

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**SISTEMA SILVIPASTORIL EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO:
RELAÇÃO SOLO-PLANTA-ATMOSFERA**

RAFAEL PELLOSO DE CARVALHO

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2015**

**SISTEMA SILVIPASTORIL EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO:
RELAÇÃO SOLO-PLANTA-ATMOSFERA**

RAFAEL PELLOSO DE CARVALHO

Engenheiro Agrônomo, M.Sc.

Orientador: PROF. DR. ANTONIO CARLOS TADEU VITORINO

Tese apresentada a Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2015

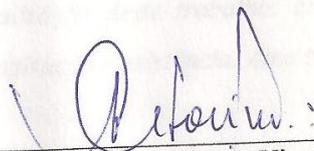
**SISTEMA SILVIPASTORIL EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO:
RELAÇÃO SOLO-PLANTA-ATMOSFERA**

Por

Rafael Peloso de Carvalho

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de DOUTOR EM
AGRONOMIA

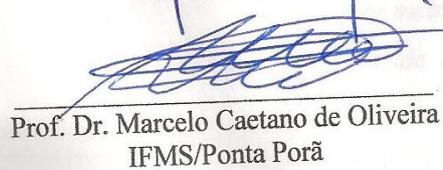
Aprovado em: 16/03/2015



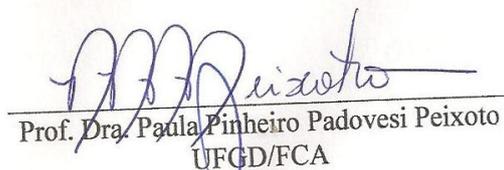
Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino
Orientador – UFGD/FCA



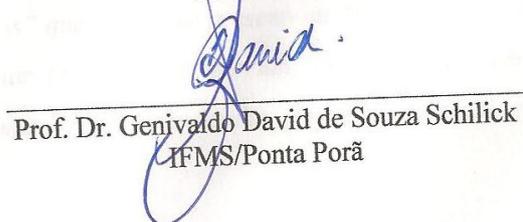
Prof. Dr. Munir Mauad
UFGD/FCA



Prof. Dr. Marcelo Caetano de Oliveira
IFMS/Ponta Porã



Prof. Dra. Paula Pinheiro Padovesi Peixoto
UFGD/FCA



Prof. Dr. Genivaldo David de Souza Schilick
IFMS/Ponta Porã

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C331s Carvalho, Rafael Pelloso de.
Sistema silvipastoril em Neossolo Quartzarênico : relação solo-planta-atmosfera. / Rafael Pelloso de Carvalho. – Dourados, MS : UFGD, 2015.
73f.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino.
Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados.

1. Integração lavoura-pecuária-floresta. 2. Plantio direto.
3. Conforto térmico. 4. Sombreamento. I. Título.

CDD – 633.2

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.

*“Somos o que fazemos, mas somos, principalmente, o que fazemos para mudar o que somos”
(Eduardo Galeano).*

DEDICO.

A minha família!!! Em especial a minha esposa Livia Maria Chamma Davide, que esteve ao meu lado nesta caminhada, sendo compreensiva, me apoiando incentivando, transmitindo amor, carinho e amizade. Aos meus pais Waldomiro Ferreira de Carvalho e Edna Pelloso Carvalho, aos meus irmãos Olavo Pelloso de Carvalho, Carla Pelloso de Carvalho e Raquel Pelloso de Carvalho, e meus sobrinhos Maria Julia Galhardo de Carvalho, Maria Clara Carvalho de Oliveira, Beatriz Carvalho de Oliveira e meu afilhado João Gabriel Galhardo de Carvalho que embora distantes, não deixaram faltar carinho e incentivo na realização deste trabalho. Eternamente grato pela força, inspiração e existência. Amo todos vocês!!!

OFEREÇO.

Aos meus “pais” que a vida me presenteou Antonio Claudio Davide e Omar Daniel (in memorian) pelo incentivo em todos os momentos e pela minha formação pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo Dom da vida e por tantas realizações.

Ao meu amigo Prof. Dr. Omar Daniel, pela dedicada orientação, ensinamentos, estímulo, confiança e profissionalismo.

Ao programa de pós-graduação em Agronomia da UFGD, pela oportunidade, e a secretária Lúcia pela atenção e paciência.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro e concessão de bolsa e aos proprietários, gerência e demais funcionários da Fazenda Modelo II, pela sessão da área e auxílio material, de infraestrutura e operacional.

Aos professores do Programa de pós-graduação em Agronomia da UFGD, em especial ao Antonio Carlos Vitorino “Totó” por não medir esforços no auxílio da conclusão deste trabalho em uma fase de superação.

Ao Instituto Federal do Mato Grosso do Sul – IFMS, pelas horas de capacitação concedidas para conclusão do doutorado.

Aos amigos de pós-graduação e graduação, em especial aos membros do grupo de estudo em sistemas agroflorestais – GESAF, pela amizade e apoio na execução desta pesquisa.

Aos funcionários da UFGD “Seu Jesus – funcionário da fazenda Experimental da UFGD”, “João Augusto – laboratorista de física e química do solo” e ao “Bruno Cesar Pontim” que além de funcionário se tornou um grande amigo.

A minha sogra Lisete Chamma Davide e minha cunhada Helena Chamma Davide, pelo apoio e carinho recebido.

A toda a minha família.

Aos meus velhos e novos amigos que reencontrei e encontrei nesta caminhada.

A todos, próximos ou distantes que, de alguma forma contribuíram para que esses momentos fossem vividos.

Muito obrigado!!

SUMÁRIO

PÁGINA	
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
ARTIGO 1. Atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo.....	7
Resumo.....	7
Abstract.....	8
1. Introdução.....	9
2. Material e Métodos.....	10
3. Resultados e Discussão.....	13
4. Conclusões.....	25
5. Agradecimentos.....	26
6. Referências Bibliográficas.....	26
ARTIGO 2. Microclima e conforto térmico em sistema silvipastoril conduzidos sob duas orientações de plantio.....	31
Resumo.....	31
Abstract.....	32
1. Introdução.....	33
2. Material e Métodos.....	34
3. Resultados e Discussão.....	38
4. Conclusões.....	57
5. Agradecimentos.....	58
6. Referências Bibliográficas.....	58

RESUMO

CARVALHO, Rafael Peloso de. **Sistema silvipastoril em Neossolo Quartzarênico: relação solo-planta-atmosfera**. 73f. Tese (Doutorado em Agronomia, Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2015.

A retirada da cobertura vegetal original e a implantação de culturas, aliadas a práticas de manejo inadequadas, normalmente provocam a deterioração da qualidade física e química dos solos. Por outro lado, a busca de alternativas de cultivos integrados associados à rotação de culturas em sistema de plantio direto devem ser implementados na região Centro-Oeste e as alterações estruturais e de fertilidade do solo tornam-se de suma importância. Assim, objetivou-se com esta pesquisa avaliar as alterações ocorridas nos atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico, a partir de diferentes sistemas de uso e manejo do solo. Foram selecionados quatro agroecossistemas: floresta de eucalipto, pastagem extensiva, integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta; e um ecossistema preservado: vegetação nativa de cerrado, localizados na Fazenda Modelo II em Ribas do Rio Pardo, MS. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, em delineamento inteiramente casualizado, com seis parcelas de 150 m² em cada sistema. Os sistemas de integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta proporcionaram as maiores contribuições na melhoria da fertilidade do solo. Houve relação antagônica entre os atributos físicos e químicos do solo quanto à avaliação da sustentabilidade, sendo os atributos químicos mais afetados que os físicos. Também foi avaliado o microclima e o conforto térmico animal em sistema sem sombra (SS) e em sistemas silvipastoris com eucalipto orientados no sentido leste/oeste e norte/sul no verão e inverno. O delineamento foi inteiramente casualizado em esquema de parcelas sub-subdivididas, com cinco repetições. Nas parcelas os tratamentos foram os sentidos de plantio em sistema silvipastoril (SSP/LO, SSP/NS) e um tratamento controle (SS). Nas sub-parcelas os tratamentos foram os horários de coleta obtidos durante o dia (8, 11, 14 e 17 horas) e as sub-subparcelas representadas pelas distâncias em relação ao renque das árvores (1, 4, 8, 12, 16 e 20 m). As orientações leste/oeste e norte/sul diferenciaram-se para temperatura, umidade relativa, temperatura do globo negro e CTR durante o inverno. Os resultados evidenciam a influência do sombreamento nas variações climáticas e nos índices de conforto térmico, tornando o ambiente mais harmônico e diminuindo as diferenças climáticas entre as estações. Os índices ITU, ITGU e H demonstraram a mesma sensibilidade na distinção entre os ambientes e horários avaliados, porém, no verão, a diferenciação ocorreu nos horários das 14 às 17 horas e no inverno nos horários das 8 às 14 horas.

Palavras-chave: integração lavoura-pecuária-floresta, plantio direto, conforto térmico, sombreamento

ABSTRACT

CARVALHO, Rafael Pelloso de. **Silvopastoral system in Typic Quartzipsamment: relationship soil-plant-atmosphere**. 73f. Thesis (Doctor Science in Agronomy, Plant Production). Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2015.

The removal of the original vegetation cover and the deployment of crops, combined with inadequate management practices, normally cause the deterioration of the physical quality and soil chemistry. On the other hand, the search for integrated crop alternatives associated with no-till system in crop rotation should be implemented in the Midwest and the structural and soil fertility changes become of paramount importance. Thus, the aim of this research was to evaluate the changes in the physical and chemical properties of a Quartzipsamment from different land use and soil management systems. Four agro-ecosystems were selected: Eucalyptus forest, extensive grazing, crop-livestock and crop-livestock-forest integration; and a preserved ecosystem: native vegetation of cerrado, located on the Model Farm II in Ribas do Rio Pardo, MS. Soil samples were collected at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm in a completely randomized design with six plots of 150 m² on each system. The crop-livestock and crop-livestock-forest integration systems provided the greatest contributions to improving soil fertility. There was antagonistic relationship between physical properties and soil chemical and sustainability evaluation, the most affected chemical attributes that physical. Microclimate and thermal comfort in a without shadow system (SS) and silvopastoral systems with eucalyptus geared towards east/west and north/south in summer and winter was also evaluated. The design was completely randomized in sub-scheme of split plots with five replications. The plots were planting directions on silvopastoral system (SSP/EW, SSP/NS) and a control treatment (SS). In subplots treatments were obtained collection times during the day (8, 11, 14 and 17 hours) and sub-subplots represented by distances from a swath of the trees (1, 4, 8, 12, 16, 20 m). The guidelines east/west and north/south differed for temperature, relative humidity, the black globe temperature and RTL during the winter. The results show the influence of shading on climate variations and thermal comfort indexes, making the harmonious environment and reducing the climatic differences between the stations. Indexes THI, BGHI and H showed the same sensitivity in distinguishing between environments and evaluated times, but in the summer, differentiation occurred during the hours from 14 to 17 hours and in winter the times of 8 to 14 hours.

Keywords: crop-livestock-forest integration, tillage, thermal comfort, shading

INTRODUÇÃO GERAL

Devido à crescente demanda mundial por alimentos é perceptível um grande aumento das atividades antrópicas em ambientes naturais o que, por sua vez, intensifica e agrava a problemática ambiental. A partir da inexistência, em alguns locais, de novas áreas para exploração agropecuária, estratégias como aumento da produtividade e a recuperação de áreas degradadas são, hoje, uma tendência no campo de pesquisas.

A região centro-oeste do Brasil, composta, basicamente, pelo bioma de Cerrado, detém 34,1% do rebanho bovino brasileiro, de um total de 212 milhões de cabeças de gado (IBGE, 2012). No entanto, a degradação das pastagens nos cerrados é o fenômeno atual que mais compromete a sustentabilidade da produção animal.

Somente no estado do Mato Grosso do Sul, dos atuais 15 milhões de hectares com pastagens cultivadas, são estimados nove milhões com pastagens degradadas de acordo com a Secretaria de Produção e Turismo (Seprotur). Quando considerado apenas a fase de engorda de bovinos, em pastagem degradada, a produtividade da carne pode ser seis vezes menor ao de uma pastagem recuperada ou em bom estado de manutenção (MACEDO, 2009). Apesar desse quadro desfavorável a região conta com diversos sistemas produtivos, passíveis de melhorias e de suma importância no panorama mundial de produção de carne bovina.

Nesse sentido, pecuaristas têm encontrado nos sistemas integrados uma maneira de intensificar o uso das terras sem diminuição da produção animal. Nesses sistemas as atividades silviculturais, pecuárias e agrícolas são combinadas para gerar produção complementar e promover interação dos seus componentes (GARCIA e COUTO, 1997).

Os sistemas silvipastoris (SSP's), também definidos por integração pecuária-floresta, são ambientes constituídos por pastagens e cultivos arbóreos, conduzidos de maneira consorciada ou não. Estes ambientes vêm recebendo, a cada dia, maior atenção tanto de produtores quanto de órgão governamentais, seja para ações voltadas para recuperação de pastagens degradadas (DIAS-FILHO, 2005), como alternativas para diversificação da produção ou simplesmente para o sombreamento em pastagens.

A presença de árvores em pastagens, além de garantir maior conforto para homens e animais, pode trazer outras vantagens como controle da erosão (CARVALHO, 2001), melhorias na fertilidade do solo (DIAS e SOUTO, 2006), na estabilidade física dos agregados e na ciclagem de nutrientes (BALIEIRO et al., 2005). No entanto, a melhoria da fertilidade do solo ocorre apenas em determinadas circunstâncias e não é incomum se observar em áreas de

pastagens, degradação física do solo em locais de maior adensamento de árvores, o que poderá levar a aumentos nas taxas de erosão.

Apesar de algumas vantagens socioeconômicas e de efeitos ambientais positivos, observa-se notável escassez de estudos científicos que avaliem as alterações nos atributos de solo em SSP's, sendo a literatura pertinente ao tema muitas vezes vaga e permeadas de suposições (GUERRA, 2010). Dentre as pesquisas sobre o impacto dos SSP's sobre o solo pode-se destacar Almeida (1990) que avaliou povoamentos florestais sob pastejo em estágio inicial de desenvolvimento e Neves et al. (2004) que detectou alterações adversas nos atributos do solo em sistema agrissilvipastoril aos 7 anos de condução.

Um dos desafios atuais da pesquisa é como avaliar a qualidade de um solo de maneira simples e confiável. Dessa forma, é necessário que sejam desenvolvidos métodos para avaliação ambiental com aplicação rápida, a fim de que possam ser utilizados por instituições de fiscalização e controle ambiental, como órgãos de meio ambiente, organizações da sociedade civil, peritos e demais profissionais da área.

Dois diferentes enfoques têm sido propostos para se estabelecerem critérios de referência: solo de área sob vegetação natural, por representar as condições ecológicas de estabilidade do ambiente; e parâmetros agronômicos que maximizem a produção e conservem o meio ambiente (SANTANA e BAHIA FILHO, 2002). Islam e Weil (2000) propuseram a utilização de dados das características físicas, químicas e biológicas, coletados em solo de uma área de floresta natural não perturbada, como referência para montagem de um índice geral da qualidade do solo.

Além dos benefícios ao solo promovidos pelos sistemas silvipastoris, como melhor ciclagem de nutrientes a médio e longo prazo, aumento e conservação do teor de matéria orgânica, melhoria da estrutura do solo e aumento da infiltração de água pluvial devido ao aumento da serapilheira (ABEL et al., 1997), outro benefício do sistema é o sombreamento proporcionado pelas árvores, que favorecem um microclima local e contribui para o bem-estar animal (MARTINS, 2001).

A preocupação com o conforto animal é crescente, já que no Brasil o clima é predominantemente tropical, possuindo altas temperaturas médias na maior parte do ano o que vai favorecer ainda mais o estresse térmico. Nesse sentido Souza et al. (2010), indicam que a temperatura é um dos fatores ambientais que irá interferir de forma significativa na produtividade.

Para compensar essa susceptibilidade térmica, o animal utiliza mecanismos de regulação de calor, que permitem manter a homeotermia. Para isso, mantêm o equilíbrio

térmico com o ambiente, incluindo a radiação, temperatura, movimento do ar e umidade. Assim, as trocas de calor entre o animal e o ambiente sofrem interferência da radiação, convecção, condução, evaporação e variam, portanto, com as condições ambientais. A zona de conforto térmico ou de termoneutralidade para bovinos é relativamente pequena, sendo que para as raças europeias está entre -1°C e 16°C com limite crítico a partir de 27°C e para as raças zebuínas está entre 10°C e 27°C e se torna crítica a partir dos 35°C (FURTADO et al., 2012).

Se a carga de calor externo, incremento calórico e eficiência dos mecanismos de perda de calor são deficientes por algum motivo, há então o estresse no animal. Uma das reações do animal ao desconforto térmico é a redução do consumo, havendo a necessidade de incremento na concentração de nutrientes na dieta, contribuindo para aumento nos custos de produção no rebanho, que quando não corrigido pode até acarretar na morte do animal (MOURA, 1996).

Dessa forma, os sistemas silvipastoris se constituem num eficiente método para criação de animais especializados para produção de leite e carne, fornecendo um ambiente de melhor conforto térmico, para que os animais possam produzir em condições mais favoráveis e menos estressantes (LEME et al., 2005). Nesses sistemas, verifica-se que a temperatura do solo, a radiação fotossinteticamente ativa, o total da radiação global e a velocidade do vento se reduzem do sistema sem árvores em comparação ao com árvores (SOARES et al., 2009). Dessa forma, os animais estarão mais propícios em estarem mais próximos a zona de conforto térmico para assim realizarem a ingestão de alimento e terem seus potenciais fisiológicos de produção maximizados.

Este trabalho encerra dois artigos, todos realizados na Fazenda Modelo II localizada no município de Ribas do Rio Pardo, MS. No primeiro foram avaliadas as alterações ocorridas nos atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes formas de uso e manejo do solo. Enquanto no segundo foram avaliadas as condições microclimáticas e de conforto térmico animal entre sistemas silvipastoris orientados nos sentidos leste/oeste e norte/sul, conforme as distâncias em relação aos renques de árvores e horários do dia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL, N.; BAXTER, J.; CAMPBELL, A.; CLEUGH, H.; FARGHER, J.; LAMBECK, R.; PRINSLEY, R.; PROSSER, M.; REID, R.; REVELL, G.; SCHMIDT, C.; STIRZAKER, R.; THORBURN, P. **Design Principles for Farm Forestry: A guide to assist farmers to decide where to place trees and farm plantations on farms**. RIRDC/LWRRRRDC/FWPRDC Joint Venture Agroforestry Program, 1997.

ALMEIDA, J.C.C. **Comportamento do *Eucalyptus citriodora* Hooker, em áreas pastejadas por bovinos e ovinos no Vale do Rio Doce, Minas Gerais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 1991. 44p. (Dissertação de Mestrado).

AZEVEDO, M. de; PIRES, M. de F.A.; SATURNINO, H.M.; LANA, A.M.Q.; SAMPAIO, I.B.M.; MONTEIRO, J.B.N.; MORATO, L.E.. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ e $\frac{7}{8}$ Holandês x Zebu. **Revista Brasileira de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 34, n. 6, p 2000-2008, 2005.

BALIEIRO, F.C; FRANCO, A.A; DIAS, P.F; CAMPELLO, E.F.C; FARIA, S.M; 2005. Sistemas Agrossilvipastoris: a Importância das Leguminosas Arbóreas para as Pastagens da Região Centro-Sul, 2005. 26 p. NUTRIR, Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal, FCA-FMVZ-Unesp Botucatu.

CARVALHO, M.M. **Importância da sombra natural em pastagens cultivadas**. Coronel Pacheco: EMBRAPA CNPGL, 2001. 2 p. (Instrução técnica para o produtor de leite, 24).

DIAS, P. F., SOUTO, S. M. Análise de fatores aplicada na avaliação da influência de leguminosas arbóreas, nas características químicas de solo sob pastagem. **Revista Universidade Rural**, v. 26, n. 01, p. 24-32, 2006.

DIAS-FILHO, M.B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 2º ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 173p.

FURTADO, D. A.; PEIXOTO, A. P.; NASCIMENTO, J. W. B. DO; REGIS, J. E. F. Environmental comfort in constructions for Sindi and Guzera calves in the agreste region of the state of Paraíba. **Engenharia Agrícola**, v.32, p.1-9, 2012.

GARCIA, R.; COUTO, L. Sistemas silvipastoris: tecnologia emergente de sustentabilidade. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia/Universidade Federal de Viçosa, 1997. p. 447-471.

GUERRA, A. R. **Atributos de Solo sob Coberturas Vegetais em Sistema Silvipastoril em Lavras - MG**. 2010. 141p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, 2010.

ISLAM, K.R. e WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems Environment**, v.79, p.9-16, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Pecuária Municipal**, Rio de Janeiro, v.40, p.1-71, 2012.

LEME, T. M. S. P; PIRES, M. F. A; VERNEQUE, R. S; ALVIM, M. J; AROEIRA, L. J. M. Comportamento de vacas mestiças Holandês x Zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril; **Ciência Agrotecnológica**, v.29, n.3, p.668-675, 2005.

MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009.

MARTINS, J. L. **Avaliação da qualidade térmica do sombreamento natural de algumas espécies arbóreas, em condição de pastagem**. 2001. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Água e Solos)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

MOURA, J.C. Anais do 2º Congresso Brasileiro de Gado Leiteiro. Piracicaba: FEALQ, 1996, 270p.

NEVES, C. M. N das; SILVA, M. L. N; CURI, N; MACEDO, R. L. G; TOKURA, A. M. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do Estado de Minas Gerais. **Revista Ciência Agrotécnica**, v.28, p.1038-1046, 2004.

SANTANA, D.P.; BAHIA FILHO, A.C. Qualidade do solo: Uma visão holística. **Boletim Informativo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.27, n.2, p.15-18, 2002.

SOARES, A. B.; SARTOR, L. R.; ADAMI, P. F.; et al. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.443-451, 2009.

SOUZA, B. B.; SILVA, I. J. O; MELLACE, E. M.; et al. Avaliação do ambiente físico promovido pelo sombreamento sobre o processo termorregulatório em novilhas leiteiras. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.6, n.2, p.59-65, 2010.

ARTIGO 1

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO

RESUMO

A retirada da cobertura vegetal original e a implantação de culturas, aliadas a práticas de manejo inadequadas, normalmente provocam mudanças da qualidade física e química dos solos. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações ocorridas em alguns atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico, a partir de diferentes sistemas de uso e manejo do solo. Foram selecionados quatro agroecossistemas: floresta de eucalipto, pastagem extensiva, integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta; e um ecossistema preservado: vegetação nativa de cerrado, localizados na Fazenda Modelo II em Ribas do Rio Pardo, MS. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, em delineamento inteiramente casualizado, com seis parcelas de 150 m² em cada sistema. Os sistemas de integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta proporcionaram as maiores contribuições na melhoria da fertilidade do solo. Houve uma relação antagônica entre os atributos físicos e químicos do solo quanto à avaliação da sustentabilidade, sendo que os atributos químicos foram mais afetados que os físicos.

Palavras-chave: integração lavoura-pecuária, plantio direto, cerrado, análise multivariada

ARTICLE 1

ATTRIBUTES PHYSICAL AND CHEMICAL OF A TYPIC QUARTZIPSAMMENT UNDER DIFFERENT SYSTEMS OF USE AND MANAGEMENT

ABSTRACT

The removal of the original vegetation and deployment of crops, combined with inadequate management practices, usually cause the deterioration of the physical and chemical quality of the soil. The objective of this study was to evaluate the changes in the physical and chemical attributes of a Typic Quartzipsamment from different land use systems and soil management. Was selected four agroecosystems: eucalyptus forest, extensive grazing, crop-livestock integration and integrated crop-livestock-forest, and an ecosystem preserved vegetation of native cerrado, located on Fazenda Modelo II in Ribas do Rio Pardo, MS. Soil samples were collected at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm in a completely randomized design, with six plots of 150 m² on each system. The integrated crop-livestock and integrated crop-livestock-forest provided the biggest contribution in the improvement of soil fertility. There was an antagonistic relationship between physical and chemical soil as sustainability evaluation, and chemical attributes had to be more affected than physical.

Key words: crop-livestock integration, tillage, cerrado vegetation, multivariate analysis

1. INTRODUÇÃO

A supressão da cobertura vegetal original e a subsequente implantação de culturas, aliada a práticas de manejo inadequadas, promovem o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio, modificando suas propriedades químicas, físicas e biológicas, limitando sua utilização agrícola e tornando-o mais suscetível à erosão (CENTURION et al., 2001).

Estimativas têm sugerido que pelo menos a metade das áreas de pastagens em regiões ecologicamente importantes, como a Amazônia e o Brasil Central, estaria em processo de degradação ou degradadas (DIAS-FILHO, 2007). A recuperação da produtividade dessas áreas deve ser cada vez mais prioritária, uma vez que as restrições ambientais tendem a reduzir as possibilidades de contínua incorporação de áreas ainda inalteradas para exploração agropecuária.

Na ecologia da restauração busca-se restabelecer um ecossistema que ocupava originalmente um determinado local, por meio da recuperação de suas funções (PRIMACK e RODRIGUES, 2001). Todavia, nem sempre é possível o retorno de um ecossistema degradado à sua condição original, devido, entre outras causas, ao estado de degradação a que foi submetido (ARATO, 2003).

Nesse contexto, a adoção de sistemas conservacionistas de manejo e uso do solo tem se apresentado como uma alternativa para contribuir com a sustentabilidade econômica e ambiental dos agroecossistemas (BARRETO et al., 2006). Os sistemas de integração entre agricultura, pecuária e floresta em associação ao plantio direto tem se mostrado uma boa opção nesse sentido (KLUTHCOUSKI et al., 2003), principalmente em solos de extrema fragilidade, como os arenosos, visto que possibilita a manutenção e, ou, melhoria nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (CARNEIRO et al., 2009).

No solo existem diversas inter-relações entre seus atributos que controlam os processos e os aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço. Qualquer modificação nessas relações pode alterar diretamente sua estrutura e, conseqüentemente, sua fertilidade, com reflexos nos agroecossistemas (CUNHA et al., 2012), podendo promover prejuízos à qualidade do solo e à produtividade das culturas.

O sucesso de um projeto de recuperação de área degradada pode ser avaliado por meio de indicadores de recuperação, entre esses, indicadores físicos e químicos, têm sido recomendados (ARAÚJO, 2007; CARNEIRO et al., 2009). Através destes indicadores, é possível definir se determinado projeto necessita sofrer novas interferências ou até mesmo ser

redirecionado, visando acelerar o processo de sucessão e de restauração das funções da vegetação implantada (MARTINS, 2001).

Dois diferentes enfoques têm sido propostos para o estabelecimento de critérios de referência: solo de área sob vegetação natural, por representar as condições ecológicas de estabilidade do ambiente e parâmetros agronômicos que maximizem a produção e conservem o meio ambiente (SANTANA e BAHIA FILHO, 2002).

Objetivou-se com este trabalho avaliar as alterações ocorridas nos atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes formas de uso e manejo do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Modelo II, localizada no município de Ribas do Rio Pardo, MS (21° 09' S 53°15' W e altitude de 380 m), onde foram coletadas amostras de solo no final do período chuvoso (maio de 2011), em quatro agroecossistemas diferentes e um ecossistema natural preservado, segundo a descrição:

a) Vegetação Nativa de Cerrado (CE), área de reserva legal (927 ha), sem interferência antrópica, caracterizada por vegetação predominantemente arbórea, serapilheira espessa, com cobertura de copa variando de 50 a 70% e altura média de 5 a 8 metros.

b) Pastagem extensiva (PE): pastagem cultivada com *Urochloa brizantha* (280 ha) cujo plantio ocorreu no ano de 1985 e desde então não recebeu fertilizantes e corretivos. O sistema de pastejo de bovinos é do tipo contínuo, com lotação de 1,5 unidades animal (UA) por hectare.

c) Floresta de eucalipto (EUC): povoamento homogêneo (180 ha) com árvores clonadas do híbrido urograndis (GG100) plantadas no verão do ano de 2005, em espaçamento 3m x 2m.

d) Integração agricultura-pecuária (IAP): na safra 2004/05 iniciou-se o plantio de soja. O solo recebeu 4 Mg ha⁻¹ de calcáreo dolomítico, 0,5 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola e fosfatagem (0,15 Mg ha⁻¹ de P₂O₅). Na safra 2005/06 fez-se novamente o plantio de soja em sistema plantio direto (SPD), com adubação no plantio de 0,1 Mg ha⁻¹ de P₂O₅ e 0,1 Mg ha⁻¹ de K₂O parcelado entre plantio e cobertura. Em 2007 e 2008 implantou-se pastagem com *U. Brizantha* cv Piatã utilizada para pastejo, sem realização de adubações. Em 2009/10 fez-se novamente o plantio direto de soja. Na safrinha 2010 plantou-se crambe (*Crambe abyssinica*

Hochst) consorciada com de *U. brizanta* cv. Piatã para formação de palhada. Em 2010/11 foi feito o plantio direto de soja seguido, na safrinha de 2011, de milheto.

e) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF): foi implantado em dezembro de 2006, com correções e adubações idênticas à IAP. Densidade de 416 árvores ha⁻¹, espaçamento de 12 m entre linhas únicas de eucalipto e 2 m entre plantas, híbrido urograndis, clone H13. Plantou-se nos dois primeiros anos soja nas entrelinhas das árvores (safra 2006/07 e 2007/08) e nas entressafras plantava-se *U. brizantha* para cobertura de solo e formação de palhada. Em maio de 2008 foi introduzido *U. brizantha* cv. Marandu, estabelecendo, de forma definitiva, um sistema silvipastoril. Foram realizadas adubações de manutenção anual no período chuvoso com 0,045 Mg ha⁻¹ de nitrogênio. Lotação média anual de 2,5 UA ha⁻¹.

Os quatro agroecossistemas considerados foram implantados sobre um Neossolo Quartzarênico Órtico típico cultivado com pastagens degradadas, o qual apresentou granulometria de 109 g kg⁻¹ (argila), 23 g kg⁻¹ (silte) e 868 g kg⁻¹ (areia), com relevo plano.

Todas as áreas encontravam-se inseridas dentro de um raio médio de 3,5 quilômetros e expostas às mesmas condições edafoclimáticas. A região é caracterizada por apresentar clima, segundo a classificação de Köppen, do tipo tropical chuvoso de Savana, subtipo Aw, com temperatura média máxima mensal de 29,1°C e média mínima mensal de 17,7°C. A precipitação pluvial média anual é de 1.566,7 mm, com ocorrência bem definida de período seco durante os meses mais frios (maio a setembro) e período chuvoso durante os meses de verão (outubro a março).

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, disposto em um esquema fatorial de 5 (uso e manejo) x 3 (camadas). As parcelas foram representadas por seis áreas de 150 m² em cada sistema de manejo e uso do solo, com distância de 500 m entre as mesmas. Para as avaliações químicas, retiraram-se cinco amostras simples aleatórias dentro de cada parcela, amostras para as camadas de 0-5; 5-10 e 10-20 cm. Enquanto para as análises físicas, foram coletadas amostras com estrutura preservada dentro de cada parcela, nas camadas de 0-5; 5-10 e 10-20 cm, totalizando seis repetições por sistema de manejo e uso do solo para cada camada.

Todas as amostras foram armazenadas em caixas térmicas e levadas imediatamente para os laboratórios de física e fertilidade de solos da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Grande Dourados em Dourados-MS.

Para as determinações dos atributos físicos, foram utilizadas amostras com estrutura preservada em cilindros metálicos com 5,57 cm de diâmetro e 4,1 cm de altura, nas três camadas trabalhadas.

Após o preparo das amostras, estas foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de dois terços da altura do anel e realizado o procedimento para obtenção da microporosidade (MIP), macroporosidade (MAP), porosidade total (Pt) pelo método da mesa de tensão e densidade do solo (Ds) pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Essas amostras foram novamente saturadas e submetidas à tensão de 0,01 MPa, em câmaras de Richards (KLUTE, 1986). Esta tensão geralmente tem sido aplicada no solo para posterior determinação da resistência à penetração (RP) (SMITH et al., 1997). Quando as amostras atingiram o equilíbrio nessa tensão, foi medida a RP, utilizando-se um penetrógrafo eletrônico com velocidade constante de penetração de 1 cm min^{-1} , com diâmetro de base da haste de 4 mm e semiângulo de 30° (SERAFIM et al., 2008). Foram descartados 5,0 mm das extremidades das amostras visando eliminar o efeito periférico da amostra. A frequência de leituras de RP correspondeu à coleta de um valor a cada 0,25 s, obtendo-se 800 leituras por amostra, sendo utilizado o valor médio.

Os atributos químicos pH (CaCl_2), Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , P assimilável, acidez potencial (H + Al) e teor de matéria orgânica (MO) disponíveis foram determinados segundo métodos descritos em Claessen (1997). A partir dessas determinações, calculou-se a CTC efetiva do solo (t); a CTC potencial a pH 7,0 (T); soma de bases (SB); porcentagem de saturação por alumínio (m%) e porcentagem de saturação por bases (V%).

Os efeitos dos sistemas de manejo e uso do solo sobre seus atributos físicos e químicos, em cada camada foram verificados a partir da análise de variância e a diferença entre as médias avaliadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Como análise complementar foi realizada a técnica de análise multivariada, envolvendo todas as variáveis em estudo, a partir da qual foram utilizados os valores médios de seis repetições aleatórias de cada sistema de manejo e uso em três camadas. Esses valores foram padronizados e submetidos à análise de agrupamentos (AA) e a análise de componentes principais (ACP).

Para representar as análises de agrupamentos (AA), foram construídos dendrogramas por meio da distância euclidiana, considerando como nível de similaridade para separação de grupos o ponto de corte (linha de corte) em 80% do valor máximo da distância de formação dos agrupamentos.

Na matriz de fatores, extraída por componentes principais, foram selecionadas as variáveis com cargas fatoriais maiores que 0,7, destinadas então, para a análise de agrupamentos, realizada para o conjunto de variáveis físicas e químicas.

Os tratamentos (usos e camadas) e as variáveis (características físicas e químicas do solo) foram transformadas em coordenadas, que correspondem à sua projeção nos eixos de ordenação, ou autovetores, representando o peso de cada parcela ou variável sobre o eixo, as quais podem ser vistas como equivalentes ao grau de correlação destas com o eixo em questão (ANDERSON, 1958; MELÉM JUNIOR et al., 2008).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os diferentes usos e manejo do solo demonstraram haver interação significativa ($P < 0,01$) com a camada do solo para as variáveis densidade do solo (Ds), macroporosidade (MAP) e resistência à penetração (RP), permitindo constatar que, de maneira geral, houve diminuição na qualidade física dos solos dos agroecossistemas estudados em relação à vegetação nativa do cerrado (Tabela 1).

Os atributos volume total de poros (Pt) e microporosidade (MIP) não apresentaram interação significativa, porém verificou-se diferença significativa entre camadas e tipos de uso e manejo para MIP e entre tipos de uso e manejo para Pt (Tabela 1).

A constatação da alteração na estrutura do solo, com sensível diminuição da macroporosidade (MAP) e porosidade total (Pt) e aumento da resistência a penetração (RP) e densidade do solo (Ds), além de provocar alteração no fluxo de água no solo, no fluxo de nutrientes e na atividade microbiana, atua, conseqüentemente, no desenvolvimento das culturas e no processo erosivo, que se intensifica à medida que a capacidade de infiltração diminui e o solo fica mais suscetível ao efeito do impacto das gotas de chuva (ALVARENGA e DAVIDE, 1999). Observa-se, na Tabela 1, que a interferência nos atributos físicos foi intensificada quando a forma de uso do solo associou o efeito do pisoteio pelo gado ao uso de máquinas agrícolas (ILPF e IAP).

Mesmo havendo alteração da densidade do solo (Ds) em relação à vegetação nativa de cerrado (CE), os valores encontrados foram menores que o índice crítico ($1,75 \text{ kg dm}^{-3}$) para o crescimento radicular em solos arenosos (CORSINI e FERRAUDO, 1999).

Tabela 1. Médias de densidade do solo (Ds), macroporosidade (MAP), microporosidade (MIP), volume total de poros (Pt) e resistência à penetração (RP) de um Neossolo Quartzarênico, obtidos em três camadas e cinco sistemas de manejo e uso do solo, Fazenda Modelo II, MS.

Uso ⁽²⁾	Ds (kg dm ⁻³)			MAP (m ³ m ⁻³)			MIP (m ³ m ⁻³)			Pt (m ³ m ⁻³)			RP (Mpa)		
	Camadas (cm) ⁽¹⁾														
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
CE	1,15 Aa	1,31 Ba	1,33 Ba	0,27 Ac	0,28 Ac	0,29 Ac	0,22 Bab	0,19 Aab	0,20 ABa	0,50 Ac	0,47 Ab	0,49 Ac	0,09 Aa	0,05 Aa	0,08 Aa
PE	1,60 Bbc	1,55 ABbc	1,50 Ab	0,15 Aa	0,18 Aab	0,21 Bab	0,25 Bc	0,24 ABc	0,21 Aa	0,40 Aab	0,42 Aa	0,43 Ab	0,59 Bc	0,53 Bd	0,31 Ab
EUC	1,51 Ab	1,52 Ab	1,51 Ab	0,22 Ab	0,22 Ab	0,23 Ab	0,19 Aa	0,18 Aa	0,19 Aa	0,42 Ab	0,41 Aa	0,42 Aab	0,19 Aab	0,18 Aab	0,20 Aab
IAP	1,58 Abc	1,70 Bd	1,67 ABc	0,18 Aab	0,15 Aa	0,16 Aa	0,23 Abc	0,23 Ac	0,20 Aa	0,41 Ab	0,39 Aa	0,39 Aa	0,29 Ab	0,49 Bcd	0,35 ABb
ILPF	1,65 Ac	1,65 Acd	1,59 Abc	0,13 Aa	0,16 ABa	0,19 Bab	0,23 Abc	0,22 Abc	0,20 Aa	0,37 Aa	0,38 Aa	0,40 Aab	0,47 Bc	0,34 ABbc	0,29 Ab
CV(%)	4,04			12,56			8,03			5,45			31,12		

(1) Letras minúsculas comparam usos nas colunas. Letras maiúsculas comparam camadas nas linhas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %. (2) CE: vegetação nativa de cerrado; PE: pastagem extensiva; EUC: floresta de eucalipto; IAP: integração agricultura pecuária; ILPF: integração lavoura pecuária floresta; CV: coeficiente de variação.

O maior valor médio de Ds foi verificado na camada de 5-10 cm na integração agricultura-pecuária (IAP). Este sistema, aliado ao CE, foram os únicos a apresentarem valores de Ds superiores nas duas camadas mais profundas estudadas em relação à camada superficial, situação já esperada para o ecossistema CE, devido ao elevado acúmulo de biomassa vegetal na superfície do solo. Para o agroecossistema IAP, é provável que esse padrão tenha se dado devido ao rearranjo das partículas do solo nos primeiros anos de cultivo com a implantação do sistema de plantio direto, promovendo compactação em subsuperfície resultando em aumento na Ds. Além disso, com a consolidação do sistema, ocorre aumento nos teores de C orgânico nas camadas superficiais (0-5 cm) e, com isso, diminuição na densidade do solo (Tabela 1).

Resultados de Tormena et al. (2002) apresentaram a mesma tendência dos obtidos neste trabalho, onde a macroporosidade (MAP) e a porosidade total (Pt), foram as variáveis mais afetadas pelos sistemas de uso da terra, o que foi constatado pelos maiores valores de F obtidos na ANOVA.

Nos sistemas ILPF e PE a redução média do volume de macroporos (MAP) em relação ao CE foi de 41,8% e 36,1% e da porosidade total (Pt) de 21,18% e 14,55%,

respectivamente. Esses resultados foram superiores àqueles obtidos por Silva et al. (2005) em Neossolo Quartzarênico, onde verificaram reduções de 19% para Pt e 26,4% para MAP, na área sob pastagem, quando comparado com áreas que não sofreram ação antrópica.

A redução observada na relação MAP/MIP, que originalmente era de 1,4 (CE) e que após ação antrópica chegou-se a 0,74 (ILPF), 1,18 (EUC), 0,76 (PE) e 0,77 (IAP), fez com que a Pt do solo diminuísse e a densidade do solo (Ds) aumentasse. Entretanto, o aumento da proporção de microporos nestes tipos de solos mais arenosos poderá, dentro de certos limites, melhorar a distribuição e dimensão dos poros adequados para a entrada, movimento e retenção de água e ar para atender às necessidades das culturas.

A esse respeito, Klein (2002) afirmou que, para diversos objetivos, tais como o movimento e armazenamento de água e gases, fluxo e retenção de calor e desenvolvimento do sistema radicular, a determinação somente da porosidade total fornece informações de importância limitada. Deste modo, a avaliação da distribuição dos poros na matriz do solo é de fundamental importância, visto que, de acordo com a distribuição dos diferentes tamanhos dos poros, pode haver restrição do fluxo de água no solo.

Ao determinarem a distribuição de poros em seis classes de solos em amostras com estrutura preservada Ribeiro et al. (2007), verificaram maior diversidade de tamanho de poros em Neossolo Quartzarênico, justificando que apesar deste solo ser particularmente arenoso, a pequena quantidade de argila encontrada para o mesmo apresentou elevado grau de flocculação, sugerindo também que à fração areia fina e silte desse solo tendem a se arranjar de forma a estabelecerem um contato face a face, gerando uma estrutura mais adensada, na qual os grãos de areia fina e silte ocupam os espaços formados pela areia mais grossa, fazendo com que predominem no solo poros pequenos (MIP).

Não houve diferença significativa para microporos (MIP) entre os sistemas de manejo e uso na camada de 10-20 cm. Isso indica que para esta camada os MIP foram pouco influenciados pelo manejo do solo. Esta observação permite sugerir que a porcentagem de microporos, originalmente existentes no solo, oscila em menor grau com o manejo adotado quando comparados aos MAP ou o Pt. No entanto, verificou-se aumento significativo dos MIP na camada de 0-5 cm para PE em relação às camadas mais profundas. Isso, provavelmente, deve-se à readequação das partículas do solo propiciado pelo pisoteio dos animais.

Os dados obtidos para a resistência à penetração (RP), apresentados na Tabela 1, também mostraram diferenças entre os diversos sistemas e camadas. Os maiores valores ocorreram nas camadas de 0-5 e 5-10 no sistema de pastagem extensiva, e foram significativamente maiores do que na camada de 10-20 cm, possivelmente em função da interferência do pisoteio dos animais na estrutura do solo das camadas mais superficiais. Detectou-se padrão semelhante na ILPF para esta característica. Por outro lado, não foi verificada diferença significativa para camadas no plantio de eucalipto (EUC) e na vegetação nativa de cerrado (CE), refletindo o longo período em que esses solos permanecem sem sofrer processos de mobilização.

Da mesma forma que para os atributos Ds e Pt, os valores de resistência à penetração evidenciam variações com a intensidade de uso do solo, ou seja, quanto maior a intensidade de uso, mais compactação e maiores valores de RP (SECCO et al., 2004; BEUTLER et al., 2007). Entretanto, os valores de RP encontrados no presente estudo ficaram bem abaixo do preconizado como crítico (2,0 MPa, Taylor et al., 1966), embora ainda não haja consenso sobre os níveis críticos ou sustentáveis para esse atributo, refletindo sua variabilidade com relação às condições de umidade do solo e a diversidade de procedimentos metodológicos, conforme discutido por Camargo e Alleoni (1997).

No que diz respeito às características químicas, nas condições naturais, o Neossolo Quartzarênico (NQ) sob cerrado não demonstrou ser capaz de promover produções compensadoras, pois, quimicamente, não favorecem o desenvolvimento da maioria das culturas comerciais exigentes em nutrientes. Contrário ao que ocorreu com as propriedades físicas, observaram-se (Tabela 2) melhorias nos teores de nutrientes, bem como diminuição da acidez e do teor de Al trocável nos agroecossistemas que incluíram a produção agrícola ao sistema de manejo e uso (IAP e ILPF), quando comparados aos demais.

Tabela 2. Médias de pH(CaCl₂), Alumínio (Al), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) de um Neossolo Quartzarênico obtidos nas camadas de 0-5; 5-10 e 10-20 cm, em diferentes sistemas de manejo e uso do solo, Fazenda Modelo II, MS.

Uso ⁽²⁾	pH (CaCl ₂)			Al (cmol _c dm ⁻³)			Ca (cmol _c dm ⁻³)			Mg (cmol _c dm ⁻³)		
	Camadas (cm) ⁽¹⁾											
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
CE	3,94Aa	3,94Aa	3,92Aa	0,86Ac	0,84Ac	0,92Ac	0,10Aa	0,10Aa	0,10Aa	0,10Aa	0,10Aa	0,10Aa
PE	4,16Aa	4,10Aab	4,04Aab	0,70Ac	0,74Ac	0,82Abc	0,26Aab	0,16Aa	0,14Aa	0,20Cab	0,14Ba	0,10Aa
EUC	4,26Aa	4,12Aab	4,08Aab	0,68Ac	0,78Ac	0,70Ab	0,44Bbc	0,26Aa	0,18Aa	0,40Bc	0,28Ab	0,22Ab
IAP	5,84Bb	5,16Ac	4,88Ac	0,00Aa	0,02Aa	0,16Aa	1,80Cd	1,26Bc	0,88Ac	0,74Cd	0,46Bc	0,28Ab
ILPF	4,38Aa	4,40Ab	4,38Ab	0,34Ab	0,30Ab	0,30Aa	0,64Ac	0,66Ab	0,58Ab	0,28Ab	0,28Ab	0,26Ab
CV(%)	5,66			20,14			22,33			24,48		

(1) Letras minúsculas comparam usos entre colunas. Letras maiúsculas comparam camadas entre linhas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %. (2) CE: vegetação nativa de cerrado; PE: pastagem extensiva; EUC: plantio de eucalipto; IAP: integração agricultura pecuária; ILPF: integração lavoura pecuária floresta; CV: coeficiente de variação.

As variáveis que se referem à acidez do solo (pH, H+Al e Al) nas três camadas consideradas, apresentaram diferença estatística entre os diferentes sistemas de uso e manejo do solo estudado. O solo em sistema CE registrou acidez muito elevada (pH = 3,93) e pobreza em bases (0,26 cmol_c dm⁻³), refletindo sua baixa fertilidade natural (Tabelas 2 e 3). Os Neossolos Quartzarênicos são originariamente pobres pela sua natureza mineralógica predominantemente constituída de quartzo. Além disso, segundo Theodoro et al. (2003) nesses solos precipitações intensas ao longo dos anos promovem grande lixiviação das bases, permanecendo no complexo de troca, predominantemente, os cátions H e Al.

Tabela 3. Valores médios de hidrogênio mais alumínio (H+Al), potássio (K), fósforo (P) e matéria orgânica (MO) de um Neossolo Quartzarênico obtidos nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, em diferentes sistemas de manejo e uso do solo, Fazenda Modelo II, MS.

Uso ⁽²⁾	H+Al (cmol _c dm ⁻³)			K (cmol _c dm ⁻³)			P (mg dm ⁻³)			MO (g kg ⁻¹)		
	Camadas (cm) ⁽¹⁾											
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
CE	8,18Bc	6,83Ad	6,57Ac	0,079Bb	0,061ABab	0,056Aa	2,98Aa	2,08Aa	0,1Aa	21,12Bc	14,61Ac	15,02Ab
PE	7,78Bc	5,85Acd	5,15Ab	0,063Aab	0,073Ab	0,058Aa	1,54Aa	1,66Aa	1,42Aa	15,01Bb	13,89ABbc	11,29Aa
EUC	5,57Ab	5,43Abc	4,99Ab	0,043Aa	0,035Aa	0,034Aa	3,76Aa	2,46Aa	2,52Aa	14,03Aab	11,92Aabc	10,97Aa
IAP	2,13Aa	2,87Aa	3,2Aa	0,060Aab	0,046Aa	0,043Aa	24,24Bb	20,78Bb	9,64Ab	11,35Aa	10,04Aa	8,69Aa
ILPF	4,46Ab	4,28Ab	4,46Aab	0,071Bb	0,06ABab	0,043Aa	30,26Cb	23,86Bb	6,64Ab	10,83Aa	10,63Aab	8,80Aa
CV(%)	13,72			27,15			42,21			16,03		

(1) Letras minúsculas comparam usos nas colunas. Letras maiúsculas comparam camadas nas linhas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %. (2) CE: vegetação nativa de cerrado; PE: pastagem extensiva; EUC: plantio de eucalipto; IAP: integração agricultura pecuária; ILPF: integração lavoura pecuária floresta; CV: coeficiente de variação.

Os maiores valores de pH sempre ocorreram nas camadas mais superficiais do solo nos sistemas de manejo IAP, ILPF e EUC, respectivamente, indicando o efeito da calagem antes da implantação das culturas, o que é confirmado pela redução do teor de Al e aumento de Ca e Mg.

A ausência de Al trocável no solo na camada de 0-10 cm detectada na IAP (Tabela 2), possivelmente pode ser atribuída ao aumento do pH, reduzindo a solubilidade do Al, como também não se descarta a provável reação de complexação do Al com compostos orgânicos, depositados em maiores quantidades no solo em plantios diretos. A complexação do Al pela matéria orgânica foi demonstrada por Miyazawa et al. (1992).

A área de pastagem extensiva (PE) foi a que mais se assemelhou à vegetação nativa de Cerrado (CE) no tocante aos nutrientes analisados, apresentando maiores teores de H+Al e Al e menor concentração de Ca, Mg, K e P em relação às demais áreas manejadas, ficando a área de plantio de eucalipto em um patamar intermediário, o que está coerente, pois trata-se de solos originalmente distróficos.

Estes dados evidenciam que a intensificação do manejo neste tipo de solo, provocou acréscimos nos níveis de macronutrientes e diminuição da acidez do solo, indicando melhoria nos atributos químicos do solo, em relação ao solo não antropizado. Dessa forma,

pode-se dizer que os sistemas de integração (IAP e ILPF) foram os que apresentaram características de maior sustentabilidade no que se refere aos atributos químicos do solo. Entretanto, resultados contraditórios foram observados por Centurion et al. (2001) em Latossolo Vermelho Eutrófico típico, onde verificaram degradação dos atributos químicos, independente da cultura utilizada, em relação ao solo natural. Isso indica haver diferenças nos resultados promovidos por diferentes sistemas de manejo e uso na qualidade dos atributos físico-químicos dependendo do tipo de solo trabalhado.

A baixa CTC apresentada em condições naturais pelo NQ proporciona baixo teor de cátions trocáveis uma vez que os solos possuem pouca quantidade de argila, sendo essa de baixa atividade, favorecendo perdas de nutrientes especialmente nos sistemas de manejo mais intensivos. Isso reforça que este tipo de solo deve ser manejado com critérios rigorosos, a fim de atingir seu máximo potencial produtivo, sem provocar degradação (CARNEIRO et al., 2009).

Os teores de P observados nos sistemas ILPF e IAP foram significativamente ($p < 0,01$) maiores para as camadas de 0-5 e 5-10 cm e em relação às demais áreas. Esses valores indicam que ocorreram aplicações de altas doses de adubos fosfatados nestes ambientes resultando no aumento do fluxo difusivo de P no solo. Esse fato pode ser discutido em relação ao entendimento de Godinho et al. (1997), de que com o aumento da dose de fósforo haverá sempre um aumento do coeficiente de difusão do elemento devido à saturação progressiva da superfície de adsorção, o que resultará no aumento da concentração do elemento.

Os solos mais arenosos, de maneira geral, apresentam um fluxo difusivo de P maior, uma vez que sua resistência a mudanças no fator intensidade de P é menor que nos solos argilosos. Este fato pode estar relacionado à maior energia de adsorção dos solos argilosos (BASTOS et al., 2008).

Outro fator que concorre para obtenção de altos teores de P no solo é o seu suprimento via matéria orgânica, proporcionado pela liberação causada pela elevação do pH, além daquele que foi adicionado pela adubação. A disponibilidade de P na presença de ácidos orgânicos foi confirmada por Iyamuremye e Dick (1996).

Os teores de P no solo não apresentaram diferenças estatísticas entre as áreas CE, PE e EUC e entre as diferentes camadas avaliadas, obtendo classificação limitante quanto à disponibilidade deste nutriente de acordo com o teor de argila do solo (109 g kg^{-1}). A explicação desses baixos teores de P na PE e na EUC é devido ao fato destas áreas não terem

recebido mais adubações fosfatadas desde sua implantação no campo adicionado a baixa eficiência de reciclagem de P pela vegetação em questão.

Segundo Bayer (1992) os sistemas que apresentam reduzido revolvimento do solo, a exemplo da pastagem e do plantio de eucalipto, acarretam maior concentração de P disponível na camada superficial, além de estratificação com redução acentuada à medida que aumenta a profundidade. Fato esse não verificado neste trabalho.

Para o atributo matéria orgânica (MO) foram observadas diferenças significativas entre as camadas na pastagem extensiva (PE) e na vegetação nativa (CE), sendo os valores mais elevados registrados para as camadas mais superficiais do solo (Tabela 3). Possivelmente, essa superioridade se deve ao predomínio de gramíneas na área sob pastagem plantada e à diversidade e quantidade de vegetação no cerrado nativo, que proporcionam maior aporte de biomassa à superfície do solo.

Quanto à diferença ocorrida entre os sistemas de uso e manejo, verificou-se que os maiores teores de MO ocorreram no CE, sendo estatisticamente superior à pastagem extensiva (PE) e ao plantio de eucalipto (EUC), os quais não diferiram entre si. Os menores valores médios foram apresentados pelos IAP e ILPF. Esses resultados diferem daqueles encontrados por Alvarenga e Davide (1999) e Araújo et al. (2007), os quais constataram que áreas de pastagem não diferiram estatisticamente de áreas de Cerrado, indicando se tratar de um ambiente altamente conservador de matéria orgânica. A constatação dessas alterações citadas se deve principalmente pelas diferenças nas condições ambientais locais, pelos tipos de espécies vegetais consideradas e o tipo de solo cultivado.

Já na área sob plantio de eucalipto, apesar do grande volume de serapilheira, o teor de MO foi relativamente baixo, provavelmente em razão da pequena superfície específica e da alta relação C:N desses resíduos. Zinn et al. (2002), em estudo com plantio de pinus, também verificou reduções significativas dos teores de MO, comparado à área de Cerrado nativo, na camada de 0-5 cm, não sendo observadas diferenças nas camadas subjacentes.

As médias obtidas para a soma de bases (SB) refletiram o comportamento das bases (Ca, Mg, K) no solo, em resposta aos manejos adotados. A maior SB detectada na forma de manejo IAP, que apresentou, conseqüentemente, as maiores CTC efetiva e saturação por base (Tabela 4), está relacionada ao aumento dos teores de Ca, Mg e K fornecidos via corretivos e adubação química.

Os resultados encontrados para a capacidade de troca catiônica (CTC) mostraram tendência contrária a MO, com valores superiores para a área de IAP, na camada superior (0 a 5 cm). Isso demonstra que os maiores índices médios de matéria orgânica apresentada pelo

CE não foram suficientes para assegurar maiores valores de CTC quando comparados às outras formas de manejo, evidenciando a importância do uso de corretivos neste tipo de solo. Entretanto, Frazão et al. (2008), salienta que com a elevação da MO ocorre aumento da CTC dos solos de Cerrado e que esse efeito é mais pronunciado nos Neossolos Quartzarênicos, onde a predisposição ao processo de lixiviação de cátions e perda de MO é maior. Assim, o uso sustentável desses solos depende da manutenção ou até mesmo do aumento gradativo dos teores de MOS, podendo ser obtido, por exemplo, com a utilização de cobertura vegetal constante do solo.

Os valores de MO variaram entre 21,1 e 8,7 g kg⁻¹ para a camada de 0 a 20 cm entre todos os sistemas de uso estudados. Esses valores estão dentro da faixa citada na literatura, para solos arenosos sob diferentes coberturas vegetais e biomas brasileiros (BOCHNER et al., 2008), confirmando as observações realizadas em estudos sobre a limitação de solos arenosos quanto à manutenção ou incremento da MO, em razão do tamanho das partículas e da sua frágil estrutura física (GARCIA-PAUSAS et al., 2007). De acordo com Frazão et al.(2010), em NQ sob uso intensivo na região do Cerrado, a recuperação da MO é lenta, mesmo adotando-se o sistema plantio direto e adubações corretivas.

Embora tenha sido verificado aumento nos valores médios da soma de bases (SB) e saturação por base (V%) para as áreas IAP, ILPF e EUC em relação a CE e PE, os valores apresentados estão abaixo dos níveis exigidos para as culturas cultivadas nas respectivas áreas segundo recomendações de Anghinoni (2007). É importante salientar que o uso exclusivo de adubos minerais, sem promover calagens adequadas, pode levar os solos a perderem rapidamente a sua fertilidade, em decorrência da acidificação, mobilização de elementos tóxicos (Al, Fe e Mn), imobilização de nutrientes e mineralização da matéria orgânica do solo (THEODORO, 2003).

Tabela 4. Valores médios de capacidade de troca catiônica efetiva (CTC), soma de bases (SB), saturação por base (V), saturação por alumínio (m), de um Neossolo Quartzarênico obtidos nas profundidades de 0-5; 5-10 e 10-20 cm, em diferentes sistemas de manejo e uso do solo, Fazenda Modelo II, MS

Uso (²)	CTC (cmol _c dm ⁻³)			SB (cmol _c dm ⁻³)			V (%)			m (%)		
	Camadas (cm) ⁽¹⁾											
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
CE	1,13 Aa	1,10 Aa	1,17 Aa	0,27 Aa	0,26 Aa	0,25 Aa	3,34 Aa	3,71 Aa	3,80 Aa	75,06 Ad	76,11 Ad	78,21 Ad
PE	1,23 Aa	1,11 Aab	1,11 Aa	0,53 Aa	0,37 Aab	0,29 Aa	6,30 Aa	5,96 Aa	5,43 Aa	57,19 Ac	66,81 ABcd	73,52 Bcd
EUC	1,56 Bb	1,35 Bb	1,13 Aa	0,88 Bb	0,57 Ab	0,43 Aa	13,89 Bb	9,56 ABa	8,06 Aa	43,86 Ac	57,80 Ac	61,62 Ac
IAP	2,60 Cc	1,78 Bc	1,36 Aa	2,60 Cc	1,76 Bd	1,20 Ac	55,15 Cc	38,38 Bc	27,66 Ac	0,0 Aa	1,14 ABa	12,05 Ba
ILPF	1,33 Aab	1,30 Aab	1,18 Aa	0,99 Ab	1,00 Ac	0,88 Ab	18,35 Ab	19,20 Ab	18,14 Ab	26,09 Ab	23,17 Ab	26,30 Ab
CV(%)	10,20			19,34			24,11			17,46		

(1) Letras minúsculas comparam usos nas colunas. Letras maiúsculas comparam camadas nas linhas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %. (2) CE: vegetação nativa de cerrado; PE: pastagem extensiva; EUC: plantio de eucalipto; IAP: integração agricultura pecuária; ILPF: integração lavoura pecuária floresta; CV: coeficiente de variação.

Através da análise de componentes principais (ACP), representada na Figura 1, verifica-se a distribuição dos atributos físicos e químicos do solo feita por pontos indicando sua correlação com os eixos, onde a distância do ponto em relação à origem é proporcional à sua importância na explicação da variância projetada em cada eixo.

A ACP apresentou autovalores de 63,71 %, para o primeiro eixo (horizontal), e 15,45 %, para o segundo eixo (vertical), o que representa 79,16 % da variância total acumulada nos dois primeiros eixos, sendo a maior percentagem explicada pelo primeiro eixo. Dessa forma, podem-se desprezar os demais eixos de ordenação, já que o gráfico bidimensional proporciona uma ordenação clara das características físicas e químicas do solo (TER BRAAK, 1986).

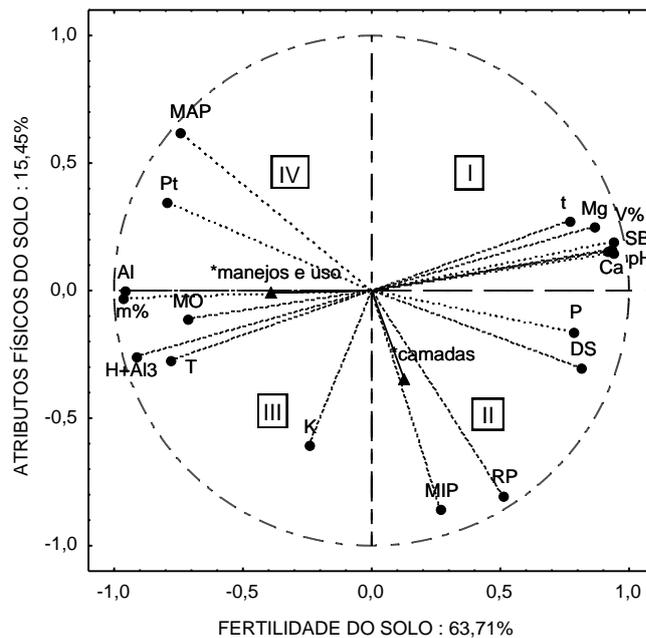


Figura 1. Diagrama de ordenação dos atributos físicos e químicos de um Neossolo quartzarênico, no círculo das correlações, produzidos por análise de componentes principal (ACP). Significado das abreviaturas dos atributos do solo apresentados no diagrama, vide texto.

Os atributos que melhor explicaram as proporções de variação e que apresentaram correlação com o primeiro eixo foram os atributos químicos: (SB) com índice de correlação igual a (0,94), pH (0,93), Ca (0,92), Al (-0,72), Mg (0,93), m% (-0,73), V% (0,92) e CTC efetiva (0,98). Já para o segundo eixo foram os atributos físicos que explicaram a maior variância, sendo a Ds (0,79), MAP (-0,91), Pt (-0,81) e RP (0,95) os que apresentaram correlações acima de 0,7.

O círculo de correlação unitário sobreposto sobre o plano fatorial (Figura 1) possibilitou identificar visualmente que as variáveis estão relacionadas com os casos em estudo e que aquelas variáveis mais próximas ao círculo unitário possuem uma maior contribuição, em relação às variáveis que estão mais afastadas. Nesse sentido, as variáveis mais representativas foram MAP, V%, SB, pH, Ca, RP, Al, Al+H e m%.

Conclui-se, também, que as variáveis localizadas no quadrante III foram as mais influenciadas pelos diferentes ecossistemas, ou seja, as variáveis Al, m%, MO, H+Al, CTC potencial (T) e K foram as maiores responsáveis pela detecção das diferenças entre as formas de manejo e uso do solo. Enquanto que, as variáveis localizadas no quadrante II (MIP, RP, Ds e P) foram as principais variáveis pela detecção das diferenças ocorridas entre as camadas (Figura 1).

Na análise de componentes principais, verificou-se que as características de fertilidade na camada superficial do solo foram as que mais se diferenciaram (63,71%), corroborando com Theodoro (2003).

Além da dispersão gráfica, o método de agrupamento foi utilizado e evidenciou a formação de quatro grupos de acordo com os tipos de manejo e camada considerada (Figura 2). O primeiro formado por um único manejo e uso nas três camadas estudadas (EUC), demonstrando ser um ecossistema distinto por apresentar a menor variação entre as camadas. Um segundo grupo formado foi à vegetação nativa de cerrado (CE) nas camadas 5-10 e 10-20 cm. Este segundo grupo destacou-se dos demais por apresentarem, de maneira geral, os menores índices de fertilidade do solo (SB, CTC e V%) e maiores valores de MO nas camadas 5-10 e 10-20 cm, o que refletiu em maiores valores de MAP, Pt e menor RP.

O terceiro grupo formado foi entre os sistemas IAP e ILPF para mesma camada de 10-20 cm. Esse grupo é reflexo das mesmas recomendações de preparo de solo (adubação e calagem) no momento da implantação destes sistemas. Isso fez com que os atributos físico-químicos nestas camadas se mantivessem semelhantes devido ao não revolvimento, alterando apenas a camada superficial do solo em função do manejo.

O quarto e último grupo estabelecido foi entre os sistemas IAP na camada 5-10 cm e ILPF na camada 0-5 cm. A adição de nutrientes via adubação durante os anos de cultivo de lavouras agrícolas e o acúmulo de material vegetal em superfície proporcionado, principalmente, pelas pastagens e/ou pelo eucalipto (ILPF) fez-se com que melhorassem as características relacionadas à fertilidade do solo e permitissem a formação deste grupo. Condição esta, cada vez mais intensificada em relação ao IAP, na qual o aporte de nutrientes via adubação é constante devido à diversificação de cultivos, distinguindo assim, a camada mais superficial (0-5 cm) deste sistema em relação a este grupo.

Os outros sistemas de manejo e uso, associados a suas camadas, formaram seis componentes individualizados com características próprias, sendo o IAP (0 a 5 cm) o mais distinto entre todos os outros, por ter sido o último a ser formado (Figura 2).

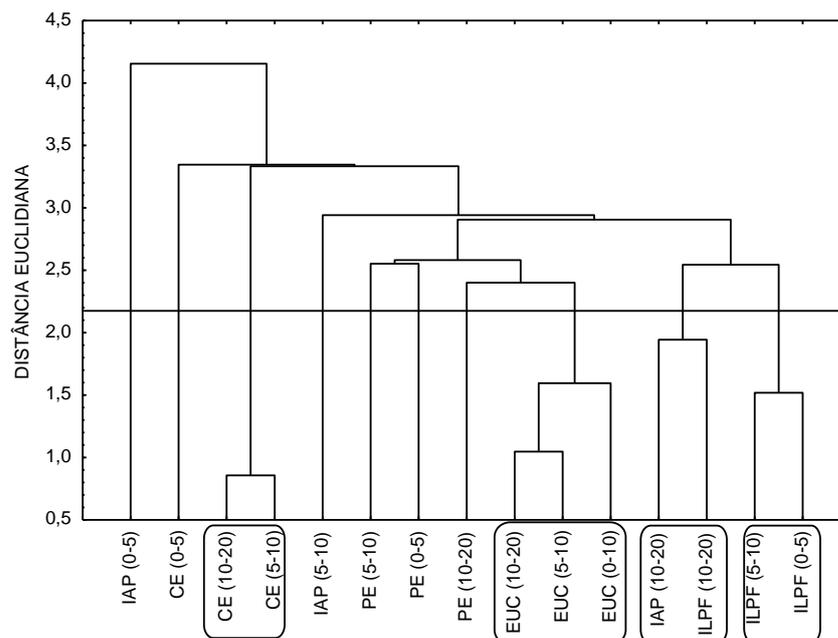


Figura 2. Dendrograma de diferentes sistemas de manejo e uso do solo nas camadas de 0 a 5; 5 a 10 e 10 a 20 cm de um Neossolo Quartzarênico, mostrando a distância euclidiana e a linha de corte a 80% desta.

As variáveis de menor importância, por apresentarem maior coeficiente de ponderação nas últimas variáveis, ou seja, aquelas que retêm pequena parte da variação total disponível foram P, MIP, MO, K e CTC potencial. Isso mostra que os atributos mencionados pouco contribuíram para discriminar os tipos de manejo e uso do solo.

4. CONCLUSÕES

1. Os sistemas de usos e manejo influenciam as características físicas e químicas do solo, sendo essas alterações mais evidentes na camada superficial do solo.
2. Os sistemas de manejo e uso integração agricultura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta proporcionam as maiores contribuições na melhoria da fertilidade do solo.
3. De modo geral, há uma relação antagonista entre os atributos físicos e químicos do solo quanto à avaliação da sustentabilidade entre sistemas de uso e manejo do solo, sendo que os atributos químicos se mostram mais afetados que os físicos.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo auxílio financeiro e concessão de bolsa e aos proprietários, gerência e demais funcionários da Fazenda Modelo II, pela sessão da área e auxílio material, de infraestrutura e operacional.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, M.I.N.; DAVIDE, A.C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.4, p.933-942, 1999.

ANDERSON, T. W. **An introduction to multivariate statistical analysis**. New York: J. Wiley & Sons, 1958. 374p

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.) **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2007. p.873-928.

ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. S. Produção e decomposição de serrapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v.27, n.5, p.715-721, 2003.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.5, p.1099-1108, 2007.

BARRETO, A. C. et al. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Caatinga**, v.19, n.4, p.415-425, 2006.

BASTOS, A. L. et al. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.136-142, 2008.

BAYER, C., MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n.1, p.105-112, 1997.

BEUTLER, A.N. et al. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, p.1223-1232, 2007.

BOCHNER, J.K. et al. Matéria orgânica e agregação de um Planossolo sob diferentes coberturas florestais. **Cerne**, v.14, n.1, p.46-53, 2008.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132p.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CENTURION, J.F.; CARDOSO, J.P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de uma Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.254-258, 2001.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Revisão atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos 1).

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.2, p.289-298, 1999.

CUNHA, Q. E; STONE, L. F., FERREIRA, E. P. DE B; DIDONET., A. D; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por

sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p. 56-63, 2012.

DIAS-FILHO, M.B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 3. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 190p.

FRAZÃO, L.A.; SANTANA, I. K. da S.; CAMPOS, D. V. B. de; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.10, p.1198-1204, 2010.

GARCIA-PAUSAS, J.; CASALS, P.; CAMARERO, L.; HUGUET, C.; SEBASTIÀ, M.T.; THOMPSON, R.; ROMANYÀ, J. Soil organic carbon storage in mountain grasslands of the Pyrenees: effects of climate and topography. **Biogeochemistry**, v.82, p.279-289, 2007.

GODINHO, V. DE P. C.; SAMPAIO, R. A.; ALVAREZ VENEGAS, V. H.; RUIZ, H. A. Adsorção de fosfatos em três solos da região Semi-Árida do Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.8, p.19-823, 1997.

IYAMUREMYE, F.; DICK, R.P. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. **Advances in Agronomy**, v.56, n.5, p.139-185, 1996.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, v.32, n.6, p.945-953, 2002.

KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.635-662.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 570p.

MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa: Aprenda Fácil/Centro de Produções Técnicas, 2001. 146 p.

MELÉM JÚNIOR, N.J.; FONSECA, I.C. de B.; BRITO, O.R.; DECAËNS, T.; CARNEIRO, M.M.; MATOS, M. de F.A. de; GUEDES, M.C.; QUEIROZ, J.A.L. de; BARROSO, K. de O. Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, p. 499- 506, 2008.

MIYAZAWA, M.; CHIERICE, G.O.; PAVAN, M.A. Amenização da toxicidade de alumínio às raízes do trigo pela complexação com ácidos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, n.2, p.209-215, 1992.

PRIMACK, R. B; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. Londrina: E. Rodrigues, 2001.

RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.G.B.F.; SAMPAIO, F.M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.4, p.1167-1175, 2007.

SANTANA, D.P.; BAHIA FILHO, A.C. Qualidade do solo: Uma visão holística. **Boletim Informativo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.27, n.2, p.15-18, 2002.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; ROS, C. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.5, p.797-804, 2004.

SERAFIM, M.E.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, C.M.A.; PRADO, E.D.; VENTURIN, J.C.; YAMAMOTO, N.T. Desenvolvimento de um penetrógrafo eletromecânico de bancada. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v.17, n.1, p.61-65, 2008.

SMITH, C.W.; JOHNSTON, M.A.; LORENTZ, S. The effect of soil compaction and soil physical properties on the mechanical resistance of South African forestry soils. **Geoderma**, v.78, n.2, p.93-111, 1997.

SOUZA, E.D., M.A.C. CARNEIRO & H.B. PAULINO. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.11, p.1135-1139, 2005.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER JÚNIOR, J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v.102, n1, p.18-22, 1966.

TER BRAAK, C.J.F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, v.67, n5, p.1167-1179, 1986.

THEODORO, V.C.A., ALVARENGA, M.I.N., GUIMARAES, R.J. & SOUZA, C.S.A.. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.6, p.1039- 1047, 2003.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v. 59, n.4 p. 795-801, 2002.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.2, p.301-309, 1998.

ZINN, Y.L.; RESCK, D.V.S.; SILVA, J.E. da. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.166, n.3, p.285-294, 2002.

ARTIGO 2

MICROCLIMA E CONFORTO TÉRMICO EM SISTEMA SILVIPASTORIL CONDUZIDOS SOB DUAS ORIENTAÇÕES DE PLANTIO

RESUMO

O direcionamento dos renques de árvores de eucalipto em sistema silvipastoril permite maior ou menor penetração de luz solar, resultando em expressiva modificação da composição do microclima e do estresse térmico. Nesse sentido, objetivou-se avaliar variáveis microclimáticas e índices de conforto térmico em sistemas silvipastoris com fileiras de eucalipto orientadas no sentido leste/oeste (SSP/LO) e norte/sul (SSP/NS) comparados ao sistema sem sombra (SS) no inverno e verão. O delineamento adotado foi o inteiramente casualizado em esquema de parcelas sub-subdivididas, com cinco repetições. Nas parcelas os tratamentos foram os dois sentidos de plantio em sistema silvipastoril (SSP/LO e SSP/NS) e um tratamento controle (SS). Nas sub-parcelas os tratamentos foram os horários de coleta obtidos durante o dia (8, 11, 14 e 17 horas) e as sub-subparcelas representadas pelas distâncias em relação ao renque das árvores de eucalipto (1, 4, 8, 12, 16 e 20 m). As orientações leste/oeste e norte/sul diferenciaram-se para temperatura, umidade relativa, temperatura do globo negro e CTR durante o inverno. Os sistemas silvipastoris demonstraram melhoria no ambiente e concomitantemente no conforto térmico animal quando comparado ao sistema sem sombra nas duas épocas avaliadas. No entanto, mesmo na presença de árvores, houve situações de estresse térmico, dependendo do horário do dia e da distância em relação aos renques de eucalipto.

Palavras-chave: estresse térmico, conforto animal, sombreamento, estações, eucalipto

ARTICLE 2

MICROCLIMATE AND THERMAL COMFORT IN SILVOPASTORAL SYSTEM CONDUCTED UNDER TWO PLANTING GUIDELINES

ABSTRACT

The direction of the rows of eucalyptus trees in silvopastoral system allows more or less sunlight penetration, resulting in a significant change in the composition of the microclimate and thermal stress. In this sense, the objective was to evaluate microclimatic variables and thermal comfort indices in silvopastoral systems with eucalyptus rows oriented towards east/west (SSP/EW) and north/south (SSP/NS) compared to a without shadow system (SS) in winter and summer. The experiment was analyzed as a randomized scheme of split-plot design with five replications. The plots were the two planting directions on silvopastoral system (SSP/WE and SSP/NS) and a control treatment (SS). In sub-plots treatments were the collection times obtained during the day (8, 11, 14 and 17 hours) and sub-subplots represented by distances from the swath of eucalyptus trees (1, 4, 8, 12, 16 and 20 m). The guidelines east/west and north/south differed for temperature, relative humidity, the black globe temperature and CTR during the winter. The silvopastoral systems showed improvement in the environment and concurrently in thermal comfort compared to without shade system in the two periods evaluated. However, even in the presence of trees, there were situations of heat stress, depending on the time of day and distance from the eucalyptus rows.

Keywords: heat stress, cow comfort, shading, seasons, eucalyptus

1. INTRODUÇÃO

Existe uma grande preocupação mundial com a produção de alimentos para atender a crescente demanda da população humana, que deve chegar a 9,2 bilhões de habitantes em 2050. Com isso, segundo a ONU (2004), será necessário produzir cerca de 70% a mais de alimentos neste período para combater a fome e a pobreza no mundo, utilizando-se de forma eficiente os recursos naturais e medidas de adaptação às alterações climáticas.

Somente os países de climas tropicais apresentam condições de aumentar de forma significativa a produção de alimentos. No entanto, a produção animal na região dos trópicos é fortemente influenciada pelo estresse calórico, o que não permite ao animal expressar toda a sua capacidade produtiva (MOURA et al., 2010).

Dentre as variáveis climáticas, a elevada temperatura ambiental, a umidade do ar e a radiação solar direta são os principais responsáveis por causarem o desconforto fisiológico que leva os animais a adotarem medidas fisiológicas e comportamentais para manter a homeotermia, e que na maior parte das vezes culminam com a redução no desempenho produtivo (SOUZA et al., 2010)

Quanto mais distantes forem as características dos ambientes de produção pecuária em relação ao ambiente de origem evolutiva dos animais, maiores serão as chances dos mesmos apresentarem falência adaptativa. Isto ocorre, com frequência, quando a temperatura ambiente excede a temperatura crítica superior da espécie durante a maior parte do dia (MARQUES et al., 2006).

Diferentes sistemas de condicionamento de ambiente, em condições de estresse térmico, vêm sendo comparados com base na influência destes sistemas na melhoria do conforto térmico, dentre eles a utilização de árvores. Dessa forma, o sistema silvipastoril (SSP) constitui um eficiente método para criação de animais, fornecendo um ambiente de conforto térmico, para que os animais possam produzir em condições mais favoráveis e menos estressantes (PAES LEME et al., 2005).

Gutmanis et al. (2004), avaliando um sistema silvipastoril com densidades de 200 e 400 árvores ha⁻¹, com 30 anos de idade, verificaram que a temperatura do ar média anual em parcelas sombreadas diminuíram em 0,25 e 0,50°C, respectivamente, em relação a área não sombreada. Da mesma forma para a velocidade do vento, Menarim Filho et al. (2009), encontraram uma velocidade de 8,6 m s⁻¹ sob as copas e 7,3 m s⁻¹ nas entrelinhas do eucalipto, sendo inferior em 31,2% sob as copas e 41,6% nas entrelinhas, em relação a pleno sol.

Glaser (2008), concluiu que os bovinos optam por utilizar o sombreamento como primeiro recurso de defesa contra as temperaturas elevadas e a radiação solar direta. Enquanto que Silva (2006) propôs equações para determinar a orientação, o comprimento e a área da sombra projetada por árvores destinadas ao plantio em pastagens, considerando o local, a época do ano e a hora do dia.

De acordo com Garcia e Couto (1991), o direcionamento das fileiras de árvores permite maior ou menor penetração de luz, resultando em expressiva modificação da composição do microclima de sistemas silvipastoris.

Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar variáveis microclimáticas e índices de conforto térmico em sistemas silvipastoris com fileiras de eucalipto orientadas no sentido leste/oeste (SSP/LO) e norte/sul (SSP/NS) comparados ao sistema sem sombra (SS) nas estações de verão e inverno.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Modelo II (21° 08' S 53°17' W e altitude de 354 m), localizada no município de Ribas do Rio Pardo, MS, caracterizada por clima do tipo tropical chuvoso de Savana, subtipo Aw, segundo classificação de Köppen, com temperatura média máxima mensal de 29,1°C e média mínima mensal de 17,7°C. A precipitação pluvial média anual é de 1.566,7 mm com ocorrência bem definida de período seco durante os meses mais frios (maio a setembro) e um período chuvoso durante os meses de verão (outubro a março).

Foram avaliados dois sistemas silvipastoris com fileiras orientadas no sentido leste-oeste (SSP/LO) e norte-sul (SSP/NS). Foi também avaliado, para efeito de comparação, um sistema convencional de pastejo desprovido de sombra (SS). As características do relvado eram as mesmas para ambos os sistemas, sendo constituído, de forma uniforme e exclusiva, por gramíneas do gênero *Urochloa*, com altura variando entre 30 e 40 centímetros.

Os sistemas silvipastoris, foram constituídos com árvores de eucalipto (híbrido *urograndis*, clone I-144/Acesita) dispostos em fileiras triplas, com espaçamento de 3m x 2m entre árvores e 20 metros entre aleias. Apresentaram densidade média de 1489 e 1493 fustes por hectare para SSP/LO e SSP/NS, respectivamente.

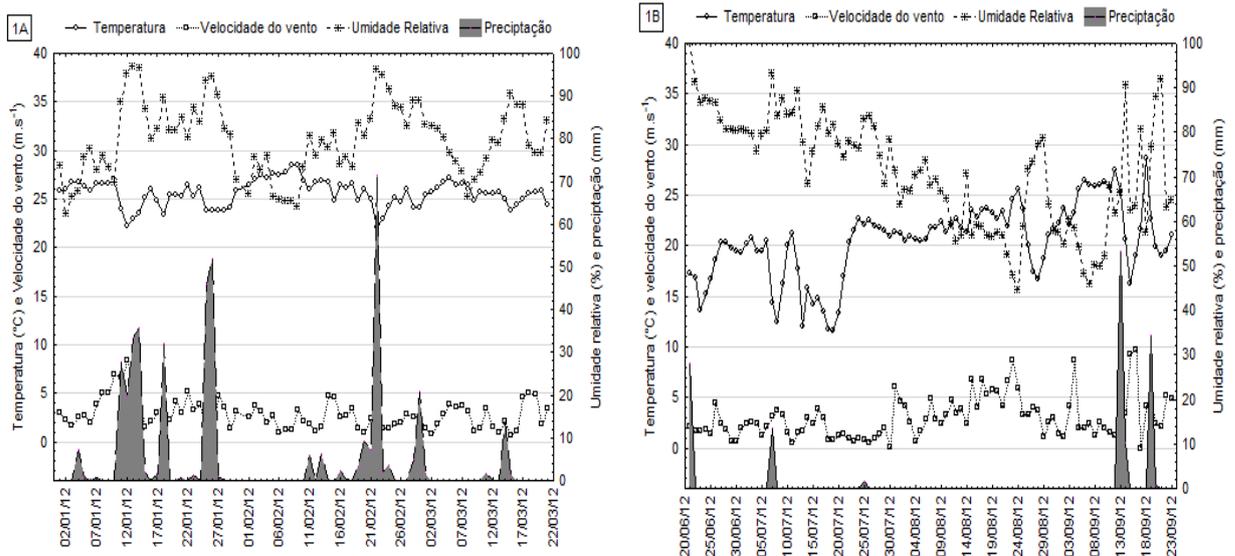
Estes sistemas foram implantados em dezembro de 2009 e continham idade de 25 meses no verão de 2012 (01/2012) e 33 meses no inverno de 2012 (08/2012). A altura média verificada nestes períodos foi de 14,5 metros e altura dominante de 16,2 metros. Já o diâmetro

médio a 1,30 metros (DAP) foi de 12,8 centímetros e diâmetro geométrico (DG) de 13,3 centímetros. As árvores já haviam sofrido o manejo da desrama e apresentavam uma altura de copa média de 6,5 metros. A produção de madeira estimada nos sistemas SSP/LO e SSP/NS foram, respectivamente, de 251,3 e 219,5 m³ por hectare.

O solo predominante da área experimental foi classificado, segundo Embrapa (2006), como Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo), apresentando resultado da análise textural de 109 g kg⁻¹ (argila), 23 g kg⁻¹ (silte) e 868 g kg⁻¹ (areia), com relevo plano. Estes atributos físicos apresentaram alta similaridade entre os três sistemas estudados.

As amostragens das variáveis foram feitas durante três dias consecutivos nos verões de 2012 (28-29-30/01) e 2013 (02-03-04/02) e invernos de 2012 (18-19-20/08) e 2013 (01-02-03/08), às 8, 11, 14 e 17 horas, de forma simultânea em todos os tratamentos. Com relação à posição horizontal ao sentido de plantio, ou seja, entre os renques de eucalipto, foram utilizadas seis distâncias com intervalos de 4 metros. As coletas de dados eram feitas sempre com o céu sem nebulosidade, em dias típicos de cada estação, sendo suspensa quando da ocorrência de muitas nuvens que interceptassem a radiação solar.

A figura 1 ilustra a variação da temperatura média, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação pluviométrica para as estações verão e inverno dos anos de 2012 e 2013, obtidos na estação climatológica automática da fazenda Modelo II, em Ribas do Rio Pardo, Mato Grosso do Sul.



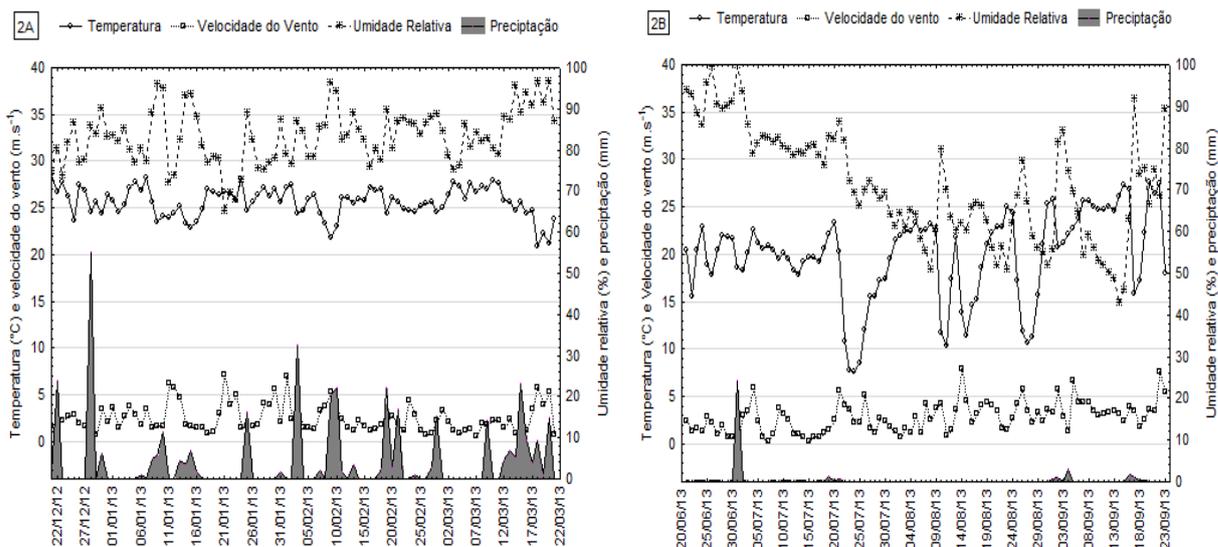


Figura 1. Dados médios diários de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação pluviométrica, na estação verão dos anos 2012 (1A) e 2013 (2A) e inverno dos anos 2012 (1B) e 2013 (2B), obtidos na estação climatológica da fazenda Modelo II, em Ribas do Rio Pardo, MS.

Foi considerada, para as medições das distâncias, a base dos fustes das árvores da primeira linha do renque limítrofe com a pastagem, e medidos 1, 4, 8, 12, 16 e 20 m até a outra base dos fustes da primeira linha do renque oposto, sempre utilizando o mesmo sentido de caminhamento em todas as amostragens, sendo que, para o SSP/LO o caminhamento foi iniciado na face sul em direção à face norte, enquanto que para o SSP/NS o caminhamento foi iniciado na face oeste em direção à face leste.

Para avaliar os ambientes, os equipamentos foram posicionados a 1,50 m de altura do solo, procurando simular a altura do dorso dos animais. Para cada distância ao renque de árvores foi estabelecida uma linha paralela onde foram tomadas cinco medidas (repetições) de 10 em 10 metros e seus valores definidos pela média entre o valor máximo e o mínimo ocorrido em trinta segundos de leitura. Os valores obtidos em cada distância constituíram, portanto, a média de cada variável. Já para o sistema SS, eram coletados dados em cinco pontos de forma aleatória, com distância mínima de 10 metros entre eles, respeitando o mesmo intervalo e horas de coletas dos outros dois sistemas.

As propriedades psicrométricas registradas foram a temperatura ambiente (T_a), umidade relativa do ar (UR), temperatura do bulbo seco (T_{bs}), temperatura de bulbo úmido (T_{bu}), temperatura do globo negro (T_{gn}) e velocidade do vento (V). Também foram registradas a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e a radiação solar global (RSG).

Por meio do termo-higro-anemômetro-luxímetro digital (THAL300®) foram coletadas as variáveis T_a (°C), UR (%), V(m.s⁻¹) e RSG (lux). Já as variáveis T_{gn} (°C), T_{bs}

(°C) e T_{bu} (°C) foram obtidas através de um medidor de estresse térmico (TGD-200®). As variáveis temperatura do ponto de orvalho (T_{po}), pressão parcial de vapor (P_p) e entalpia (H), foram obtidos através de equações psicométricas segundo Ashrae (1997). Medidas de RFA foram tomadas com auxílio de um quantômetro (LI-190SL Quantum Sensor – LI-COR®) conectado a um datalogger (LI-1400 LI-COR®), para medir a densidade de fluxo de fótons ($\mu.s^{-1}.m^{-2}$). Ao mesmo aparelho, foi acoplado um sensor de temperatura (LI-COR®-7900-180) para medir a temperatura do solo (°C).

Para interpretação dos dados, foram utilizados os seguintes índices de conforto térmico:

a) Índice de Temperatura e Umidade (ITU), proposto por Thom (1958):

$$ITU = T_a + 0,36 T_{po} + 41,5$$

em que:

T_a = temperatura ambiente (°C);

T_{po} = temperatura do ponto de orvalho (°C).

b) Índice de Temperatura Globo-Umidade (ITGU), proposto por Buffington et al. (1981):

$$ITGU = T_g + 0,36 T_{po} + 41,5$$

em que:

T_{gn} = temperatura do globo negro (°C);

T_{po} = temperatura do ponto de orvalho (°C).

c) Carga Térmica Radiante (CTR), proposta por Esmay (1979):

$$CTR = \sigma \cdot (T_{rm})^4, \text{ dado em } W \cdot m^{-2}$$

em que:

σ = constante de Stefan-Boltzmann, $5,67 \times 10^{-8}$, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$,

T_{rm} = Temperatura Radiante Média (°K);

$$T_{rm} = 100 \left\{ 2,51 V^{0,5} \left((T_{gn} + 273) - (T_a + 273) + \left((T_{gn} + 273) / 100 \right)^4 \right)^{0,25} \right\}$$

em que:

T_a = temperatura ambiente (°K);

T_{gn} = temperatura do globo negro (°K);

V = velocidade do vento ($m.s^{-1}$).

O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente casualizado em esquema de parcelas sub-subdivididas, com cinco repetições. Nas parcelas os tratamentos foram os dois sentidos de plantio em sistema silvipastoril (SSP/LO, SSP/NS) e um tratamento controle (SS). Nas sub-parcelas os tratamentos foram os horários de coleta obtidos durante o dia (8, 11, 14 e 17 horas) e as sub-subparcelas representadas pelas distâncias em relação ao renque das árvores (1, 4, 8, 12, 16 e 20 m). As medições foram realizadas nas estações verão e inverno. Para análise dos dados, utilizou-se a média entre os dias e anos avaliados.

Os resultados foram submetidos à análise de variância. As médias referentes aos sistemas avaliados foram comparadas pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade, enquanto os efeitos das distâncias e horários foram avaliados por meio de análise de regressão, adotando-se como critério para escolha do modelo, a magnitude dos coeficientes de regressão significativos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios apresentados pelas características microclimáticas e pelos índices de conforto térmicos durante o período de verão, não foram suficientemente capazes de diferenciar as duas formas de orientação de plantio, sentido leste/oeste e norte/sul. Isso demonstra haver certa similaridade entre esses sistemas para esta época do ano. Entretanto, durante o período de inverno, verificaram-se haver diferenças significativas entre os dois sentidos, acarretando numa maior variação microclimática e de conforto térmico entre as orientações durante esta época do ano para esta região (Tabela 1).

Os resultados apresentados pelas variáveis na comparação entre épocas confirmaram haver diferenças significativas entre as estações de inverno e verão, condições já esperadas devido à radiação solar ser mais intensa no solstício de verão em relação ao solstício de inverno para proximidades ao paralelo de 23,5° S, quando o sol está em ângulo reto sobre a linha do trópico de Capricórnio (SILVA, 2000).

Tabela 1. Componentes microclimáticos e índices de conforto térmico em função das épocas e sistemas avaliados, Fazenda Modelo II, MS.

Tratamentos	Ta	UR	TGN	V	ITU	ITGU	H	CTR
Épocas (SSP's)	°C	(%)	°C	m.s ⁻¹			kJ.kg ⁻¹	W.m ⁻²
Verão/12	31,7 a	49,2 ab	38,3 a	3,7 a	79,3 a	85,9 a	88,2 a	714,2 a
Inverno/12	27,6 b	43,0 b	32,7 b	4,4 a	72,9 b	79,1 b	69,1 b	580,4 b
Verão/13	30,1 a	53,3 a	36,9 ab	2,5 a	77,8 a	84,2 a	84,4 a	663,4 ab
Inverno/13	26,3 b	43,6 b	31,3 b	2,8 a	71,4 b	77,2 b	66,6 b	589,9 b
Sentidos (Sent)	VERÃO							
SSP/LO	30,9 b	49,7 a	37,3 b	3,3 a	78,1 b	86,9 b	84,5 b	702,4 b
SSP/NS	30,1 b	51,5 a	36,1 b	2,6 a	77,8 b	85,5 b	83,9 b	667,2 b
(SS)	32,8 a	44,3 b	40,6 a	4,7 a	81,2 a	89,4 a	92,8 a	766,7 a
	INVERNO							
SSP/LO	24,8 c	46,1 c	29,1 c	2,7 a	71,8 b	79,1 b	66,8 b	577,6 c
SSP/NS	26,9 b	41,2 b	32,4 b	3,1 a	72,4 b	78,8 b	68,7 b	592,0 b
(SS)	28,0 a	35,0 a	35,2 a	3,4 a	75,8 a	81,6 a	72,7 a	686,0 a
Significância	VERÃO							
Sentidos (Sent)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Horários (Hor)	##	#	##	#	#	##	#	##
Sent x Hor	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Distâncias (Dis)	##	#	#	ns	#	#	#	#
Sent x Dis	*	ns	*	ns	ns	*	ns	*
Hor x Dis	*	*	**	ns	ns	**	ns	**
Sent x Hor x Dis	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV _{parcela} (%)	7,98	13,90	18,72	33,42	7,98	12,93	16,12	23,06
CV _{subparcela} (%)	20,91	28,10	21,98	50,89	11,98	15,92	7,91	20,95
CV _{sub-subparcelas} (%)	8,32	6,98	14,26	14,18	6,98	9,23	2,29	10,22
Significância	INVERNO							
Sentidos (Sent)	*	*	*	ns	ns	ns	ns	*
Horários (Hor)	##	#	##	#	#	##	#	##
Sent x Hor	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Distâncias (Dis)	#	#	##	ns	##	##	##	##
Sent x Dis	**	**	*	ns	*	*	*	*
Hor x Dis	*	*	*	ns	*	*	*	*
Sent x Hor x Dis	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV _{parcela} (%)	5,87	11,87	15,90	41,65	5,24	9,42	10,32	26,91
CV _{subparcela} (%)	19,40	33,80	20,40	75,91	10,41	11,92	6,91	21,65
CV _{sub-subparcelas} (%)	7,94	3,87	13,93	20,10	3,98	4,32	4,12	13,72

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, dentro de épocas e do fator sistemas, diferem estatisticamente pelo teste de "t" e Duncan (P=0,05), respectivamente. ns, *, **, #, ##: não-significativo, significativos a 5% e 1% pelo teste t, regressão polinomial significativa a 5% e 1% pelo teste de t respectivamente.

Ficou evidente a melhoria do microclima no aspecto de ambiência proporcionada pela presença das árvores nos dois sistemas silvipastoris quando comparado ao tratamento

controle (SS), independentemente das épocas consideradas (Tabela 1). As variáveis Ta, Tgn e V obtidas no sistema sem sombreamento (SS), durante o período de verão, apresentaram valores médios de 7,1%, 9,1% e 25,5% acima da média dos sistemas SSP's, respectivamente. Já para a umidade relativa (UR), o SS apresentou valores médios 14,2% abaixo da média dos sistemas SSP's. Enquanto que no inverno os valores encontrados para o SS foram 10,6% (Ta), 12,6% (Tgn) e 14,7% (V) acima da média dos SSP's e a UR foi 24,7% menor no SS em detrimento aos SSP's (Tabela 1).

As diferenças encontradas entre os sentidos de plantio e épocas do ano neste experimento possui estreita relação com a quantidade de radiação solar incidente no sub-bosque dos sistemas silvipastoris, que variou ($p < 0,05$) em função da distância ao renque de árvores e os sentidos de plantio para as duas épocas do ano (Figura 2). Segundo Souza et al (2005), a radiação solar é fonte primária de energia para todos os processos terrestres, sendo também o principal elemento meteorológico, pois é ela que desencadeia todo o processo climático afetando todos os outros elementos, como temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e pressão atmosférica.

O modelo mais adequado para explicar a variação do índice de sombreamento global nos dois sentidos de plantio foi o quadrático, embora com magnitudes de respostas diferentes entre os sentidos de plantio e épocas do ano (Figura 2).

Os índices de sombreamento estimados a partir dos valores de radiação solar global nas diferentes distâncias ao renque de árvores, em relação à irradiância a sol pleno (área de pastagem adjacente aos sistemas silvipastoris, isenta de sombreamento) revelaram comportamentos de respostas distintos, sendo possível verificar maiores índices de sombreamento entre renques durante o período de inverno em relação ao período de verão. De acordo com Moreira (2003), o movimento aparente do sol no sentido norte-sul durante o ano, devido à inclinação que o eixo terrestre faz com a linha normal ao plano de translação do planeta Terra, conhecida como declinação solar, faz com que o sol se posicione mais ao norte do local durante o período de inverno no hemisfério sul, acarretando em aumento do ângulo zenital e conseqüentemente dos níveis de sombreamento entre aleias proporcionado pelas árvores de eucalipto.

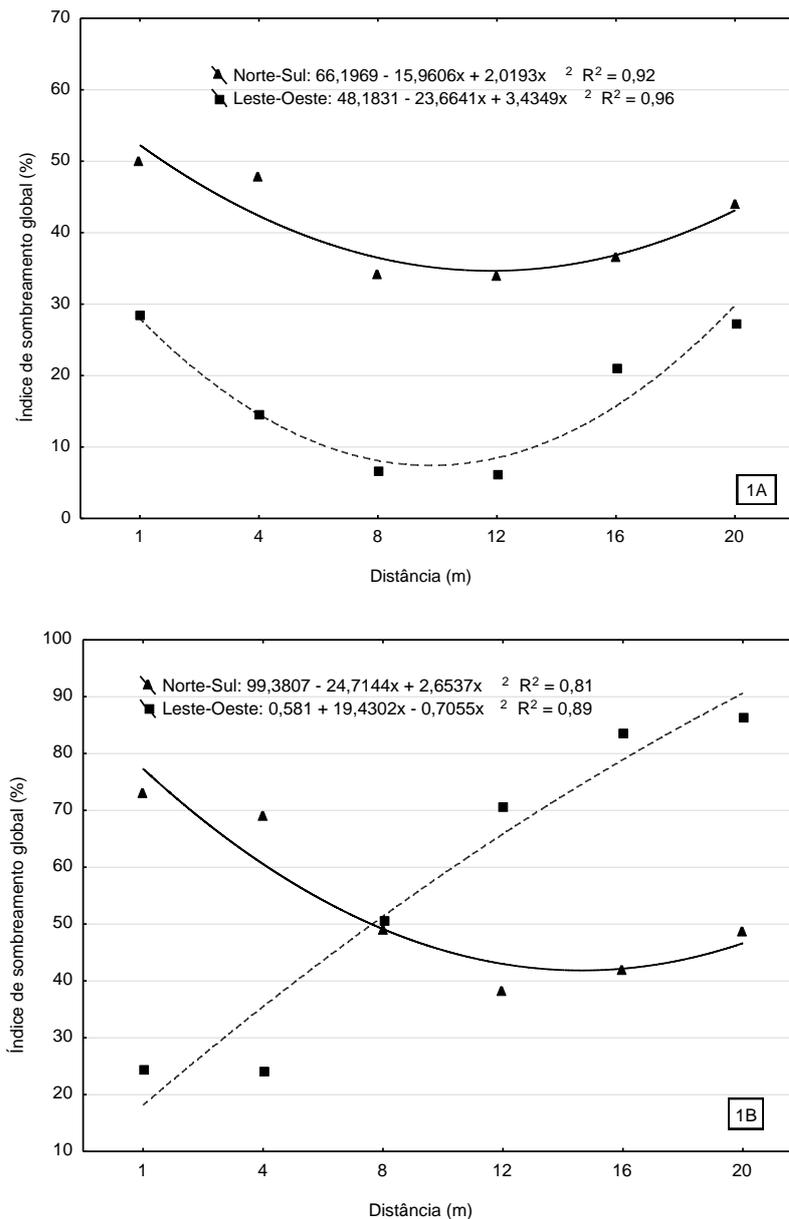


Figura 2. Índice de sombreamento global para sistemas silvipastoris com orientação leste-oeste e norte-sul em função das distâncias em relação aos renques de eucalipto para as épocas de verão e inverno. 1A: verão e 1B: inverno.

Observou-se, que mesmo as distâncias mais centrais em relação aos renques, como as de oito e doze metros, houve atenuação da radiação total incidente, o que ocorreu principalmente durante o período da manhã e final de tarde, conforme a elevação solar. Durante o verão, o maior distanciamento em relação aos renques das árvores promoveu menores porcentagens de sombreamento ao decorrer do dia nas duas orientações avaliadas, sendo mais intensa no sentido norte-sul, o qual apresentou índice de sombreamento médio de 40,5% contra 17,5% da orientação leste-oeste (Figura 2). Entretanto, verificou-se uma

inversão desta porcentagem de sombreamento médio para o período de inverno, sendo de 57% para o sentido leste-oeste e 52,1% para o sentido norte-sul.

Segundo Paciullo et al. (2011), há maior possibilidade de sombreamento do sub-bosque, quando as características topográficas exigem que o plantio seja realizado no sentido norte-sul. Essa afirmação foi corroborada apenas em parte com os resultados apresentados nesta pesquisa, pois tal condição só foi verificada durante o período de verão, entretanto, durante o inverno essa situação se inverteu.

No inverno, pode-se observar um efeito particularmente distinto do índice de sombreamento global no sentido leste-oeste quanto ao distanciamento dos renques das árvores em relação ao padrão típico apresentado pelos dois sentidos no período do verão e pelo sentido norte-sul no período do inverno. Essa curva demonstra um constante e elevado nível de sombreamento durante o percorrer do dia nas distâncias de 12, 16 e 20 metros, ou seja, aquelas distâncias voltadas para o norte, as quais receberam menor energia radiante em relação às distâncias voltadas para o sul, representadas pelas distâncias 1, 4 e 8. Acredita-se que esse efeito foi o principal responsável pelas diferenças significativas alcançadas pelas variáveis avaliadas entre as épocas do ano e os sentidos de plantio.

Estes resultados vieram ao encontro daqueles observados por Oliveira (2013) onde se pode observar que no outono e no inverno a área entre os renques de eucalipto apresentavam maior porcentagem sombreada, sendo a maior concentração de sombra nas regiões centrais das entrelinhas das árvores. Na primavera e verão, verificou-se menor sombreamento dos piquetes, com concentração de luz nas entrelinhas do piquete e sombras mais próximas às fileiras de árvores.

No verão, não foi verificada influência da interação sentido x horário para nenhuma das variáveis. No entanto, verificou-se efeito significativo das interações sentido x distância para T_a , T_{gn} , ITGU e CTR e horário x distância para T_a , UR, T_{gn} , ITGU e CTR. Os índices ITU e H foram significativos para os fatores horário e distância. Já a velocidade do vento (V) foi significativo apenas para o fator horário (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2. Desdobramento da interação sistemas x distâncias referente à temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do globo negro, índice de temperatura e umidade, índice de temperatura globo-umidade, entalpia e carga térmica radiante, verificadas na época de verão, fazenda Modelo II, MS.

Época	VERÃO						Regressão	R ²
	Distâncias (m)							
Sentidos	1	4	8	12	16	20		
Temperatura do ar (°C)								
SSP/LO	29,6 a	31,9 a	31,8 a	31,6 a	30,7 a	28,3 b	$y = 27,2649 + 3,0554x - 0,4780x^2$	0,87
SSP/NS	28,6 b	29,7 b	30,5 a	30,8 a	30,3 a	30,2 a	$y = 27,2257 + 1,6735x - 0,1995x^2$	0,91
Umidade Relativa (%)								
SSP's	52,6	52,8	50,8	49,6	51,9	54,2	$y = 59,4427 + 0,8451x - 0,3145x^2$	0,95
Temperatura do globo negro (°C)								
SSP/LO	37,9 a	39,7 a	40,4 a	39,9 a	38,5 a	36,0 a	$y = 35,1302 + 3,3476x - 0,5331x^2$	0,90
SSP/NS	33,3 b	33,8 b	37,3 b	37,4 a	37,8 a	37,7 a	$y = 30,2159 + 2,904x - 0,2755x^2$	0,92
Índice de Temperatura e Umidade (ITU)								
SSP's	77,4	77,6	78,0	78,4	77,9	78,3	$y = 76,9662 + 0,4658x - 0,0417x^2$	0,89
Índice de Temperatura Globo-Umidade (ITGU)								
SSP/LO	87,0 a	88,9 a	89,8 a	89,1 a	87,9 a	85,2 a	$y = 84,0156 + 3,5675x - 0,5603x^2$	0,97
SSP/NS	82,4 b	83,0 b	86,5 b	86,6 a	87,1 a	86,9 a	$y = 79,2506 + 3,0832x - 0,0203x^2$	0,95
Entalpia (H)								
SSP's	82,8	83,7	84,8	84,8	84,6	84,4	$y = 81,3062 + 1,6911x - 0,1965x^2$	0,96
Carga Térmica Radiante (CTR)								
SSP/LO	726 a	795 a	801 a	762 a	755 a	658 a	$y = 651,9642 + 96,4714x - 15,8048x^2$	0,93
SSP/NS	590 b	607 b	713 b	703 b	695 a	685 a	$y = 497,2834 + 93,9881x - 10,5132x^2$	0,89

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna, para cada variável, diferem estatisticamente pelo teste "t" para o fator distâncias (p=0,05).

Tabela 3. Comportamento dos sistemas silvipastoris em relação ao sistema sem sombra em função do horário para as variáveis temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do globo negro, velocidade do vento, índice de temperatura e umidade, índice de temperatura globo-umidade, entalpia e carga térmica radiante, verificadas na época de verão, fazenda Modelo II, MS.

Sistemas	VERÃO								Regressão	R ²
	Horários (h)									
	8		11		14		17			
Temperatura do ar (°C)										
SSP's	24,9	a	32,0	a	33,4	b	31,1	a	$y = 13,7561 + 13,6679x - 2,3391x^2$	0,93
SS	26,1	a	34,2	a	37,3	a	31,9	a	$y = 12,5779 + 15,4289x - 2,6254x^2$	0,96
Umidade Relativa (%)										
SSP's	62,0	a	46,8	a	43,4	a	55,7	a	$y = 91,8927 - 36,5467x + 6,8656x^2$	0,90
SS	58,1	a	42,3	a	35,3	b	50,2	a	$y = 76,8687 - 30,6452x + 5,9337x^2$	0,97
Temperatura do globo negro (°C)										
SSP's	25,4	a	40,3	a	44,3	b	37,7	b	$y = - 2,5531 + 33,6056x - 5,8639x^2$	0,91
SS	27,8	a	43,5	a	48,9	a	44,3	a	$y = - 8,7288 + 44,9075x - 8,6609x^2$	0,94
Velocidade do vento (m.s ⁻¹)										
SSP's	0,17	a	2,87	b	3,08	b	1,92	a	$-4,6963 + 6,0349x - 1,1403x^2$	0,87
SS	0,24	a	6,89	a	5,35	a	3,06	a	$-5,5068 + 7,4616 - 1,2339x^2$	0,69
Índice de Temperatura e Umidade (ITU)										
SSP's	71,2	a	79,2	a	83,2	b	78,1	b	$55,4258 + 18,9007x - 3,2952x^2$	0,97
SS	73,5	a	81,0	a	87,7	a	81,3	a	$62,3014 + 17,2169x - 3,2247x^2$	0,89
Índice de Temperatura Globo-Umidade – ITGU										
SSP's	73,7	a	90,0	a	95,2	b	90,2	b	$43,4552 + 36,3831x - 6,3537x^2$	0,94
SS	75,6	a	92,6	a	99,7	a	94,9	a	$51,3601 + 31,5839x - 5,2481x^2$	0,90
Entalpia (H)										
SSP's	71,9	a	87,2	a	93,6	b	84,8	b	$43,1926 + 34,7313x - 6,1035x^2$	0,84
SS	71,5	a	92,8	a	101,6	a	92,2	a	$64,9705 + 28,0727x - 5,6216x^2$	0,81
Carga Térmica Radiante (CTR)										
SSP's	464	a	798	b	901	b	670	b	$-179,4816 + 779,742x - 141,512x^2$	0,90
SS	471	a	921	a	984	a	1027	a	$-89,9252 + 681,396x - 101,626x^2$	0,84

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna, para cada variável, diferem estatisticamente pelo teste de Duncan para o fator horário (p=0,05).

Durante o inverno, assim como no verão, não foi verificada influência da interação sentidos x horários para nenhuma das variáveis. O efeito das interações sentido x distância e horário x distância foi constatado em todas as variáveis, exceto velocidade do vento que apresentou influência somente para o fator horário (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4. Desdobramento da interação sistemas x distâncias referente à temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do globo negro, índice de temperatura e umidade, índice de temperatura globo-umidade, entalpia e carga térmica radiante, verificadas na época de inverno, fazenda Modelo II, MS.

Época	INVERNO						Regressão	R ²
	Distâncias (m)							
Sentidos	1	4	8	12	16	20		
Temperatura do ar (°C)								
SSP/LO	27,0 a	27,4 a	26,7 a	25,4 b	24,5 b	24,5 b	$y = 27,6809 - 0,2620x - 0,0536x^2$	0,95
SSP/NS	26,6 a	26,7 a	27,2 a	27,8 a	27,5 a	26,9 a	$y = 25,5949 + 0,9620x - 0,1175x^2$	0,94
Umidade Relativa (%)								
SSP/LO	42,7 b	42,2 b	44,0 a	47,5 a	48,8 a	46,7 a	$y = 39,3941 + 2,4869x - 0,1794x^2$	0,87
SSP/NS	46,4 a	46,5 a	45,3 a	44,4 a	42,5 b	44,0 a	$y = 48,0641 - 1,2280x + 0,0732x^2$	0,91
Temperatura do globo negro (°C)								
SSP/LO	30,5 a	32,2 a	32,8 a	30,9 a	27,6 b	27,0 b	$y = 29,0481 + 2,406x - 0,4795x^2$	0,90
SSP/NS	27,6 b	29,1 b	29,7 b	30,4 a	31,0 a	30,7 a	$y = 26,0989 + 1,7692x - 0,1623x^2$	0,90
Índice de Temperatura e Umidade (ITU)								
SSP/LO	71,6 a	72,2 a	72,2 a	70,1 b	69,3 b	69,6 b	$y = 72,1626 + 0,0098x - 0,0873x^2$	0,93
SSP/NS	71,3 a	71,9 a	72,5 a	73,3 a	72,2 a	72,6 a	$y = 70,1616 + 1,2563x - 0,146x^2$	0,96
Índice de Temperatura Globo-Umidade (ITGU)								
SSP/LO	77,2 a	78,8 a	79,5 a	77,4 a	74,0 b	73,4 b	$y = 75,7883 + 2,3984x - 0,489x^2$	0,89
SSP/NS	74,7 a	76,0 a	76,7 a	77,5 a	77,6 a	77,7 a	$y = 73,3328 + 1,6202x - 0,1476x^2$	0,96
Entalpia (H)								
SSP/LO	65,7 a	66,0 a	66,4 a	63,3 b	62,4 b	62,5 b	$y = 66,4122 - 0,0895x - 0,1105x^2$	0,89
SSP/NS	67,2 a	66,6 a	67,6 a	69,0 a	65,5 a	67,6 a	$y = 66,4682 + 0,5951x - 0,0827x^2$	0,84
Carga Térmica Radiante (CTR)								
SSP/LO	580 a	613 a	632 a	607 a	525 b	506 b	$y = 531,9505 + 64,8347x - 11,9447x^2$	0,90
SSP/NS	539 a	569 a	579 a	594 a	657 a	625 a	$y = 506,3898 + 32,9461x - 1,803x^2$	0,89

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna, para cada variável, diferem estatisticamente pelo teste “t” para o fator distâncias (p=0,05).

Tabela 5. Comportamento dos sistemas silvipastoris em relação ao sistema sem sombra em função do horário para as variáveis temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do globo negro, velocidade do vento, índice de temperatura e umidade, índice de temperatura globo-umidade, entalpia e carga térmica radiante, verificadas na época de inverno, fazenda Modelo II, MS.

Sistemas	Época								Regressão	R ²	
	INVERNO										
		Horários (h)									
		8	11	14	17						
Temperatura do ar (°C)											
SSP's	17,4	a	29,2	a	31,8	b	27,7	a	$y = -1,5633 + 23,126x - 3,9581x^2$	0,93	
SS	18,5	a	29,9	a	34,3	a	28,5	a	$y = -2,5175 + 25,1418x - 4,3325x^2$	0,96	
Umidade Relativa (%)											
SSP's	80,7	a	33,2	a	27,1	a	39,3	a	$y = 152,4397 - 87,7594x + 14,9447x^2$	0,90	
SS	69,9	b	29,4	a	21,8	b	30,9	b	$y = 131,3374 - 74,5949x + 12,4251x^2$	0,97	
Temperatura do globo negro (°C)											
SSP's	19,6	b	34,3	a	38,2	b	27,8	a	$y = -8,6538 + 34,3867x - 6,3066x^2$	0,91	
SS	26,3	a	38,8	a	44,1	a	28,0	a	$y = -3,9722 + 36,7301x - 7,1387x^2$	0,94	
Velocidade do vento (m.s ⁻¹)											
SSP's	0,11	a	3,05	b	3,65	b	1,20	a	$-6,9495 + 8,4726x - 1,597x^2$	0,87	
SS	0,10	a	6,94	a	6,83	a	2,18	a	$-11,8795 + 14,9788x - 2,8735x^2$	0,69	
Índice de Temperatura e Umidade (ITU)											
SSP's	60,9	b	73,5	b	78,0	b	74,0	a	$39,8466 + 25,1837x - 4,1596x^2$	0,97	
SS	63,8	a	76,1	a	81,3	a	75,9	a	$41,9701 + 26,1551x - 4,4067x^2$	0,89	
Índice de Temperatura Globo-Umididade (ITGU)											
SSP's	65,8	b	81,1	b	85,5	b	74,5	a	$36,285 + 35,933x - 6,5804x^2$	0,94	
SS	73,4	a	86,3	a	92,0	a	74,8	a	$41,6225 + 38,5593x - 7,5149x^2$	0,90	
Entalpia (H)											
SSP's	53,4	b	67,9	b	73,9	b	68,1	a	$27,9665 + 30,4233x - 5,0886x^2$	0,84	
SS	59,5	a	73,3	a	80,0	a	70,1	a	$31,6777 + 33,3411x - 5,8991x^2$	0,81	
Carga Térmica Radiante (CTR)											
SSP's	436	a	686	b	751	b	469	b	$-120,4652 + 681,6938x - 133,0315x^2$	0,90	
SS	494	a	903	a	955	a	441	a	$-427,8547 + 1143,037x - 230,7929x^2$	0,84	

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna, para cada variável, diferem estatisticamente pelo teste de Duncan para o fator horário (p=0,05).

As interações observadas no verão entre os fatores distâncias e sistemas para a Ta, Tgn, ITGU e CTR foi evidenciada pela inversão de seus valores na distância de 20 metros, local onde os valores se inverteram e tornaram-se maiores para a orientação no sentido norte-

sul (Tabela 2). Este comportamento tem relação com os maiores níveis de energia radiante que chega à face leste do sentido norte-sul durante os horários de final de tarde, momento em que o ângulo de incidência dos raios solares, ou ângulo zenital, é maior devido a menor elevação do sol nestes horários.

As diferenças significativas alcançadas entre os sentidos leste-oeste e norte-sul para T_a nas distâncias mais próximas ao renque de árvores (1, 4 e 20), provavelmente foram obtidas em consequência dos maiores índices de sombreamento nessas distâncias apresentado pelo sentido norte-sul durante o verão. O mesmo não pode ser constatado nas distâncias mais centrais, onde os valores foram estatisticamente semelhantes. As variáveis T_{gn} , ITGU e CTR também foram capazes de diferenciar os sentidos, no entanto, somente nas menores distâncias, ou seja, aquelas distâncias voltadas para a face oeste no sentido norte-sul e que receberam menores níveis de irradiância em relação à face sul no sentido leste-oeste (Tabela 2).

O tratamento controle (SS) demonstrou ser significativamente distinto dos SSP's perante todas as variáveis para o fator horário durante o verão, principalmente naqueles horários do período vespertino (14 e 17 horas), com exceção do índice CTR, o qual conseguiu obter um maior tempo de distinção entre os sistemas, das 11 às 17 horas para as duas épocas estudadas (Tabela 3). No entanto, durante o inverno, os índices ITU, ITGU e H diferenciaram os sistemas no período das 8 horas da manhã até às 14 horas (Tabela 5). Isso deve-se ao fato da maior diferença de calor existente entre os sistemas SSP's e o sistema SS nestes horários. No decorrer do período da manhã, por influência das árvores que absorvem parte da radiação direta para realizarem fotossíntese e do maior ângulo zenital nesta época do ano, se gasta mais tempo para a energia solar interceptada aquecer o ambiente SSP em relação ao SS.

As médias de entalpia observadas foram significativamente inferiores para os sistemas SSP's em relação ao SS, resultados que diferem dos encontrados por Gurgel (2010) ao avaliar a qualidade térmica do sombreamento natural proporcionado por três diferentes espécies arbóreas (Copaíba, Chico-pires e Pau-terra-da-areia) no município de Botucatu-SP, observou valores mais altos de H à sombra das árvores em relação a céu aberto para todos os horários estudados, argumentando que à sombra a quantidade de calor é maior que a céu aberto devido ao microclima gerado, fato este não observado neste trabalho.

A zona de conforto térmico ou de termoneutralidade para bovinos é relativamente pequena, sendo que para as raças europeias está entre -1°C e 16°C com limite crítico a partir de 27°C e para as raças zebuínas está entre 10°C e 27°C e se torna crítica a partir dos 35°C (FURTADO et al., 2012), ou seja, os elevados índices de T_a observados nesta região,

representam um grande desafio aos animais, exigindo que desenvolvam mecanismos para dissipação do calor.

O conforto térmico depende em alto grau dos níveis de umidade atmosférica, em associação com a temperatura. Assim, em ambiente muito quente, tanto o excesso como a carência de umidade são prejudiciais. Em um ambiente quente e muito seco, a evaporação ocorre bastante rápida, causando irritação cutânea e desidratação geral, por outro lado, um ambiente quente e demasiadamente úmido, a evaporação torna-se muito lenta ou nula, reduzindo a termólise (SANTOS et al., 2005). Normalmente num ambiente tropical o mecanismo físico de termólise mais eficaz é o evaporativo, por não depender do diferencial de temperatura entre o organismo e a atmosfera.

De maneira geral, as médias diárias observadas da umidade relativa do ar (UR) e da temperatura ambiente (Ta), ficaram situadas fora da zona de conforto para bovinos considerados por Baêta e Souza (1997) (Ta entre 10 e 27°C, UR entre 60 e 70% e V entre 1,38 a 2,22 m/s) para ambos os sistemas avaliados. Em contrapartida, a região demonstrou algumas situações desejáveis, como nas horas mais quentes do dia (11 às 14 horas) onde a UR média atingiu valores entre 43% e 46% no verão e entre 21% e 29% no inverno, associados à velocidade do vento (V) média de até 5,8 m/s, facilitam as perdas de calor por processos evaporativos. Segundo Neiva et al. (2004), o aumento da umidade relativa, diminui a dissipação de calor pela pele por perda na difusão de água.

Os sistemas SSP/LO e SSP/NS foram semelhantes ($p>0,05$) em todos os horários para a velocidade do vento (V) nas duas épocas avaliadas. No entanto, os SSP's na comparação com o tratamento controle (SS), demonstraram valores significativamente menores para V. Nas duas épocas, os horários das 11 e 14 horas, foram os que apresentaram as maiores médias de V e, ao mesmo tempo, os que diferiram estatisticamente os sistemas, sendo semelhantes nos demais horários (Tabelas 3 e 5).

Souza et al. (2010) avaliando o efeito de diferentes alturas (8, 18 e 28 m) de renques de árvores de eucalipto em sistema silvipastoril observaram que a redução da V por uma barreira aumenta com o aumento da V, mas, concomitante a isso, aumenta a variabilidade dessa redução. Fato este corroborado neste trabalho e relacionado com os elevados níveis de coeficiente de variação (CV) obtidos por esta variável (Tabela 1).

Outro fato relacionado à variabilidade dos valores obtidos de V neste trabalho refere-se às mudanças na direção e na velocidade do vento devido a características de rugosidade da superfície criada pelos obstáculos e pela distância vertical acima da superfície em que ela é medida. Quanto mais próximo da superfície, maior o efeito do atrito com o

terreno, desacelerando o movimento e diminuindo a velocidade de deslocamento do ar. Esse bloqueio imposto pela superfície faz com que bolhas de ar de maior velocidade se desloquem para baixo, gerando um impulso repentino no ar próximo ao chão. A esse aumento brusco na velocidade do vento denomina-se de rajada (WIENDL e ANGELLOCI, 1995).

As regressões para as V sobre o horário (Tabela 3 e 5) durante o período de verão e inverno mostraram efeito quadrático ($p < 0,05$) para os sistemas SS e SSP's. O ponto máximo da V estimado pelas equações quadráticas para os sistemas SS e SSP's no período do verão ocorreram, respectivamente, às 14:05 horas com 5,7 m/s e às 12:55 horas com 3,3 m/s. Enquanto que, para o período de inverno, os maiores valores estimados foram de 7,7 m/s às 12:48 horas para SS e 4,5 m/s às 12:57 horas SSP's.

Em renques de árvores folhudas, as folhas apresentam tendência de colocar-se paralelamente ao escoamento do vento, momento em que a porosidade entre as folhas aumenta o que provoca uma menor redução dos valores de V . Em contrapartida, para renques constituídos por coníferas, os ramos têm tendência de se chapear uns contra os outros quando V aumenta, diminuindo a porosidade e aumentando a redução do vento (Guyot, 1989).

A diferença de redução da velocidade do vento além da altura dos renques, também pode ser influenciada pela altura das copas das árvores. A utilização da desrama artificial com o intuito de aumentar a qualidade do produto final, acarreta em uma maior altura das copas, permitindo uma maior velocidade do vento próximo ao solo.

Durigan e Simões (1987) concluíram que o ponto de máxima proteção contra o vento foi mais próximo da barreira (2 H) para a barreira mais compacta e mais distante (4 H) para a barreira mais permeável, considerando-se a porosidade das copas. Portanto, considerando que a altura média dos renques neste experimento foi de 15 m, proporcionariam uma proteção entre 30 a 60 m. Como a distância entre os renques era de 20 m em ambos os sentidos, estes SSP's já apresentavam alguma interferência na V desde os seus 5 a 10 m de altura em toda sua extensão.

A temperatura média do globo negro (T_{gn}) foi significativamente superior no verão ($37,6^{\circ}\text{C}$) em relação à registrada no inverno ($32,0^{\circ}\text{C}$), demonstrando-se regular nos sistemas com árvores de eucalipto e crítica em alguns momentos do dia de acordo com a classificação dada por Ferreira et al. (2006), que considera que T_{gn} a 23°C indica condições de conforto térmico e, de 44°C , condições severas de estresse por calor. Sendo assim, o SS proporcionou estresse térmico durante a maior parte do dia.

Considerando-se que a temperatura indicada pelo globo negro resulta de uma combinação da temperatura do ar, temperatura radiante e da velocidade do vento, o resultado

observado a céu aberto (SS), que apresentou os maiores valores de Tgn em comparação aos SSP's é coerente.

Houve interação horários x distâncias para a Tgn nas duas épocas estudadas e seus efeitos estão demonstrados na figura 3. Foi verificado efeito linear para o SSP/NS às 8 horas durante o verão e, durante o inverno, para o SSP/LO às 17 horas e para o SSP/NS às 8 e 17 horas. Para os demais, foi verificado efeito quadrático.

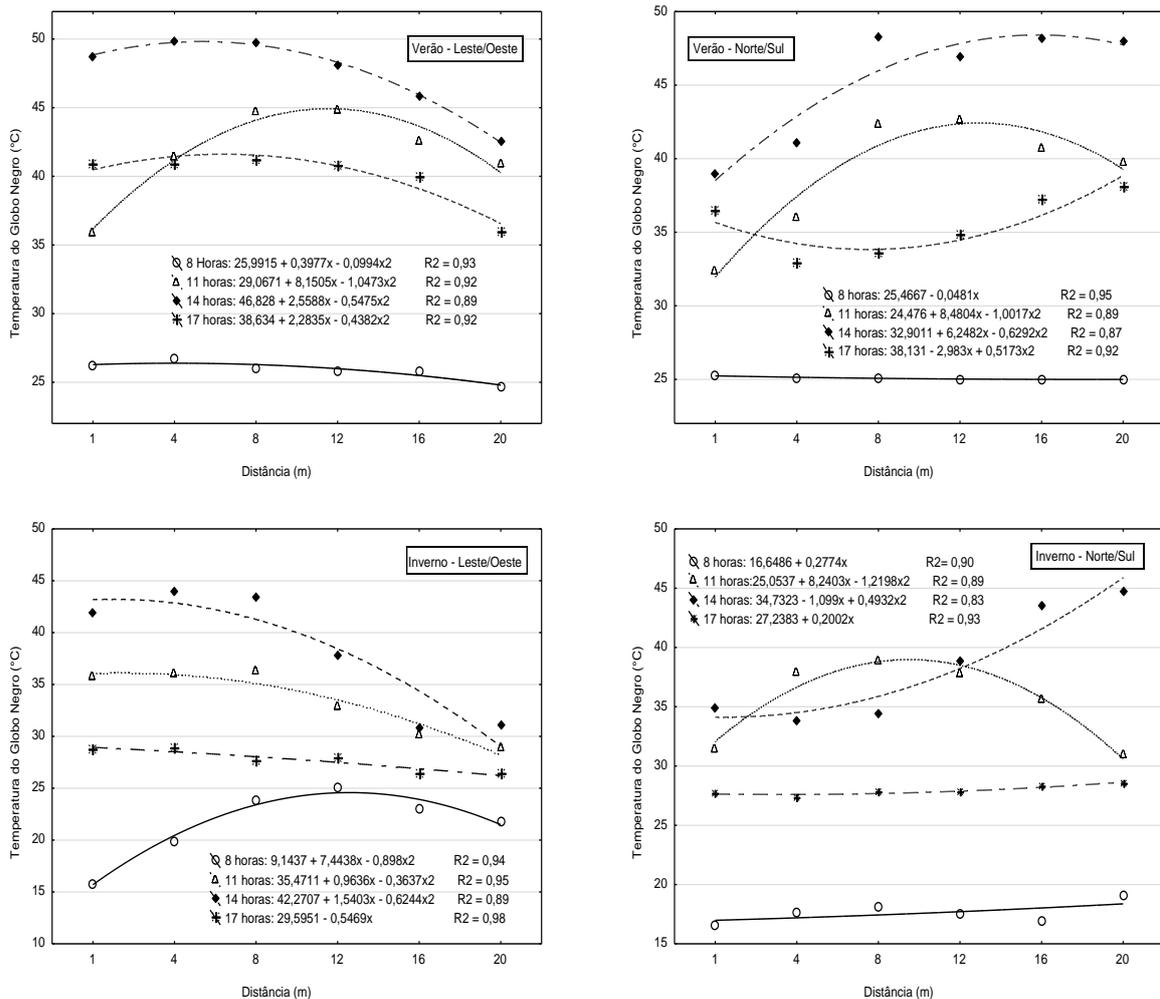


Figura 3. Valores de Temperatura do Globo Negro (°C) conforme as distâncias em relação aos renques de eucalipto em diferentes horários do dia.

As maiores amplitudes térmicas apresentadas pela Tgn em relação às distâncias entre renques de árvores de eucalipto foram observadas com mais ênfase nas horas mais quentes do dia, chegando a atingir aproximadamente 12°C de amplitude no horário das 14 horas no sentido leste/oeste durante o inverno (Figura 3). A maior ou menor variação da amplitude térmica apresenta-se estar relacionada com os níveis de sombreamento para cada

distância em relação às árvores e, conseqüentemente, afetando diretamente a carga de calor exercida sobre os animais.

No município de Seropédica, RJ, Silva (2010), em sistema silvipastoril, verificou que as médias de T_{gn} encontradas a pleno sol e nas entrelinhas dos renques não diferiram entre si (34,8 °C, média dos dois locais), mas foram superiores à registrada sob a copa da *Acacia holosericea* (31,1 °C).

Um dos principais recursos utilizados por bovinos à pasto, na tentativa de amenizar temperaturas elevadas e alta radiação, é a busca por sombreamento, quando este existe (GLASER, 2008). De fato, em climas quentes, uma das funções da sombra é proteger os animais da exposição aos pontos de maior temperatura radiante do ambiente (SILVA, 2006) e, segundo Blackshaw e Blackshaw (1994), a redução da carga de calor radiante pode chegar a 30%.

Resultados semelhantes aos citados anteriormente foram observados por Baliscei (2011) ao verificar que o sistema silvipastoril altera o ambiente circunstante, reduzindo a temperatura do globo e a velocidade do vento, com alteração inclusive do comportamento animal, principalmente daquele indicador de bem estar (ócio deitado). Dessa forma, segundo o autor, a disponibilidade de sombra em quantidade adequada proporciona melhores condições de bem estar animal, comparado a um sistema desprovido de sombra.

O índice de temperatura e umidade (ITU) desenvolvido por Thom (1958) como índice de conforto humano, segundo Silva (2000), tem sido utilizado para descrever o conforto de animais desde que Johnson et al (1962) e Cargill e Stewart (1966) associaram significativas quedas na produção de leite de vacas a aumentos no valor de ITU. De acordo com Pires e Campos (2008), vários índices têm sido desenvolvidos e usados para avaliar o conforto do animal com relação a um determinado ambiente, em geral considerando a temperatura e a umidade relativa do ar, e um dos mais difundidos tem sido o ITU.

Neste trabalho, o ITU não foi suficientemente capaz de diferenciar as orientações de plantio nos sistemas SSP's quanto às distâncias entre os renques de eucalipto no período de verão. Entretanto, no inverno, as maiores médias foram observadas no sentido norte/sul para as distâncias de 12, 16 e 20m, as quais correspondem a face leste para o SSP/NS e a face norte para o SSP/LO (Tabela 2 e 4).

Foi verificada diferença significativa entre os SSP's e o SS para as duas épocas avaliadas, sendo o SS superior ao SSP's no horário das 14 e 17 horas no verão e das 8, 11 e 14 horas no inverno. Provavelmente, este efeito seja devido à influência que a UR tem na composição do ITU, pois no inverno os SSP's conservam os níveis de UR por mais tempo

durante o período da manhã e no verão os menores níveis de UR são verificados próximos às 14 horas. Nos demais horários não houve diferença ($p > 0,05$) para ITU entre os sistemas.

De acordo com Du Preez et al. (1990), um valor de ITU igual a 70 ou menos indica uma condição normal, não estressante; um valor entre 71 e 78 é crítico; entre 79 e 83, indica perigo; acima de 83 já constitui uma emergência. Os valores médios diários de ITU observados nas distâncias entre renques de eucalipto (SSP's) ficaram entre 77,4 e 78,4 no verão e 71,3 e 73,3 no inverno, portanto, dentro dos níveis críticos. Entretanto, o desdobramento deste índice no decorrer das horas do dia durante o verão, demonstraram estarem próximos à condição normal para o horário das 8 horas nos SSP's e SS; dentro da faixa crítica nos horários das 11 e 17 horas para os SSP's e no horário das 17 horas para o SS; e próximos ao valor de emergência no horário das 14 horas nos SSP's e das 11 e 14 horas no SS (Tabela 3). No inverno, as médias de ITU ficaram abaixo do valor limite para condição normal no horário das 8 horas e próximos aos valores que indicam perigo no SSP/NS e SS às 14 horas, os demais situaram-se dentro da faixa considerada crítica (Tabela 5).

Os resultados do ITU obtidos neste trabalho assemelham-se aos encontrados por Navarini et al. (2009), avaliando o ambiente térmico para bovinos de corte, criados sob diferentes condições de sombreamento natural nos meses de verão no município de Diamante D'oeste-PR. De acordo com esses autores, o valor médio de ITU do tratamento a pleno sol foi de 80, enquanto que para as condições de bosque de 76 e de árvores isoladas de 78, atingindo os valores de pico no horário das 15 horas. Souza (2008) obteve ponto de máxima de ITU às 14:34 com 83,6 para o sistema a céu aberto, às 15:28 com 83,2 para SSP com eucalipto em renques de 8 metros de altura, às 14:11 com 83,6 para SSP com eucalipto em renques de 18 metros de altura e às 14:37 com 83,1 para SSP com eucalipto em renques de 28 metros de altura.

Contudo, Hahn (1999), avaliando as condições térmicas para bovinos em regiões norte-americanas, afirma que, mesmo para valores de ITU acima de 75, pode não haver prejuízos à produção, desde que as temperaturas noturnas sejam mais amenas.

Os diferentes ITUs usam a intensidade térmica de um dado momento, não considerando o tempo de exposição do animal às condições térmicas adversas do ambiente no dia, bem como as noturnas e as do dia posterior, pois o estresse pelo calor pode ser amenizado ou então acentuado (Gaughan et al., 2008). Enquanto que, Silva (2000) faz uma crítica a esse índice de conforto que só leva em conta a Ta e a UR, pois, segundo esse autor, a radiação térmica é um dos mais importantes fatores de conforto para animais em campo aberto, em conjunção com os outros dois.

O índice de globo negro e umidade (ITGU) foi desenvolvido por Buffington et al. (1981) como um índice de conforto térmico para vacas leiteiras expostas à radiação solar direta e indireta. O ITGU é calculado substituindo-se na fórmula do ITU, o valor referente à temperatura do termômetro de bulbo seco pela temperatura do globo negro. De acordo com Silva (2000), o termômetro de globo é uma maneira de indicar os efeitos combinados da radiação, convecção e sua influência no organismo vivo. Desta forma, segundo Martello et al. (2004), o ITGU seria um índice mais apropriado para determinar o conforto térmico de vacas expostas a condições tropicais, com temperaturas elevadas e radiação solar intensa.

Foram observadas diferenças significativas para o índice de temperatura globo-umidade (ITGU) entre as épocas nos dois anos de avaliação (Tabela 1), sendo o verão (85,05) superior ao inverno (78,15). Valores próximos aos encontrados por Souza (2010) que obteve durante o verão valor médio superior (85,8) ao período de inverno (80,7).

As orientações de plantio revelaram-se distintas quanto ao ITGU. No verão o SSP/LO revelou-se médias superiores para as distâncias 1, 4 e 8 metros, enquanto no inverno o SSP/NS foi o que apresentou valores superiores nas distâncias 12, 16 e 20 metros (Tabelas 2 e 4). Esta variação de ITGU verificada entre as distâncias dos renques de eucalipto demonstra similaridade com outras variáveis (Ta, Tgn, ITU e CTR) e estas exercerão influência no comportamento animal dentro dos SSP's. Essas alterações referem-se à mudança do padrão usual de postura, movimentação e ingestão de alimentos conforme a alternância da sombra no interior dos sistemas.

No geral, especialmente no verão, verifica-se que o percentual de vacas comendo durante as horas mais quentes do dia é maior em ambientes sombreados (McDANIEL e ROARK, 1956; PERERA et al., 1986; SHULTZ, 1983). Tem-se verificado, também, que vacas leiteiras passam menor tempo pastejando no verão e maior tempo no inverno (PIRES et al., 1998; WERNECK, 2001). Por outro lado, no inverno, a porcentagem de vacas ruminando é maior do que no verão (PIRES, 1997; SHULTZ, 1983; WERNECK, 2001) e os animais permanecem maior tempo em ócio durante o verão do que no inverno (PERERA et al., 1986; PIRES, 1997; SHULTZ, 1983). Além disso, procurando aumentar a perda de calor, no verão, as vacas passam maior tempo na posição em pé, ao contrário do inverno, época em que elas preferem ficar deitadas (ARMSTRONG, 1993; PERERA et al., 1986; PIRES et al., 1999, 2001; WERNECK, 2001).

A presença de árvores proporcionou uma redução média do ITGU nas horas mais quentes do dia em comparação com o ambiente não sombreado de 4,5% no verão e 7,0% no

inverno. Silva (2008) observou que a diferença entre os valores registrados para ITGU ao sol e sob a copa das árvores foi de 5,5%, sendo esses valores de 85,0 e 80,3 respectivamente.

Os sistemas SSP's apresentaram ITGU médios (Tabelas 3 e 5) menores ($p < 0,05$) que o SS nos horários das 14 e 17 horas no verão e às 8, 11 e 14 horas no inverno, efeito idêntico ao verificado pelo ITU. Oliveira (2013) também verificou que horários com maiores e menores valores de ITGU foram iguais aos observados para o ITU. Portanto, não foi confirmada a maior sensibilidade do ITGU em relação ao ITU na distinção entre ambientes para regiões com maior taxa de radiação solar, conforme afirmaram Buffington et al. (1981).

As regressões para o ITGU médio das distâncias em relação aos renques de eucalipto em diferentes horários do dia estão apresentadas na figura 4. Verificou-se efeito linear apenas no horário das 8 horas no sentido norte/sul durante o verão e às 8 horas no sentido norte/sul durante o inverno. Os demais apresentaram efeito quadrático ($p < 0,05$).

Para bovinos, de acordo com o National Weather Service – 1976 (EUA) citado por Baêta e Souza (1997), valores de ITGU de 74 define situação de conforto para bovinos; de 74 a 78, situação de alerta; valores de 79 a 84 caracterizam uma situação perigosa, e acima de 84, emergência. Diante disso, pode-se verificar que os horários das 11, 14 e 17 horas, durante o verão, ficaram todos acima da faixa de perigo para os dois sentidos (leste/oeste e norte/sul). Enquanto que, no inverno, os horários que proporcionaram maior estresse por calor foram às 11 e 14 horas, seguido do horário das 17 horas, que ficou próximo ao limite inferior da situação de alerta e das 8 horas, que apresentou dentro da zona de conforto (Figura 4).

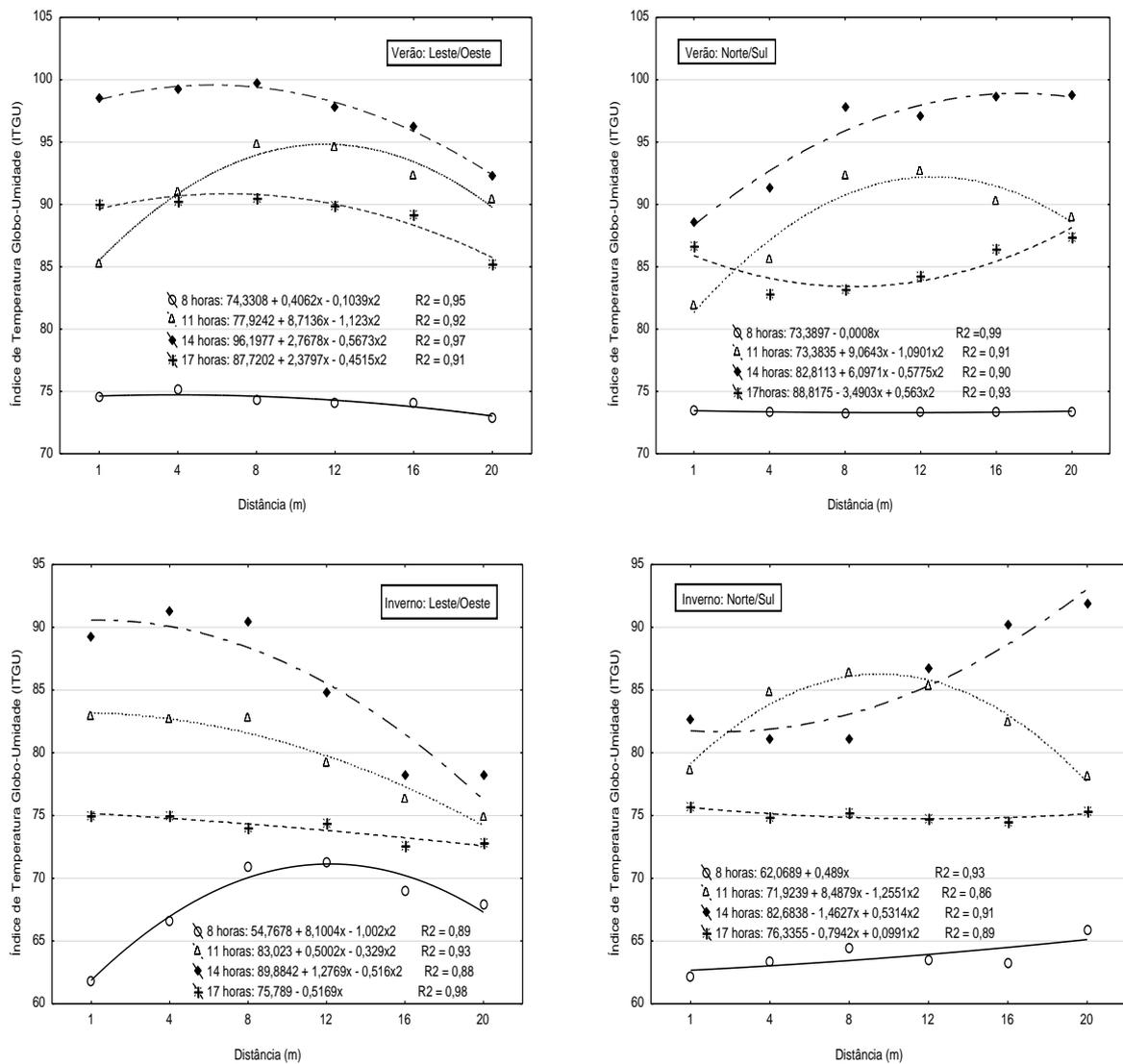


Figura 4. Valores de Índice de Temperatura Globo-Umidade (ITGU) conforme as distâncias em relação aos renques de eucalipto em diferentes horários do dia.

As mais altas médias de valores registrados por Silva (2008), em sistema silvipastoril, foram de 85,9 na estação das águas (verão) no horário das 12 horas. Já Oliveira (2013) a maior média observada foi de 82,2 às 13 horas. Enquanto que Souza (2008) observou o ponto de máxima, estimado pela equação quadrática, de 90,2 às 13:26 horas. Valores abaixo da maior média observada neste trabalho, que foi de 96,1 verificada às 14 horas da estação verão, em SSP/LO.

A Carga Térmica Radiante (CTR) é um índice de conforto térmico muito utilizado nos estudos de avaliação do ambiente físico, para a utilização com animais e esta intimamente ligada às trocas térmicas entre o animal e o ambiente, que segundo Silva (2000), em muitos casos, fazem a diferença entre um ambiente tolerável ou insuportável. Neste estudo, a CTR foi afetada significativamente pela época, local e horários de amostragem. Verificou-se diferença

de 15% entre épocas ($p < 0,01$), sendo encontrados valores de 688,8 e 585,1 Wm^{-2} , para a estação verão e inverno, respectivamente. Baliscei et al. (2013) obtiveram diferença de 5% entre valores de 575,65 e 546,61 Wm^{-2} no verão e inverno, respectivamente.

A CTR foi o único índice de conforto térmico utilizado capaz de diferenciar os sentidos leste/oeste e norte/sul dos SSP's durante o inverno, assim como as variáveis T_a , UR e T_{gn} . O mesmo, não pode ser verificado durante o verão (Tabela 1). Já na comparação dos SSP's com o tratamento controle (SS), verificou-se valores médios inferiores em favor aos SSP's, com reduções de até 12,9% no verão (SSP/NS) e 15,8% no inverno (SSP/LO). Silva et al. (2010), verificaram que o sombreamento de árvores proporcionou uma redução de 26% na carga de calor sobre os animais em relação ao tratamento a pleno sol e Sampaio et al. (2004) mostraram redução da CTR, em função da instalação, de até 35% quando comparado com a área não sombreada.

As menores taxas de redução verificadas neste trabalho devem-se a caracterização média por completa de todo o espaço entre renques dos eucaliptos e não apenas sob as copas das árvores (área sombreada) em comparação as entre linhas (céu aberto).

O mais importante em sistemas de criação, segundo Silva et al. (1990), é diminuir o balanço de energia entre o animal e o meio, até um limite de otimização, sendo a CTR um dos principais componentes do balanço energético de um animal e sua avaliação é fundamental no estudo da definição do meio ambiente. Baccari Jr. (2001), mostrou que o sombreamento reduziu de 30 a 50% a carga de calor sobre os animais, enquanto Turco (1993), mostrou que a redução da CTR pela cobertura das instalações pode ser superior a 50%. Salla (2009), em trabalho realizado com novilhas mestiças Holandês x Zebu, manejadas em pastejo rotacionado em diferentes estações do ano, verificou no período de inverno, valor de CTR de 685,26 Wm^{-2} ao sol e de 467,88 Wm^{-2} para sombrite.

Foi verificado efeito quadrático para explicação da CTR nos sentidos leste/oeste e norte/sul em relação às distâncias entre os renques de eucalipto para as estações de inverno e verão (tabela 2 e 4). Assim como o ITGU, durante o verão, as distâncias 1, 4, 8 e 12 metros apresentaram valores médios de CTR inferiores para o SSP/NS (face oeste) em relação ao SSP/LO (face sul), enquanto que no inverno, foram as distâncias 16 e 20 que demonstraram ser estatisticamente diferentes, com valores superiores a favor do SSP/NS.

No SS observaram-se maiores médias de CTR a partir das 11 horas comparado aos SSP's nas duas épocas avaliadas. O horário que proporcionou maior carga de calor no verão foi às 15:10 com 1054 Wm^{-2} no SS, às 13:32 com 942 Wm^{-2} no SSP/LO e às 12:58 com 852 Wm^{-2} no SSP/NS. No entanto, no inverno, a maior carga de calor foi às 12:25 com 990

Wm^{-2} no SS, às 12:39 com 789 Wm^{-2} no SSP/NS e às 12:45 com 720 Wm^{-2} no SSP/NS, estimados pela equação de regressão (Tabelas 3 e 5). Os menores valores encontrados foram no início da manhã (8 horas) durante o verão, 471,94; 467,63 e 451,12 Wm^{-2} e no início da manhã (8 horas) e final de tarde (17 horas) no inverno, média de 467,5; 461,9 e 443,1 para SS, SSP/LO e SSP/NS, respectivamente.

Em todos os índices de conforto, durante a estação inverno, para avaliar as condições térmicas dos sistemas, foram observados aumentos nos valores até as 13:00 horas. A partir desse horário, os valores começaram a reduzir até o final da tarde, em todos os sistemas. Resultados semelhantes foram encontrados por Kawabata et al. (2005), com aumento de ITGU até as 12:00 horas, avaliando bezerreiros individuais com diferentes coberturas. Entretanto, no verão, verificou-se uma tendência de aumentos nos valores dos índices até às 14:00 horas, sendo a CTR o índice que mais prolongou o aumento nos valores, atingindo seu valor máximo às 15:10 horas no SS.

Resultados obtidos por Campos et al. (2005) também apresentaram valores de CTR máximos durante o período da tarde para áreas não sombreadas, obtendo 667,74 e 606,51 Wm^{-2} na primavera-verão e outono-inverno, respectivamente. Os autores atribuíram aos menores valores de CTR os menores níveis de temperatura ambiente e a maior incidência na velocidade dos ventos durante o outono-inverno.

4. CONCLUSÕES

1. As orientações leste/oeste e norte/sul não promovem alterações nas variáveis climáticas, bem como nos índices de conforto térmico durante o verão. No entanto, diferenciam para temperatura, umidade relativa, temperatura do globo negro e CTR durante o inverno.

2. Os sistemas silvipastoris proporciona melhoria no ambiente e concomitantemente no conforto térmico animal quando comparado ao sistema sem sombreamento. No entanto, mesmo na presença de árvores, ocorrem situações de estresse térmico, dependendo do horário do dia e da distância em relação aos renques de eucalipto.

3. Os resultados evidenciam a influência do sombreamento nas variações climáticas e nos índices de conforto térmico, tornando o ambiente mais harmônico e diminuindo as diferenças climáticas entre as estações.

4. Os índices ITU, ITGU e H demonstra a mesma sensibilidade na distinção entre os ambientes e horários avaliados, porém, no verão, a diferenciação ocorre nos horários das 14 às 17 horas e no inverno nos horários das 8 às 14 horas.

5. O índice CTR demonstra que a presença de árvores melhorou as condições ambientais, sendo o único índice capaz de diferenciar os ambientes nos horários das 11, 14 e 17 horas nas duas épocas avaliadas.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo auxílio financeiro e concessão de bolsa e aos proprietários, gerência e demais funcionários da Fazenda Modelo II, pela sessão da área e auxílio material, de infraestrutura e operacional.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARMSTRONG, D. V.; WELCHERT, W. T.; WIERSMA, F. **Environmental modification for dairy cattle housing in arid climates: livestock environment**. Saint Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1993.

ASHRAE. 1997. **Psychrometrics**. In. ASHRAE Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Atlanta, pp. 6.1-6.17

BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais - conforto animal**. Viçosa: UFV, 1997, 246p.

BACCARI JÚNIOR, F. **Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes**. Londrina : UEL, 2001. 142p.

BALISCEI, M.A. **Sistema silvipastoril na melhoria do bem-estar de bovinos de corte**. 65f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Estadual de Maringá. 2011.

BALISCEI, M.A., BARBOSA, O.R., SOUZA, W., COSTA, M.A.T., KRUTZMANN, A., QUEIROZ, E.O. Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. **Acta Scientiarum: Animal Sciences**, Maringá, v. 35, n. 1, p. 49-56, 2013.

BLACKSHAW, J.K.; BLACKSHAW, A.W. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.34, p.285-295, 1994.

BUFFINGTON, D.E; COLLAZO AROCHO, A.; CANTON, G.H. PITT, D. Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 3, p. 711-714, 1981.

CAMPOS, A.T.; KLOSOWSKI, E.S.; CAMPOS, A.T.; SANTOS, W.B.R. Análise térmica de abrigos individuais móveis e sombrite para bezerros. **Acta Scientiarum: Animal Sciences**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 153-161, 2005.

CARGILL, B.F.; STEWART, R.E. Effect of humidity on total heat and total vapor dissipation of Holstein cows. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v.9, p.701-6, 1966.

DU PREEZ, J. H.; GIESECKE, W. H.; HATTINGH, P. J.; EISENBERG, B. E. Heat stress in dairy cattle under Southern African Conditions. II Identification of areas of potential heat stress during summer by means of observe true and predicted temperature-humidity index values. **Onderstepoort Journal Veterinarian Research**. v. 57, p. 183-187, 1990.

DURIGAN, G; SIMÕES J.W. Quebra-ventos de *Grevillea robusta* A. CUNN – Efeitos sobre a velocidade do vento, umidade do solo e produção do café, **IPEF**, n.36, p.27-34, ago.1987.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA; Rio de Janeiro: EMBRAPA solos, 2006. 306 p.

ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. Westport: AVI Publisher, 1979, 325p.

GARCIA, R., COUTO, L. Sistemas silvipastoris, Experiências no Estado de Minas Gerais. In: 11º CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL. Curitiba-PR. **Anais...** v.1, p.211-219, 1991.

FERREIRA, F.; PIRES, M.F.A.; MARTINEZ, M.L.; COELHO, S.G.; CARVALHO, A.U.; FERREIRA, P.M.; FACURY FILHO, E.J.; CAMPOS, W.E. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, n.5, p.1-9, 2006.

FRAZÃO, L.A.; PÍCCOLO, M.C.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado Mato-Grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.641- 648, 2008.

FURTADO, D.A.; PEIXOTO, A.P.; REGIS, J.E.F.; NASCIMENTO, J.W.B.; ARAUJO, T.G.P.; LISBOA, A.C.C. Termorregulação e desempenho de tourinhos Sindi e Guzerá, no agreste paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.1022–1028, 2012.

GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; HOLT, S. M.; LISLE, A. A new heat load index for feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 86, n.1, p. 226–234, 2008.

GLASER, F.D. **Aspectos comportamentais de bovinos das raças Angus, Caracu e Nelore a pasto frente à disponibilidade de recursos de sombra e água para imersão**. 2008. 117 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, 2008.

GURGEL, E. M. **Qualidade do sombreamento natural de três espécies arbóreas visando ao conforto térmico animal**. 2010. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP: Botucatu.

GUTMANIS, D. **Estoque de carbono e dinâmica ecofisiológica em sistemas silvipastoris**. 2004. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, SP.

GUYOT, G. Les effets aerodynamiques et microchmatiques des brise-vent et des aménagements regionaux. International Council for Research in Agroforestry, p.485-520, **Anais...** Nairobi, Kenya, 1989.

HAHN, G.L. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.77, n. 2, p. 10-20, 1999.

JOHNSON, H.D.; RAGSDALE, A.C.; BERRY, I.L.; SHANKLIN, M.D. **Effect of various temperature-humidity combinations on milk production of Holstein cattle**. Missouri: Agricultural Experimental Station Research Bulletin, 1962. p.791.

KAWABATA, Y C.; CASTRO, C. R.; JÚNIOR, S. H. Índices de conforto térmico e respostas fisiológicas de bezerros da raça holandesa em bezerreiros individuais com diferentes coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. v. 25, n.3, 2005.

MARQUES, J.A.; CALDAS, S.F., GROFF, A.M. et al. Comportamento de bovinos mestiços em confinamento com e sem acesso a sombra durante o período de verão, **Campo Digital**, Campo Mourão, v.1, n.1, p.54-59, jul./dez., 2006.

MARTELLO, L. S.; JÚNIOR, H. S.; SILVA, S. L.; TITTO, E. A. L. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas a diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 181-191, 2004.

MCDANIEL, A. H.; ROARK, C. B. Performance and grazing habitats of Hereford and Aberdeen-Angus cows and calves on improved pastures ad related to types of shade. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 15, p. 59-63, 1956.

MENARIM FILHO, A.; MARTINS, S. S.; SILVA, O. H. Avaliações produtivas de *Brachiaria brizantha* cv Marandu em sistemas silvipastoris com *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 7., 2009, Luziânia. **Diálogo e integração de saberes em sistemas agroflorestais para sociedades sustentáveis: trabalhos**. [S.l.]: SBSAF; [Brasília, DF]: EMATER-DF: Embrapa, 2009. 1 CD-ROM.

MOURA, D. J.; BUENO, L. G. F.; LIMA, K. O. ; CARVALHO, T. M. R.; MAIA, A.P.A. Strategies and facilities in order to improve animal welfare. **Revista brasileira de zootecnia**, v. 39, p.311-316, 2010.

MOREIRA, K.L.J. Sombra de prédios e torres em cidades e de montanhas na região rural. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 25, no. 1, Março, 2003.

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

NEIVA, J.N.M; TEIXEIRA, M.; TURCO, S.H.N; OLIVEIRA S.M.P.; MAIA, A.A.A.N. Efeito do estresse climático sobre os parâmetros produtivos e fisiológicos de ovinos Santas Inês mantidos em confinamento na região litorânea do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.33, n.3, p.668-678, 2004.

OLIVEIRA, C. C. de. **Desempenho e comportamento ingestivo diurno de novilhas Nelore em sistemas integrados de produção no Cerrado brasileiro**. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, fevereiro de 2013. 84p.

PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; FERNANDES, P.B.; MÜLLER, M.C.; PIRES, M.F.A.; FERNANDES, E.N.; XAVIER D.F. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1176-1183, 2011.

PAES LEME, T.M.S.P.; PIRES, M.F.A.; VERNEQUE, R.S.; ALVIM, M.J.; AROEIRA, L.J.M. Comportamento de vacas mestiças holandês x zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.3, p.668-675, 2005.

PERERA, K. S.; GWADAUSKAS, F. C.; PEARSON, R. E.; BRUMCACK JUNIOR, T. B. Effect of season and stage of lactation on performance of Holstein. **Journal Dairy Science**, Champaign, v. 69, p. 228-236, 1986.

PIRES, M.F.A. CAMPOS, A.T. **Conforto animal para maior produção de leite**. Viçosa: Centro de Produções Técnicas, 2008. 254 p.

PIRES, M. F. A.; VILELA, D.; VERNEQUE, R. S.; TEODORO, R. L. Reflexos do estresse térmico no comportamento de vacas em lactação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, 1., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: [s.n.], 1998. p. 68-99.

PIRES, M. F. A.; FERREIRA, A. M. Estresse calórico em bovinos de leite. **Cadernos Técnicos de Medicina Veterinária e Zootecnia**, [S.l.], n. 29, p. 23-37 ago. 1999.

PIRES, M. F. A. **Comportamento, parâmetros fisiológicos e reprodutivos de fêmeas da raça Holandesa confinadas em *free stall*, durante o verão e inverno**. 151 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.

SALLA, L.; PIRES, M. F. A.; MORAIS, D.; DIAS, M.; OLIVEIRA, P.; SANTOS, B. C. Efeito da disponibilidade de sombra sobre o conforto térmico de novilhas leiteiras. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4 n. 2, p. 3343-3346, 2009.

SAMPAIO, C.A.; CRISTANI, J.; DUBIELA, J.A.; BOFF, C.E.; OLIVEIRA, M.A. Avaliação do ambiente térmico em instalação para crescimento e terminação de suínos utilizando índices de conforto térmico para condições tropicais. **Ciência Rural**, v.32, n.3, p. 785-790, 2004.

SANTOS, F. C. B.; SOUZA, B. B.; ALFARO, C. E. P.; CÉSAR, M. F.; PIMENTA FILHO, E. C.; ACOSTA, A. A. A.; SANTOS, J. R. S. Adaptabilidade de caprinos exóticos e naturalizados ao clima semi-árido do nordeste brasileiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, p.142-149, 2005.

SHULTZ, T. A. Weather and shade effects on cow corral activities. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 67, p. 868-873, 1983.

SILVA, R.G., **Introdução à Bioclimatologia Animal**, Livraria Nobel, 286p. 2000.

SILVA, ROBERTO G. da. Predição da configuração de sombras de árvores em pastagens para bovinos. **Engenharia Agrícola**, vol.26, no.1, p.268-281, 2006.

SILVA, I.J.O.; GUELFI FILHO, H.; CONSIGLIERO, F.R. Influência dos materiais de cobertura no conforto térmico de abrigos. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.1. n.2, p.43-55, 1990.

SILVA, L.L.G.G. da. **Influência da arborização de pastagens no sistema solo-planta-animal**. 2008. 77f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de

Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

SOUZA, B. B.; LOPES, J. J.; ROBERTO, J. V. B.; SILVA, A. M. A.; SILVA, E. M. N.; SILVA, G. A. Efeito do ambiente sobre as respostas fisiológicas de Caprinos saanen e mestiços ½saanen + ½boer no semiárido Paraibano. **Agropecuária Científica no Semiárido**. Vol. 06, n. 02, p. 47 - 51, 2010.

SOUZA, W.; BARBOSA, O.R.; MARQUES, J.A.; COSTA, M.A.T.; GASPARINO, E.; LIMBERGER, E. Microclimate in silvipastoral systems with eucalyptus in rank with different heights. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.3, p.685-694, 2010.

SOUZA, J.L. de.; NICÁCIO, R.M.; MOURA, M.A.L. Global solar radiation measurements in Maceió, Brazil. **Renewable Energy**. v. 30, p. 1203 - 1220, 2005.

SOUZA, B.B.; SILVA, I. J. O.; MELLACE, E. M.; SANTOS, R. F. S.; ZOTTI, C. A.; GARCIA, P. R. Avaliação do ambiente físico promovido pelo sombreamento sobre o processo termorregulatório em novilhas leiteiras. **Agropecuária Científica no Semiárido**. v.06, n. 02, p. 59 - 65, 2010.

THOM, E.C. **Cooling degress: Day air-conditioning, heating, and ventilating**. Transactions of the American Society of Heating, Refrigerating and Air - Conditioning Engineers, Atlanta, v.55, n.7, p. 65 - 72, 1958.

TURCO, S.H.N. **Modificações das condições ambientais de verão, em maternidade de suínos**. 1993. 58f. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiência) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.

WERNECK, C. L. **Comportamento alimentar e consumo de vacas em lactação (Holandês-Zebu) em pastagem de capim elefante (*Pennisetum purpureum*, *Sehum*).** 2001. 58 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2001.

WIENDL, F.; ANGELOCCI, L.R. Regime de ventos na região de Piracicaba, SP - Análises da direção, da relação de velocidades na vertical e de ventos diurno e noturno. Relatório **FAPESP**. 1995, 60p.