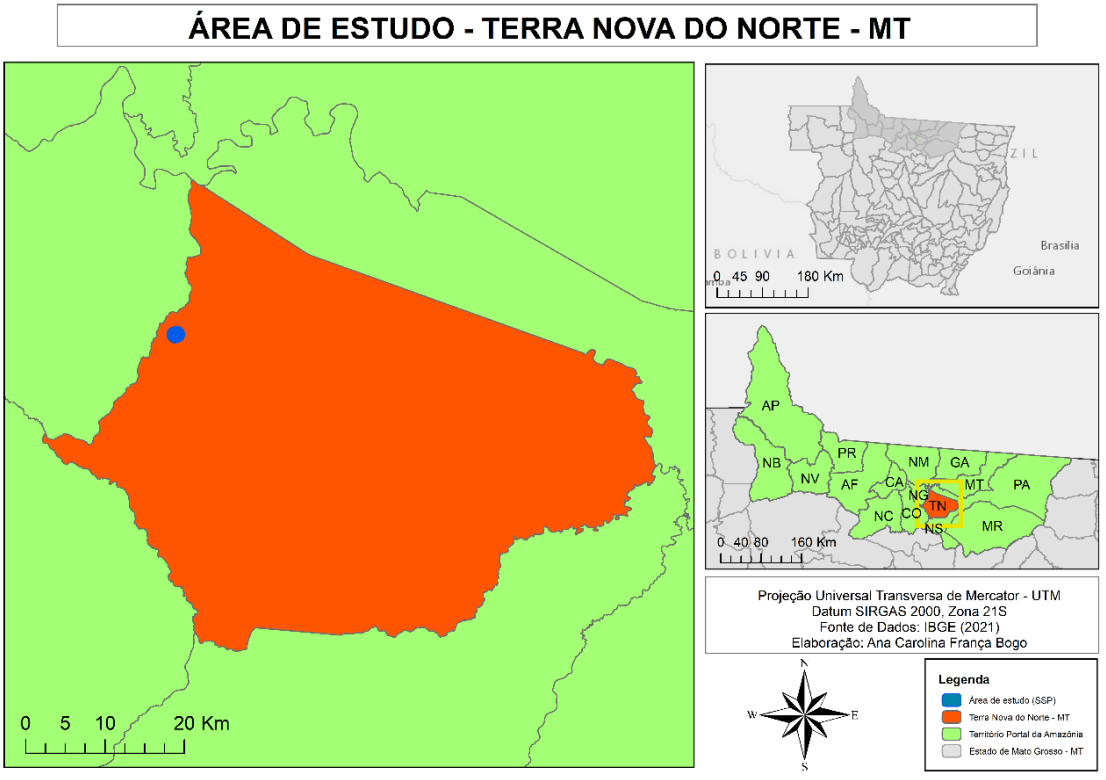

Figura 8. Localização da área de estudo em Terra Nova do Norte - MT.

Em 2014, a área de 2,6 ha que antes era de *Brachiaria brizantha* e havia sofrido com a morte súbita das pastagens, foi gradeada e transformada em uma área de produção de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). As mudas de pequizeiro foram plantadas numa distância de 12x12 metros e nas entrelinhas foram plantadas leguminosas como leucena (*Leucaena leucocephala)*, gliricídea (*Gliricidia sepium)*, feijão guandu (*Cajanus cajan)*, feijão de porco (*Canavalia ensiformis)* dentre outras, como um arranjo agroflorestal.

Também, em parte da área, nas primeiras 2 entrelinhas de pequizeiro, foram plantados milho (*Zea mays)* no primeiro ano e depois cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), ambos para silagem, alimentando o gado no período seco. Em parte do plantio de cana, os pequizeiros ficaram abafados e não se desenvolveram, formando uma falha (clareira). Após 4 anos de estabelecimento do pequi, a área foi novamente gradeada, retirando as espécies de ciclo curto para o plantio de capim massai (*Megathyrsus maximus x M. infestum* cv. Massai), transformando a área num sistema silvipastoril (SSP). A cana-de-açúcar permaneceu no sistema por quase 1 ano a mais, sendo depois consumida pelo gado e plantado o capim no lugar, conforme o restante do sistema. Inicialmente o SSP atendeu o gado leiteiro, e depois foi direcionado para gado de corte. Hoje, o SSP possui 185 pequizeiros e, por safra, são colhidos aproximadamente 1.800 kg de pequi (fruto já beneficiado).

A área do SSP faz parte de um piquete maior, de 7,5 ha total, e durante os 10 meses do estudo foram manejados aproximadamente 120 animais da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) entre bezerros, novilhas e gado adulto (aproximadamente 80 UA), com ocupação média de 5 dias por mês e descanso de 18 a 22 dias.

Definição da amostragem

Para o estudo, foram caracterizados 10 pequizeiros quanto altura, DAP, área de copa (vide Capítulo 1).

A amostragem de solo foi realizada dia 05 de março de 2022, e seguiu as mesmas distâncias sob a copa (0,50 m) e no limite da copa (projeção) dos 10

pequizeiros (Figura 9), e em 10 pontos distribuídos aleatoriamente na área de pastagem onde não há presença de árvores (pleno sol), seguindo critérios específicos para cada tipo de análise (química, física e biológica).

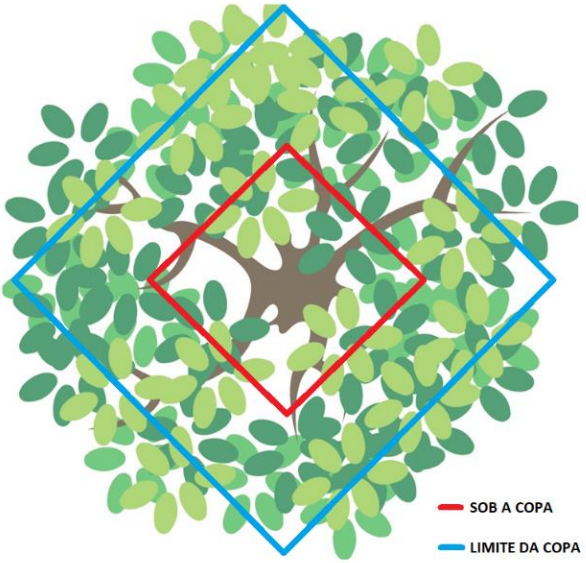

Figura 9. Identificação das distâncias e quatro pontos cardeais sob a copa e limite da copa dos pequizeiros para coleta de amostras de solo.

Análise química

Para análise química, foi coletada uma amostra simples em cada ponto cardeal, nas profundidades 0-0,20 e 0,20-0,40 m, na copa (0,50 m) e no limite da copa (projeção) para cada indivíduo. As quatro amostras simples formaram uma amostra composta. Também foram coletadas amostras nos mesmos parâmentros de profundidade em 10 pontos na área a pleno sol. As amostras foram enviadas para o LASAF – Laboratório de Análises de Solo, Adubo e Foliar da UNEMAT de Alta Floresta.

Foram realizadas as análises conforme EMBRAPA-SOLO (2017): pH em água e $CaCl_2$; cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) extraídos com KCL 1 mol L^{-1} e determinados por titulometria; fósforo (P) e potássio (K), extraídos pelo método Mehlich 1 e determinados por espectrofotometria e fotometria de chama, respectivamente; acidez potencial (H + Al) extraída pela solução de

acetato de Ca e determinado por titulometria. A determinação da matéria orgânica (MO) foi realizada pelo método proposto por Walkley e Black.

A partir dos dados analíticos foram calculadas a Saturação por bases (V%); Saturação por alumínio (m%); CTC efetiva (t), CTC a pH 7,0 (T); e saturação por elemento na CTC. O enxofre foi extraído com fosfato de cálcio e determinado por espectrofotometria. O boro foi extraído com água quente e determinado pelo método utilizando azometina H, sendo determinado por espectrofotometria. Cobre, ferro, manganês e zinco foram extraídos por Mehlich 1 e determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

Análise física

A análise física foi realizada no LASAF – Laboratório de Análises de Solo, Adubo e Foliar da UNEMAT de Alta Floresta. A textura (areia, silte e argila) foi avaliada pelo método do densímetro (EMBRAPA-SOLO, 2017) a partir das mesmas amostras coletadas para análise química, nas profundidades 0-0,20 e 0,20-0,40 m. Já para densidade e porosidade, foram coletadas amostras indeformadas em anéis volumétricos nas produndidades 0,05-0,10 e 0,15-0,20 m em 1 ponto sob a copa e 1 ponto no limite da copa de cada indivíduo e em 10 pontos na área a pleno sol. Através do método da mesa de tensão avaliou-se a porosidade e para quantificar a densidade se utilizou o método do cilindro volumétrico e estufa de secagem (FERREIRA, 2016; EMBRAPA-SOLO, 2017).

Cada cilindro com as amostras de solo foi envolvido com tecido na parte inferior e preso com elástico para não haver deformação e perda de solo. No laboratório, as amostras foram saturadas com água durante 24 horas. Em seguida foram pesadas e levadas a mesa de tensão, aplicando-se tensão de 0,60 m de coluna de água (6 kPa), onde ficaram até parar de drenar (obtendo o peso constante da amostra).

Após esse período de drenagem, as amostras foram pesadas, levadas para a estufa de fluxo contínuo de ar pelo período de 24 horas a temperatura de 105 ºC, e depois de secas foram pesadas novamente. Pesou-se o conjunto anel, tecido e elástico e valor foi subtraído do peso anteriores. Mediu-se a altura e o diâmetro do anel volumétrico, para a obtenção do volume deste.

Para se determinar o percentual dos poros e a densidade do solo, se

realizou as seguintes equações:

a) Densidade do solo (Ds)

$$\boldsymbol{Ds}(\mathbf{kg\ dm^{-3}}) = \frac{\boldsymbol{M}}{\boldsymbol{V}} \quad (\mathbf{1})$$

Em que:

Ds – densidade do solo.

M – Massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em g.

V – Volume do cilindro, em cm^3.

b) Porosidade total do solo (Pt)

$$\boldsymbol{Pt}(\%) = \left(\frac{\boldsymbol{a-b}}{\boldsymbol{V}}\right) * \mathbf{100} \quad (\mathbf{2})$$

Em que:

Pt – Porosidade total.

a – Massa da amostra saturada, em g.

b – Massa da amostra seca a 105 °C, em g.

V – Volume do cilindro, em cm^3.

c) Microporosidade do solo (Mi)

$$\boldsymbol{Mi}(\%) = \frac{\boldsymbol{c-b}}{\boldsymbol{V}} * \mathbf{100} \quad (\mathbf{3})$$

Em que:

Mi – microporosidade.

c – Massa do solo seco + água retida, após equilíbrio com um potencial de 6 kPa (60 cm de coluna de água), em g.

b – Massa do solo seco a 105 ºC, em g.

V – Volume total da amostra, em cm^3.

d) Macroporosidade do solo (Ma)

$$\boldsymbol{Ma}(\%) = \boldsymbol{Pt} - \boldsymbol{Mi} \quad (4)$$

Em que:

Ma – macroporosidade, em %.

Pt – porosidade total, em %.

Mi – microporosidade, em %.

Análise biológica

Para análise biológica, foi coletada uma amostra simples em cada ponto cardeal, na profundidade 0-0,10 m, sob a copa (0,50 m) e no limite da copa (projeção) para cada indivíduo. As quatro amostras simples formaram uma amostra composta. Também foram coletadas amostras nas mesmas profundidades em 10 pontos distribuídos aleatoriamente na área a pleno sol. As análises foram feitas no LASAF – Laboratório de Solo, Adubo e Foliar da UNEMAT de Alta Floresta para avaliar atividade enzimática da arilsulfatase, betaglicosidase e fosfatase ácida, segundo métodos descritos por Tabatabai (1994), também aplicados pela EMBRAPA (2020) e IAC (2022). Amostras frescas de solo foram usadas para todos os ensaios enzimáticos. A proporção da umidade em cada amostra foi considerada para os cálculos.

Os métodos para análise da atividade enzimática são baseados na determinação colorimétrica do p-nitrofenol (coloração amarela) formado após a adição de substratos incolores específicos para cada enzima avaliada, que são: p-nitrofenil β-D-glicopiranosídeo (PNG) para a avaliação da betaglicosidase, p-nitrofenil fosfato (PNF) para a fosfatase ácida e p-nitrofenil sulfato (PNS) para arilsulfatase. Alíquotas de 1 g de cada amostra de solo foram colocadas em tubos, sendo uma para cada enzima avaliada e mais uma por tratamento como controle (branco). Para a avaliação da betaglicosidase, foram adicionados 4 mL de tampão universal modificado (MUB) pH 6 e 1 mL de PNG 0,025 M (exceto para controle). Para a fosfatase ácida, 4 mL de MUB pH 6,5 e 1 mL de PNF 0,05 M (exceto para controle). Para a arilsulfatase, 4 mL de tampão acetato 0,5 M pH 5,8 e 1 mL de PNS 0,05 M (exceto para controle).

Após agitar em vortex e tampar os tubos, as amostras foram incubadas em banho-maria a 37 °C por 1 h. Devido aos curtos períodos de incubação (1 h), o tolueno foi omitido dos ensaios. Logo após a incubação, foram adicionados 1 mL de $CaCl_2$ 0,5 M e 4 mL de NaOH 0,5 M para arilsulfatase e fosfatase ácida, e 4 mL de THAM 0,1 M pH 12 no caso da betaglicosidase. Só então, adicionou-se 1 mL de substrato (PNG, PNF ou PNS) aos respectivos controles (brancos). Em seguida, as amostras foram agitadas em vortex e filtradas em papel de filtro Whatman nº 2. Por fim, realizou-se a diluição das

amostras em cubetas com água destilada e a leitura da coloração amarela em espectrofotômetro a 410 nm (420 nm para a betaglicosidase).

Os cálculos para determinação da atividade enzimática (em p-nitrofenol g^{-1} h^{-1}) foram realizados com base nos valores de absorbância média (x), ajustando-se a diluição das amostras, e em curvapadrão previamente estabelecida (y=0,0101x+0,051 para betaglicosidase; y=0,0126x+0,0221 para arilsulfatase; y=0,0127x+0,0061 para fosfatase ácida).

Análise de serapilheira

Em relação à serapilheira, foram instalados dois coletores suspensos de 0,50 x 0,50 m cada nos 10 pequizeiros (Figura 10) a fim de determinar o aporte mensal de serapilheira e os nutrientes disponibilizados pelas árvores na área, verificando a relação com as demais variáveis do solo. A escolha por coletores suspensos se deu para evitar perdas ou possíveis estragos com a presença do gado na área.



Figura 10. (a) Disposição dos coletores de serapilheira instalados sob a copa do pequizeiro de forma suspensa; (b) coletor com serapilheira depositada. Sitio Boa Vista, Terra Nova do Norte – MT. Março/2022.

A serapilheira foi coletada mensalmente de fevereiro a novembro de 2022. A amostras mensais separadas por indivíduos foram armazenadas em sacos de papel, identificadas e levadas para estufa por 72h a 60°C, atingindo a massa seca constante do material. Foi realizada a pesagem do material seco e a triagem em função de folhas e demais estruturas como ramos e flores. Em seguida foram moídos e encaminhados para análise química e de lignina, segundo protocolos da EMBRAPA (2009). A análise química foi realizada no Laboratório Horizonte em Alta Floresta, a partir de digestão sulfúrica, destilação e titulação (método Kjeldahl), digestão nitroperclórica e espectrofotometria para P e S, digestão nitroperclórica e Fotometria de chama para K, digestão nitroperclórica e espectrofotometria de absorção atômica para Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, e digestão seca em forno mufla e espectrofotometria para B.

A determinação de lignina se deu a partir do método lignina detergente ácida (LDA), descrita no Compendio Brasileiro de Alimentação Animal (2017). A concentração de lignina nas amostras foi expressa em g kg^{-1}.

Condições edafoclimáticas

Para identificar as possíveis mudanças proporcionadas no solo pelo sombreamento dos pequizeiros, foram coletadas informações de umidade do solo (%), temperatura do solo (°C) e condutividade elétrica em massa (dS/m), na profundidade 0-0,05m, manualmente a partir de um Sensor TEROS 12, 1 vez por semana entre o período das 11h e 13h (horário local), de fevereiro a agosto de 2022. A leitura se deu até agosto pois houve quebra do sensor, não sendo possível a continuidade da coleta de dados. Os valores das variáveis foram resultado das médias dos 4 pontos cardeais sob a copa dos 10 pequizeiros, e de 10 pontos distribuídos aleatóriamente na área de pastagem a pleno sol. Os dados foram detalhados em função das semanas de coleta a fim de verificar a variação sob a copa , no limite da copa e a pleno sol ao longo de todo o período.

Análise estatística

Para análise estatística, foram avaliados os efeitos do pequizeiro no solo

em relação aos aspectos químicos, físicos, biológicos e variáveis edafoclimáticas sob a copa e no limite da copa, comparando com a área a pleno sol, de maneira a caracterizar possível influência na qualidade do solo. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2022), e considerou-se nível de significância de 5% e intervalo de confiança de 95%. Como os dados não atenderam aos pressupostos de normalidade, foi utilizado delineamento estatístico para comparações múltiplas de Kruskal-Wallis. No caso de identificação de efeito, foi utilizado o teste de Wilcoxon para detectar diferenças das variáveis entre as posições em relação à copa e a pleno sol.

Resultados e Discussão

Indicadores químicos

Na camada de 0-0,20 m não houve diferença entre as amostras coletadas sob a copa, no limite da copa e em pleno sol para o pH em água, P, K, S, M.O. e CTC a pH 7, %K, B, Fe, Mn e Zn (Tabela 4). Porém, o pH $CaCl_2$, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, V%, %Ca, %Mg, %m e Cu houve diferença significativa ($p<0,05$), ou seja, em pleno sol houve maiores valores para o pH, Ca, Mg, SB e saturação por esses elementos e, consequentemente, menores teores para o Al, H+Al e %m. Para o Cu os maiores valores foi em pleno sol e sob a copa. Na camada 0,20-0,40 m, a qual sofre grande influencia da camada superior, os resultados se assemelharam, sendo que as diferenças foram que a pleno sol também houve maiores valores ($p<0,05$) para o pH em água, S, M.O. e Zn.

Tabela 4. Valores médios dos atributos químicos do solo na camada de 0-0,20 e 0,20-0,40 m sob a copa, no limite da copa e em pleno sol.

PROFUND.	CONDIÇÃO	pH		$P_{Mehlich}$	K	K	Ca	Mg	Al	H + Al	S	MO
		Água	$CaCl_2$	------- mg dm^{-3} -------		---------- $cmol_c$ dm^{-3} ----------					mg dm^{-3}	g dm^{-3}
0-20	**Copa**	4,82	4,26b	1,00	76,9	0,20	0,59b	0,34 b	0,52 a	4,91 a	5,34	19,8
	Limite	4,94	4,31b	1,17	49,2	0,13	0,78ab	0,39 b	0,35 ab	4,72 a	5,46	19,8
	Sol	5,07	4,59a	1,12	88,7	0,23	1,21a	1,07 a	0,18 b	3,41 b	6,02	24,2
20-40	**Copa**	4,97c	4,46 b	0,52	46,1	0,12	0,49 b	0,24 b	0,24 a	3,03 a	5,43 b	12,7 b
	Limite	5,16 b	4,59 b	0,55	34,7	0,09	0,57 b	0,28 b	0,11 ab	2,95 a	6,54 ab	11,9 b
	Sol	5,38 a	4,94 a	0,41	35,5	0,09	0,84 a	0,67 a	0,02 b	2,06 b	6,63 a	15,1 a

PROFUND.	CONDIÇÃO	T	SB	V	m	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		$cmol_c$ dm^{-3}		---------- % ----------		---------- % ----------			---------- mg dm^{-3} ----------				
0-20	**Copa**	6,05	1,14 b	18,33 b	34,4 a	3,26	9,53 b	5,55b	0,16	0,7 a	154	17	0,93
	Limite	5,99	1,27 b	21,35 b	21,57 a	2,08	12,6 ab	6,65b	0,15	0,61 b	160	17	1,14
	Sol	5,88	2,48 a	41,69 a	8,0 b	3,86	20,15 a	17,67a	0,17	0,81 a	173	22	1,23
20-40	**Copa**	3,84	0,83 b	21,61 b	22,72 a	3,15	12,45 b	6,01b	0,12	0,55 a	60	9	0,44 b
	Limite	3,86	0,91 b	23,88 b	11,83 a	2,17	14,92 b	6,8b	0,14	0,42 b	72	9	0,82 ab
	Sol	3,63	1,6 a	44,54 a	1,14 b	2,41	23,61 a	18,54a	0,13	0,62 a	62	10	1,26 a

*****Letras iguais na coluna e em cada profundidade não apresentaram diferença estatística.

Os resultados em geral mostraram que a presença do pequizeiro não melhorou a fertilidade do solo, mostrando valores inferiores sob a copa e no limite, em comparação com a área a pleno sol. Porém, é importante ressaltar que as entrelinhas receberam plantio de diferentes leguminosas, e a pleno sol recebeu também o plantio de cana-de-açucar por mais de 4 anos, o que não ocorreu nos outros pontos analisados sob a copa. Isso pode ter influenciado a dinâmica de uso e ciclagem de nutrientes no solo do SSP.

Outros fatores também precisam ser avaliados. A fertilidade do solo ser menor sob a copa do que na área a pleno sol também pode estar relacionada com a característica da espécie, com o arranjo do sistema (única espécie arbórea, alta densidade de sombreamento), compactação, e a qualidade da serapilheira fornecida pelo pequizeiro.

Furey e Tilman (2021) mostram que a diversidade de plantas, incluindo a diversidade funcional, pode desempenhar um papel significativo na geração de fertilidade do solo, aumentando a capacidade de captura e reposição de nutrientes. No SSP em estudo, o foco principal da área é a produção do pequi, portanto a composição arbórea do sistema é formada apenas de pequizeiros. Isso limita a contribuição com nutrientes na área pela falta de diversidade de espécies.

Acredita-se também que parte dos nutrientes é exportada através da retirada dos frutos anualmente, não havendo a reposição via serapilheira na mesma proporção, decrescendo a capacidade produtiva do solo a cada safra. Por safra são colhidos aproximadamente 1800 kg de frutos (peso já beneficiado).

Indicadores físicos

Quanto aos indicadores físicos, a textura não apresentou diferença entre a condição de sombreamento (Tabela 5), e a pleno sol.

Tabela 5. Textura média do solo na camada de 0-0,20 e 0,20-0,40 m sob a copa, no limite da copa e em pleno sol.

Profund.	Condição	Areia	Silte	Argila
		---------- g kg^{-1} ----------		
0-20	**Copa**	581	78	341
	Limite	586	81	333
	Sol	563	90	348
20-40	**Copa**	445	78	478
	Limite	429	84	488
	Sol	434	106	460

*Não apresentaram diferença estatística nas condições de sombreamento.

A densidade e porosidade total não apresentaram diferença entre as distâncias em relação à copa e a pleno sol (Tabela 6), porém a macroporosidade foi maior em pleno sol ($p<0,05$) em ambas as profundidades, demonstrando haver maior aeração.

Tabela 6. Densidade e porosidade média na camada de 0,5-0,10 e 0,15-0,20 m sob a copa, limite da copa e pleno sol.

Profund.	Condição	Densidade Kg dm^{-3}	Porosidade total (%)	Microporosidade (%)	Macroporosidade (%)
5-10	**Copa**	1,44	36,14	29,60a	6,54b
	Limite	1,45	36,12	30,62a	5,50b
	Sol	1,41	37,38	26,86b	10,52a
15-20	**Copa**	1,44	36,51	28,82ab	7,69ab
	Limite	1,48	36,08	31,77a	4,31b
	Sol	1,48	35,08	26,58b	8,50a

*****Letras iguais na coluna e em cada profundidade não apresentaram diferença estatística.

O fato de haver menor macroporosidade sob o sombreamento do que a pleno sol pode ser um indicativo de possiveis mudanças no comportamento animal, como a busca de um microclima melhor sob a copa das árvores, gerando maior compactação do solo sob a copa pelo pisoteio do gado, dificultando o impacto positivo do aumento de matéria orgânica sob as árvores. A compactação envolve um rearranjo microscópico que aproxima as partículas

sólidas causando a redução dos macroporos , diminui a aeração do solo e causa deficiências de oxigênio, afetando negativamente a atividade de microrganismos mais sensíveis (TAN et al., 2008).

Outra possibilidade é que essa diferença pode ser reflexo da formação inicial da área a pleno sol, que recebeu o plantio de cana-de-açucar por 4 anos e foi preparada para pastejo 1 ano após o restante da área.

Indicadores biológicos

Os dados enzimáticos apresentaram o mesmo comportamento dos dados químicos, com valores maiores em pleno sol, exceto para a fosfatase ácida, porém não apresentaram diferença significativa com sombreamento sob a copa (Tabela 7). A fosfatase ácida apresentou maiores valores, seguida pela arilsulfatase e betaglicosidade, respectivamente.

Tabela 7. Atividade enzimática média (p-nitrofenol g^{-1} h^{-1}) sob a copa, limite da copa e pleno sol.

Condição	BETAGLICOSIDASE	ARILSULFATASE	FOSFATASE ÁCIDA
Copa	39,93 ab	240,25 ab	956,42 a
Limite	31,67 b	207,38 b	796,66 b
Sol	48,46 a	317,45 a	921,61 a

*****Letras iguais na coluna e em cada profundidade não apresentaram diferença estatística.

Em relação à atividade enzimática não houve diferenças entre área sombreada e a pleno sol. É possivel que sob a copa, a melhoria do microclima do ar e do solo possa ter favorecido esse resultado, já que as condições locais de água e temperatura, além da disponibilidade de outros nutrientes para os microorganismos são fatores extremamente relevantes para processos bioquímicos ocorrerem (STIEVEN et al., 2019).

Uma das principais funções atribuídas as enzimas do solo é a transformação de nutrientes para formas assimiláveis pelas plantas (BALOTA et al., 2013). A arilsulfatase, presente no ciclo do enxofre, tem sua importância pela sua participação como catalisadora da hidrólise de ésteres de aril sulfatos orgânicos, atuando na mineralização do S orgânico para $SO4^{2-}$, forma

absorvida pelas plantas (WYSZKOWSKA et al., 2016).

A fosfatase ácida apresentou os maiores resultados de atividade enzimática. As fosfatases estão relacionadas com o grupo catalizador da hidrólise de ésteres e anidridos de fosfato e possuem papel fundamental no ciclo do fósforo no solo, tendo relação direta com a disponibilidade desse nutriente e o crescimento vegetal (CABUGAO et al., 2021). Porém, de acordo com Nannipieri et al., (1979) citado por TRANNIN et al. (2007), a atividade da fosfatase ácida é favorecida pela baixa disponibilidade de P às plantas e aos microrganismos e pode ser inibida por altas concentrações de fosfato inorgânico no solo. Este fato corresponde com o observado no presente trabalho, já que, o teor de P no solo é muito baixo, tanto na área sombreada como no sol, ao mesmo tempo que apresentou valores altos de atividade da fosfatase ácida.

A betaglicosidade apresentou menores valores de atividade enzimática. Essa enzima atua na última fase do processo de degradação da celulose através da hidrólise de moléculas de celobiose, resultando na liberação de unidade de glicose para a comunidade microbiana. Residuos mais complexos, com maior teor de lignina podem levar a uma menor atividade de beta-glicosidase (TABATABAI, 1994). Logo, o alto teor de lignina na serapilheira pode ter contribuido para a atividade baixa dessa enzima na área.

Condições de temperatura e umidade do solo

O sombreamento proporcionou melhores condições do solo (Figura 11), gerando uma diferença média de 1,42% a mais de umidade, -3,69°C de temperatura (Tabela 8). A amplitude ao longo do período foi menor sob sombreamento, especialmente para temperatura do solo que variou 7,82°C sob a sombra e 12,7°C a pleno sol.

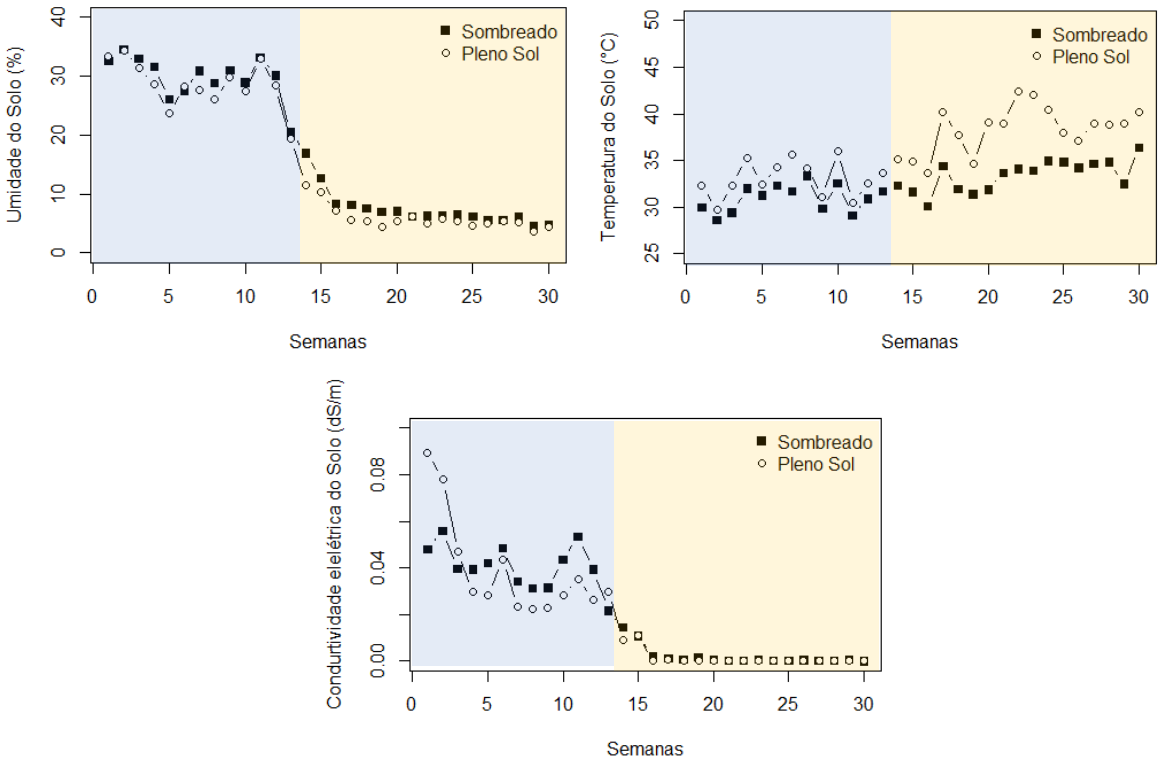

Figura 11. Médias da umidade do solo, temperatura do solo e condutividade elétrica do solo sob sombreamento do pequizeiro e a pleno sol, durante 30 semanas, entre fevereiro e agosto de 2022, Terra Nova do Norte/MT (em azul, período chuvoso e em laranja, período seco – a partir de maio).

Tabela 8. Variáveis microclimáticas do solo sob sombra e sol.

CONDIÇÃO	Umidade do solo (%)				Temperatura do solo (°C)				Cond. Elétrica do solo (dS/m)			
	Máx.	Mín.	Média	DP	Máx.	Mín.	Média	DP	Máx.	Mín.	Média	DP
Sombra	34,58	4,57	17,17	11,81	36,41	28,59	32,36	1,98	0,056	0,00	0,019	0,021
Sol	34,32	3,64	15,75	11,81	42,45	29,75	36,05	3,47	0,090	0,00	0,018	0,024

Houve efeito ($p<0,05$) da condição de sombreamento, do tempo (semanas) e da interação condição x tempo para as três variáveis. A maior umidade do solo e menor temperatura sob a copa do pequizeiro, especialmente na época seca, está associada à maior proteção da radiação solar, que interfere na evapotranspiração do solo (PEZZOPANE et al., 2002; ANDRADE et al., 2011; KARKY e GOODMAN, 2015).

De acordo com Bosi et al. (2020), a análise do potencial dos SSP para

atenuar os efeitos das mudanças climáticas revela que a proteção contra a radiação solar pode ser muito importante para locais onde as chuvas e a nebulosidade são reduzidas (mesmo que em determinados períodos), podendo reduzir a evapotranspiração das forrageiras, garantindo maior disponibilidade de água no solo para elas.

A condutividade elétrica é uma medida de íons presentes em solução e tem sido associada à determinação da salinidade do solo, mas também pode servir como medida de nutrientes solúveis. Varia dependendo da quantidade de umidade retida pelas partículas do solo (INGOLE, 2015). Neste estudo a condutividade foi reduzida conforme a diminuição da umidade no solo, ao longo do período.

Característica das árvores e qualidade da serapilheira

Levando em conta a área média da copa dos pequizeiros, o sombreamento na área é de 32,5% sobre a pastagem, sendo adequado para o bom desenvolvimento da forragem. De acordo com Carvalho et al. (2002), em sistemas silvipastoris, a densidade de árvores não deve ultrapassar 40 a 50% de cobertura arbórea na área de pastagem, sendo selecionadas as espécies de árvores de arquitetura adequada, a fim de manter um equilíbrio à produtividade animal e à forragem (gerando menos competição).

A quantidade de serapilheira variou entre os pequizeiros, aportando um total estimado de 24,59 kg árvore^{-1} no período (Tabela 9). Os teores de nutrientes foliares encontrados apresentam discordâncias com os obtidos em folhas de pequizeiros por Santana e Naves (2003), o que pode ter ocorrido em função da diferença de regiões, idade da planta, métodos e épocas de coleta de folhas. Praticamente, não existem níveis de referência dos teores foliares de frutíferas nativas, devido à carência de pesquisas e à diversidade ambiental e genotípica envolvida.

De acordo com Carlos et al. (2014), os baixos teores de nutrientes na biomassa seca da parte aérea do pequizeiro indicam baixa exigência nutricional da espécie. A Tabela 9 também mostra o teor de acúmulo de nutrientes aportados na serapilheira.

Tabela 9. Aporte de serapilheira e teor de macro e micronutrientes e lignina.

ÁRVORE	Aporte*	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Lignina
	kg árvore^{-1}	g kg^{-1}						mg kg^{-1}					g kg^{-1}
1	10,26	21,1	0,5	1,7	16,3	2,0	1,0	24,5	5,1	233	420	14	500,15
2	10,54	10,9	0,5	0,2	17,9	3,3	1,0	22,0	4,3	178	298	14	512,6
3	41,91	10,9	0,5	0,9	12,0	2,6	0,9	25,0	7,7	242	191	9	404,54
4	31,35	9,5	0,4	0,1	10,8	2,3	0,9	21,3	6,0	188	240	12	403,64
5	9,91	8,0	0,6	1,1	22,3	3,2	1,0	36,7	1,7	224	152	12	482,3
6	52,09	9,5	0,4	1,0	11,6	2,1	0,9	16,4	12,8	184	170	6	452,49
7	11,86	9,5	0,4	0,6	10,3	1,8	0,9	14,3	0,9	103	132	7	496,85
8	44,25	12,4	0,5	1,8	13,9	2,5	1,0	26,8	0,9	233	166	8	443,10
9	4,68	10,9	0,5	3,2	10,8	2,4	1,0	30,3	0,9	177	400	14	419,81
10	29,08	9,5	0,5	1,1	15,4	1,9	1,0	18,7	0,9	149	440	10	438,31
Média	24,59	11,2	0,5	1,2	14,1	2,4	1,0	23,6	4,1	191,1	260,9	10,6	455,38
	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}						g ha^{-1}					
TOTAL**	1746	19,6	0,9	2,1	24,6	4,2	1,8	41,2	7,1	333,6	455,5	18,5	

*Aporte com base nos coletores e área de copa, considerando meses de janeiro à novembro de 2022.

** Estimativa de acúmulo considerando 71 árvores por hectare.

A serapilheira é considerada importante reservatório de C no solo. Sua decomposição é um processo chave na formação da matéria orgânica do solo e na ciclagem de nutrientes, liberando para o solo elementos minerais que poderão ser reabsorvidos pelas raízes das plantas, sendo importantes processos do solo na regulação da produtividade e a saúde dos ecossistemas terrestres (DIOCHON et al., 2016). O aporte e a decomposição da serapilheira são influenciados pela cobertura florestal, que determina a natureza do material formador da serapilheira e a população de organismos decompositores, e pelas condições do ambiente (como disponibilidade de água e temperatura). Além disso, o processo de decomposição pode sofrer interferências das propriedades físico-químicas do solo (BARBOSA et al., 2017).

Dentre os principais fatores que regulam a decomposição estão a qualidade da serapilheira, atividade dos organismos do solo e condições do ambiente (OLIVEIRA et al., 2020). A qualidade química da serapilheira é caracterizada pelas concentrações de N e lignina ou C/N e lignina/N. A lignina é uma macromolécula tridimensional amorfa que tem como função conferir rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques mecânicos e microbiológicos aos tecidos vegetais (CARVALHO et al., 2010), sendo recalcitrante à degradação enzimática e servindo como barreira estrutural que impede o acesso microbiano a compostos de carbono lábeis (AUSTIN e BALLARÉ, 2010). A serapilheira do pequizeiro apresentou alto teor de lignina (entre 42 e 51%), que pode também estar relacionado com a menor fertilidade sob a copa.

Oliveira et al. (2005), ao estudar o efeito de pequizeiro e baru (*Dypterix alata*) em área de pastagem com brachiaria no Cerrado, observou que o pequizeiro não apresentou diferença siginificativa para a maioria das variáveis de fertilidade do solo em relação à pastagem pura, exceto o teor de C que foi maior. Já o baru, por ser uma leguminosa, apresentou melhores índices de fertilidade, se diferenciando significativamente da pastagem pura e do pequizeiro. Logo, é possível que a serapilheira oferecida pelo pequizeiro, tanto pelo teor nutricional quanto pela quantidade de lignina, seja de baixa qualidade, não contribuindo para uma ciclagem de nutrientes mais efetiva.

Além de todos esses fatores, a área escolhida como condição de pleno sol é uma clareira não muito grande dentro do SSP, podendo receber alguma influência relacionada à presença dos pequizeiros em volta, como parte da

serapilheira por exemplo. Isso poderia explicar também em alguma medida os melhores resultados de fertilidade a pleno sol, pois a lignina (muito presente na serapilheira do pequizeiro) atua como absorvedor de luz eficaz, e sob condições fotodegradativas (luz e radiação ultravioleta), é degradada mais rapidamente (AUSTIN e BALLARÉ, 2010).

Conclusões

Os dados químicos, físicos e biológicos em sua maioria se mostraram melhores à pleno sol, indicando que o pequizeiro, seja pelas características da serapilheira, ou pelo arranjo desse SSP, não contribui para a melhoria da qualidade do solo. Apesar disso, as árvores promoveram menor temperatura e maior umidade no solo, sendo importante para a conservação do solo e mitigação das mudanças climáticas.

A dinâmica do solo é complexa e depende de inúmeros fatores dentro de um sistema. Novos estudos sobre qualidade do solo em diferentes arranjos silvipastoris, distâncias e manejo precisam ser feitos para melhor caracterizar a influência do pequizeiro no solo

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, R.G.; RANGEL, J.H.A.; RODRIGUES, A.C.C.; ALVES, F.V. Sistemas silvipastoris: produção animal com benefícios ambientais. In: **IX Congresso Nordestino de Produção Animal**, Bahia, 2014. Anais. Bahia: CNPA, p. 1-19, 2014.

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRADE, A.G.; TAVARES, S. R. L.; COUTINHO, H. L. C. Contribuição da serapilheira para recuperação de áreas degradadas e para manutenção da sustentabilidade de sistemas agroecológicos. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 24, n. 220, p. 55-63, 2003.

ANDRADE, J. G. DE; SEGUÍ, J. P.; CARLESSO, R.; TROIS, C.; KNIES, E. Perdidas de agua por evaporación en maíz con siembra convencional y directa para diferentes niveles de cobertura muerta. I. Resultados experimentales. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, v. 20, n. 2, p. 60–64, 2011.

ARAÚJO, E. A. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade de solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, PR, v.5, n.1, p 187-206, 2012.

AUSTIN, A. T.; BALLARÉ, C. L. Dual role of lignin in plant litter decomposition in terrestrial ecosystems, **PNAS**, v. 107, n. 10, p. 4618-4622, 2010.

BALOTA et al. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, n. June, p. 221–278, 2013.

BARBOSA, V.; BARRETO-GARCIA, P.; GAMA-RODRIGUES, E.; PAULA, A. Biomassa, Carbono e Nitrogênio na Serapilheira Acumulada de Florestas Plantadas e Nativa. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

BATISTA, E. R.; ZANCHI, C. S.; FERREIRA, D. A.; SANTIAGO, F. L. A.; PINTO, F. A.; SANTOS, J. V.; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos do solo em sistema integrado de produção agropecuária. In: SOUZA, E. D. de et al (Org.). **Sistemas Integrados de produção agropecuária no Brasil**. Tubarão: Copiart, v. 1, p. 71-90, 2018.

BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SENTELHAS, P. C. Silvopastoral system with *Eucalyptus* as a strategy for mitigation the effects of climate change on Brazilian pasturelands. **Agrarian Sciences**, Annals of the Brazilian Academy of Sciences, v. 92 (suppl 1), 2020.

BUNEMANN, K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DEYN, G. D.; GOEDE, R.; FLESKENS L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MADER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W.; GROENIGEN, J. W.; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review. **Soil Biol. Biochem**., v.120, p. 105-125, 2018.

CABUGAO, K. G. et al. Bringing function to structure: Root–soil interactions shaping phosphatase activity throughout a soil profile in Puerto Rico. **Ecology and Evolution**, v. 11, n. 3, p. 1150–1164, 2021.

CARLOS, L.; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G.; HIGASHIKAWA, E. M.; GARCIA, M. B.; FARIAS, E. S. Crescimento e Nutrição Mineral de Mudas de Pequi sob Efeito da Omissão de Nutrientes. **Ciência Florestal**, UFSM, v. 24, p. 36-47, 2014.

CARVALHO, A. M.; DANTAS, R. A.; COELHO, M. C.; LIMA, W. M.; DE SOUZA, J. P. S. P.; FONSECA, O. P.; GUIMARÃES JUNIOR, R. Teores de hemiceluloses, celulose e lignina em plantas de cobertura com potencial para sistema plantio direto no Cerrado, Boletim de pesquisa e desenvolvimento 290, Planaltina, DF : **Embrapa Cerrados**, 2010.

CARVALHO, M. M.; XAVIER, D. F.; ALVIM, M. J. Arborização melhora a fertilidade do solo em pastagens cultivadas. Juiz de Fora, MG, **Embrapa Gado de Leite**, Comunicado Técnico 29, 4 p., 2003.

CARVALHO, M.M.; XAVIER, D.F. Sistemas silvipastoris para recuperação e desenvolvimento de pastagens. In: AQUINO, A.M. de; ASSIS, R.L. Agroecologia: Princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília-DF: **Embrapa**, p. 498-517, 2005.

CASALINHO, H.D.; MARTIUS,S.R; LOPES, A.S. Qualidade do solo em sistemas de produção de base ecológica: a percepção do agricultor. In: Anais

do segundo Congresso brasileiro de agroecologia. **Revista brasileira de Agroecologia**, v.2, n1, p. 59-62, 2007.

CHARÁ, J.; REYES, E.; PERI, P.; OTTE, J.; ARCE, E.; SCHNEIDER, F. Silvopastoral Systems and their Contribution to Improved Resource Use and Sustainable Development Goals: Evidence from Latin America. **FAO**, CIPAV and Agri Benchmark, Cali, 60 p., 2019.

Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal. Lignina. **Guia de Métodos Analíticos**. Método n. 35. p. 159. Revisão 2017.

DELGADO, G. R.; ZÁRATE, F. T.; CHIRINOS, J. O.; ESPILCO, P. Q.; BOJORQUEZ, J. G.; EGOAVIL, D. R. RIVADENEIRA, V.; DELGADO, J. N. Efecto de Acacia macracantha en las propiedades físicas y químicas del suelo en un sistema silvopastoril, **Rev Inv Vet Perú**, v.32, n.3, 2021.

DIAS-FILHO, M. B. Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens degradadas. Belém, PA: **Embrapa Amazônia Oriental**, 1º edição, 34 p., 2006.

DIOCHON, A., GILLESPIE, A.W., ELLERT, B.H., JANZEN, H.H., GREGORICH, E.G. Recovery and dynamics of decomposing plant residue in soil: an evaluation of three fractionation methods. **European Journal of Soil Science**. Vol. 67, n.2, p.196- 205, 2016.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. SILVA, F. C. (Ed.). 2. ed. Revisão ampliada. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2009.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed). 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : **Embrapa**, 2017.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: JONG van LIER, Q. , ed.

Física do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 241-281, 2016.

FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.3, p.417-428, 2012.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V., FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Unimar Ciências**, v. 26, p. 08-25, 2017.

FUREY, G. N., & TILMAN, D. Plant biodiversity and the regeneration of soil fertility. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, **118**(49), 2021.

GARCIA, R.; TONUCCI, R. G.; GOBBI, K. F. Sistemas silvipastoris: uma integração pasto, árvore e animal. In: OLIVEIRA NETO, S. N.; VALE, A. B.; NACIF, A. P.; VILAR, M. B.; ASSIS, J. B. (Ed.). Sistema agrossilvipastoril: integração lavoura, pecuária e floresta. Viçosa: **Sociedade de Investigações Florestais**, p.123-165, 2010.

HUERTAS, S. M.; BOBADILLA, P. E.; ALCANTARA, I.; AKKERMANS, E.; EERDENBURG, F. J. C. M. Benefits of Silvopastoral Systems for Keeping Beef Cattle, **Animals**, v.11, n.4, 992 p., 2021.

INGOLE, S. P. A Review on Role of Physico-Chemical Properties in Soil Quality. **Chemical Science Review and Letters**, v. 4, n.13, p. 57 - 66, 2015.

JOSÉ, S.; DOLLINGER, J. Silvopasture: a sustainable livestock production system, **Agroforestry Systems**, v.93, p. 1-9, 2019.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R.

F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (A guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p. 4-10, 1997.

KARKI, U.; GOODMAN, M. S. Microclimatic differences between mature loblolly-pine silvopasture and open-pasture. **Agroforestry Systems**. V. 89, p. 319-325, 2015.

LAL, R. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. **Sustainability.** v.*7*, p. 5875-5895, 2015.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 191-209, 2015

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JR, F. B.; LOPES, A. A. C. Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo, Circular Técnica 38, Planaltina, DF: **EMBRAPA.** 24 p., 2018.

OLIVAL, A. A.; OLIVEIRA, R. E.; SAIS, A. C.; SOUZA, S. E. X. F. Conhecimento local de agricultores familiares sobre árvores nativas em pastagens do Portal da Amazônia, MT. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Vol. 59, p. 319-337, 2022.

OLIVEIRA, A. M.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; NOVAES, A. B.; CARVALHO, F. F.; MEIRELES, I. E. S. Decomposição da serapilheira foliar em plantios de bambu, nim indiano e eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n. 3, p. 845-855, 2020.

OLIVEIRA, M. E.; LEITA, L. L.; FRANCO, A. C.; CASTRO, L. H. R. Efeito de duas espécies nativas de árvores sobre as propriedades do solo e forragem de *Brachiaria decumbens* Stapf. **Pasturas Tropicales**, V. 27, N. 1, p. 51-56, 2005.

PEZZOPANE, J.E.M.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; COSTA, J.M.N.; CHAVES,

J.H. Temperatura do solo no interior de um fragmento de floresta secundária semidecidual. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.1-8, 2002.

PINTO, C.R.O. Efeito do uso do solo sobre seus atributos na microrregião de Chapadinha-MA. **Tese** (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 85 p., 2014.

R CORE TEAM. R: A language and envieronment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2022. URL https://www.R-project.org/

SALES-BAPTISTA, E., FERRAZ-DE-OLIVEIRA, M.I. Grazing in silvopastoral systems: multiple solutions for diversified benefits. **Agroforestry Systems**, v.95, p.1–6, 2021.

SANTANA, J. G.; NAVES, R. V. Caracterização de ambientes de cerrado com alta densidade de pequizeiros (*Caryocar brasiliense* Camb.) na região sudeste do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, V. 33, p. 1-10, 2003.

SEPLAN. Secretaria de Estado de Planejamento. Governo de Mato Grosso. Mapa A021 - Unidades Climáticas do Estado de Mato Grosso, 2001.

SILVA-OLAYA, A. M.; OLAYA-MONTES, A.; POLANÍA-HINCAPIÉ, K. L.; CHERUBIN, M. R.; DURAN-BAUTISTA, E. H.; ORTIZ-MOREA, F. A. Silvopastoral Systems Enhance Soil Health in the Amazon Region, **Sustainability**, v.14, n.1, 320p. 2022.

SILVA, T. A. C. Indicadores da qualidade de solo na avaliação da condição ambiental de área de lixão desativado em Ouro Fino-MG. **Dissertação** (Mestrado em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Itajubá. 84f., 2019.

SILVA, M. O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D. F.; COSTA, K. D. S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

SILVA, M. O.; SANTOS, M. P.; SOUSA, A. C. P.; SILVA, R. L. V.; MOURA, I. A. A.; SILVA, R. S.; COSTA, K. D. S. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável, **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.1, p.6853-6875, 2021.

SMITH, M. Árvores de cultura: cultivo e uso do pequi (*Caryocar sp*., Caryocaraceae) entre os Kuikuro do alto Xingu, MT. **Tese** (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável: Política e Gestão Ambiental) – Universidade de Brasília, Brasília, 221 f., 2013.

SOUZA, M. S.; JARDIM, A. M. R. F.; ARAÚJO JR. G. N.; SILVA, J. R. I.; LEITE, M. L. M. V.; TEIXEIRA, V. I.; SILVA, T. G. F. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens tropicais, **PUBVET**, v.12, n.5, p.1-9, 2018.

STIEVEN, A. C.; MENDES, W. M.; WRUCK, F.; COUTO, E. G.; CAMPOS, D. T. S. Atributos do solo em sistemas diferenciados de uso e manejo do solo em Mato Grosso, MT, Brasil. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n.2, p. 1-15, 2020.

SUROVÁ, D.; RAVERA, F.; GUIOMAR, N.; SASTRE, R. M.; PINTO-CORREIA, T. Contributions of Iberian Silvo-Pastoral Landscapes to the Well-Being of Contemporary Society, **Rangeland Ecology & Management,** 2017.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. R.W. Weaver, et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. **Microbiological and Biochemical Properties**, SSSA Book Ser, 5, SSSA, Madison, p. 778-833, 1994.

TAN, X. CHANG, S. X.; KABZEMS, R. Soil compaction and forest floor removal reduced microbial biomass and enzyme activities in a boreal aspen forest soil. **Biol Fertil Soils**, v. 44, p. 471–479, 2008.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V.,V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M., eds. Tópicos em ciência do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2002. v.2, p.195-275.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1173-1184, 2007.

VEZZANI, F.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p. 743-755, 2009.

WYSZKOWSKA, J.; WIECZOREK, K.; KUCHARSKI, J. Resistance of arylsulfatase to contamination of soil by heavy metals. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 25, n. 1, p. 365–375, 2016.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo reforça a dificuldade de produção de gado na região de clima tropical, como norte de Mato Grosso, já que na maior parte do ano os animais estarão em condições adversas às suas características fisiológicas, sendo necessárias estratégias locais, de fácil acesso pelos agricultores, que possibilitem criar condições de qualidade aos animais e potencializem a produção pecuária na região.

O pequizeiro é uma espécie arbórea com grande potencial econômico que pode compor arranjos silvipastoris pela melhoria das condições de conforto térmico e bem estar animal, porém possui alto teor de lignina na serapilheira e pode não ser capaz de recompor ou melhorar a fertilidade e qualidade do solo. Portanto, novos estudos em diferentes arranjos silvipastoris, distâncias e manejo precisam ser feitos para melhor caracterizar a influência do pequizeiro no solo.

Além disso, a diversidade de espécies para compor os SSP pode ser uma estratégia importante para os agricultores, já que as funções e contribuições das diferentes espécies podem ser complementares. São necessários estudos sobre arranjos silvipastoris com pequizeiros e outras espécies arbóreas nativas do bioma amazônico, especialmente leguminosas, para entender seu comportamento em sistemas mais diversificados.