



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTEGRADO EM ZOOTECNIA

CLEMENTE FERNANDES DOS SANTOS NETO

PRODUÇÃO DE FORRAGEIRAS CULTIVADAS E CONFORTO TÉRMICO EM
SISTEMAS SILVIPASTORIS NA CAATINGA

FORTALEZA

2021

CLEMENTE FERNANDES DOS SANTOS NETO

PRODUÇÃO DE FORRAGEIRAS CULTIVADAS E CONFORTO TÉRMICO EM
SISTEMAS SILVIPASTORIS NA CAATINGA

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará e Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial para obtenção de título de Doutor em Zootecnia. Área de Concentração: Forragicultura

Orientação: Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido

Coorientação: Prof. Dr. Rodrigo Gregório da Silva

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S234p

Santos Neto, Clemente Fernandes dos..

Produção de forrageiras cultivadas e conforto térmico em sistemas silvipastoris na Caatinga /
Clemente Fernandes dos. Santos Neto. – 2021.

95 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós- Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Magno José Duarte

Cândido. Coorientação: Prof. Dr. Rodrigo

Gregório da Silva.

1. Vegetação Caatinga. 2. Sistema silvipastoril. 3. Gramíneas tropicais. 4. Palma forrageira. 5.
Conforto térmico animal. I. Título.

CDD 664

CLEMENTE FERNANDES DOS SANTOS NETO

PRODUÇÃO DE FORRAGEIRAS CULTIVADAS E CONFORTO TÉRMICO EM
SISTEMAS SILVIPASTORIS NA CAATINGA

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará e Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial para obtenção de título de Doutor em Zootecnia. Área de Concentração: Forragicultura

Aprovada em __/__/__

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Tadeu Vinhas Voltolini
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semiárido)

Dra. Ana Clara Rodrigues Cavalcante
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Caprinos e Ovinos)

Prof. Dr. José Antônio Delfino Barbosa Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Morais Pereira Filho
Universidade Federal de Campina Grande *campus* Patos/PB (UFCG)

A Deus.

Aos meus pais, Maria Elizabete e Ivan.

Aos meus irmãos, Anderson e Andreza.

À minha tia, Ana Amélia (*In Memoriam*).

À minha noiva, Thays Martins.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar meus caminhos, oferecendo-me força necessária para seguir minha jornada com muita honestidade, serenidade e compromisso.

Aos meus pais, Maria Elizabete e Ivan Fernandes, por toda confiança e apoio. Aos meus irmãos, Anderson Patrício e Andreza Santos, à minha cunhada, Lúcelia, por todo carinho, e à minha querida Thays Paulina, por todo apoio e amor de sempre.

A todos meus familiares: tios, tias, primos e primas, que sempre me apoiaram transmitindo força e ânimo para seguir minha jornada.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), pelo fornecimento de toda estrutura física e social necessária à minha formação.

Ao Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido, por toda confiança e valiosas contribuições.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Gregório da Silva, por todo esforço dedicado à idealização do trabalho, como também, no total auxílio fundamental à execução. Sempre solícito e prestativo quando precisamos.

Ao Amigo e parceiro de trabalho Samuel Rocha Maranhão que participou de todas as etapas de elaboração, sempre determinado e paciente com todas as dificuldades encontradas.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia *campus* Limoeiro do Norte, em especial a Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE), pelo fornecimento de equipamentos e da área física fundamental para realização desse trabalho.

Ao Núcleo de Ensino e Estudo em Forragicultura (NEEF), pelo fornecimento de equipamentos e materiais que auxiliaram na elaboração do trabalho.

Aos amigos e colegas de trabalho Jefte Arnon, Leonardo Fiusa, Clésio, Vinicus, Brito, Ingrid, Abner, Hozano, Ricardo, Anderson, Flávia, Emanoella, Bruno Bizerra, Marcos Neves, Rafael Furtado, Bruno Almeida por todo companheirismo e bons momentos de descontração. Ao amigo Vitor, pelo suporte nas análises estatística.

Aos amigos colaboradores da UEPE: Seu Valdi, Dedé Tratorista, Dede, Danilo, Tiquinho, João Paulo e Pequeno, pela amizade e colaboração indispensável.

Aos amigos e alunos do curso de agronomia do IFCE *campus* Limoeiro do Norte: Kaique, Henrique (*in memorian*), Pedro, Ronisse, Andreza, Harlan, por toda ajuda física necessária.

Aos professores colaboradores: Arilene, Cléber, Zeca e Ana Clara pela fundamental ajuda na logística de execução. Ao professor Solerne por disponibilizar os dados da estação meteorológica, sempre que solicitado.

Aos amigos Breno Moreira, Josias e Felipe Hermínio, pela contribuição nas avaliações das culturas. Sempre dispostos a contribuir, fazendo esforços durante os horários livres das aulas.

Por fim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para que houvesse êxito na construção deste trabalho.

“Entre o velame e a macambira, tirando leite de
pedra” (Petrúcio Amorim).

RESUMO

A presente tese foi composta por quatro capítulos, sendo o primeiro: Produção de forragem de gramíneas tropicais em sistemas silvipastoris em ambiente semiárido, o segundo capítulo: Produção de forragem e características estruturais de palma forrageira em sistemas silvipastoris em ambiente semiárido, o terceiro: Diversidade de plantas e desenvolvimento da *Cordia goeldiana* em Caatinga raleada em faixas e preservada, e o quarto: Microclima e índices de conforto térmico em sistemas silvipastoris em ambiente semiárido. No primeiro capítulo avaliou-se a fisiologia, as características estruturais e a produção do *Urochloa mosambicensis* (capim-corrente), *Pennisetum ciliare* (capim-buffel) e *Megathyrsus maximus* (capim-massai) submetidos a diferentes coberturas lenhosas com SS46 (sistema silvipastoril com 46,15% de cobertura lenhosa em faixa), SS30 (sistema silvipastoril com 30% de cobertura lenhosa em faixa) e SS18 (sistema silvipastoril com 17,64% de cobertura lenhosa em faixa). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com três repetições em esquema de parcelas subdivididas, com medidas repetidas no tempo (2018 e 2019). Avaliou-se a radiação fotossinteticamente ativa na folha, taxa fotossintética, altura média do dossel, densidade populacional de perfilhos e biomassa de forragem total (BFT). O sistema SS46 promoveu menor fotossíntese foliar entre *Pennisetum ciliare* e *Urochloa mosambicensis*. O SS46 favoreceu menores DPP das gramíneas, que apresentaram igual DPP nos sistemas SS30 e SS18. A BFT das gramíneas foi inferior no SS46 comparado com o SS30 e SS18. Os sistemas silvipastoris SS30 e SS18 podem ser adotados sem comprometimento das características fisiológicas do *Urochloa mosambicensis* e *Pennisetum ciliare* e das características estruturais e produtivas do *Urochloa mosambicensis*, *Megathyrsus maximus* e *Pennisetum ciliare*. No segundo capítulo objetivou-se avaliar as características produtivas da *Opuntia stricta* (Palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana) e *Nopalea cochenillifera* (Palma forrageira cv. Miúda) submetidos a diferentes coberturas lenhosas com SS46 (sistema silvipastoril com 46,15% de cobertura lenhosa em faixa), SS30 (sistema silvipastoril com 30% de cobertura lenhosa em faixa) e SS18 (sistema silvipastoril com 17,64% de cobertura lenhosa em faixa). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com três repetições em esquema de parcelas subdivididas. Avaliaram-se a altura média do dossel, número de cladódios por metro linear e biomassa de forragem total (BFT), considerando as posições nascente, centro e poente. Observou-se menor altura média do dossel da *Nopalea cochenillifera* nas posições nascente e poente. Verificou-se maior produção de cladódios de *Nopalea cochenillifera* e

Opuntia stricta na posição centro nos sistemas SS18 e SS30. A *Nopalea cochenillifera* e *Opuntia stricta* cultivadas nos sistemas SS46 apresentaram menores BFT na posição centro. Os sistemas silvipastoris SS30 e SS18 podem ser adotados sem comprometimento das características estruturais e produtivas da palma *Opuntia stricta* e *Nopalea cochenillifera*. No terceiro capítulo objetivou-se avaliar a diversidade e o desenvolvimento arbóreo de uma área de vegetação de Caatinga raleada em faixas comparada com uma área de vegetação de Caatinga preservada. Os tratamentos utilizados foram: área raleada em faixas da Caatinga e área de vegetação de Caatinga preservada em estágio de sucessão secundária. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com medidas repetidas no tempo. Foram realizadas avaliações de: levantamento fitossociológicos das espécies arbóreas, densidade relativa, altura total da planta, diâmetro da altura da base a 0,30 m do solo, diâmetro da altura do peito a 1,3 m do solo. No levantamento fitossociológico as espécies pertencentes à família *Fabaceae* apresentaram-se bem representativas com presença de 07 das 12 espécies identificadas, em ambas as áreas de Caatinga, verificou-se predominância da espécie *Cordia goeldiana* com 81,6 % de densidade relativa na Caatinga raleada em faixas e 79,17% na Caatinga preservada. O raleamento mecanizado da Caatinga em faixas diminuiu a diversidade de plantas que apresentam baixa densidade relativa, sem afetar o diâmetro e o volume de *Cordia goeldiana* no período de três anos. No quarto capítulo objetivou-se avaliar o microclima e os índices de conforto térmico animal, em sol e sombra, submetidos a diferentes coberturas lenhosas com SS46 (sistema silvipastoril com 46,15% de cobertura lenhosa em faixa), SS30 (sistema silvipastoril com 30% de cobertura lenhosa em faixa) e SS18 (sistema silvipastoril com 17,64% de cobertura lenhosa em faixa). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas com medidas repetidas no tempo. Foram coletadas as variáveis ambientais, umidade relativa (%), velocidade do vento (m s^{-1}) temperatura do bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$), temperatura do bulbo úmido ($^{\circ}\text{C}$), temperatura do globo negro ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$), para os cálculos do índice de temperatura globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR). Houve reduções significativas no índice de temperatura de globo negro e de umidade e da carga térmica radiante no interior do componente arbóreo promovendo melhoria no ambiente térmico nos horários de maior carga de radiação.

Palavras-chave: Vegetação Caatinga. Sistema silvipastoril. Gramíneas tropicais. Palma forrageira. Conforto térmico animal.

ABSTRACT

The present thesis was composed of four chapters, the first: Forage production of tropical grasses in silvopastoral systems in a semiarid environment, the second chapter: Forage production and structural characteristics of forage palm in silvopastoral systems in a semiarid environment, the third: Diversity of plants and development of *Cordia goeldiana* in Caatinga graded in bands and preserved and the fourth: Microclimate and indices of thermal comfort in silvopastoral systems in a semiarid environment. In the first chapter, the physiology, the structural characteristics and the production of *Urochloa mosambicensis* (current grass), *Pennisetum ciliare* (buffel grass) and *Megathyrus maximus* (grass-massai) were subjected to different wood coverings with SS46 (silvipastoral system with 46,15% banded wood cover), SS30 (silvopastoral system with 30% banded wood cover) and SS18 (silvopastoral system with 17.64% banded wood cover). The experimental design was completely randomized with three replications in a split-plot scheme, with repeated measures over time (2018 and 2019). Photosynthetically active radiation on the leaf, photosynthetic rate, average canopy height, tiller population density and total forage biomass (BFT) were evaluated. The SS46 system promoted lesser leaf photosynthesis between *Pennisetum ciliare* and *Urochloa mosambicensis*. There was no difference in the leaf photosynthesis of *Pennisetum ciliare* and *Urochloa mosambicensis* in the SS18 and SS30 systems. SS46 favored lower DPP of grasses. The grasses showed the same DPP in the SS30 and SS18 systems. Grass BFT was lower in SS46 compared to SS30 and SS18. The silvopastoral systems SS30 and SS18 can be adopted without compromising the physiological characteristics of *Urochloa mosambicensis* and *Pennisetum ciliare* and the structural and productive characteristics of *Urochloa mosambicensis*, *Megathyrus maximus* and *Pennisetum ciliare*. In the second chapter, the objective was to evaluate the productive characteristics of *Opuntia stricta* (Palma forage cv. Orelha de Elefante Mexicana) and *Nopalea cochenillifera* (Palma forage cv. Miúda) submitted to different wood coverings with SS46 (silvopastoral system with 46.15% coverage) woody strip), SS30 (silvopastoral system with 30% woody cover) and SS18 (silvopastoral system with 17.64% woody cover). The experimental design was completely randomized with three replications in a split-plot scheme. The average canopy height, number of cladodes per linear meter and total forage biomass (BFT) were evaluated, considering the east, center and west positions. A lower mean height of the canopy of *Nopalea cochenillifera* was observed in the east and west positions. Higher production of *Nopalea cochenillifera* and *Opuntia stricta* cladodes was found in the center

position in the SS18 and SS30 systems. The *Nopalea cochenillifera* and *Opuntia stricta* cultivated in SS46 systems showed lower BFT in the center position. The silvopastoral systems SS30 and SS18 can be adopted without compromising the structural and productive characteristics of the palm *Opuntia stricta* and *Nopalea cochenillifera*. In the third chapter, the aim was to evaluate the diversity and tree development of an area of Caatinga vegetation thinned in strips compared to an area of preserved Caatinga vegetation. The treatments used were: thinned area in Caatinga strips and area of Caatinga vegetation preserved in secondary succession stage. The experimental design was completely randomized with repeated measures over time. Evaluations of: phytosociological survey of tree species, relative density, total height of the plant, diameter of the height of the base at 0.30 m from the soil, diameter of the height of the chest at 1.3 m from the soil were carried out. In the phytosociological survey, the species belonging to the *Fabaceae* family were very representative with the presence of 07 of the 12 identified species, in both areas of Caatinga, there was a predominance of the species *Cordia goeldiana* with 81.6% of relative density in the Caatinga, graded in bands and 79.17% in the preserved Caatinga. The mechanized thinning of the Caatinga in bands decreases the diversity of plants that have low relative density, without affecting the diameter and volume of *Cordia goeldiana* in the period of three years. In the fourth chapter, the objective was to evaluate the microclimate and indices of animal thermal comfort, in sun and shade, submitted to different wood coverings with SS46 (silvopastoral system with 46.15% woody cover in band), SS30 (silvopastoral system with 30% of woody cover in strip) and SS18 (silvopastoral system with 17.64% of woody cover in strip). The experimental design was completely randomized in a split plot scheme with repeated measures over time. The environmental variables, relative humidity (%), wind speed (m s⁻¹), dry bulb temperature (° C), wet bulb temperature (° C), black globe temperature (° C) and temperature were collected for calculating the black globe temperature and humidity index (ITGU) and radiant thermal load (CTR). The SS46, SS30 and SS18 systems showed no differences between the black globe temperature and humidity index and the radiant thermal load in the sun position. There were significant reductions in the temperature index of black globe and humidity and the radiant thermal load inside the tree component promoting improvement in the thermal environment at times of higher radiation load.

Keywords: Caatinga vegetation. Silvopastoral system. Tropical grasses. Forage palm. Animal thermal comfort.

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO GERAL | 17 |
| 2 | CAPÍTULO I: PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE GRAMÍNEAS TROPICAIS EM SISTEMAS SILVIPASTORIS EM AMBIENTE SEMIÁRIDO..... | 24 |
| 2.1 | Introdução..... | 26 |
| 2.2 | Material e métodos | 27 |
| 2.2.1 | <i>Localização, área experimental e delineamento experimental</i> | 27 |
| 2.2.2 | <i>Avaliação de trocas gasosas</i> | 30 |
| 2.2.3 | <i>Avaliação das características estruturais e produtivas</i> | 31 |
| 2.2.4 | <i>Análise estatística</i> | 31 |
| 2.3 | Resultados | 33 |
| 2.4 | Discussão | 40 |
| 2.5 | Conclusão | 43 |
| 3 | CAPÍTULO II: PRODUÇÃO DE FORRAGEM E CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DE PALMA FORRAGEIRA EM SISTEMAS SILVIPASTORIS EM AMBIENTE SEMIÁRIDO | 44 |
| 3.1 | Introdução | 46 |
| 3.2 | Material e métodos | 47 |
| 3.2.1 | <i>Localização, área experimental e tratamentos</i> | 47 |
| 3.2.2 | <i>Avaliação das características estruturais e produtivas</i> | 50 |
| 3.2.3 | <i>Análise estatística</i> | 51 |
| 3.3 | Resultados | 52 |
| 3.4 | Discussão | 57 |
| 3.5 | Conclusão | 59 |
| 4 | CAPÍTULO III: DIVERSIDADE DE PLANTAS E DESENVOLVIMENTO DA <i>CORDIA GOELDIANA</i> EM CAATINGA RALEADA EM FAIXAS E PRESERVADA | 60 |
| 4.1 | Introdução | 62 |
| 4.2 | Material e métodos | 63 |
| 4.2.1 | <i>Localização, área experimental e tratamentos</i> | 63 |
| 4.2.2 | <i>Análise estatística</i> | 65 |

| | | |
|-------|---|-----------|
| 4.3 | Resultados e discussão | 65 |
| 4.4 | Conclusão | 68 |
| 5 | CAPÍTULO IV: MICROCLIMA E ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO EM SISTEMAS SIVIPASTORIS EM AMBIENTE SEMIÁRIDO | 69 |
| 5.1 | Introdução | 71 |
| 5.2 | Material e métodos | 71 |
| 5.2.1 | <i>Localização, área experimental e tratamentos</i> | <i>71</i> |
| 5.2.2 | <i>Obtenção dos dados microclimáticos</i> | <i>74</i> |
| 5.2.3 | <i>Índices de conforto térmico animal</i> | <i>75</i> |
| 5.2.4 | <i>Análise estatística</i> | <i>76</i> |
| 5.3 | Resultados | 77 |
| 5.4 | Discussão | 83 |
| 5.5 | Conclusão | 86 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES | 86 |
| | REFERÊNCIAS | 88 |
| | APÊNDICE A – FOTOGRAFIAS DO EXPERIMENTO..... | 95 |

1 INTRODUÇÃO GERAL

Como alternativa ao desmatamento praticada há décadas em vegetações naturais surgem os sistemas integrados de produção. Esses sistemas integram culturas pastoris-agrícolas-silvícolas em um mesmo habitat, valorizando a biodiversidade do ecossistema local, garantindo a estabilidade, elevando a produtividade da área, aumentando a oferta de alimentos e permitindo uma alimentação equilibrada mesmos nos anos de déficit hídrico. Essas técnicas também diversificam a produção, melhoram a fertilidade do solo, aumentam a oferta de forragem, reduzem o desmatamento e a degradação ambiental e melhoram a renda e a qualidade de vida dos agricultores (VILELA et al., 2011; BALBINO et al., 2011).

Diante dos benefícios dos sistemas de produção integrados citados até aqui, o Semiárido brasileiro apresenta potencial para adoção desses sistemas, visto maior variabilidade edafoclimática característica dessa região (PINHEIRO E NAIR, 2018). A vegetação predominante no Semiárido brasileiro é a Caatinga. É um tipo de floresta constituída de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas de porte pequeno, geralmente com presença de espinhos, apresentando característica caducifólia, perdendo suas folhas em uma parte do ano, quando há ausência de precipitação.

Aproximadamente 932 espécies vegetais foram registradas, sendo que 380 são endêmicas. As famílias de maior frequência são *Caesalpinaceae*, *Mimosaceae*, *Euphorbiaceae*, *Fabaceae* e *Cactaceae*, com os gêneros *Senna*, *Mimosa* e *Pithecellobium* apresentando maior número de espécies. Em trabalhos de levantamento realizado em áreas de Caatinga, verifica-se predominância da catingueira (*Poincianera bracteosa* Tul.), as juremas (*Mimosa* spp.) e os marmeleiros (*Croton* spp.), esse comportamento reflete um caráter de sucessão secundária da maior parte da Caatinga, ocasionado pela ação antrópica (ARAÚJO FILHO, 2013).

A produção média anual de biomassa vegetal considerando as espécies arbóreas e arbustivas da Caatinga não manipulada, situa-se em 6.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (2.000 kg de madeira; 4.000 kg de folhas, flores e frutos). Esses valores variam conforme o tipo de solo, intensidade da estação chuvosa e do estado de sucessão no qual a vegetação encontra-se.

Aproximadamente, 90% da produção de folhas, flores e frutos são oriundos do estrato arbóreo (ARAÚJO FILHO, 2013). Dessa maneira, há um problema que os pecuaristas encontram quando se trabalha com Caatinga não manipulada, pois na época das águas a forragem é abundante e de qualidade, porém, encontra-se fora do alcance dos animais, devido ao porte do componente arbóreo. Na época seca, as folhas das espécies arbóreas-arbustivas se

desprendem e tonam-se disponíveis aos animais na forma de serapilheira, no entanto, a qualidade nutricional é muito baixa, podendo limitar o consumo, além de influenciar na ciclagem de nutrientes do solo, caso parte da serapilheira seja consumido pelos animais, pois a serapilheira da Caatinga apresenta importante contribuição na formação da matéria orgânica do solo.

Considerando uma Caatinga natural arbórea/arbustiva sob pastejo, dos 4.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de biomassa produzido, apenas 10% da produção foliar são realmente consumidos, ou seja, apenas 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹ é forragem acessível aos animais. Embora a produção de biomassa total seja significativa em Caatinga natural, a indisponibilidade na época das águas e o baixo valor nutritivo na época seca, limitam negativamente a produção animal nessas áreas. Deste modo, considerando a produção de bovinos de corte em recria, a capacidade de suporte da Caatinga natural é de 10 ha/UA. As espécies caprina e ovina apresentam maior capacidade de aproveitamento da vegetação natural da Caatinga, alcançando capacidade de suporte de 2 ha/UA (ARAÚJO FILHO, 2013), podendo os caprinos apresentarem maior ganho de peso, devido a serem mais versáteis, aproveitando melhor os ramos das espécies arbustivas/arbóreas.

A manipulação da vegetação natural da Caatinga para fins pastoris, consiste em modificar a cobertura florística de uma área, visando obter maior biomassa de forragem, elevando a capacidade de suporte (ARAÚJO FILHO, 1992). Há anos, os agricultores e pecuarista realizam o cultivo extrativista da Caatinga, fazendo a retirada de toda cobertura vegetal, usando o fogo como ferramenta de limpeza do material proveniente do corte da vegetação arbustiva/arbórea. A intensidade de uso desse manejo junto com o sobrepastejo, pode promover o processo de desertificação das áreas de Caatinga, já presente, em algumas regiões.

Como técnicas de manipulação sustentável de vegetação de Caatinga natural, pode-se realizar raleamento, rebaixamento e enriquecimento, assim como a combinação entre os métodos. O raleamento consiste no corte seletivo de espécies arbóreas/arbustivas de menor interesse pastoril, mantendo cobertura lenhosa de 30 a 40%, permitindo maior penetração de raios solares no interior do componente arbóreo, elevando a produção de matéria seca do estrato herbáceo. O rebaixamento consiste no corte com altura controlada de todas as árvores de uma área, objetivando disponibilizar aos animais a forragem oriunda do rebrote. O enriquecimento consiste no cultivo de espécies exóticas e/ou nativas, em áreas raleadas com cobertura lenhosa próximo de 30%, objetivando maior disponibilidade de forragem (ARAÚJO FILHO, 1992).

O raleamento da vegetação natural da Caatinga pode ser realizado de três formas, raleamento em savana, raleamento em bosquete e raleamento em faixas. O raleamento em

savana consiste em preservar as árvores de forma aleatório na pastagem, como indivíduos isolados. O modelo em bosquete consiste em preservar as árvores em grupos de ocorrência natural na área. O modelo em faixas consiste em manter as árvores em renques com largura e comprimento estabelecido, criando espaço entre as faixas, onde serão cultivados o estrato herbáceo (ARAÚJO FILHO, 1992). O modelo mais adotado pelos produtores rurais no Semiárido nordestino é o sistema em Savana (ARAÚJO FILHO, 2013).

O modelo em Savana é totalmente dependente de mão de obra para cortar as árvores indesejáveis, realizar o enleiramento do material oriundo dessas árvores e fazer o plantio de gramíneas e/ou leguminosas, devido ao posicionamento aleatório das espécies arbóreas desejáveis, e dificultar a adoção de mecanização agrícola. No entanto, com o desenvolvimento de tecnologias, criou-se muitos implementos agrícolas que impulsionaram o cultivo de extensas áreas de forma eficiente e rápida. Assim, o modelo de raleamento em faixas possibilita a utilização de mecanização agrícola sendo uma importante vantagem quando comparada aos sistemas em savana e bosquete.

Quando se utiliza uma área de Caatinga raleada e enriquecida ou não para pastejo, pode-se denominar de sistema silvipastoril, pois há combinação entre árvores, pasto e animal. Porém, o nível de cobertura lenhosa necessita ser adequado, para favorecer o desenvolvimento da cultura do sub-bosque, pois em condições de elevada densidade arbórea, há comprometimento das características morfológicas e produtivas da espécie no sub-bosque, devido ao sombreamento imposto pelas árvores, limitando em quantidade e qualidade a radiação fotossinteticamente ativa no topo do dossel no sub-bosque (LIMA et al., 2019).

Araújo Filho et al. (2002) avaliaram uma área de vegetação lenhosa de Caatinga submetida ao desmatamento (remoção de todas árvores e arbustos), raleamento em savana (controle seletivo das lenhosas mantendo 35% de cobertura lenhosa), rebaixamento (corte de todas as árvores e arbustos à altura de 30 cm), raleamento-rebaixamento (controle das espécies lenhosas não forrageiras e corte a 30 cm das espécies lenhosas forrageiras com cobertura lenhosa de 35%) e testemunha (vegetação natural intocada). Os autores verificaram que as técnicas de manipulação da Caatinga aumentaram significativamente a participação das gramíneas na composição da fitomassa herbácea e que o rebaixamento e raleamento-rebaixamento são os métodos mais recomendados para o manejo da vegetação da Caatinga no sítio ecológico estudado, quando se deseja aumentar a produção de forragem.

Paciullo et al. (2007) avaliaram características morfológicas de *Brachiaria decumbens* em condições de sombreamento e a sol pleno. Os autores verificaram reduções na

densidade de perfilhos em condição de sombreamento intenso (65%), com a redução na produção de perfilhos, houve redução na biomassa de forragem. Quando se avaliou em condições de moderada luminosidade (35%) não houve diferença na densidade de perfilhos e biomassa de forragem total quando comparada com uma condição a pleno sol, indicando que a *Brachiaria decumbes* pode ser utilizada em sistema silvipastoril com cobertura lenhosa de 35%, na região Centro-Oeste Brasileira.

Santos et al. (2016) avaliaram a produção de forragem e as características estruturais do *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã sob duas densidades de árvores em um sistema silvipastoril em contraste com uma área sem árvores no Cerrado brasileiro. Os autores concluíram que o sistema silvipastoril com 22 m entre os renques de árvores, prejudicou menos a produção de forragem, quando comparado com o sistema silvipastoril com 12 m.

Associado a um adequado raleamento, o enriquecimento configura-se como importante técnica para elevação na produção de forragem em Caatinga. Quando se utiliza o raleamento sem adoção do enriquecimento, apesar do aumento da produção do estrato herbáceo, dependendo da área e da precipitação, o material herbáceo produzido pode ser de reduzida aceitação pelos animais, além de dificultar o manejo do pastejo quando existir espécies efêmeras. No entanto, quando se faz uso de gramíneas exóticas perenes, a produção de forragem torna-se mais uniforme e com menor variação de disponibilidade ao longo do ano.

Pereira Filho et al. (2013), relataram que os melhores resultados em condições de Caatinga, foram obtidos quando trabalharam com as espécies de gramíneas perenes, *Pennisetum ciliare* (capim-buffel), *Cynodon dactylon* (capim-gramão), *Andropogon gayanus* (capim andropogon) e *Urochloa mosambicensis* (capim-corrente). No entanto, com o crescente surgimento de cultivares, outras espécies podem ser testadas, como é o caso do *Megathirsus maximus* (capim-massai), muito utilizado, recentemente, no Semiárido brasileiro. Essa gramínea apresenta características morfológicas distintas dos *Magathirsus* tradicionais, como: alto potencial de produção em déficit hídrico, alta relação lâmina/colmo, sistema radicular vigoroso permitido boa adaptação ao déficit hídrico e aos adversos tipos de solos, menor demanda de fósforo e maior tolerância ao alumínio (EUCLIDES et al., 2000)

Essas características contribuíram para que essa cultivar seja indicada a diversos tipos de sistemas de produção, inclusive para o sistema de produção em sequeiro, onde o déficit hídrico se torna presente de forma acentuada, em diversas regiões. Além dessas características, o capim-massai apresenta bom potencial de produção sob condições de sombreamento, sendo indicado para uso em sistemas integrados. Silva et al. (2012), verificaram o crescimento e a

produção de espécies forrageiras consorciadas com pinhão-manso (*Jatropha curcas*). Os autores concluíram que o *Megathyrus maximus* (capim-massai) apresentou maior capacidade produtiva e tolerância ao sombreamento que as demais espécies, quando consorciado com pinhão-manso, sendo indicado para uso em sistemas agroflorestais.

Outra cultura de relevância importância para uso no Semiárido é a *Opuntia ficus-indica* (palma forrageira). A palma forrageira é oriunda do México, sendo considerada o cacto mais importante do mundo, muito utilizada em Regiões Semiáridas, justificada pela elevada eficiência no uso da água e boa produção de biomassa sob regimes pluviométricos de até 750 mm anuais (SANTOS et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2010).

Entre as muitas cultivares de palma forrageira existentes, a *Opuntia stricta* (Orelha de elefante Mexicana) e a *Nopalea cochenillifera* (palma miúda) vêm sendo utilizadas em larga escala no Semiárido brasileiro, por apresentarem boa capacidade produtiva sob condições de baixa umidade do solo (SILVA et al., 2015) e resistência a *Dactylopius* sp. (cochonilha-do-carmim), principal praga responsável por ocasionar reduções significativas nos palmais (VASCONCELOS et al. 2009).

Em vegetação de Caatinga é reduzida as informações sobre modelos de sistema silvipastoril com orientação em faixa do componente arbóreo, sendo importante trabalhos que obtenham adequada densidade arbórea, sem comprometimento do desenvolvimento da cultura no sub-bosque, além de proporcionar conforto térmico animal, devido à presença de sombreamento imposto pelo componente arbóreo.

O conforto térmico é fator fundamental em um sistema de produção. A eficiência produtiva animal torna-se maior quando os animais permanecem em condição de conforto térmico (SOUZA et al., 2005). Por outro lado, temperaturas elevadas e radiação solar intensa, são fatores que promovem estresse térmico, ocasionando declínio da produção animal. Nesse contexto, é importante destacar que o estresse térmico é um dos principais limitantes à produção animal, interferindo no consumo de alimentos, no ganho de peso e nas taxas reprodutivas, impactando negativamente os índices produtivos dos animais (CARNEVALLI et al., 2019).

Os sistemas integrados de produção favorecem uma melhor condição de conforto térmico animal quando comparado com sistemas de monocultivo. A presença do componente arbóreo promove mudanças no microclima do sub-bosque, devido interceptação e bloqueio de parte da radiação solar pela copa das árvores que se encontram em estratos superiores. Além disso, as árvores através da transpiração foliar eliminam água em estado gasoso, amenizando a temperatura próxima à área da copa (OLIVEIRA et al., 2017).

Quando se deseja avaliar o ambiente no qual os animais estarão submetidos, pode-se fazer uso dos índices de conforto térmico animal. Há vários índices descritos na literatura como: índice de temperatura e umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), carga térmica radiante (CTR), índice entalpia de conforto (IEC) entre outros. Um dos mais utilizados é o ITU, no entanto, Buffington et al. (1981) afirmaram que o ITGU seria um indicador mais preciso do conforto térmico e da produção animal quando comparado ao ITU em condições ambientais onde a radiação solar ou a movimentação do ar sejam altas, sendo que sob condições moderadas de radiação solar são igualmente eficientes, e quando se compara medições em locais com e sem cobertura, os ITUs não apresentaram diferenças significativas, enquanto que o ITGU apresentou diferenças significativas, principalmente para locais sem cobertura. Assim, o ITGU configura-se como mais adequado quando o ambiente sofre forte efeito da radiação.

Para calcular o Índice de Temperatura e Umidade (ITGU) utiliza-se a equação descrita por Buffington et al. (1981).

$$\text{ITGU} = t_g + 0,36 t_{po} + 41,5\mu$$

Sendo:

t_g = temperatura do termômetro de globo °C;

t_{po} = temperatura do ponto de orvalho em °C;

41,5 = constante.

Segundo Barbosa e Silva (1995), valores de ITGU abaixo de 70 são considerados confortáveis, ou seja, o animal não necessita utilizar de mecanismos para dissipar o calor; entre 71 a 78 se considera uma condição crítica, os animais apresentam alguns sinais de que estão desconfortáveis; entre 79 a 83 condiz com situação de perigo, os animais utilizam-se de mecanismos de termorregulação e queda na produção; e acima de 83 em condição de emergência ao animal, em que os meios pra dissipar o calor se tornam ineficientes.

Um outro índice de conforto térmico muito importante para ambientes com forte influencia da radiação é a carga térmica radiante (CTR) que é a quantidade de energia que o animal troca com o ambiente. Uma maior CTR indica que maiores níveis de radiação e menor nebulosidade (MEDEIROS et al 2015).

Em regiões de clima tropical a CTR desejável deve ser a menor possível. Os valores altos de CTR permitem ao produtor selecionar para esse ambiente animais com pelames que protejam sua epiderme e que ao mesmo tempo facilite dissipar o calor corporal em excesso. Sendo assim, por a CTR expressar um dos principais componentes do balanço energético sua

utilização é fundamental para definir o ambiente que o animal estará inserido (SILVA et al. 1990).

Para calcular a carga térmica radiante (CTR), utiliza-se a metodologia descrita por Buffington et al. (1981) por meio da equação:

$$\text{Carga Térmica Radiante} = 1,053 hc (tg - ta) + \sigma tg^4, \text{ W/m}^2$$

Sendo:

hc = coeficiente de convecção do globo negro, W/m²/k; 73

Tg = Temperatura do termômetro do globo °K;

Ta = Temperatura do ar, °K;

A estimativa do ITGU e CTR em sistema silvipastoril pode proporcionar informações relevantes a respeito do quantitativo da redução da carga de calor que chega até os animais, comprovando a importância da presença de árvores nesses sistemas.

Em trabalho realizado na região tropical, Oliveira et al. (2017) avaliaram índices de conforto térmico animal em diferentes arranjos de sistema silvipastoril em clima subúmido tropical com *Eucalyptus urograndis* compondo o componente arbóreo. Os autores verificaram que a presença do componente arbóreo forneceu melhores índices de conforto térmico animal no sub-bosque dos sistemas silvipastoris, em virtude, do microclima formado. Os autores verificaram ainda que o sistema com maior densidade de árvores (357 árvores por hectare) promoveu melhorias nos índices de conforto térmico quando comparado com os sistemas de menor densidade.

Avaliando o microclima e os índices de conforto térmico animal, no sol e sombra, em sistemas integrados com diferentes arranjos de eucaliptos e árvores nativas no centro-oeste brasileiro, Karvatte Júnior et al. (2016) observaram reduções de 10,2% no ITGU e 28,3% da CTR na sombra em relação às áreas de sol completo. Esses resultados comprovam a importância da presença de árvores nos sistemas silvipastoris em regiões tropicais, reduzindo os índices de conforto térmico e, conseqüentemente, promovendo ambientes com potencial melhor conforto térmico animal.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a produção de forragem e os índices de conforto térmico animal de um sistema silvipastoril com diferentes coberturas lenhosas de árvores da Caatinga em faixa com culturas perenes estabelecidas no sub-bosque.

2 CAPÍTULO I: PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE GRAMÍNEAS TROPICAIS EM SISTEMAS SILVIPASTORIS EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito do sombreamento sobre a fisiologia e as características estruturais de gramíneas tropicais sob diferentes coberturas lenhosas em sistema silvipastoril na Caatinga. O experimento foi conduzido na estação chuvosa dos anos 2018 e 2019. A área experimental constou de nove sistemas silvipastoris arranjados em faixas de árvores de vegetação Caatinga (componente arbóreo) com dimensões de 6,0x100,0 m, direcionadas no sentido norte-sul. Entre as faixas com árvores da Caatinga, foram implantados o *Urochloa mosambicensis*, o *Pennisetum ciliare* e o *Megathyrsus maximus* em parcelas. Os tratamentos consistiram em: forragem cultivada sob cobertura lenhosa de 46,15% (SS46), forragem cultivada sob cobertura lenhosa de 30,00% (SS30) e forragem cultivada sob cobertura lenhosa de 17,64% (SS18). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com três repetições em esquema de parcelas subdivididas, com medidas repetidas no tempo. Realizou-se avaliações de radiação fotossinteticamente ativa na folha (Qleaf), taxa fotossintética (A) no *Urochloa mosambicensis* e *Pennisetum ciliare* e altura média do dossel (ALT) densidade populacional de perfilhos (DPP) e biomassa de forragem total (BFT) do *Urochloa mosambicensis*, *Pennisetum ciliare* e *Megathyrsus maximus* considerando as posições nascente, centro e poente. O SS46 promoveu menor fotossíntese foliar para *Pennisetum ciliare* e *Urochloa mosambicensis* em relação aos demais sistemas. Não houve diferença na fotossíntese foliar do *Pennisetum ciliare* e *Urochloa mosambicensis* nos SS18 e SS30. O SS46 promoveu menor radiação fotossinteticamente ativa na superfície da folha nos horários 07h:00 e 15h:00 e favoreceu menores DPP das gramíneas comparado aos SS18 e SS30. As gramíneas apresentaram semelhantes DPP nos sistemas SS30 e SS18. A BFT das gramíneas foi inferior no SS46 comparado com o SS30 e SS18. O SS30 e SS18 não promoveram mudanças na BFT entre as gramíneas. Os sistemas silvipastoris SS30 e SS18 podem ser adotados sem comprometimento das características fisiológicas do *Urochloa mosambicensis* e *Pennisetum ciliare* e das características estruturais e produtivas do *Urochloa mosambicensis*, *Megathyrsus maximus* e *Pennisetum ciliare*.

Palavras-chave: Cobertura lenhosa. Sistemas integrados. Gramíneas tropicais.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of shading on the physiology and structural characteristics of tropical grasses under different woody cover in silvopastoral system in the Caatinga. The experiment was carried out in the rainy season of the years 2018 and 2019. The experimental area consisted of nine silvopastoral systems arranged in bands of Caatinga vegetation trees (tree component) with dimensions of 6.0x100.0 m, directed in the north-south direction. Among the strips with Caatinga trees, *Urochloa mosambicensis* and *Pennisetum ciliare* and *Megathyrsus maximus* were implanted in plots. The treatments consisted of: forage grown under 46.15% wood cover (SS46), forage grown under 30.00% wood cover (SS30) and forage grown under 17.64% wood cover (SS18). The experimental design was completely randomized with three replications in a split-plot scheme, with repeated measures over time. Assessments of photosynthetically active radiation on the leaf (Q_{leaf}), photosynthetic rate (A) were carried out on *Urochloa mosambicensis* and *Pennisetum ciliare* and average canopy height (ALT) tiller population density (DPP) total forage biomass (BFT) *Urochloa mosambicensis*, *Pennisetum ciliare* and *Megathyrsus maximus* considering the east, center and west positions. SS46 promoted lesser leaf photosynthesis for *Pennisetum ciliare* and *Urochloa mosambicensis* in relation to the other systems. There was no difference in the leaf photosynthesis of *Pennisetum ciliare* and *Urochloa mosambicensis* in SS18 and SS30. SS46 promoted less photosynthetically active radiation on the leaf surface at 07h:00 and 15h:00 hours and favored lower DPP of grasses compared to SS18 and SS30. The grasses showed similar DPP in the SS30 and SS18 systems. Grass BFT was lower in SS46 compared to SS30 and SS18. SS30 and SS18 did not promote changes in BFT among grasses. The silvopastoral systems SS30 and SS18 can be adopted without compromising the physiological characteristics of *Urochloa mosambicensis* and *Pennisetum ciliare* and the structural and productive characteristics of *Urochloa mosambicensis*, *Megathyrsus maximus* and *Pennisetum ciliare*.

Key words: Woody cover. Integrated systems. Tropical grasses

2.1 Introdução

As regiões hiper áridas, áridas, semiáridas e sub úmidas ocupam 60,95 milhões de km² ou 41% da superfície terrestre (PINHEIRO e NAIR, 2018). No Brasil, o Semiárido ocupa uma área de 1.128.697 km² (IBGE, 2017), caracterizando-o como o maior semiárido do mundo. A vegetação predominante nessa região é a Caatinga, apresentando rica diversidade de plantas herbáceas, arbustivas e arbóreas, cerca de 4.320 espécies de angiospermas, das quais 744 foram descritas como endêmicas (FORZZA et al., 2010).

Para se obter maior produção de biomassa de forragem total na Caatinga é preciso utilizar técnicas sustentáveis de manipulação da vegetação (raleamento, rebaixamento e enriquecimento), visando maior ganho animal e conservação do solo pela manutenção de parte do componente arbóreo. Quando se utiliza o raleamento da vegetação natural da Caatinga (corte de árvores indesejáveis garantindo a manutenção das desejáveis em percentual de cobertura lenhosa equivalente a 30 a 40%), há maior penetração de radiação no sub-bosque, elevando-se a produção de biomassa, garantindo maior ganho animal (ARAÚJO FILHO, 2013).

De acordo com Araújo Filho (1992), há o raleamento em savana, faixas e bosquete. O raleamento em savana foi o mais estudado e implantado no Semiárido brasileiro. No entanto, este tipo de raleamento impossibilita a mecanização agrícola, devido ao posicionamento aleatório das árvores na área raleada. Essa característica dificulta a adoção desse tipo de sistema, principalmente, em áreas com maior extensão territorial, devido necessitar exclusivamente de mão-de-obra humana para realizar a implantação e os manejos culturais necessários (CAMPANHA et al., 2010). Como alternativa a esse problema, o raleamento em faixas, onde as árvores são dispostas em renques com largura e comprimento estabelecido, possibilita a mecanização agrícola do sub-bosque potencializando a adoção em grande escala, utilizando implementos agrícolas para a realização dos tratamentos culturais.

A adoção do raleamento junto com o enriquecimento utilizando forrageiras perenes adaptadas as condições locais, configura-se como modelo de sistema silvipastoril. Esses sistemas apresentam diversos benefícios ambientais, sociais e econômicos, tornando-se importante a sua adoção, principalmente, em regiões áridas e semiáridas, onde apresentam maior vulnerabilidade edafoclimática (PINHEIRO e NAIR, 2018).

No entanto, para adoção de um sistema silvipastoril há necessidade de estabelecer níveis de cobertura lenhosa, de forma que favoreça o desenvolvimento das gramíneas implantadas no sub-bosque, pois com o aumento da densidade das árvores ocorre redução do

fluxo de fótons e da relação vermelho/vermelho distante da radiação fotossinteticamente ativa que atinge o sub-bosque (LIMA et al. 2019), ocasionando mudanças morfofisiológicas e produtiva nas culturas, afetando a resposta dos animais (SANTOS et al. 2018).

Dessa forma, diferentes níveis de cobertura lenhosa da Caatinga promovem mudanças nas características estruturais e produtivas de gramíneas tropicais. Assim, estabelecer adequada cobertura lenhosa em sistema silvipastoril na Caatinga é importante para a consolidação de sistemas produtivos sustentáveis. Nesse contexto, objetivou-se avaliar as características morfológicas e produtivas de gramíneas tropicais submetidas a diferentes coberturas lenhosa de árvores da Caatinga.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Localização, área experimental e delineamento experimental

O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus* Limoeiro do Norte, na Chapada do Apodi-CE. A área experimental é composta de relevo plano e caracterizada pela predominância de solos da classe dos Cambissolos (SANTOS et al., 2006) com coordenadas geográficas de 05°10'53" Sul e 38°00'43" Oeste e altitude de 146 m. O clima da região é quente e semiárido, classificado como B (seco) S (semiárido) h (quente) (KÖPPEN, 1936).

O experimento foi conduzido na estação chuvosa dos anos 2018 e 2019. Para caracterização do clima na área experimental utilizou-se dados da estação meteorológica localizada a, aproximadamente, 150 m (Figura 01). A precipitação, umidade relativa média e temperatura média acumulada durante os anos de avaliação foi de 805,75 mm, 74,86%, 27,08 °C (2018) e 716,32 mm, 76,56%, 26,96 °C (2019).

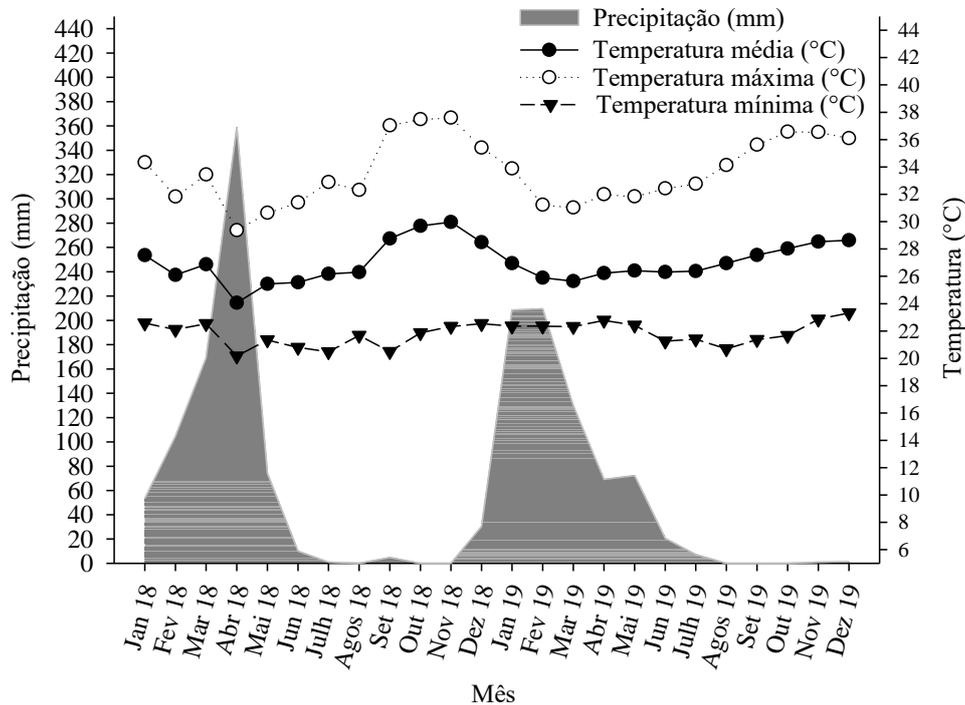


Figura 01: Precipitação mensal (mm), Temperatura média (°C), Temperatura máxima (°C) e Temperatura mínima (°C) durante os anos 2018 e 2019.

Fonte: dados obtidos na estação meteorológica automática localizada na UEPE

O raleamento ocorreu no período seco de 2015, utilizando trator com lâmina frontal, suprimindo 100% da vegetação presente na área cultivável (sub-bosque), direcionando o material residual para as bordas. Antes do raleamento, a área era composta de uma caatinga arbórea (ARAÚJO FILHO et al. 2013) em estágio de sucessão secundária.

A área experimental constou de nove sistemas silvipastoris arranjados em faixas com árvores de vegetação da Caatinga (componente arbóreo) com dimensões de 6,0 x 100,0 m, posicionadas em sentido norte-sul. Entre as faixas com vegetação arbórea durante a estação chuvosa do ano 2016, realizou-se o enriquecimento utilizando as gramíneas perenes *Urochloa mosambicensis* (Capim-corrente), *Pennisetum ciliare* (capim-buffel) e *Megathyrus maximus* (capim-massai) em parcelas, constituindo o sub-bosque.

Após levantamento fitossociológico identificou-se as seguintes espécies arbóreas: *Cordia goeldiana* (Freijó), *Mimosa caesalpiniaefolia* (Sabiá), *Cenostigma pyramidale* (Catingueira), *Commiphora leptophloeos* (Imburana de espinho) e *Mimosa tenuiflora* (Jurema preta). O freijó apresentou maior densidade relativa (81,59%), seguida da catingueira (7,87%). A altura média do componente arbóreo foi de $3,98 \pm 1,30$ m.

As coberturas lenhosas correspondentes a 46,15; 30,00 e 17,64% foram obtidas considerando 6,0 m de faixa com árvores da Caatinga, atribuindo espaçamentos de 07, 14 e 28 m (sub-bosque), respectivamente (Figura 2). Obtiveram-se densidades de 1.418 (46,15%), 925 (30,00%) e 524 árvores por hectare (17,64%), respectivamente.

Os tratamentos consistiram em: forragem cultivada no sub-bosque com 46,15% (SS46), forragem cultivada no sub-bosque com 30,00% (SS30) e forragem cultivada no sub-bosque com 17,64% (SS18) (Figura 2). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com três repetições em esquema de parcelas subdivididas, em que as parcelas foram os sistemas SS18, SS30 e SS46, as subparcelas o *Urochloa mosambicensis*, *Pennisetum ciliare*, *Megathyrsus maximus* e as subsubparcelas foram as posições de avaliações no sub-bosque (centro, nascente e poente) com medidas repetidas no tempo (2018 e 2019).

A obtenção dos níveis seguiu recomendações de Araújo Filho (1992), que estabeleceu cobertura lenhosa de 30% em raleamento do tipo savana sem comprometimento do crescimento do estrato herbáceo natural, dessa forma, optou-se por cobertura lenhosa do tipo em faixas estabelecendo níveis superior, inferior e equivalente ao proposto pelo autor.

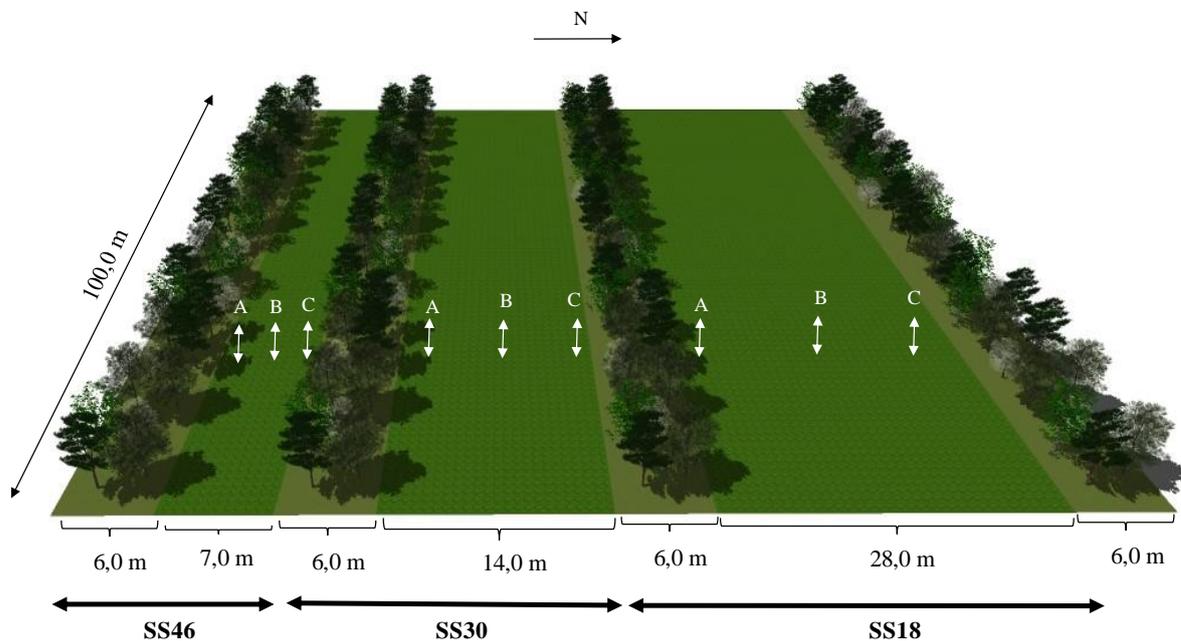


Figura 02: Representação esquemática com pontos de fixação de equipamentos (A: posição nascente; B: posição centro; C: posição poente) em sistemas silvipastoris SS46 (07 m entre faixas de árvores, 1418 árvores por hectare), SS30 (14 m entre faixas de árvores, 925 árvores por hectare) e SS18 (28 m entre faixas de árvores, 524 árvores por hectare).

A área efetiva de *Urochloa mosambicensis*, *Pennisetum ciliare* e *Megathyrus maximus* (excluindo a área com árvores) foi de 1,46 ha, 1,30 ha, 1,17 ha para SS46, SS30 e SS18, respectivamente. Embora a área efetiva seja diferente, os resultados foram apresentados em hectare para uma justa comparação entre os sistemas.

Antes da implantação das culturas realizou-se colheita de solo nas camadas de 0-20 cm para posterior análise química no laboratório de solos do IFCE, *campus* Limoeiro do Norte. Os valores das características químicas do solo para cálcio (93,33, mmolc. dm³), magnésio (18,7, mmolc. dm³), potássio (6,32, mg. dm³) e matéria orgânica (31,76, g. kg) foram classificados como muito bom, enquanto os de fósforo (6,03 mg. dm³) foram classificados como baixo segundo Ribeiro et al. (1999).

Realizou-se adubações fosfatada a lanço, anualmente e em dose única, durante o período chuvoso utilizando fertilizante Mono-Amônio-Fosfato (MAP) 44% de P₂O₅ – 10% de Nitrogênio MAP na dose de 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹, devido aos reduzidos níveis de fósforo verificados por meio de análise química de solo.

No período seco dos anos 2018 e 2019, ao término do período de crescimento das culturas do sub-bosque, foi realizado o roço mecânico de uniformização a altura média de 0,05 m da superfície do solo, com o objetivo padronizar as culturas para o próximo período de crescimento (período chuvoso).

2.2.2 Avaliação de trocas gasosas

Realizou-se duas avaliações de trocas gasosas (2018 e 2019) no *Urochloa mosambicensis* e *Pennisetum ciliare*, utilizando analisador de gás por radiação infravermelha (IRGA, modelo LC-Pro-SD, marca ADC Bioscientific Ltda. Hoddesdon, Hertfordshire, UK). Em cada parcela com as gramíneas, foram escolhidos quatro perfishos avaliando a folha recém expandida de cada perfilho, totalizando quatro leituras por parcela. Realizou-se as avaliações nos horários 07h:00 às 09h:00; 09h:00 às 11h:00, 12h:00 às 14h:00 e 15h:00 às 17h:00 durante dois dias consecutivos em cada ano: 03/05 e 04/05/2018; 25/02 e 26/02/2019). As leituras foram realizadas quando as culturas iniciaram o desprendimento das sementes sob o solo, como forma de garantir a formação do estande para os anos posteriores. As variáveis analisadas foram: radiação fotossinteticamente ativa na superfície da folha (Qleaf, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e fotossíntese foliar (A, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

2.2.3 Avaliação das características estruturais e produtivas

Para as avaliações estruturais e de produção, considerou-se as posições centro, nascente (posição lateral com sombra no início da manhã) e poente (posição lateral com sombra no início da tarde) de cada parcela (Figura 2), de modo a caracterizar o efeito do componente arbóreo no sub-bosque em diferentes localizações dentro do sistema.

Foram realizadas avaliações de: altura média do dossel (ALT m) mensurada com auxílio de um bastão retrátil graduável (BARTHAM, 1985), amostrando-se 10 pontos por posição (nascente, centro e poente), medindo a partir superfície do solo até a curvatura da última folha recém expandida do perfilho. A densidade populacional de perfilhos (DPP perfilhos m²) foi obtida contabilizando os perfilhos presentes no interior de uma moldura quadrada com 1,0 x 1,0 metro, amostrando duas molduras por posição. A biomassa de forragem total (BFT Kg de MS ha⁻¹) foi obtida colhendo toda biomassa presente no interior das molduras quadradas após a contagem dos perfilhos, totalizando duas molduras por posição. A altura do corte foi de 0,05 m da superfície do solo. Após o corte, o material foi acondicionado em sacos plásticos devidamente identificados e direcionados para laboratório onde foi realizado a pesagem. Em seguida, foi retirada subamostras com, aproximadamente, 300 g para serem acondicionadas em estufa de ventilação forçada a 65 °C a fim de obter a matéria pré seca.

As avaliações ALTm, DPP e BFT foram realizadas uma vez durante o período chuvoso de cada ano (2018 e 2019), considerando o ponto de avaliação o início do desprendimento das sementes, garantindo formação do estande para os anos posteriores.

2.2.4 Análise estatística

Para as variáveis Qleaf e A os dados foram analisados por meio do procedimento de modelos mistos pelo seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + N_j + \alpha_{ij} + C_k + (NC)_{jk} + \beta_{ijk} + H_l + (NH)_{jl} + (CH)_{kl} + (NCH)_{jkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Onde:

Y_{ijklm} : valor da i-ésima unidade experimental submetida ao j-ésimo nível de sombreamento, na k-ésima cultura e l-ésimo horário de avaliação;

μ : efeito fixo da média geral;

N_j : efeito fixo nível de sombreamento;

α_{ij} : efeito aleatório da i -ésima repetição no j -ésimo nível de sombreamento, onde α_{ij} assume $\sim N(0, \sigma_A^2)$;

C_k : efeito fixo da cultura;

$(NC)_{jk}$: efeito fixo da interação entre nível de sombreamento e cultura;

β_{ijk} : efeito aleatório da i -ésima repetição no j -ésimo nível de sombreamento e k -ésima cultura, onde β_{ijk} assume $\sim N(0, \sigma_B^2)$;

H_l : efeito fixo do horário de avaliação;

$(NH)_{jl}$: efeito fixo da interação entre nível de sombreamento e horário de avaliação;

$(CH)_{kl}$: efeito fixo da interação entre cultura e horário de avaliação;

$(NCH)_{jkl}$: efeito fixo da interação entre nível de sombreamento, cultura e horário de avaliação.

ε_{ijkl} : efeito aleatório associado à i -ésima repetição j -ésimo nível de sombreamento, k -ésima cultura, onde γ_{ijk} assume $\sim N(0, \sigma_B^2)$, sendo que σ_B^2 é a matriz de variância e covariância, pois se assume dependência dos erros, devido aos efeitos de horário serem modelados como medidas repetidas no tempo;

Para as variáveis ALT, DPP e BFT os dados foram analisados por meio do procedimento de modelos mistos, usando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + N_j + \alpha_{ij} + C_k + (NC)_{jk} + \beta_{ijk} + P_l + (NP)_{jl} + (CP)_{kl} + (NCP)_{jkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Onde:

Y_{ijklm} : valor da i -ésima unidade experimental submetida ao j -ésimo nível de sombreamento, na k -ésima cultura e l -ésima posição;

μ : efeito fixo da média geral;

N_j : efeito fixo nível de sombreamento;

α_{ij} : efeito aleatório da i -ésima repetição no j -ésimo nível de sombreamento, onde α_{ij} assume $\sim N(0, \sigma_A^2)$;

C_k : efeito fixo da cultura;

$(NC)_{jk}$: efeito fixo da interação entre nível de sombreamento e cultura;

β_{ijk} : efeito aleatório da i -ésima repetição no j -ésimo nível de sombreamento e k -ésima cultura, onde β_{ijk} assume $\sim N(0, \sigma_B^2)$;

P_l : efeito fixo da posição;

$(NP)_{jl}$: efeito fixo da interação entre nível de sombreamento e posição;

$(CP)_{kl}$: efeito fixo da interação entre cultura e posição;

$(NCP)_{jkl}$: efeito fixo da interação entre nível de sombreamento, cultura e posição;

ε_{ijkl} : efeito aleatório associado a i-ésima repetição j-ésimo nível de sombreamento, k-ésima cultura, onde γ_{ijk} assume $\sim N(0, \sigma_B^2)$, sendo que σ_B^2 é a matriz de variância e covariância, pois se assume dependência dos erros, devido aos efeitos de posição serem correlacionados, já que as posições (esquerda, centro e direita) não podem ser aleatorizadas.

Os dados foram analisados usando o procedimento PROC MIXED do SAS (SAS Institute. Inc., 2015). Na escolha da estrutura da matriz de covariância tanto para o efeito posição no primeiro modelo, quanto para o efeito de horário no segundo modelo, utilizou-se o critério de informação de Akaike corrigido. Os efeitos fixos e suas interações, de ambos os modelos, foram considerados significativos a um p-valor $< 0,05$. Quando encontrado diferenças significativas, o teste de comparação de médias foi realizado pelo teste de Tukey-Kramer a um p-valor $< 0,05$. Para ambos os modelos estatísticos, a normalidade dos resíduos foi testada pelo teste de Cramer-von Mises.

2.3 Resultados

A Qleaf apresentou interação significativa ($p=0,0345$) entre sistema silvipastoril*horário. Verifica-se maiores valores de Qleaf às 09h:00 e 12h:00 horas (Figura 03). O sistema silvipastoril com maior densidade de árvores (SS46) promoveu menor Qleaf às 07h:00 e 15h:00 horas (Figura 03).

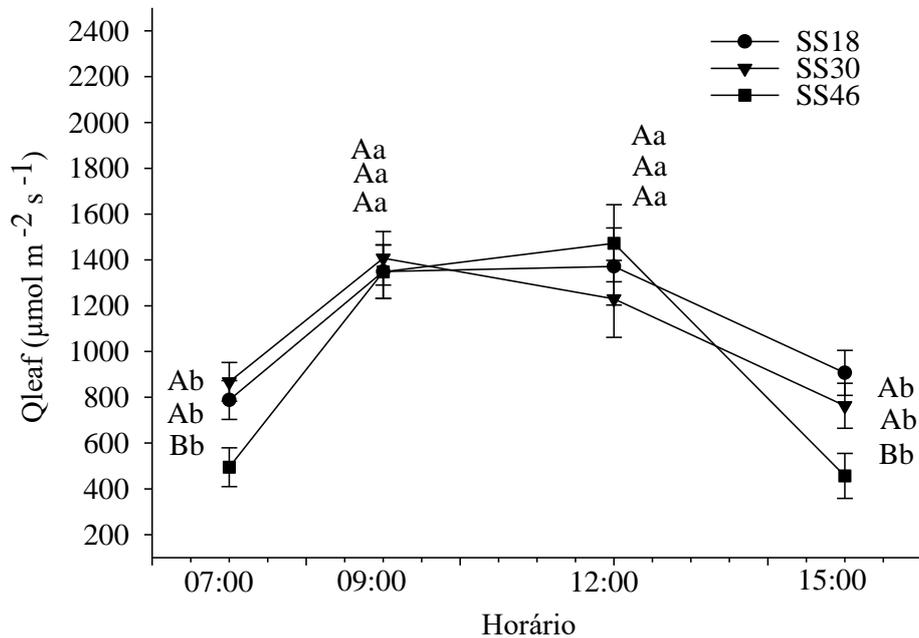


Figura 03: Radiação fotossinteticamente ativa na superfície da folha (Q_{leaf} , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de *Urochloa mosambicensis* e *Pennisetum ciliare* sob diferentes coberturas lenhosa em sistema silvipastoril (SS18, SS30, SS46) nos horários 07h:00; 09h:00; 12h:00 e 15h:00.

Letras distintas minúsculas entre os horários em cada sistema silvipastoril diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer $p < 0,05$

Letras distintas maiúsculas entre os sistemas no mesmo horário diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer $p < 0,05$

As gramíneas *Pennisetum ciliare* e *Urochloa mosambicensis* apresentaram menor fotossíntese foliar ($18,55 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no sistema SS46 (Figura 04). A fotossíntese foliar do *Pennisetum ciliare* e *Urochloa mosambicensis* não diferiu entre o sistema SS18 ($21,82 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e SS30 ($21,74 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 04).

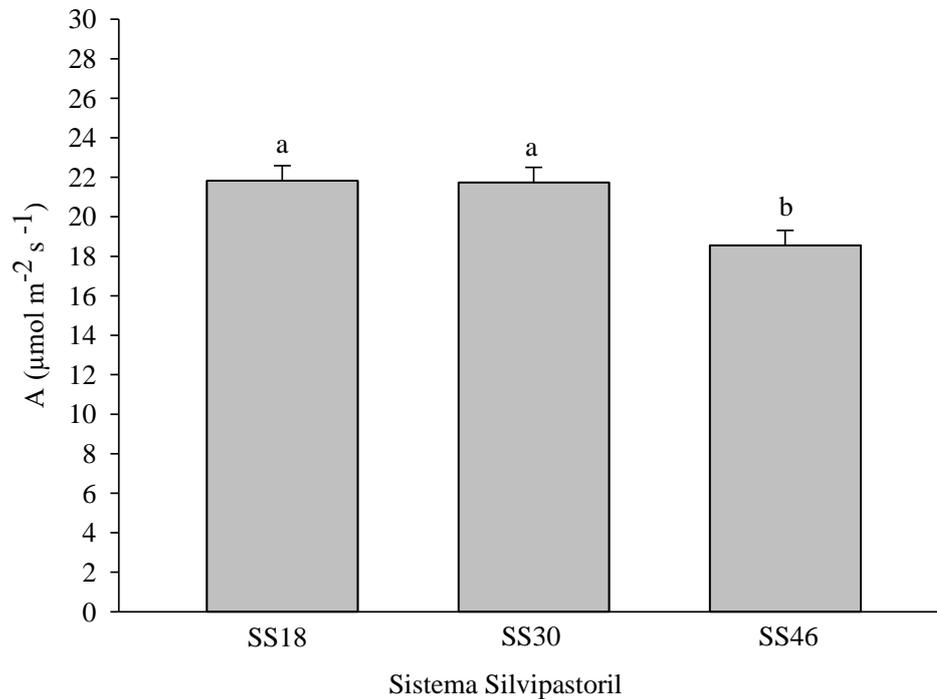


Figura 04: Fotossíntese foliar (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de *Urochloa mosambicensis* e de *Pennisetum ciliare* sob diferentes coberturas lenhosa em sistema silvipastoril (SS18, SS30, SS46)
Letras distintas minúsculas diferem ($P < 0,05$) entre si

A altura média do dossel não diferiu entre os sistemas silvipastoris SS46, SS30 e SS18 (0,69 m), considerando o efeito principal. Altura média do dossel apresentou interação significativa ($p=0,0001$) entre gramínea*posição. O *Pennisetum ciliare* e *Megathyrsus maximus* apresentaram maior altura média do dossel na posição centro e não diferiram nas posições nascente e poente (Figura 05). O *Urochloa mosambicensis* não apresentou diferença na altura média do dossel nas posições nascente, centro e poente (Figura 05). Considerando as gramíneas dentro de cada posição, verifica-se que o *Megathyrsus maximus* apresentou menor altura média do dossel nas posições nascente (0,43 m) e poente (0,40 m) (Figura 05).

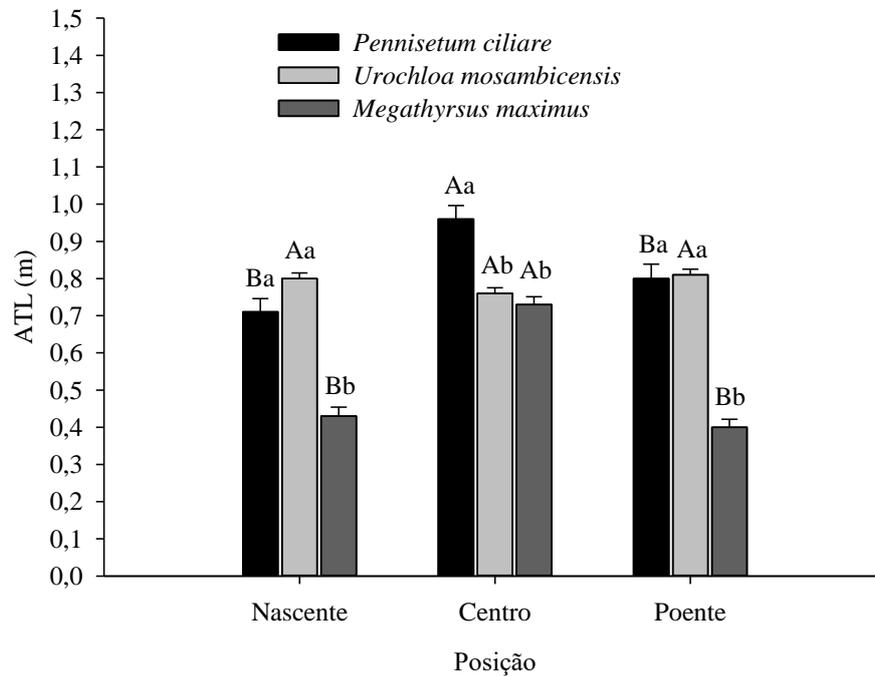


Figura 05: Altura média do dossel (ALT, m) de *Pennisetum ciliare*, de *Urochloa mosambicensis* e de *Megathyrsus maximus* nas posições nascente, centro e poente em sistema silvipastoril. Letras distintas minúsculas em cada posição diferem entre si pelo teste de Tukey- Kramer $p < 0,05$. Letras distintas maiúsculas entre as posições diferem entre si pelo teste de Tukey- Kramer $p < 0,05$.

A densidade populacional de perfilhos apresentou interação significativa entre gramínea*posição ($p=0,056$). O *Urochloa mosambicensis*, *Megathyrsus maximus* e *Pennisetum ciliare* apresentaram menor números de perfilhos (95,20 perfilhos m^2) no sistema SS46 (Figura 06). *Urochloa mosambicensis*, *Megathyrsus maximus* e *Pennisetum ciliare* apresentaram DPP igual nos sistemas SS30 (137,98 perfilhos m^2) e SS18 (140,92 perfilhos m^2) (Figura 06).

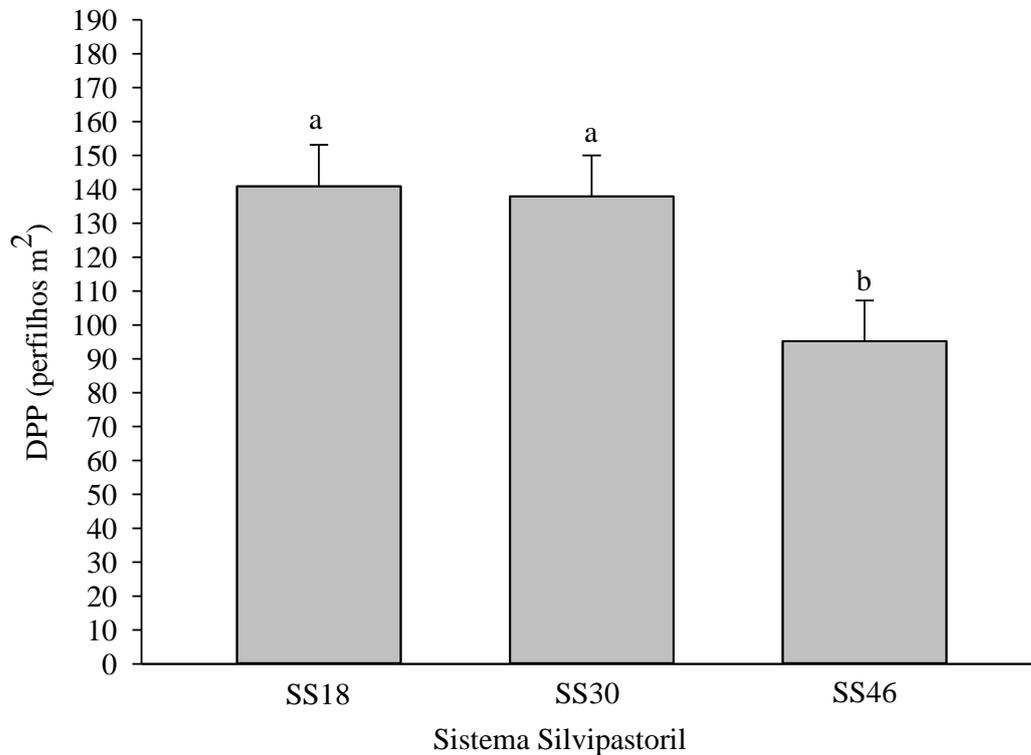


Figura 06: Densidade populacional de perfilhos (DPP, perfilhos m²) de *Urochloa mosambicensis*, de *Megathyrus maximus* e de *Pennisetum ciliare* sob diferentes coberturas lenhosa em sistema silvipastoril (SS18, SS30 e SS46).

Letras distintas minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey- Kramer $p < 0,05$

Comparando as gramíneas entre as posições, verificou-se que o *Urochloa mosambicensis* manteve o número de perfilhos entre as posições nascente, centro e poente, enquanto que o *Megathyrus maximus* e *Pennisetum ciliare* apresentaram menor número de perfilhos nas posições nascente e poente quando comparada com a posição centro (Figura 7). Na posição centro, observou-se maior número de perfilhos do *Megathyrus maximus*, enquanto que nas posições nascente e poente o *Urochloa mosambicensis* apresentou maior número de perfilhos (figura 07).

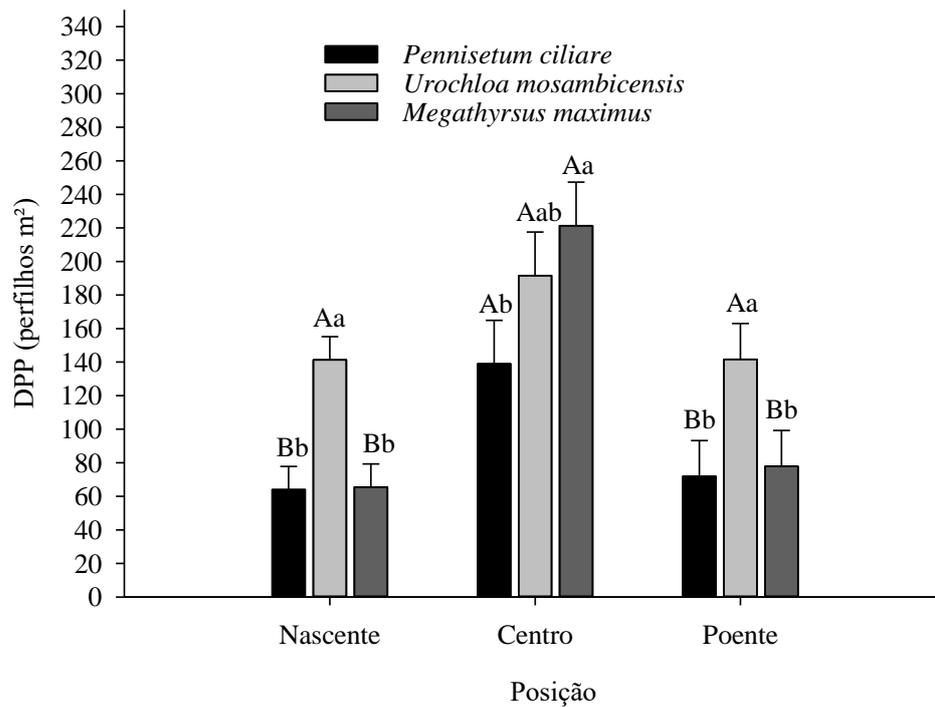


Figura 07: Densidade populacional de perfilhos (DPP, perfilhos m²) de *Urochloa mosambicensis*, *Megathyrsus maximus* e *Pennisetum ciliare* nas posições nascente, centro e poente.

Letras minúsculas distintas em cada posição diferem entre si pelo teste de Tukey- Kramer $p < 0,05$

Letras maiúsculas distintas entre as posições diferem entre si pelo teste de Tukey- Kramer $p < 0,05$

A biomassa de forragem total apresentou interação significativa entre gramínea*posição ($p=0,0088$). O *Urochloa mosambicensis*, *Megathyrsus maximus* e *Pennisetum ciliare* apresentaram menor BFT no SS46 (Figura 09). O *Urochloa mosambicensis*, *Megathyrsus maximus* e *Pennisetum ciliare* não apresentaram diferença na BFT entre o SS30 e SS18 (Figura 09).

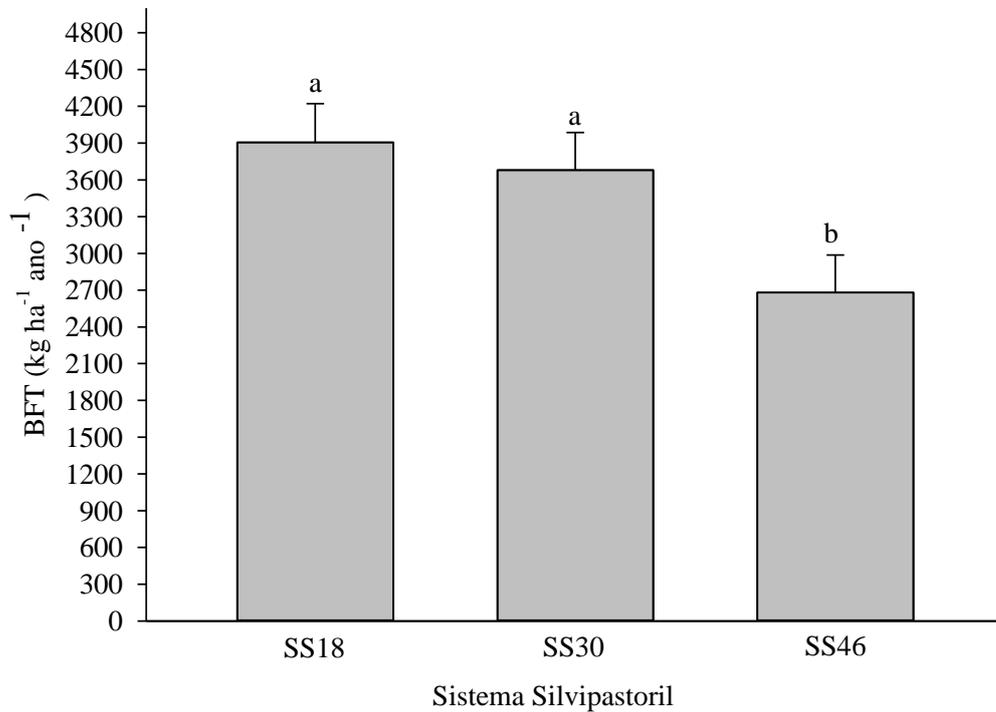


Figura 08: Biomassa de forragem total (BFT, kg ha⁻¹ ano⁻¹) de *Urochloa mosambicensis*, *Megathyrus maximus* e *Pennisetum ciliare* sob diferentes coberturas lenhosa em sistema silvipastoril (SS18, SS30, SS46).

Letras minúsculas distintas diferem ($P < 0,05$) entre si

O *Pennisetum ciliare* e o *Megathyrus maximus* apresentaram maiores BFT na posição centro quando comparado com as posições nascente e poente (Figura 10). O *Urochloa mosambicensis* manteve a produção de BFT entre as posições centro, nascente e poente (Figura 10). Comparando o *Urochloa mosambicensis*, o *Megathyrus maximus* e o *Pennisetum ciliare* dentro de cada posição, observa-se que na posição centro, nascente e poente não houve diferença na BFT (Figura 10).

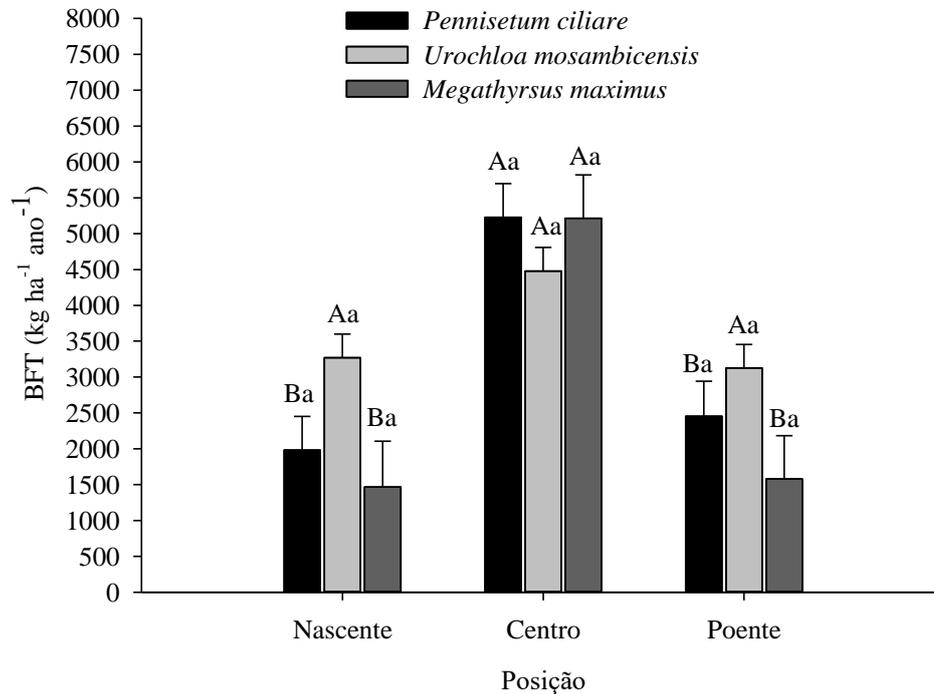


Figura 09: Biomassa de forragem total (BFT, kg ha⁻¹ ano⁻¹) de *Pennisetum ciliare*, *Urochloa mosambicensis* e de *Megathyrus maximus* nas posições nascente, centro e poente. Letras minúsculas distintas em cada posição diferem entre si pelo teste de Tukey- Kramer p<0,05. Letras maiúsculas distintas entre as posições diferem entre si pelo teste de Tukey- Kramer p<0,05.

2.4 Discussão

A maior densidade de árvores verificada no SS46 (1418 árvores/hectare) promoveu maior atenuação da radiação fotossinteticamente ativa, reduzindo a Qleaf no sub-bosque às 07h:00 e 15h:00 horas. De acordo com Paciullo et al. (2011), os horários com menor ângulo de inclinação solar (início da manhã e fim da tarde) apresentam diminuição da radiação total, reduzindo a radiação fotossinteticamente ativa no sub-bosque, principalmente, em sistemas silvipastoris onde o componente arbóreo está orientado no sentido norte-sul. Desse modo, a densidade, o posicionamento, a altura e a morfologia da copa das árvores são aspectos importantes em sistemas silvipastoris, impactando no desenvolvimento das culturas no sub-bosque.

A redução da radiação em qualidade e quantidade, principalmente nos horários de menor ângulo de inclinação solar (07h:00 e 15h:00 horas), favoreceu a menor fotossíntese foliar do *Urochloa mosambicensis* e do *Pennisetum ciliare* no sistema com maior densidade de árvores (SS46). Os estratos superiores (componente arbóreo) absorvem parte da radiação

incidente fotossinteticamente ativa na banda do vermelho ($\lambda = 600$ a 700 nm) e azul ($\lambda = 400$ a 500 nm), enquanto refletem e transmitem para o sub-bosque a maioria dos comprimentos de onda do vermelho distante ($\lambda = 700$ a 800 nm). Por consequência, há decréscimo na relação vermelho/vermelho distante no sub-bosque sombreado (GOMMERS et al., 2013).

A baixa absorção luminosa interfere na etapa fotoquímica da fotossíntese, na cadeia de transporte de elétrons e em parte da produção necessária de energia utilizada para transformar o CO_2 em carboidratos (MENDES et al., 2013). Portanto, plantas com mecanismo C_4 submetidas a sombra intensa podem apresentar reduções na fotossíntese e na produtividade. Entretanto, o sombreamento moderado (30 - 40%) pode não ser limitante para o desenvolvimento de algumas gramíneas, como as do gênero *Urochloa*, conforme verificado por Paciullo et al. (2007).

Nesse estudo, verificou-se que sob condições de sombreamento moderado (15-30%), não houve modificações na fotossíntese foliar do *Pennisetum ciliare* e *Urochloa mosambicensis*, visto que foram observados semelhantes valores de radiação fotossinteticamente ativa na superfície das folhas, assim, a densidade de árvores nesses sistemas não ocasionou mudanças fisiológicas nessas gramíneas.

Gramíneas de clima tropical quando no sub-bosque de sistemas silvipastoris podem desenvolver mecanismos morfológicos (alongamento de entrenó, maior área foliar específica, hiponastia) como forma de sobreviver ao ambiente limitado de luz (SANTOS et al., 2018; PACIULLO et al., 2011). Como forma de buscar luz em estratos superiores as gramíneas alongam o entrenó reduzindo o autossombreamento por aumentar a área entre as folhas ao longo do dossel. Esse mecanismo ocasiona aumento da altura média do dossel, principalmente, em culturas muito próximas ao componente arbóreo.

No entanto, no presente estudo verificou-se redução na altura média do dossel das gramíneas próximas às árvores (nascente e poente). Esse comportamento está relacionado à competição imposta pelas árvores tanto pela luz quanto, principalmente, pela água. Segundo Pezzopane et al. (2015), nos sistemas integrados, as posições próximas às árvores podem promover competição por água, causando heterogeneidade nas características estruturais e na produção, principalmente, pela maior exploração em profundidade do sistema radicular das arbóreas. Desta forma, observou-se maior murchamento das gramíneas nas posições nascente e poente, quando houve ausência de precipitação por dias consecutivos.

A maior densidade de árvores no SS46 favoreceu a redução na densidade populacional de perfilhos, pois para manter o desenvolvimento da população em ambientes

sombreados as gramíneas priorizam o crescimento de perfilhos existentes, inibindo a produção e novos perfilhos (LOPES et al., 2017). Mudanças na população de perfilhos são induzidas pela intensidade e qualidade da luz interceptada, maior mortalidade de perfilhos e morte das gemas axilares pode ocorrer antes do surgimento de novos perfilhos devido à limitação no fornecimento de carbono gerado pela competição pela luz (KIM et al., 2010).

A reduzida incidência de radiação fotossinteticamente ativa na superfície das folhas ocasionou redução na densidade populacional de perfilhos refletindo na menor produção de biomassa de forragem total no sistema com maior densidade de árvores (SS46). Segundo Santos et al. (2016), há relação linear crescente entre a biomassa de forragem total e a radiação fotossinteticamente ativa. Assim, a densidade de 1.418 árvores por hectare e sete metros entre faixas com árvores, compondo o sistema SS46, interferiu negativamente na estrutura e na produção das gramíneas, enquanto que, 925 e 524 árvores por hectare e 14 e 28 m entre faixas com árvores, compondo os sistemas SS30 e SS18, respectivamente, não interferiram na estrutura e produção das gramíneas tropicais.

A igualdade na BFT no SS18 e no SS30 possibilita aos produtores rurais alternativas extras na adoção desses sistemas. Quando o objetivo principal for maior exploração pecuária, pode-se adotar o SS18, pois haverá menor presença de árvores/hectare, assim a área de pasto cultivado será maior e, conseqüentemente, poderá incluir maior quantidade de animal/hectare. Quando objetivar maior exploração madeireira, poderá adotar o sistema SS30, obtendo-se maior volume de madeira/hectare. Desta forma, a decisão dependerá do objetivo final e também do potencial madeireiro das espécies arbóreas presente nas faixas.

A menor produção de biomassa de forragem total do *Pennisetum ciliare* e do *Megathyrsus maximus* nas posições (nascente e poente) reforça a importância de realizar amostragens em diferentes posições nos sistemas silvipastoris, como forma de garantir maior precisão na estimativa de biomassa (SANTOS et al., 2016). Desta forma, verifica-se maior vulnerabilidade nas gramíneas *Pennisetum ciliare* e *Megathyrsus maximus* em posições próximas ao componente arbóreo, visto menor altura média do dossel e BFT encontradas.

Diversas gramíneas forrageiras de clima tropical foram estudadas em diversos arranjos de sistema silvipastoril em região tropical. O gênero *Urochloa* apresentou tolerância moderado ao sombreamento (CARVALHO et al., 2019; SANTOS et al., 2018; PACIULLO et al., 2007). Desta forma, verificou-se maior tolerância do *Urochloa mosambicensis* aos sistemas avaliados (SS46, SS30 e SS18), pois manteve-se a altura média do dossel a densidade

populacional de perfilhos e a produção de biomassa de forragem total nas posições centro, nascente e poente.

2.5 Conclusão

Os sistemas silvipastoris SS30 e SS18 podem ser adotados sem comprometimento das características fisiológicas do *Pennisetum ciliare* e *Urochloa mosambicensis* e das características estruturais e produtivas do *Urochloa mosambicensis*, *Megathyrus maximus* e *Pennisetum ciliare*. O *Urochloa mosambicensis* apresentou maior homogeneidade nas diferentes posições dentro dos sistemas silvipastoris.

3 CAPÍTULO II: PRODUÇÃO DE FORRAGEM E CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DE PALMA FORRAGEIRA EM SISTEMAS SILVIPASTORIS EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

RESUMO

Objetivou-se avaliar as características, estruturais e produtivas da *Opuntia stricta* (Palma Orelha de Elefante Mexicana) e da *Nopalea cochenillifera* (Palma Miúda) em sistema silvipastoril com diferentes coberturas lenhosas de árvores da Caatinga. O experimento foi conduzido na estação chuvosa durante os anos 2017, 2018 e 2019. A área experimental constou de nove sistemas silvipastoris, arranjados em faixas de árvores de vegetação da Caatinga (componente arbóreo), com dimensões de 6,0 x 100,0 m, direcionadas no sentido norte-sul. Entre as faixas de árvores, foram implantadas a *Opuntia stricta* e a *Nopalea cochenillifera*, em parcelas, conforme os seguintes tratamentos: palma cultivada sob cobertura lenhosa de 46,15% (SS46, 1418, árvores/hectare), palma cultivada sob cobertura lenhosa de 30,00% (SS30, 925 árvores/hectare) e palma cultivada sob cobertura lenhosa de 17,64% (SS18, 524 árvores/hectare). O delineamento experimental inteiramente casualizado com três repetições em esquema de parcelas subdivididas, onde as parcelas foram os sistemas SS18, SS30 e SS46, as subparcelas, a palma *Opuntia stricta* e a palma *Nopalea cochenillifera*, e as subsubparcelas foram as posições de avaliações no sub-bosque (centro, nascente e poente). Avaliaram-se a altura média do dossel, número de cladódios por metro linear e biomassa de forragem total (BFT), considerando as posições nascente, centro e poente. As palmas cultivadas no SS18 e SS30 apresentaram menor altura média do dossel na posição poente, enquanto que nas posições nascente e centro não houve diferença. Observou-se menor altura média do dossel da *Nopalea cochenillifera* nas posições nascente e poente. Verificou-se maior produção de cladódios de *Nopalea cochenillifera* e a *Opuntia stricta* na posição centro nos sistemas SS18 e SS30. A *Nopalea cochenillifera* e *Opuntia stricta* cultivadas nos sistemas SS46 apresentaram menores BFT na posição centro. Os sistemas silvipastoris SS30 e SS18 podem ser adotados sem comprometimento das características estruturais e produtivas da palma *Opuntia stricta* e *Nopalea cochenillifera*.

Palavras-chave: cobertura lenhosa. *Nopalea cochenillifera*. *Opuntia stricta*. Sistemas integrados

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the structural and productive characteristics of *Opuntia stricta* (Palma Orelha de Elefante Mexicana) and *Nopalea cochenillifera* (Palma Miúda) in silvopastoral system with different woody coverings of Caatinga trees. The experiment was conducted in the rainy season during the years 2017, 2018 and 2019. The experimental area consisted of nine silvopastoral systems, arranged in bands of Caatinga vegetation trees (arboreal component), with dimensions of 6.0 x 100.0 m, directed in the north-south direction. Among the tree strips, *Opuntia stricta* and *Nopalea cochenillifera* were implanted, in plots, according to the following treatments: palm grown under 46.15% wood cover (SS46, 1418, trees / hectare), palm grown under wood cover 30.00% (SS30, 925 trees / hectare) and palm cultivated under wood cover of 17.64% (SS18, 524 trees / hectare). The completely randomized experimental design with three replications in a subdivided plot scheme, where the plots were the SS18, SS30 and SS46 systems, the subplots, the *Opuntia stricta* palm and the *Nopalea cochenillifera* palm, and the sub-plots were the assessment positions in the understory (center, east and west). The average canopy height, number of cladodes per linear meter and total forage biomass (TFB) were evaluated, considering the east, center and west positions. The palms cultivated in SS18 and SS30 showed lower average canopy height in the west position, while in the east and center positions there was no difference. A lower mean height of the canopy of *Nopalea cochenillifera* was observed in the east and west positions. Higher production of *Nopalea cochenillifera* and *Opuntia stricta* cladodes was found in the center position in the SS18 and SS30 systems. *Nopalea cochenillifera* and *Opuntia stricta* cultivated in SS46 systems showed lower BFT in the center position. The silvopastoral systems SS30 and SS18 can be adopted without compromising the structural and productive characteristics of the palm *Opuntia stricta* and *Nopalea cochenillifera*

Key words: woody cover. *Nopalea cochenillifera*. *Opuntia stricta*. Integrated systems

3.1 Introdução

As regiões classificadas como hiper áridas, áridas, semiáridas e sub úmidas representam 60,95 milhões de km² ou 41% do território mundial. Caracterizam-se por apresentarem baixo potencial hídrico e alta evapotranspiração. Estima-se que entre 6 e 12 milhões de km² dessas áreas encontram-se em processo de desertificação com reduzida capacidade produtiva e limitados recursos de subsistência humana (PINHEIRO e NAIR, 2018). Portanto, desenvolver sistemas produtivos sustentáveis e economicamente viáveis é um desafio mundial, principalmente, para essas regiões, visto maior vulnerabilidade climática e social.

Os sistemas integrados possibilitam uma produção ambientalmente, socialmente e economicamente sustentável, tornando-se alternativa de recuperação para áreas degradadas, melhorando a ciclagem de nutrientes e possibilitando maior desempenho animal, além de promover receita adicional pela comercialização do componente arbóreo (LIMA et al., 2019; PACIULLO et al., 2011).

A palma forrageira possui potencial para utilização em sistemas integrados de produção em regiões tropicais, pois apresenta elevada sobrevivência e produção em ambientes com escassez de água e temperaturas elevadas, devido sua adaptação morfofisiológica, (HERNÁNDEZ et al., 2004). Além disso, é um importante ingrediente na alimentação animal, possuindo elevados níveis de carboidratos, sendo utilizada em substituição a fontes energéticas, reduzindo a demanda de volumosos como silagens de sorgo e milho (OLIVEIRA et al., 2007).

O arranjo em faixas do componente arbóreo favorece o uso de mecanização agrícola e também evita o processo de erosão do solo quando as faixas são posicionadas em sentido oposto a declividade do terreno (ARAÚJO FILHO, 2013). Contudo, torna-se necessário obter adequado espaçamento entre faixas promovendo o desenvolvimento das culturas presentes no sub-bosque, pois maiores densidades de árvores favorecem reduções na relação vermelho/vermelho distante da radiação fotossinteticamente ativa, podendo ocasionar modificações morfofisiológicas nas espécies presentes nos estratos inferiores comprometendo a produção (LIMA et al., 2019; SANTOS et al., 2018).

Nesse sentido, estudos com arranjos de sistemas silvipastoris em regiões semiáridas que promovam o desenvolvimento de espécies cultivadas no sub-bosque são fundamentais para o desenvolvimento regional sustentável e econômico. No entanto, poucas pesquisas foram desenvolvidas considerando a palma forrageira no sub-bosque de sistemas silvipastoris composto por árvores da Caatinga.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar as características, estruturais e produtivas da *Opuntia stricta* (Palma Orelha de Elefante Mexicana) e da *Nopalea cochenillifera* (Palma Miúda) em sistema silvipastoril com diferentes coberturas lenhosas de árvores da Caatinga.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Localização, área experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus* Limoeiro do Norte, na Chapada do Apodi, CE. A área experimental é composta de relevo plano e caracterizada pela predominância de solos da classe dos Cambissolos (SANTOS et al., 2006) com coordenadas geográficas de 05°10'53" Sul e 38°00'43" Oeste e altitude de 146 m. O clima da região é classificado como B (seco) S (semiárido) h (quente) (KÖPPEN 1936).

O experimento foi conduzido durante os anos 2017, 2018 e 2019. A precipitação acumulada, umidade relativa e temperatura média durante os anos de avaliação foi de 590,4 mm; 68,45%; 27,48 °C (2017); 805,75 mm, 74,86%; 27,08 °C (2018) e 716,32 mm; 76,56%; 26,96 °C (2019). Para caracterização do clima na área experimental utilizou-se dados da estação meteorológica localizada a, aproximadamente, 150 m da área experimental (Figura 01).

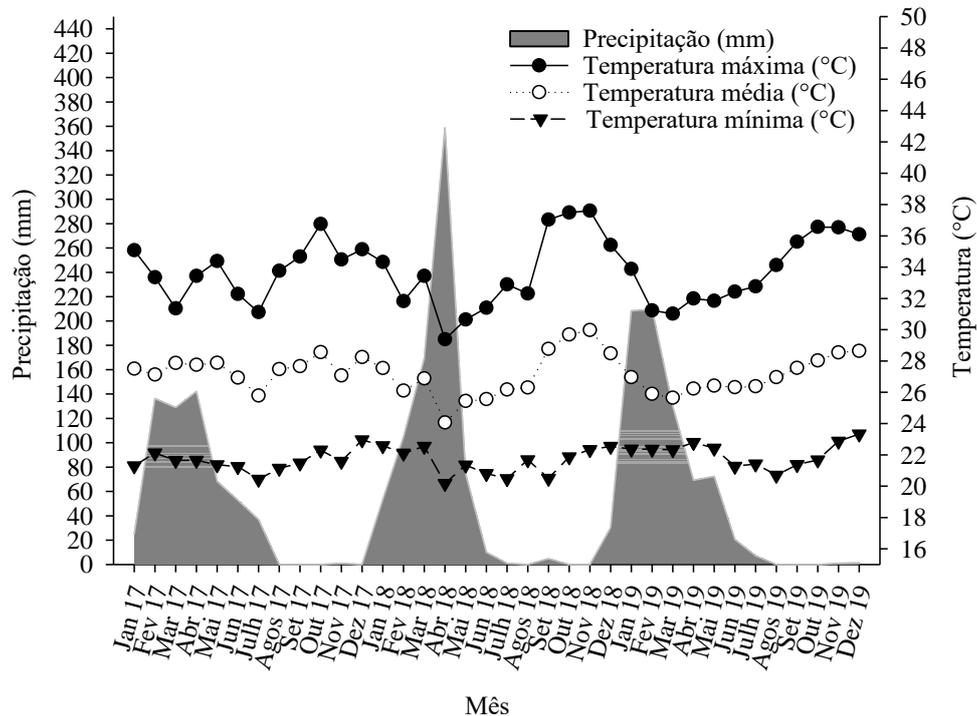


Figura 01: Precipitação mensal (mm), Temperatura máxima (°C), Temperatura média (°C) e Temperatura mínima (°C) durante os anos 2017, 2018 e 2019.

Fonte: dados obtidos na estação meteorológica automática localizada na UEPE.

O raleamento ocorreu no período seco de 2015, utilizando trator com lâmina frontal, suprimindo 100% da vegetação presente na área cultivável (sub-bosque), direcionando o material residual para as bordas. Antes do raleamento, a área era composta de uma caatinga arbórea (ARAÚJO FILHO et al. 2013) em estágio de sucessão secundária.

A área experimental constou de nove sistemas silvipastoris arranjados em faixas com árvores de vegetação da Caatinga (componente arbóreo) com dimensões de 6,0 x 100,0 m, posicionadas em sentido norte-sul. Entre as faixas com vegetação arbórea durante a estação chuvosa do ano 2016, realizou-se o enriquecimento utilizando *Opuntia stricta* (palma orelha de elefante Mexicana) e *Nopalea cochenillifera* (palma miúda) em parcelas, constituindo o sub-bosque.

Após levantamento fitossociológico identificou-se as seguintes espécies arbóreas: *Cordia goeldiana* (Freijó), *Mimosa caesalpiniaefolia* (Sabiá), *Cenostigma pyramidale* (Catingueira) *Commiphora leptophloeos* (Imburana de espinho) e *Mimosa tenuiflora* (Jurema preta). O freijó apresentou maior densidade relativa (81,59%) seguida da catingueira (7,87%). A altura média do componente arbóreo foi de $3,98 \pm 1,30$ m.

As coberturas lenhosas correspondentes a 46,15; 30,00 e 17,64% foram obtidas considerando 6,0 m de faixa com árvores da Caatinga, atribuindo espaçamentos de 07, 14 e 28 m (sub-bosque), respectivamente (Figura 2). Obtiveram-se densidades de 1.418 (46,15%), 925 (30,00%) e 524 árvores por hectare (17,64%), respectivamente.

Os tratamentos consistiram em: palma cultivada no sub-bosque com 46,15% (SS46), palma cultivada no sub-bosque com 30,00% (SS30) e palma cultivada no sub-bosque com 17,64% (SS18) (Figura 2). O delineamento experimental inteiramente casualizado com três repetições em esquema de parcelas subdivididas, onde as parcelas foram os sistemas SS18, SS30 e SS46, as subparcelas, a palma *Opuntia stricta* e palma *Nopalea cochenillifera*, e as subsubparcelas foram as posições de avaliações no sub-bosque (centro, nascente e poente).

A obtenção dos níveis seguiu recomendações de Araújo Filho (1992) que estabeleceu cobertura lenhosa de 30% em raleamento do tipo savana sem comprometimento do crescimento do estrato herbáceo natural, dessa forma, optou-se por cobertura lenhosa do tipo em faixas estabelecendo níveis superior, inferior e equivalente ao proposto pelo autor.

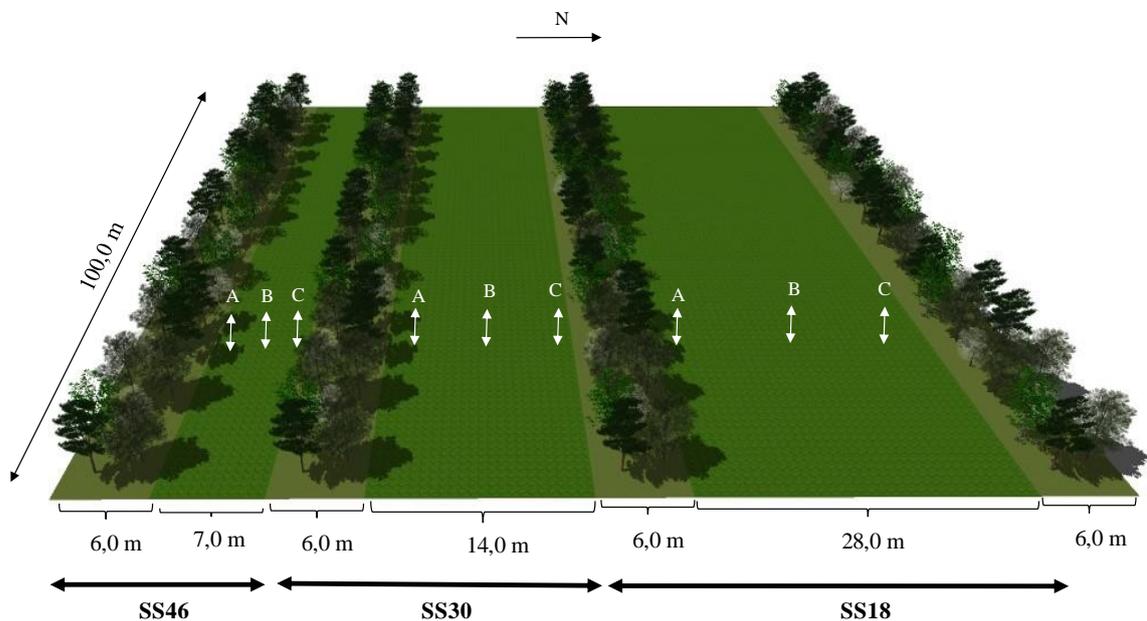


Figura 02: Representação esquemática com pontos de fixação de equipamentos (A: posição nascente; B: posição centro; C: posição poente) em sistemas silvipastoris SS46 (07 m entre faixas de árvores, 1418 árvores por hectare), SS30 (14 m entre faixas de árvores, 925 árvores por hectare) e SS18 (28 m entre faixas de árvores, 524 árvores por hectare).

A área efetiva de *Opuntia stricta* e palma *Nopalea cochenillifera* (excluindo a área com árvores) foi de 1,46 ha, 1,3 ha e 1,17 ha para SS46, SS30 e SS18, respectivamente. Embora a área efetiva seja diferente, os resultados foram apresentados em hectare para uma justa comparação entre os sistemas.

Antes da implantação das culturas realizou-se colheita de solo nas camadas de 0-20 cm para posterior análise química no laboratório de solos do IFCE, campus Limoeiro do Norte. Os valores das características químicas do solo para cálcio (93,33, mmolc. dm³), magnésio (18,7, mmolc. dm³), potássio (6,32, mg. dm³) e matéria orgânica (31,76, g. kg) foram classificados como muito bom, enquanto os de fósforo (6,03 mg. dm³) foram classificados como baixo, segundo Ribeiro et al. (1999).

3.2.2 Avaliação das características estruturais e produtivas

Realizaram-se as seguintes avaliações: altura média do dossel (ALT, m), com auxílio de um bastão retrátil graduável (BARTHAM, 1985), amostrando-se seis pontos por posição, mensurado da superfície do solo até o ponto mais alto da planta. Número de cladódios por metro linear (NC, cladódios/metro linear), contabilizando-se o número de cladódios presentes em 1,0 metro linear a partir do cladódio de 1ª ordem e biomassa de forragem total (BFT, kg ha⁻¹ ano⁻¹), estimada a partir da colheita de duas plantas por metro linear, realizando-se o corte após o cladódio de 1ª ordem. Após a colheita, o material foi acondicionado em sacos plásticos e direcionados para laboratório, onde ocorreu a pesagem de todo material, em seguida realizou-se a picagem de amostras em cubos de aproximadamente 0,05 m² para determinação da matéria pré-seca, com auxílio de estufa de ventilação forçada a 65°C.

As avaliações ALT, NC e BFT foram realizadas no final do período chuvoso (agosto). Consideraram-se as posições centro (região central da parcela), nascente (posição lateral com sombra no início da manhã) e poente (posição lateral com sombra no início da tarde) de cada parcela, de modo a caracterizar o efeito do componente arbóreo sob o sub-bosque em diferentes localizações dentro do sistema.

3.2.3 Análise estatística

A normalidade dos dados foi testada pelo teste de Cramer-von Mises. Os dados foram analisados por meio do procedimento de modelos mistos, usando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijklm} = \mu + N_j + \alpha_{ij} + C_k + (NC)_{jk} + \beta_{ijk} + P_l + (NP)_{jl} + (CP)_{kl} + (NCP)_{jkl} + A_m + \varepsilon_{ijklm}$$

Onde:

Y_{ijklm} : valor da i -ésima unidade experimental submetida ao j -ésimo nível de sombreamento, na k -ésima cultura, l -ésima posição e m -ésimo ano de avaliação;

μ : efeito fixo da média geral;

N_j : efeito fixo nível de sombreamento;

α_{ij} : efeito aleatório da i -ésima repetição no j -ésimo nível de sombreamento, onde α_{ij} assume *iid* $N(0, \sigma_A^2)$;

C_k : efeito fixo da cultura;

$(NC)_{jk}$: efeito fixo da interação entre nível de sombreamento e cultura;

β_{ijk} : efeito aleatório da i -ésima repetição no j -ésimo nível de sombreamento e k -ésima cultura, onde β_{ijk} assume *iid* $N(0, \sigma_B^2)$;

E_l : efeito fixo da posição;

$(NC)_{jl}$: efeito fixo da interação entre nível de sombreamento e posição;

$(CP)_{kl}$: efeito fixo da interação entre cultura e posição;

$(NCP)_{jkl}$: efeito fixo da interação entre nível de sombreamento, cultura e posição;

A_m : efeito aleatório do m -ésimo ano de avaliação;

ε_{ijklm} : efeito aleatório associado a i -ésima repetição j -ésimo nível de sombreamento, k -ésima cultura, onde γ_{ijk} assume $\sim N(0, \sigma_B^2)$, sendo que σ_B^2 é a matriz de variância e covariância, pois se assume dependência dos erros, devido aos efeitos de anos serem correlacionados, já que os anos de avaliação foram tomados na mesma unidade experimental;

Os dados foram analisados usando o procedimento PROC MIXED do SAS (SAS Institute. Inc., 2015). Na escolha da estrutura da matriz de covariância para o efeito aleatório de anos de avaliação utilizou-se o critério de informação de Akaike corrigido. Os efeitos fixos de nível de sombreamento, cultura, posição e suas interações foram considerados significativos

a um p-valor < 0,05. Quando encontrado diferenças significativas, o teste de comparação de médias foi realizado pelo teste de Tukey-Kramer a um p-valor < 0,05.

3.3 Resultados

As variáveis altura média do dossel, número de cladódios e biomassa de forragem total apresentaram interação entre sistema silvipastoril*posição e cultura*posição.

As palmas cultivadas no SS18 e SS30 apresentaram menor altura média do dossel na posição poente, enquanto que nas posições nascente e centro não houve diferença (Figura 3). As palmas no SS46 não apresentaram diferença na altura média do dossel nas posições nascente (68,70 cm), centro (80,35 cm) e poente (76,41 cm) (Figura 3).

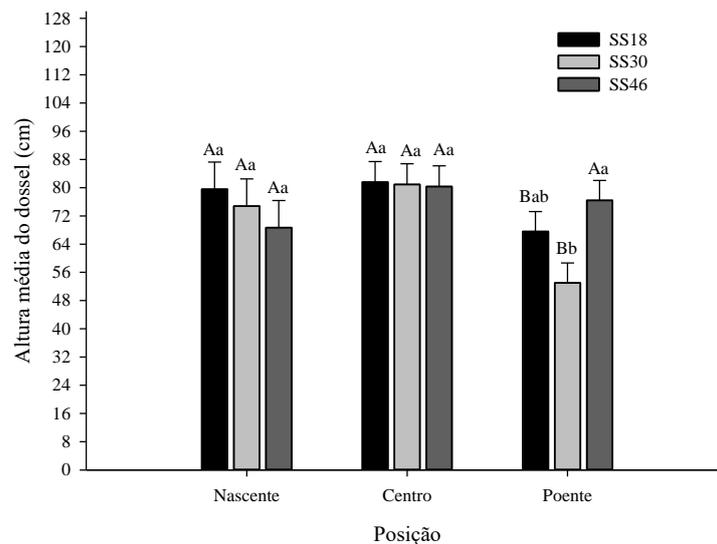


Figura 03: Altura média do dossel (cm) de *Nopalea cochenillifera* e de *Opuntia stricta* nas posições nascente, centro e poente em sistemas silvipastoris SS18, SS30 e SS46 em Caatinga. Letras minúsculas distintas em cada posição diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer $p < 0,05$. Letras maiúsculas distintas entre as posições diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer $p < 0,05$.

Observou-se menor altura média do dossel da *Nopalea cochenillifera* nas posições nascente e poente (Figura 04). Não houve diferença na altura média do dossel da *Opuntia stricta* entre as posições nascente, centro e poente (figura 4). Comparando a *Nopalea cochenillifera* com a *Opuntia stricta*, verifica-se menor altura média do dossel da *Nopalea cochenillifera* nas posições nascente, centro e poente (Figura 4).

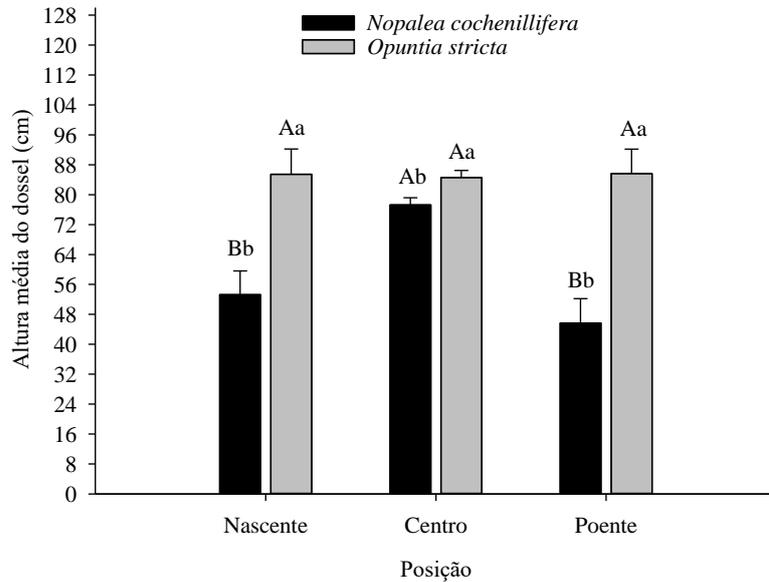


Figura 04: Altura média do dossel (cm) de *Nopalea cochenillifera* e de *Opuntia stricta* nas posições nascente, centro e poente, em sistema silvipastoril na Caatinga.

Letras minúsculas distintas em cada posição diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer $p < 0,05$.

Letras maiúsculas distintas entre as posições diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer $p < 0,05$.

Verificou-se maior produção de cladódios de *Nopalea cochenillifera* e de *Opuntia stricta* na posição centro nos sistemas SS18 e SS30 (Figura 05). O SS18 apresentou menor NC nas palmas cultivadas nas posições nascente e poente (Figura 05). O SS30 apresentou menor NC nas palmas cultivadas na posição poente (Figura 05). As palmas cultivadas no SS46 não apresentaram diferença para o NC entre as posições nascente, centro e poente (Figura 05).

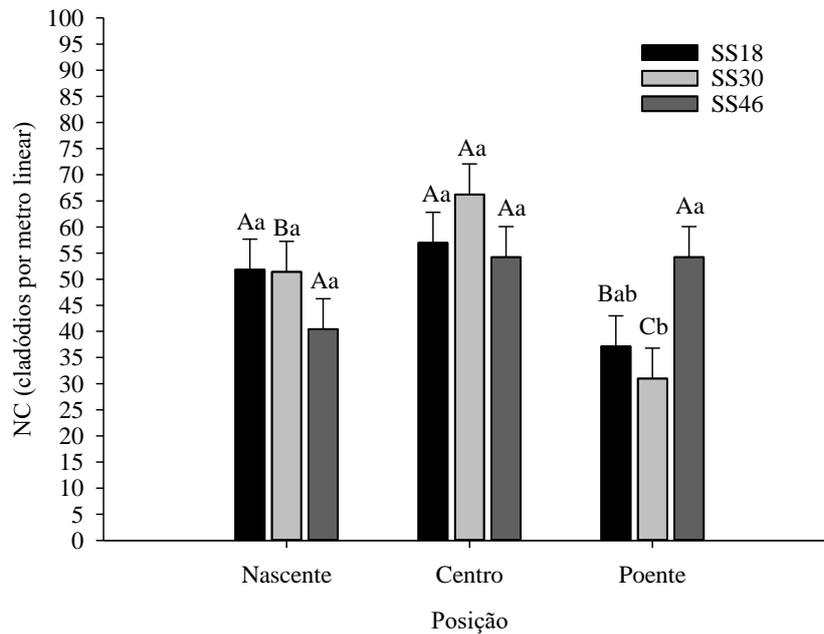


Figura 05: Número de cladódios (NC, cladódios por metro linear) de *Nopalea cochenillifera* e de *Opuntia stricta* nas posições nascente, centro e poente em sistemas silvipastoris SS18, SS30 e SS46 em Caatinga.

Letras minúsculas distintas em cada posição diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer $p < 0,05$.

Letras maiúsculas distintas entre as posições diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer $p < 0,05$.

A *Nopalea cochenillifera* apresentou menor NC nas posições nascente e poente (Figura 06). A *Opuntia stricta* não apresentou diferença para o NC entre as posições nascente, centro e poente (Figura 06). Comparando a *Nopalea cochenillifera* com a *Opuntia stricta*, verifica-se maior NC da *Opuntia stricta* na posição poente e igualdade no NC nas posições nascente e centro (Figura 06).

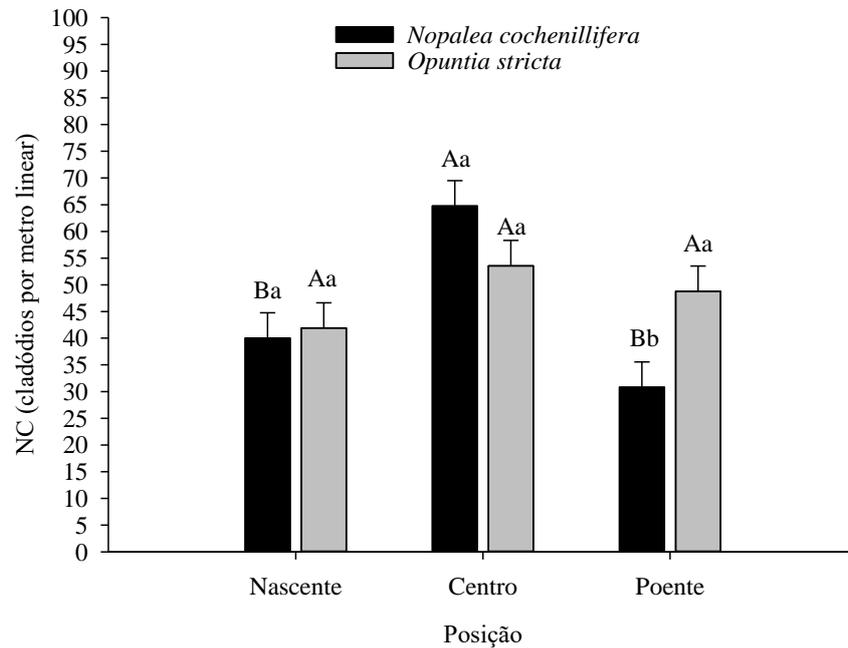


Figura 06: Número de cladódios (NC, cladódios por metro linear) de *Nopalea cochenillifera* e de *Opuntia stricta* nas posições nascente, centro e poente, em sistema silvipastoril na Caatinga. Letras minúsculas distintas em cada posição diferem entre si pelo teste de Tukey- Kramer $p < 0,05$. Letras maiúsculas distintas entre as posições diferem entre si pelo teste de Tukey- Kramer $p < 0,05$.

A *Nopalea cochenillifera* e a *Opuntia stricta* cultivadas nos sistemas SS46 apresentaram menores BFT na posição centro (Figura 07). A *Nopalea cochenillifera* e a *Opuntia stricta* não diferiram a BFT nas posições nascente e poente nos sistemas SS18, SS30 e SS46 (Figura 07). A *Nopalea cochenillifera* e a *Opuntia stricta* cultivadas no sistema SS46 apresentaram produções de BFT iguais nas posições nascente ($5571,37 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), centro ($6984,17 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e poente ($6057,40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

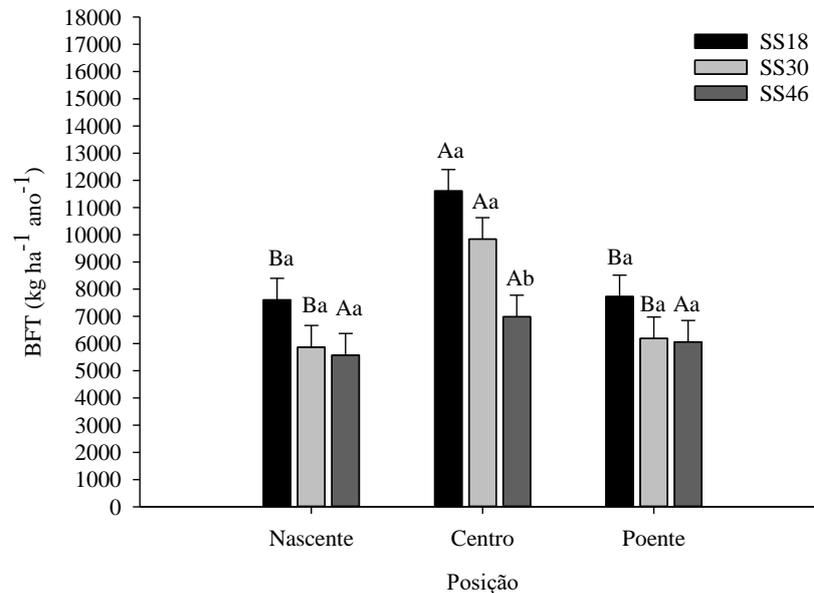


Figura 07: Biomassa de forragem total (BFT, kg ha⁻¹ ano⁻¹) de *Nopalea cochenillifera* e de *Opuntia stricta* nas posições nascente, centro e poente, em sistemas silvipastoris SS18, SS30 e SS46 em Caatinga. Letras minúsculas distintas em cada posição diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer $p < 0,05$. Letras maiúsculas distintas entre as posições diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer $p < 0,05$.

Verificou-se maior produção de biomassa da *Nopalea cochenillifera* (7.766,51 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e da *Opuntia stricta* (11.892 kg ha⁻¹ ano⁻¹) (Figura 08). Comparando a *Opuntia stricta* com a *Nopalea cochenillifera*, verificou-se maior BFT nas posições nascente, centro e poente (Figura 8).

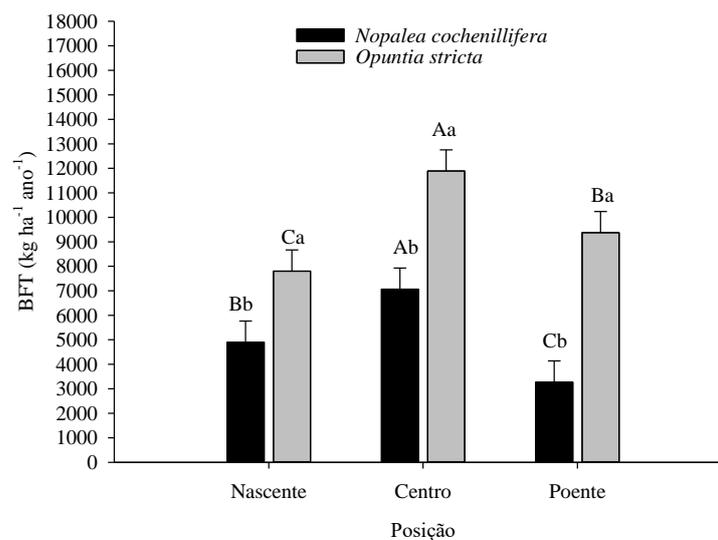


Figura 08: Biomassa de Forragem Total (BFT, kg ha⁻¹ ano⁻¹) de *Nopalea cochenillifera* e de *Opuntia stricta* nas posições nascente, centro e poente, em sistema silvipastoril na Caatinga. Letras minúsculas distintas em cada posição diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer $p < 0,05$. Letras maiúsculas distintas entre as posições diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer $p < 0,05$.

3.4 Discussão

A amostragem de características morfológicas e produtivas em várias posições no sub-bosque dos sistemas silvipastoris, representa melhor a estimativa de produção de biomassa total, auxiliando no melhor controle da taxa de lotação (SANTOS et al., 2016) e da quantidade de alimento disponível, auxiliando na melhor precisão do planejamento forrageiro. Dessa forma, ao avaliar as posições nascente e poente, verificou-se que a *Nopalea cochenillifera* apresentou-se mais vulnerável às posições próximas ao componente arbóreo, devido a menor altura média do dossel e do número de cladódios observados nas posições nascente e poente.

As posições próximas ao componente arbóreo em sistemas integrados, apresentam maior competição por luz, tornando-se ambientes críticos para o adequado desenvolvimento de plantas cultivadas, podendo ocasionar heterogeneidade nas características estruturais e na produção de biomassa (PEZZOPANE et al., 2015). Nesse sentido, vale ressaltar a importância da radiação solar para o crescimento das culturas, podendo ocorrer relação linear entre produção de biomassa e energia radiante absorvida ao longo do ciclo para várias espécies (TOLLENAR e BRUULSEMA, 1988). Assim, a densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) ao longo do ciclo de crescimento da palma forrageira constitui fator de relevância na dinâmica e acúmulo de biomassa, porém, não se mostrando limitante em monocultivo de palma forrageira cv. gigante em duas regiões semiáridas (LOPES, 2016), com valores de DFFF de 25,9 a 38,4 mol m⁻² dia⁻¹ em 2011 e de 25,2 a 37,2 mol m⁻² dia⁻¹ em 2012 (Quixadá) e de 25,9 a 39,7 mol m⁻² dia⁻¹ em 2011 e de 26,0 a 39,8 mol m⁻² dia⁻¹ em 2012 (Tejuçuoca).

O estudo em apreço, com sistemas integrados, pode ter limitado a chegada de radiação solar (DFFF) no dossel das palmas nas posições nascente e poente, como também na posição centro do sistema com maior densidade de plantas SS46 (1.418 árvores por hectare) influenciado a assimilação de CO₂ e, conseqüentemente, a produtividade das culturas no ambiente próximo ao componente arbóreo. Conforme Nobel (1991), em *Opuntia ficus-indica*, à medida que a DFFF aumenta acima de 2 mol m⁻² dia⁻¹, ocorre captação atmosférica do CO₂, chegando à metade de seu máximo com DFFF de 13 mol m⁻² dia⁻¹ e 90% do máximo em DFFF de 22 mol m⁻² dia⁻¹. Com DFFF de, aproximadamente, 30 mol m⁻² dia⁻¹ ocorre saturação na captação atmosférica do CO₂.

De acordo com Gommers et al. (2013), os estratos superiores de árvores absorvem parte da radiação incidente na banda do vermelho ($\lambda = 600$ a 700 nm) e azul ($\lambda = 400$ a 500 nm), refletem e transmitem para os estratos inferiores parte dos comprimentos de onda do vermelho

distante ($\lambda = 700$ a 800 nm). Assim, há um decréscimo na relação vermelho/vermelho distante nos estratos inferiores sombreados. A baixa absorção luminosa interfere na etapa fotoquímica da fotossíntese, na cadeia de transporte de elétrons e em parte da produção necessária de energia utilizada para transformar o CO_2 em carboidratos (MENDES et al., 2013).

As densidades de árvores nos sistemas SS30 (925 árvores por hectare) e SS18 (524 árvores por hectare) não interferiram na produção de biomassa da *Opuntia stricta* e da *Nopalea cochenillifera* na posição centro, configurando-se como modelos de sistemas integrados com potencial de utilização no bioma Caatinga.

A maior produção da *Opuntia stricta* em todas as posições está relacionado com a maior área de cladódio quando comparada com a *Nopalea cochenillifera* (PEREIRA et al., 2015). Além disso, verificou-se maior altura média do dossel da *Opuntia stricta* em todas as posições avaliadas.

A aproximação do componente arbóreo também pode promover competição por água, devido à maior demanda hídrica das árvores. Ivanov et al. (2017), comparando árvores de um sistema agroflorestal com árvores de uma floresta secundária em Caatinga, verificaram que a maior densidade de árvores propicia menor disponibilidade de água no solo. Dessa forma, nas posições nascente e poente avaliadas nesse estudo, observou-se maior murchamento das palmas cultivadas, principalmente, a *Nopalea cochenillifera* quando submetidas a condições de estresse hídrico moderado. Provavelmente, as culturas nessas posições tiveram competição hídrica mais intensa quando comparado com a posição centro.

A palma *Opuntia stricta* apresentou maior potencial de adaptação às condições de baixa disponibilidade de água no solo quando comparada com a *Nopalea cochenillifera*. Essa característica é atribuída à maior capacidade de acumular mais água nos cladódios, sendo importante para manter a turgescência em situações de estresse hídrico (PEREIRA et al. 2015). Nesse contexto, a *Opuntia stricta* apresentou maior homogeneidade nas posições, corroborando com a manutenção da altura média do dossel e número de cladódios entre as posições avaliadas.

Além da competição por luz e água, a *Opuntia stricta* e a *Nopalea cochenillifera* sofreram ataques de roedores da espécie *Cavia aperea* (preá), afetando o desenvolvimento nas posições nascente e poente, pois esses roedores usaram a área com árvores como abrigo, intensificando os ataques nas posições mais próximas das árvores (nascente e poente). A *Opuntia stricta* se apresentou menos atacada pelos roedores. Verificou-se intensificação no ataque de *Cavia aperea* nas palmas forrageiras entre os meses de agosto e dezembro. Esses meses apresentam baixa precipitação (Figura 01), ocasionando reduções na oferta de alimentos

e de água para esses animais. Como a palma forrageira mantém seus cladódios com elevado teor de água (88%) durante o período seco, configura-se como reserva alimentar para esses tipos de roedores.

3.4 Conclusão

Os sistemas silvipastoris SS30 e SS18 podem ser adotados sem comprometimento das características estruturais e produtivas da palma *Opuntia stricta* e *Nopalea cochenillifera*. A palma *Nopalea cochenillifera* apresenta maior sensibilidade à competição imposta pelo componente arbóreo, apresentando dificuldades para o estabelecimento em localidades próximas as árvores em sistemas silvipastoris.

4 CAPÍTULO III: DIVERSIDADE DE PLANTAS E DESENVOLVIMENTO DA *CORDIA GOELDIANA* EM CAATINGA RALEADA EM FAIXAS E PRESERVADA

RESUMO

Objetivou-se avaliar a diversidade e o desenvolvimento arbóreo da Caatinga raleada em faixas comparada com uma área de Caatinga preservada. O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus* Limoeiro do Norte-CE, durante os anos 2018 e 2019. A área experimental consistiu de nove faixas de Caatinga circundada por vegetação natural preservada. Entre as faixas foram implantados o *Urochloa mosambicensis* (capim-corrente), o *Pennisetum ciliare* (capim-buffel), o *Megathyrsus maximus* (capim-massai), a *Opuntia stricta* (palma orelha de elefante mexicana) e a *Nopalea cochenillifera* (palma miúda) em parcelas constituindo o componente herbáceo. Os tratamentos utilizados foram: área raleada em faixas da Caatinga e área de vegetação de Caatinga preservada em estágio de sucessão secundária. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com medidas repetidas no tempo. Foram realizadas avaliações de: levantamento fitossociológicos das espécies arbóreas, densidade relativa, altura total da planta, diâmetro da altura da base a 0,30 m do solo, diâmetro da altura do peito a 1,3 m do solo. No levantamento fitossociológico, as espécies pertencentes a família *Fabaceae* se apresentaram bem representativas com presença de 07 das 12 espécies identificadas, em ambas áreas de Caatinga, verificou-se predominância da espécie *Cordia goeldiana* com 81,6 % de densidade relativa na Caatinga raleada em faixas e 79,17% na Caatinga preservada. Ao avaliar a espécie *Cordia goeldiana* nas áreas de Caatinga raleada e Caatinga preservada, não houve diferença estatística para altura total da planta. A Caatinga raleada apresentou menor índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') e índice de equabilidade de Pielou (J'). O raleamento mecanizado da Caatinga em faixas diminuiu a diversidade de plantas que apresentam baixa densidade relativa, sem afetar o diâmetro e o volume de *Cordia goeldiana* no período de três anos.

Palavras-chave: Cobertura lenhosa. Raleamento. Incremento de madeira

ABSTRACT

The aim of this chapter was to evaluate the diversity and the arboreal development of the grated Caatinga in bands compared to a preserved area of Caatinga. The experiment was conducted at the Teaching, Research and Extension Unit (UEPE) of the Federal Institute of Science and Technology of Ceará (IFCE), Campus Limoeiro do Norte, CE, during the years 2018 and 2019. The experimental area consisted of nine tracks of Caatinga surrounded by preserved natural vegetation. Among the strips were implanted *Urochloa mosambicensis* (current grass), *Pennisetum ciliare* (buffel grass), *Megathyrus maximus* (massai grass), *Opuntia stricta* (Mexican elephant ear palm) and *Nopalea cochenillifera* (small palm) in plots constituting the herbaceous component. The treatments used were: thinned area in Caatinga strips and area of Caatinga vegetation preserved in secondary succession stage. The experimental design was completely randomized with repeated measures over time. Evaluations of: phytosociological survey of tree species, relative density, total height of the plant, diameter of the height of the base at 0.30 m from the soil, diameter of the height of the chest at 1.3 m from the soil were carried out. In the phytosociological survey, the species belonging to the *Fabaceae* family were very representative with the presence of 07 of the 12 identified species. In both areas of Caatinga, there was a predominance of the species *Cordia goeldiana* with 81.6% of relative density in the Caatinga, grated in bands and 79.17% in the preserved Caatinga. When evaluating the species *Cordia goeldiana* in the areas of grated Caatinga and preserved Caatinga, there was no statistical difference for total plant height. The thinned Caatinga showed a lower Shannon-Weaver diversity index (H') and Pielou's equability index (J'). The mechanized thinning of the Caatinga in bands decreases the diversity of plants that have low relative density, without affecting the diameter and volume of *Cordia goeldiana* in the period of three years.

Key words: Woody cover. Grating. Wood incremente.

4.1 Introdução

A Caatinga é um importante bioma predominantemente brasileiro ocupando 11% do território nacional (ALVES et al., 2009). Para o cultivo na Caatinga, a maioria dos produtores tradicionais realizam o corte raso e a queima da vegetação natural, cultivando por dois a três anos e, em seguida, abandonando as áreas para recomposição da vegetação natural e fertilidade do solo (CAMPANHA et al., 2011; NUNES et al., 2009). Esse método de exploração da Caatinga associado aos frequentes eventos de seca, promovem a degradação do bioma (PEREIRA FILHO et al., 2013), que é agravado com o sobrepastejo.

Desenvolver sistemas produtivos sustentáveis que mantenham a biodiversidade arbórea com o mínimo de perturbação é fundamental para o ecossistema Caatinga. Assim, o raleamento em faixas da vegetação natural da Caatinga associado ao enriquecimento com culturas herbáceas agrícolas e/ou pastoris formam os sistemas de integração lavoura pecuária floresta. Esses sistemas, possibilitam a manutenção da biodiversidade, sendo usados como alternativa de recuperação de áreas degradadas, melhorando a ciclagens de nutrientes, além de promover receita adicional pela comercialização orientada do componente arbóreo (LIMA et al., 2019; PACIULLO et al., 2011).

O raleamento do componente arbóreo em faixas favorece o uso de mecanização agrícola, o que possibilita o cultivo de extensas áreas e também evita o processo de erosão do solo quando as faixas são posicionadas em sentido oposto à declividade do terreno. O raleamento também diminui a competição pelos recursos naturais entre as árvores, podendo promover maior desenvolvimento dos componentes arbóreo e herbáceo (ARAÚJO FILHO 2013).

Ivanov et al. (2017), comparando árvores de um sistema agroflorestal com árvores de uma floresta secundária em Caatinga, verificaram que a maior densidade de árvores propicia menor disponibilidade de água no solo. Conrado et al. (2019), avaliando o componente arbóreo de uma vegetação de Caatinga raleada em savana com uma vegetação de Caatinga não manipulada, verificaram que as árvores presentes no raleamento em savana apresentaram maiores diâmetros da altura da base e diâmetro da altura do peito, como também maiores alturas de plantas. Desse modo, comprovam o efeito do raleamento em savana em promover maiores incremento em madeira.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a diversidade e o desenvolvimento arbóreo de uma área de vegetação de Caatinga raleada em faixas comparada com uma área de vegetação de Caatinga preservada.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Localização, área experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus* Limoeiro do Norte, na Chapada do Apodi-CE. A área experimental é composta de relevo plano e caracterizada pela predominância de solos da classe dos Cambissolos (SANTOS et al., 2006) com coordenadas geográficas de 05°10'53" sul e 38°00'43" oeste e altitude de 146 m. O clima da região é classificado como B (seco) S (semiárido) h (quente) (KÖPPEN 1936). O experimento foi conduzido durante os anos 2018 e 2019. Para caracterização do clima na área experimental, utilizou-se dados da estação meteorológica localizada a, aproximadamente, 150 m da área experimental (Figura 01). A precipitação acumulada durante os anos de avaliação foi de 805,75 mm (2018) e 716,32 mm (2019).

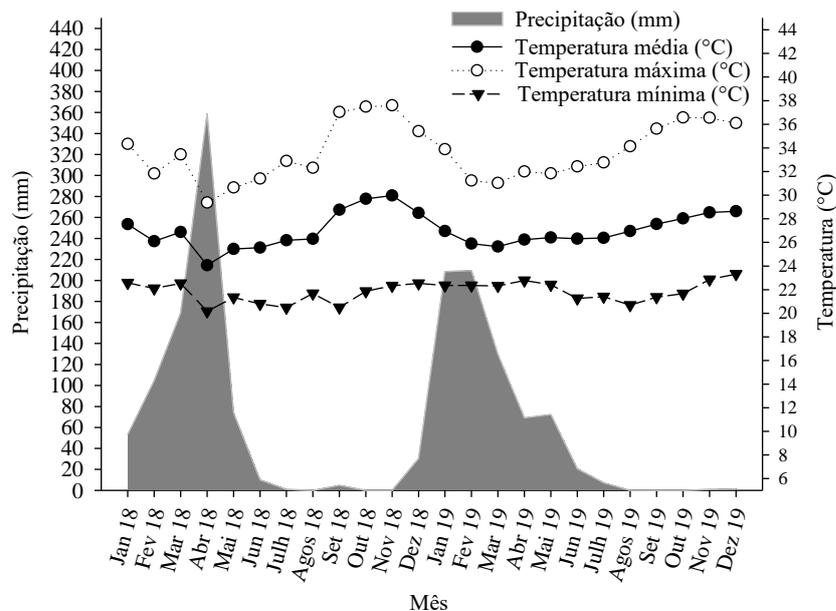


Figura 01: Precipitação mensal (mm), Temperatura média (°C), Temperatura máxima (°C) e Temperatura mínima (°C) durante os anos 2018 e 2019.

Fonte: dados obtidos na estação meteorológica automática localizada na UEPE

A área experimental constou de nove faixas de árvores de vegetação natural da Caatinga (componente arbóreo) com dimensões de 6,0 x 100,0 m, circundada por vegetação natural preservada. O raleamento ocorreu no período seco de 2015, utilizando trator com lâmina frontal, suprimindo 100% da vegetação presente na área cultivável (sub-bosque), direcionando o material residual para as bordas.

No sub-bosque, foram implantados na estação chuvosa do ano 2016 o *Urochloa mosambicensis* (Capim-corrente), o *Pennisetum ciliare* (capim-buffel) e *Megathyrsus maximus* (capim-massai), a *Opuntia stricta* (palma orelha de elefante mexicana) e a *Nopalea cochenillifera* (palma miúda) em parcelas com área de 70 m² (07 m entre faixas), 140 m² (14 m entre faixas) e 280 m² (28 m entre faixas). Os tratamentos consistiram em: área raleada em faixas com árvores da Caatinga com 6,0x100,0 m e área de vegetação de Caatinga preservada em estágio de sucessão secundária. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com 6 repetições com medidas repetidas no tempo (2018 e 2019).

O raleamento da vegetação em faixas foi realizado em 2015 durante o período de ausência de precipitação (período seco). As culturas pastoris foram implantadas no ano 2016 durante o período com presença de precipitação (período chuvoso). As avaliações referentes ao componente arbóreo foram realizadas em dez transetos com 6,0x10,0 m (seis na área de Caatinga raleada e quatro na área de Caatinga preservada) no final do período chuvoso (julho) dos anos 2018 e 2019.

Foram realizadas avaliações de: levantamento fitossociológicos das espécies arbóreas; densidade relativa (DR, %): indivíduos por espécie em função do número total de indivíduos por hectare.

Estimou-se o índice de diversidade de Shannon-Weaver (H')

$$H' = -\sum_{i=1}^S Pi * Ln Pi$$

Onde:

Pi= Abundância relativa (proporção) da espécie i na amostra

Estimou-se o índice de equabilidade de Pielou (J')

$$J' = \frac{H'}{\ln S}$$

Mensurou-se a altura total da planta (m): comprimento da superfície do solo até o topo da copa, mensurada com auxílio de bastão graduado de madeira com 6,0 metros de comprimento; diâmetro da altura da base a 0,30 m do solo (DAB); diâmetro da altura do peito

a 1,3 m do solo (RODAL et al., 2013). Determinou-se o volume geométrico (Vg, m³) das espécies arbóreas na área raleada e na área preservada segundo método de Smalian.

As avaliações referentes a altura total de planta, DAB, DAP e Vg foram realizadas na espécie *Cordia goeldiana*, visto sua maior densidade relativa apresentada.

4.2.2 Análise estatística

A normalidade dos dados foi testada pelo teste de Cramer-von Mises. Os dados foram analisados por meio do procedimento de modelos mistos PROC MIXED do SAS (SAS Institute. Inc. 2015). Na escolha da estrutura da matriz de covariância para medidas repetidas utilizou-se o critério de informação de Akaike corrigido e o critério de informação Bayesiano. Os efeitos dos tratamentos e suas interações foram considerados significativos a um p-valor < 0,05. Quando encontradas diferenças significativas, o teste de comparação de médias foi realizado pelo teste de Tukey-Kramer a um p-valor < 0,05.

4.3 Resultados e discussão

No levantamento fitossociológico identificou-se as espécies *Cordia goeldiana*, *Poincianera pyramidalis*, *Commiphora leptophloeos*, *Mimosa caesalpinifolia* e *Mimosa tenuiflora* na área de Caatinga raleada e *Cordia goeldiana*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Poincianera pyramidalis*, *Commiphora leptophloeos*, *Mimosa tenuiflora*, *Peltophorum dubium*, *Jatropha mollissima* na área de Caatinga preservada (Tabela 01). As espécies pertencentes à família *Fabaceae* se apresentaram bem representativas com presença de 7 das 12 espécies identificadas (Tabela 01). Em ambas as áreas de Caatinga, verificou-se predominância da espécie *Cordia goeldiana* com 81,6 % de densidade relativa na Caatinga raleada em faixas e 79,17% na Caatinga preservada (Tabela 01).

Tabela 01: Identificação e densidade relativa de espécies arbóreas presente em Caatinga raleada em faixas e Caatinga preservada

| Família | Nome científico | Nome comum | DR (%) |
|---------------------|-------------------------|------------|--------|
| Caatinga preservada | | | |
| <i>Boraginaceae</i> | <i>Cordia goeldiana</i> | Freijó | 79,17 |

| | | | |
|----------------------|--------------------------------|---------------------|-------|
| <i>Fabaceae</i> | <i>Mimosa caesalpinifolia</i> | Sabiá | 8,33 |
| <i>Fabaceae</i> | <i>Poincianera pyramidalis</i> | Catingueira | 6,25 |
| <i>Burseraceae</i> | <i>Commiphora leptophloeos</i> | Imburana de espinho | 2,08 |
| <i>Fabaceae</i> | <i>Mimosa tenuiflora</i> | Jurema preta | 2,08 |
| <i>Fabaceae</i> | <i>Peltophorum dubium</i> | Canafistula | 1,04 |
| <i>Euphorbiaceae</i> | <i>Jatropha mollissima</i> | Pinhão bravo | 1,04 |
| Caatinga raleada | | | |
| <i>Boraginaceae</i> | <i>Cordia goeldiana</i> | Freijó | 81,59 |
| <i>Fabaceae</i> | <i>Poincianera pyramidalis</i> | Catingueira | 7,87 |
| <i>Burseraceae</i> | <i>Commiphora leptophloeos</i> | Imburana de espinho | 5,27 |
| <i>Fabaceae</i> | <i>Mimosa caesalpinifolia</i> | Sabiá | 2,56 |
| <i>Fabaceae</i> | <i>Mimosa tenuiflora</i> | Jurema Preta | 2,56 |

A apresentação das espécies seguiu ordem decrescente dos valores de densidade relativa encontrada nessa pesquisa

Conrado et al. (2019) e Campanha et al. (2011) avaliaram as áreas de Caatinga manipuladas e não manipuladas, encontraram maiores proporções de espécies da família *Fabaceae* corroborando com os valores encontrados nesse trabalho. As *Fabaceae* apresentam processo biológico de fixação de nitrogênio no solo, tornando-se importantes para melhoria da fertilidade dos solos de Caatinga que, historicamente, apresentam baixa fertilidade para o nitrogênio (FREITAS et al., 2011).

A espécie *Cordia goeldiana* apresenta característica de dominância e alto grau de disseminação em áreas que se encontram em estágio de sucessão, principalmente, em regiões com predominância de solos mais profundos, corroborando com o presente estudo. Campanha et al. (2011) avaliaram a composição florística arbórea de áreas de Caatinga manipulada e não manipulada, verificaram superior frequência e densidade relativa de *Cordia goeldiana* pertencente à família *Boraginaceae*. Os autores inferiram que as espécies dessa família apresentam elevado valor de dominância, sobressaindo com maior frequência e densidade relativa.

A *Cordia goeldiana* apresenta pluralidades de usos e possui elevado valor comercial, sendo muito utilizada nos programas de reflorestamento (FERNANDES et al., 2007). Dessa forma, o uso racional e controlado do *Cordia goeldiana* no sistema estudado pode ser utilizado como fonte de renda extra, incrementando a receita total do sistema pela comercialização da madeira.

A área de Caatinga preservada apresentou duas espécies (*Peltophorum dubium* e *Jatropha molíssima*) não observadas na área de Caatinga raleada, impactando em superioridade no índice de diversidade de Shannon-Weaver (1,10 vs 0,91) e equabilidade de Pielou (0,66 vs 0,36) (Tabela 02).

Tabela 02: Índices de diversidade de Shannon-Weaver (H') e índice de equabilidade de Pielou (J') de Caatinga raleada em faixas e Caatinga preservada

| Variáveis | Caatinga raleada | Caatinga preservada |
|-----------|------------------|---------------------|
| H' | 0,91 | 1,10 |
| J' | 0,36 | 0,66 |

O raleamento em faixas efetuado de forma mecanizada oferece maiores benefícios econômicos e de logística quando comparado com o raleamento em Savana. No entanto, não permite selecionar espécies desejadas, como é realizado no raleamento em Savana, pois é feita a remoção de todas as plantas que se encontram na faixa de cultivo. Possivelmente, o raleamento promoveu o desaparecimento das espécies *Peltophorum dubium* e *Jatropha molíssima* na área trabalhada. Apesar desse efeito, o raleamento em faixas permite maior densidade de árvores por hectare quando comparado com raleamento em Savana. Essa característica é importante quando se deseja fazer uso do componente arbóreo de forma orientada e segura, fornecendo segurança econômica ao sistema.

Apesar da menor diversidade verificada na área raleada, a manutenção do componente arbóreo em sistemas de integração pecuária floresta em Caatinga promove manutenção da flora natural, potencializando a conservação da biodiversidade quando comparado com sistemas de monocultivos (ALVES et al., 2017). Além disso, a integração pecuária floresta promove a proteção de espécies fora das áreas de preservação permanente, reduzindo a pressão de uso sobre formações vegetais naturais e áreas de preservação permanente (BHAGWAT et al., 2008).

Ao avaliar a espécie *Cordia goeldiana* nas áreas de Caatinga raleada e Caatinga preservada não houve diferença para as variáveis altura total de planta, DAB, DAP e Vg (Tabela 03).

Tabela 03: Altura total da planta, diâmetro a altura da base (DAB), diâmetro a altura do peito (DAP) e volume geométrico (Vg) de *Cordia goeldiana* em área de Caatinga raleada em faixas e área de Caatinga preservada nos anos 2018 e 2019

| Variáveis | Caatinga raleada | Caatinga preservada | Média |
|----------------------------|------------------|---------------------|-------|
| Ano 2018 | | | |
| Altura total da planta (m) | 3,80±0,20 | 4,15±0,32 | 3,98 |
| DAB (cm) | 10,26±0,86 | 9,00±1,36 | 9,18 |
| DAP (cm) | 8,70±0,79 | 7,50±1,25 | 7,85 |
| Vg (m ³) | 0,78±0,24 | 0,45±0,39 | 0,61 |
| Ano 2019 | | | |
| Altura total da planta (m) | 4,24±0,20 | 4,95±0,32 | 4,60 |
| DAB (cm) | 11,34±0,86 | 9,00±1,36 | 10,17 |
| DAP (cm) | 9,70±0,79 | 7,85±1,25 | 8,77 |
| Vg (m ³) | 1,12±0,24 | 0,35±0,39 | 0,74 |

A idade da área raleada (3 anos) não foi suficiente para promover modificações significativas na altura de planta, diâmetro e volume da *Cordia goeldiana* entre a área de Caatinga raleada e a área de Caatinga preservada. No entanto, verificou-se que houve incremento positivo na área de Caatinga raleada considerando as variáveis DAB, DAP e Vg nos anos 2018 (1,26; 1,20; 0,33, respectivamente) e 2019 (2,34; 1,85; 0,77, respectivamente).

Conrado et al. (2019) compararam área de Caatinga raleada em Savana com área de Caatinga não manipulada, verificaram maiores valores de DAB e DAP na Caatinga manipulada em Savana. Os autores atribuíram o maior incremento nestas variáveis à menor densidade de árvores presente na savana, diminuindo a competição. No entanto, a idade entre os sistemas deve ser considerada, pois o raleamento em savana, especificado pelo autor, foi realizado em 1997 e avaliado em 2016, constituindo 19 anos de sistema. Assim, o raleamento possibilitou maior desenvolvimento das árvores, principalmente, pela redução da competição. No entanto, esse incremento no volume de madeira parece ser lento, não ocorrendo respostas a curto prazo, como verificada neste trabalho.

4.4 Conclusão

O raleamento mecanizado da Caatinga em faixas diminui a diversidade de plantas que apresentam baixa densidade relativa, sem afetar o diâmetro e o volume de *Cordia goeldiana* no período de três anos.

5 CAPÍTULO IV: MICROCLIMA E ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS EM AMBIENTE SEMIÁRIDO.

RESUMO

Objetivou-se avaliar o microclima e os índices de conforto térmico, em sol e sombra, em sistema silvipastoril com diferentes coberturas lenhosas. O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará, *Campus* Limoeiro do Norte, na Chapada do Apodi-CE, durante o ano de 2018. A área experimental foi constituída de três sistemas silvipastoris arranjados em diferentes espaçamentos entre faixas de vegetação arborea árvore da Caatinga (componente arbóreo) com dimensões de 6,0 x 100 m, posicionados em sentido norte-sul. Os tratamentos consistiram em: forragem cultivada sob cobertura lenhosa de 46,15% (SS46, 1418, árvores/hectare), forragem cultivada sob cobertura lenhosa de 30,00% (SS30, 925 árvores/hectare) e forragem cultivada sob cobertura lenhosa de 17,64% (SS18, 524 árvores/hectare). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas com medidas repetidas no tempo. As avaliações foram realizadas durante três dias consecutivos, nas épocas vegetativo, transição e dormência, considerando épocas fenológicas das árvores da Caatinga, nos horários 6h:00; 10h:00; 14h:00 e 18h:00 horas nas posições sol e sombra. Foram coletadas as variáveis ambientais, umidade relativa (%), velocidade do vento ($m s^{-1}$) temperatura do bulbo seco ($^{\circ}C$), temperatura do bulbo úmido ($^{\circ}C$), temperatura do globo negro ($^{\circ}C$) e temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}C$), para os cálculos do índice de temperatura globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR). Os sistemas SS46, SS30 e SS18 não apresentaram diferenças entre o índice de temperatura de globo negro e umidade e a carga térmica radiante na posição sol. Houve reduções significativas no índice de temperatura de globo negro e umidade e a carga térmica radiante no interior do componente arbóreo promovendo melhoria no ambiente térmico nos horários de maior carga de radiação. A posição sombra promoveu melhores condições de conforto térmico animal em todos os arranjos silvipastoris e períodos do ano.

Palavras-chave: Conforto térmico. Cobertura lenhosa. Estresse térmico. Região semiárida

ABSTRACT

The aim of this chapter was to evaluate the microclimate and indices of thermal comfort, in sun and shade, in a silvopastoral system with different woody coverings. The experiment was conducted at the Teaching, Research and Extension Unit of the Federal Institute of Science and Technology of Ceará, Campus Limoeiro do Norte, in Chapada do Apodi, CE, during 2018. The experimental area consisted of three silvopastoral systems arranged in different spacing between bands of arboreal vegetation Caatinga tree (arboreal component) with dimensions of 6.0 x 100 m, positioned in the north south direction. The treatments consisted of: forage grown under 46.15% wood cover (SS46, 1418, trees / hectare), forage grown under 30.00% wood cover (SS30, 925 trees / hectare) and forage grown under wood cover. 17.64% (SS18, 524 trees / hectare). The experimental design was completely randomized in a split plot scheme with repeated measures over time. The evaluations were carried out during three consecutive days, in the vegetative, transition and dormancy seasons, considering the phenological periods of the Caatinga trees, at 6:00 am; 10:00 am; 14h:00 and 18h:00 hours in the sun and shade positions. The environmental variables, relative humidity (%), wind speed (m s^{-1}), dry bulb temperature ($^{\circ}\text{C}$), wet bulb temperature ($^{\circ}\text{C}$), black globe temperature ($^{\circ}\text{C}$) and temperature were collected. For calculating the black globe temperature and humidity index (ITGU) and radiant thermal load (CTR). The SS46, SS30 and SS18 systems showed no differences between the black globe temperature and humidity index and the radiant thermal load in the sun position. There were significant reductions in the temperature index of black globe and humidity and the radiant thermal load inside the tree component promoting improvement in the thermal environment at times of higher radiation load. The shade position promoted better conditions of animal thermal comfort in all silvopastoral arrangements and periods of the year.

Keywords: Thermal comfort. Woody cover. Heat stress. Semi-arid region.

5.1 Introdução

Segundo o IPCC (2013), os cenários futuros propõem aumento da temperatura média global devido, principalmente, aos gases do efeito estufa (GEE), que poderão impactar negativamente nos rebanhos, acarretando danos na sua fisiologia, metabolismo, sanidade e, conseqüentemente, respostas produtivas (NARDONE et al., 2010).

Diante deste cenário, em sistemas de produção em pastejo, os sistemas silvipastoris se tornam importantes no fornecimento de ambientes com melhor conforto térmico (BROOM et al., 2013), além de promover benefícios sociais, ambientais e econômicos (NAIR, 1989).

Diversos trabalhos foram realizados nas regiões de clima subtropical úmido e tropical úmido no Brasil com o objetivo de verificar os índices de conforto térmico animal em diferentes espaçamentos do componente arbóreo (KARVATTE JR et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2018; PEZZOPANE et al., 2019; GIRO et al., 2019). Em regiões semiáridas quentes o impacto do clima sobre o estresse térmico é ainda mais crítico, sendo importante a adoção de sistemas integrados de produção, mas poucos são os estudos com esse objetivo no Semiárido brasileiro, região que abriga 28.593.389 milhões de bovinos, 13.512.739 milhões de ovinos e 10.687.777 milhões de caprinos (IBGE, 2019), havendo ainda um crescente interesse na região pela menor incidência de doença nos rebanhos.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o microclima e os índices de conforto térmico animal, em ambiente de sol e sombra, em sistema silvipastoril no Semiárido brasileiro com diferentes coberturas lenhosas.

5.2 Material e métodos

5.2.1 *Localização, área experimental e tratamentos*

O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus* Limoeiro do Norte, na Chapada do Apodi-CE. A área experimental é composta de relevo plano e caracterizada pela predominância de solos da classe dos Cambissolos (SANTOS et al., 2006) com coordenadas geográficas de 05°10'53" S e 38°00'43" W e altitude de 146 m. O clima é classificado como B (seco) S (semiárido) h (quente) (KÖPPEN 1936). O experimento foi conduzido durante o ano

de 2018. Para caracterização do clima da região, utilizou-se dados de uma estação meteorológica automática, localizada, aproximadamente, a 150 m da área experimental.

Os dados de temperatura média (°C), temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C), umidade relativa (%), precipitação (mm) e velocidade do vento (m/s) da estação meteorológica, coletados no ano 2018, podem ser observados nas Figuras 01 e 02. Precipitação acumulada, temperatura média, umidade relativa média e velocidade do vento média durante o ano de 2018 foram de: 805,75 mm; 27,08°C; 74,86% e 1,94 m s⁻¹, respectivamente.

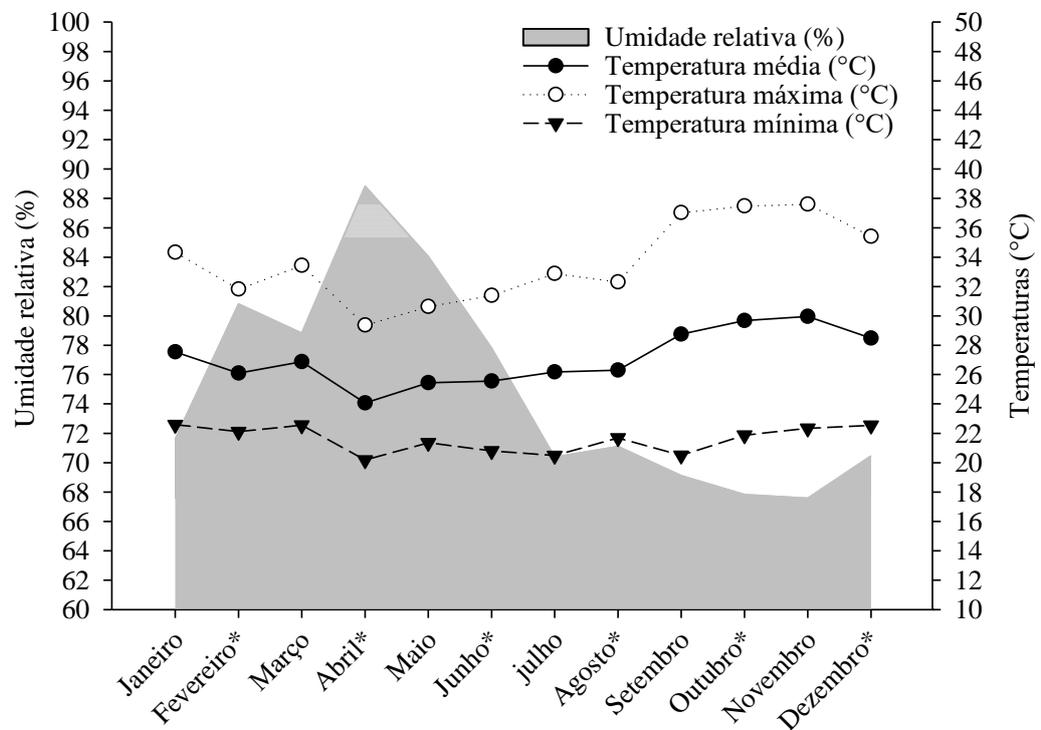


Figura 01: Temperatura média (°C), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C) e umidade relativa (%) nos meses do ano 2018.

Fonte: dados obtidos na estação meteorológica automática localizada na UEPE

*meses de avaliação experimental

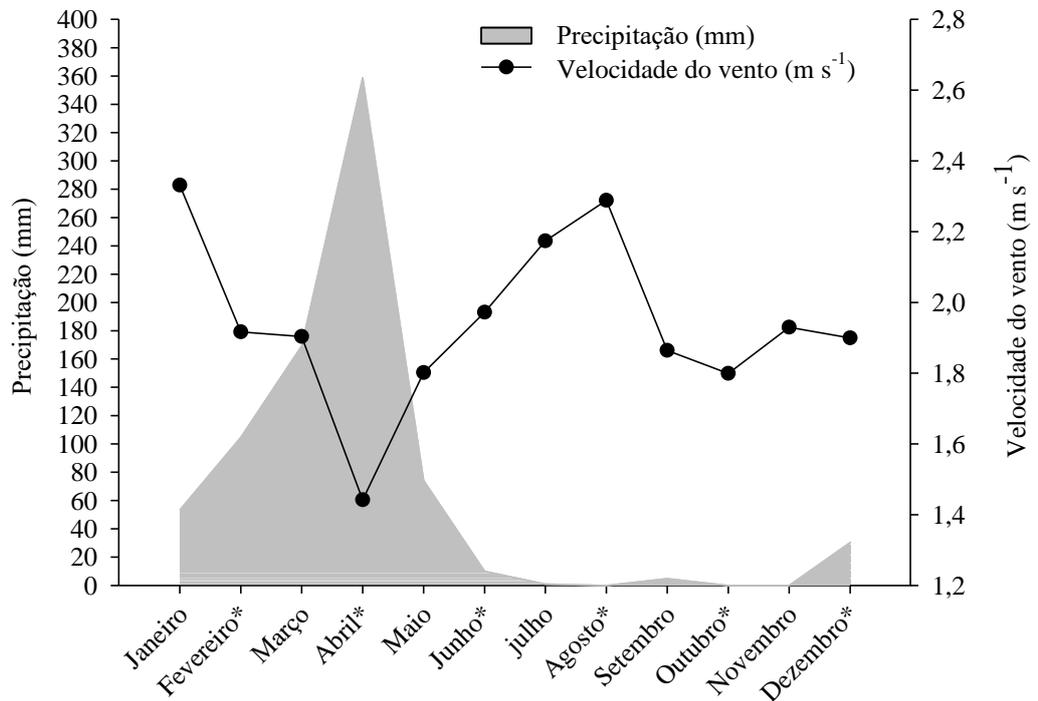


Figura 02: Precipitação (mm) e Velocidade do vento (m s⁻¹) nos meses do ano de 2018.

Fonte: dados obtidos na estação meteorológica automática localizada na UEPE

*meses de avaliação experimental

A área experimental foi constituída de três sistemas silvipastoris arranjados em diferentes espaçamentos entre faixas de cobertura lenhosa da Caatinga (componente arbóreo) com dimensões de 06,0 x 100,0 m, posicionados em sentido norte-sul. O raleamento ocorreu no período seco de 2015, utilizando trator com lâmina frontal, suprimindo 100% da vegetação presente na área cultivável, direcionando o material residual para as bordas.

Após levantamento fitossociológico identificou-se as seguintes espécies arbóreas: *Cordia goeldiana* (Freijó), *Poincianera pyramidalis* (Catingueira), *Mimosa caesalpiniaefolia* (Sabiá), e *Combretum leprosum* (Mofumbo). O freijó apresentou maior densidade relativa (76%), seguida do Sabiá (11%). A altura média do componente arbóreo foi de 3,98 m. No sub-bosque, foram implantadas na estação chuvosa do ano 2016 o *Pennisetum ciliare* (capim-buffel), o *Urochloa mosambicensis* (capim-corrente) e o *Megathyrus maximus* (capim-massai), em parcelas.

As coberturas lenhosas 46,15; 30,00 e 17,64% foram obtidas considerando 6,0 m de faixa com árvores da Caatinga, atribuindo espaçamentos de 07, 14 e 28 m (sub-bosque),

respectivamente (Figura 2). Obtiveram-se densidades de 1.418 árvores por hectare (46,15%), 925 árvores por hectare (30,00%) e 524 árvores por hectare (17,64%).

Os tratamentos consistiram em: forragem cultivada sob cobertura lenhosa de 46,15% (SS46, 1418, árvores/hectare), forragem cultivada sob cobertura lenhosa de 30,00% (SS30, 925 árvores/hectare) e forragem cultivada sob cobertura lenhosa de 17,64% (SS18, 524 árvores/hectare) (Figura 3). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas com medidas repetidas no tempo.

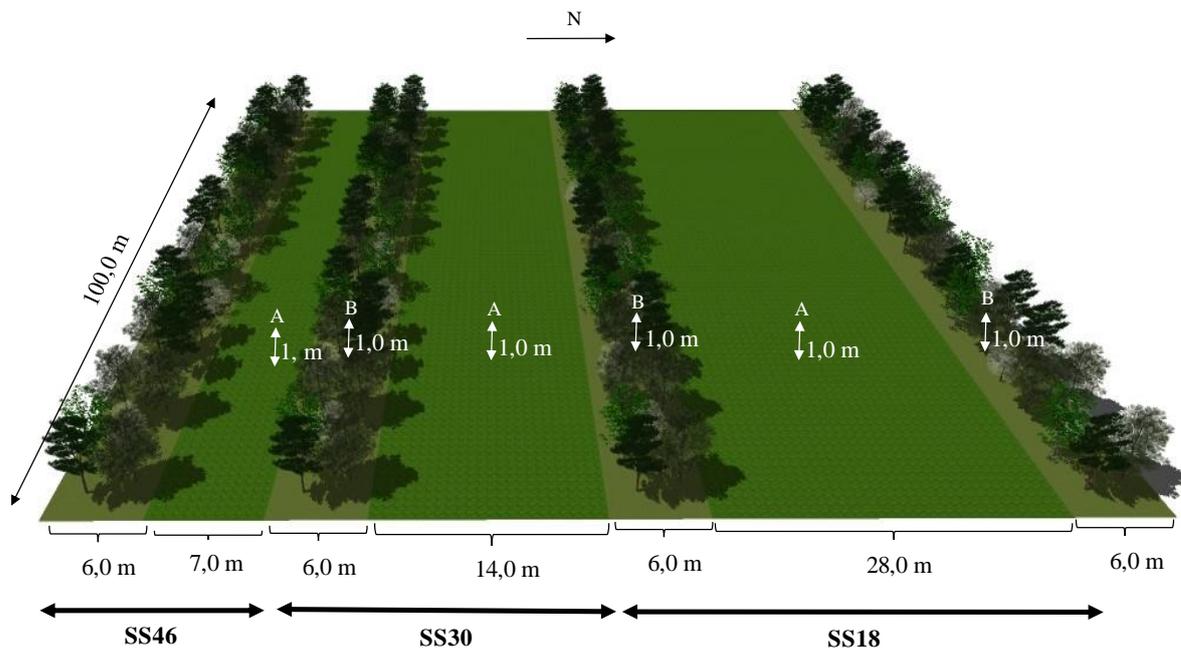


Figura 03: Representação esquemática com pontos de fixação de equipamentos (A: posição sol; B: posição sombra) em sistemas silvipastoris SS46 (07 m entre faixas de árvores, 1418 árvores por hectare), SS30 (14 m entre faixas de árvores, 925 árvores por hectare) e SS18 (28 m entre faixas de árvores, 524 árvores por hectare).

A obtenção dos níveis seguiu recomendações de Araújo Filho (1992) que estabeleceu cobertura lenhosa de 30% em raleamento do tipo Savana sem comprometimento do crescimento do estrato herbáceo natural, dessa forma, optou-se por cobertura lenhosa do tipo em faixas estabelecendo níveis superior, inferior e equivalente ao proposto pelo autor.

5.2.2 Obtenção dos dados microclimáticos

Foram obtidas as variáveis microclimáticas, temperatura do bulbo seco (°C), temperatura do bulbo úmido (°C), temperatura do globo negro (°C) e temperatura do ponto de orvalho (°C) com auxílio de medidores de stress térmico, modelo TGD 400 da Instrutherm,

composto por sensores termostato NTC com precisão de $\pm 0,5$ °C. A velocidade do vento (m s^{-1}) foi aferida com anemômetro digital portátil modelo AD-250, com precisão de $\pm 0,1$ m s^{-1} , três vezes durante os 15 minutos de cada avaliação, posicionado o anemômetro próximo ao TGD 400, estabelecendo ao final a média do período. A partir dos registros de temperaturas do bulbo seco (°C) e bulbo úmido (°C), foi estimada a umidade relativa do ar (%), expressa em pressão parcial de vapor.

Os sistemas foram avaliados em três dias consecutivos, nos meses de fevereiro, abril, junho, agosto, outubro e dezembro de 2018, sendo divididos em período vegetativo (fevereiro e abril), transição (junho e agosto) e dormência (outubro e dezembro), considerando época fenológica do componente arbóreo. Optou-se pela divisão em períodos considerando a fenologia do componente arbóreo, pois a vegetação natural da Caatinga apresenta mudanças no índice de área foliar ao longo do ano, podendo ocasionar mudanças no microclima.

Os dados foram registrados iniciando nos horários das 06h:00; 10h:00; 14h:00 e 18h:00 horas. Em cada sistema silvipastoril, o tempo de avaliação foi de 15 minutos, registrando dados a cada 30 segundos, totalizando 45 minutos de avaliação em cada horário considerando os três sistemas SS46, SS30 e SS18. O TGD 400 e o anemômetro foram alocados nas posições ao sol (centro das entre faixas) e na sombra (centro das faixas arbóreas) a uma altura de 1 m acima da superfície do solo (Figura 03).

5.2.3 Índices de conforto térmico animal

De posse dos dados microclimáticos obtidos pelos sensores, foram estimados os seguintes índices de conforto térmico animal:

Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) utilizando a metodologia descrita por Buffington et al. (1981) por meio da equação:

$$\text{ITGU} = t_g + 0,36 t_{po} + 41,5$$

Sendo:

T_g = temperatura do termômetro de globo em °C;

T_{po} = temperatura do ponto de orvalho em °C;

Carga térmica radiante (CTR) utilizando metodologia de Esmay (1979), estimada pela seguinte equação:

$$\text{CTR} = \sigma (\text{TMR})^4 \text{ W m}^{-2}$$

Onde:

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ K}^{-4}$ Constante de Stefan-Boltzmann

TMR = Temperatura média radiante em °C;

$$\text{TMR} = 100 \sqrt[4]{(2,51 \sqrt{Vv}(Tgn - Tbs) + \left(\frac{Tbg}{100}\right)^4)}$$

Onde:

Vv = Velocidade do vento em m s^{-1} ;

Tgn = Temperatura do globo negro em °C;

Tbs = Temperatura do bulbo seco em °C,

5.2.4 Análise estatística

A normalidade dos dados foi testada pelo teste de Cramer-von Mises. Os dados foram analisados por meio do procedimento de modelos mistos, usando o seguinte modelo estatístico:

$$\begin{aligned} Y_{ijklm} = & \mu + N_j + \alpha_{ij} + P_k + (NP)_{jk} + \beta_{ijk} + E_l + (NE)_{jl} + (PE)_{kl} + (NPE)_{jkl} \\ & + \gamma_{ijkl} + H_m + (NH)_{jm} + (PH)_{km} + (EH)_{lm} + (NPH)_{jkm} + (NEH)_{jlm} \\ & + (PEH)_{klm} + (NPEH)_{jklm} + \varepsilon_{ijklm} \end{aligned}$$

Onde:

Y_{ijklm} : valor da i-ésima unidade experimental submetida ao j-ésimo espaçamento, na k-ésima posição, l-ésimo período do ano e m-ésimo horário de avaliação; μ : efeito fixo da média geral; N_j : efeito fixo do espaçamento; α_{ij} : efeito aleatório da i-ésima repetição no j-ésimo no espaçamento onde α_{ij} assume $iid N(0, \sigma_A^2)$; P_k : efeito fixo da posição; $(NP)_{jk}$: efeito fixo da interação entre os espaçamentos e posição; β_{ijk} : efeito aleatório da i-ésima repetição no j-ésimo espaçamento e k-ésima posição, onde β_{ijk} assume $iid N(0, \sigma_B^2)$; E_l : efeito fixo do período do ano; $(NE)_{jl}$: efeito fixo da interação entre os espaçamentos e período do ano; $(PE)_{kl}$: efeito fixo da interação entre posição e período do ano; $(NPE)_{jkl}$: efeito fixo da interação entre nível, posição e período do ano; γ_{ijkl} : efeito aleatório associado a i-ésima repetição j-ésimo espaçamento, k-ésima posição, onde γ_{ijk} assume $\sim N(0, \sigma_B^2)$, sendo que σ_B^2 é a matriz de variância e covariância, pois se assume dependência dos erros; H_m : efeito fixo do horário de avaliação; $(NH)_{jm}$: efeito fixo da interação entre espaçamento e horário de avaliação; $(PH)_{km}$: efeito fixo da interação entre posição e horário de avaliação; $(EH)_{lm}$: efeito fixo da interação entre período do ano e horário de avaliação; $(NPH)_{jkm}$: efeito fixo da interação entre

espaçamento, posição e horário de avaliação; $(NEH)_{jlm}$: efeito fixo da interação entre espaçamento, período do ano e horário de avaliação; $(PEH)_{klm}$: efeito fixo da interação entre posição, período do ano e horário de avaliação; $(NPEH)_{jklm}$: efeito fixo da interação entre espaçamento, posição, período do ano e horário de avaliação; ε_{ijklm} : efeito aleatório associado a i-ésima repetição, j-ésimo espaçamento, k-ésima posição, e m-ésimo horário de avaliação onde ε_{ijklm} assume $\sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$, sendo que σ_ε^2 é a matriz resultante do produto de Kronecker entre as matrizes de variância e covariância referente aos dois fatores longitudinais (período do ano e horário de avaliação), pois se assume dependência dos erros (Galecki, 1994).

Os dados foram analisados usando o procedimento PROC MIXED do SAS (SAS Institute. Inc. 2015). Na escolha da estrutura da matriz de covariância para medidas repetidas utilizou-se o critério de informação de Akaike corrigido e o critério de informação Bayesiano. Os efeitos dos tratamentos e suas interações foram considerados significativos a um p-valor $< 0,05$. Quando encontradas diferenças significativas, o teste de comparação de médias foi realizado pelo teste de Tukey-Kramer a um p-valor $< 0,05$.

5.3 Resultados

A temperatura média apresentou interação entre período*horário ($p=0,0001$) e posição*horário ($p=0,012$). A temperatura média não diferiu entre os sistemas SS46, SS30 e SS18. Considerando os períodos, verificou-se maior temperatura média no período dormência e menor nos período vegetativo e transição em todos os horários (Figura 04). Os horários 10h:00 e 14h:00 apresentaram maiores valores de temperatura média para todos os períodos (Figura 04).

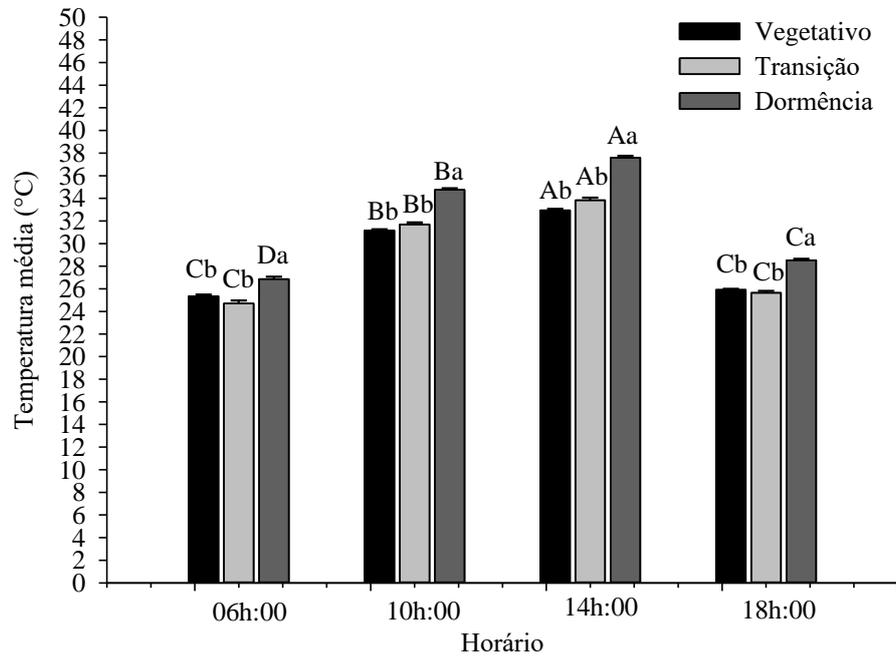


Figura 04: Temperatura média (°C) nos períodos vegetativo, transição e dormência ao longo dos horários 06h:00, 10h:00, 14h:00 e 18h:00.

Letras distintas minúsculas comparando período em cada horário e maiúsculas distintas comparando período entre os horários diferem entre si pelo teste de Tukey- Kramer $p < 0,05$.

Considerando as posições sol e sombra, verificou-se maior temperatura média na posição sol nos horários 10h:00 e 14h:00 (Figura 05). Nos horários 06h:00 e 18h:00 não houve diferença na temperatura média entre as posições sol e sombra (Figura 06). Maior temperatura média foi verificada no horário 14h:00 e menores nos horários 06h:00 e 18h:00 (Figura 07).

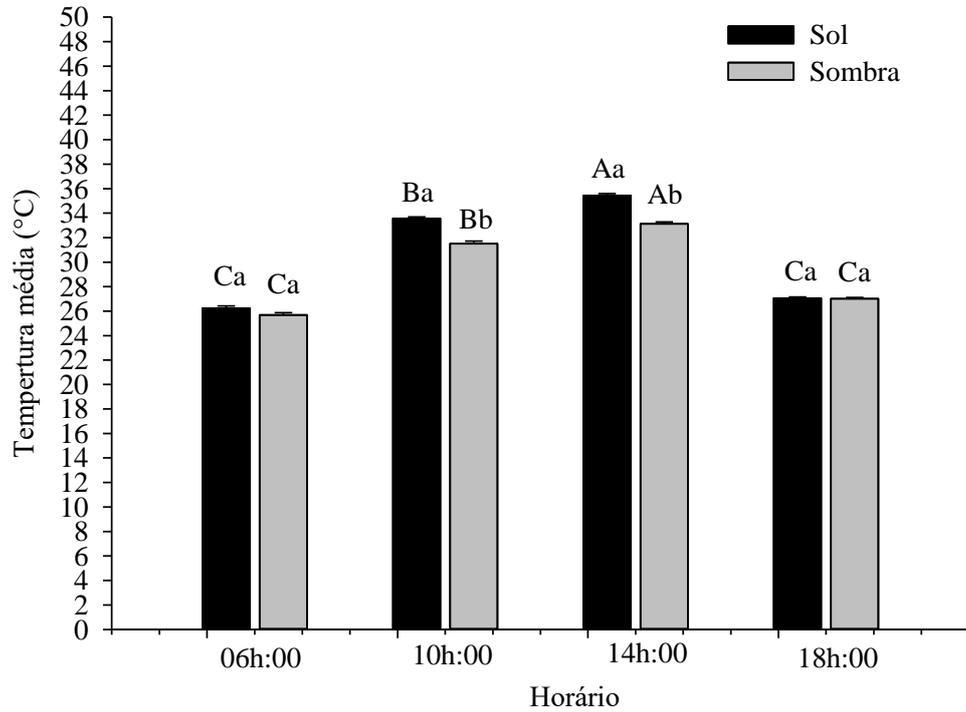


Figura 05: Umidade relativa (%) nas posições sol e sombra ao longo dos horários 06h:00, 10h:00, 14h:00 e 18h:00.

Letras distintas minúsculas comparando posição em cada horário e maiúsculas distintas comparando posição entre os horários diferem entre si pelo teste de Tukey- Kramer $p < 0,05$.

A umidade relativa apresentou interação entre período*horário ($p=0,0001$) e posição*horário ($p=0,012$). A umidade relativa não diferiu entre os sistemas SS46, SS30 e SS18. Considerando os períodos, verificou-se menor umidade relativa no período dormência e maior no período vegetativo em todos os horários (Figura 06). Os horários 10h:00 e 14h:00 apresentaram menores valores de umidade relativa para todos os períodos (Figura 06).

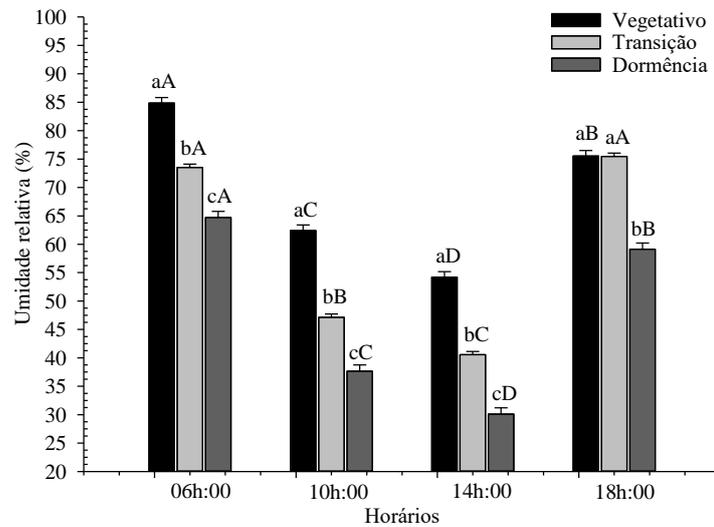


Figura 06: Umidade relativa (%) nos períodos vegetativo, transição e dormência ao longo dos horários 06h:00, 10h:00, 14h:00 e 18h:00.

Letras distintas minúsculas comparando período em cada horário e maiúsculas distintas comparando período entre os horários diferem entre si pelo teste de Tukey- Kramer $p < 0,05$.

Considerando as posições sol e sombra, verificou-se maior umidade relativa na posição sombra nos horários 10h:00 e 14h:00 (Figura 07). Nos horários 06h:00 e 18h:00 não houve diferença entre as posições sol e sombra (Figura 07). Maior umidade relativa foi verificada no horário 06h:00 e menor no horário 14h:00 (Figura 07).

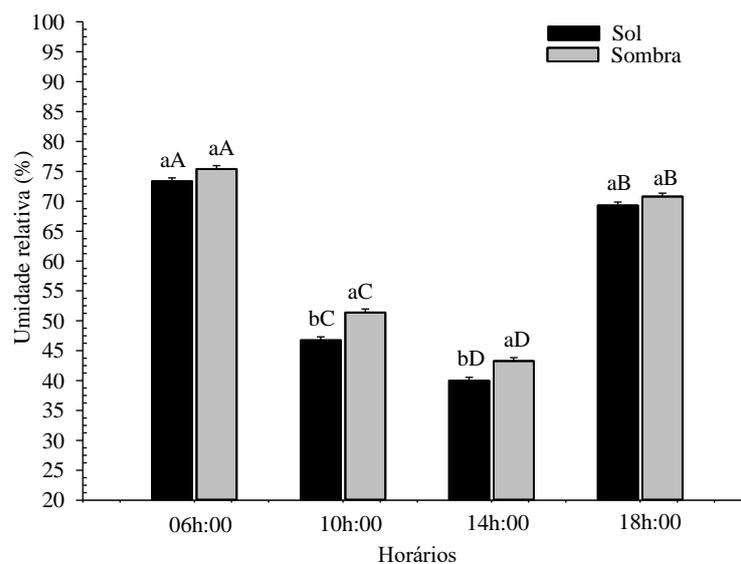


Figura 07: Umidade relativa (%) nas posições sol e sombra ao longo dos horários 06h:00, 10h:00, 14h:00 e 18h:00.

Letras distintas minúsculas comparando posição em cada horário e maiúsculas distintas comparando posição entre os horários diferem entre si pelo teste de Tukey- Kramer $p < 0,05$.

Em termos absolutos, a velocidade do vento foi superior no SS18 e menor no sistema SS46 (Figura 08). No período dormência, verificou-se maior velocidade de vento quando comparado com o período vegetativo e transição (Figura 08). Considerando as posições, observou-se maiores velocidades de vento na posição sol (Figura 08).

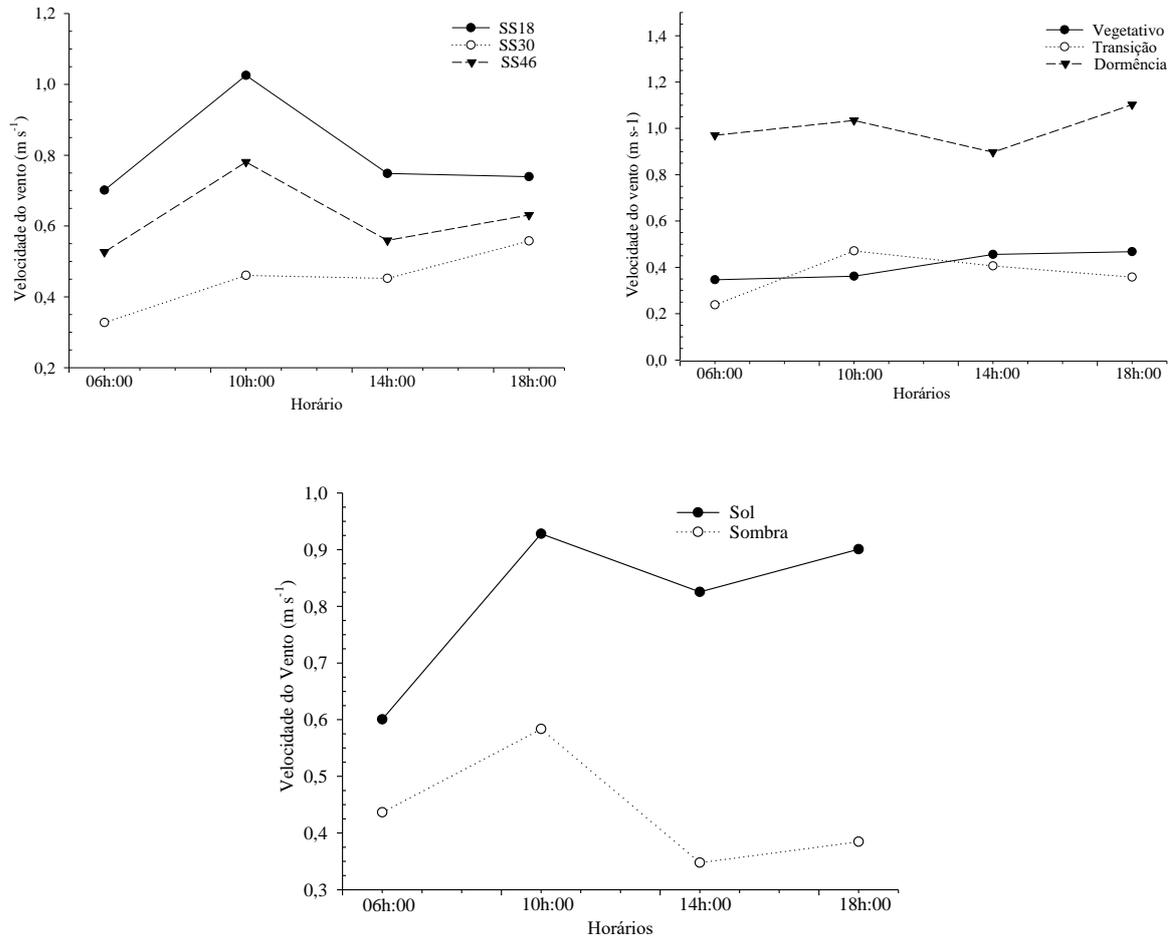


Figura 08: Velocidade do vento (m s^{-1}) nos sistemas silvipastoris em Caatinga (SS46, SS30, SS18) períodos (vegetativo, transição e dormência) e posições (sol e sombra) ao longo dos horários 06h:00, 10h:00, 14h:00 e 18h:00.

O índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e a carga térmica radiante (CTR) apresentaram interação significativa entre sistema*posição*horário ($p=0,0004$) como também entre sistema*período*horário ($p=0,0001$).

Às 06h:00 horas, o sistema SS18 apresentou maior ITGU (80,9) e CTR ($529,5 \text{ W m}^{-2}$) na posição sol (Tabela 01). Às 10h:00 e 14h:00 horas, não houve diferença no ITGU e CTR entre os sistemas silvipastoris na posição sol, sendo observado o mesmo comportamento para a posição sombra (Tabela 01). Às 18h:00 horas, o ITGU e CTR não diferiram entre os sistemas silvipastoris e posições (Tabela 01). Verificou-se reduções no ITGU (89,2 - 84,2) e

CTR ($627,16 - 553,2 \text{ W m}^{-2}$) entre os sistemas silvipastoris quando se comparou a posição sol e sombra nos horários 10h:00 e 14h:00.

Tabela 01: Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR) em diferentes sistemas silvipastoris em Caatinga (SS18, SS30, SS46) submetidos às posições (sol e sombra) e horários (06h:00, 10h:00, 14h:00, 18h:00).

| Sistema | Posição | Horários | | | |
|---|---------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | 06h:00 | 10h:00 | 14h:00 | 18h:00 |
| Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) | | | | | |
| SS18 | sol | 80,9 ^{Ab} | 88,3 ^{Aa} | 89,3 ^{Aa} | 75,8 ^{Ac} |
| | sombra | 78,4 ^{Bb} | 84,2 ^{Ba} | 85,9 ^{Ba} | 76,2 ^{Ab} |
| SS30 | sol | 77,6 ^{Bb} | 90,6 ^{Aa} | 89,4 ^{Aa} | 75,7 ^{Ab} |
| | sombra | 76,5 ^{Bb} | 83,1 ^{Ba} | 84,4 ^{Ba} | 76,4 ^{Ab} |
| SS46 | sol | 76,8 ^{Bb} | 89,6 ^{Aa} | 88,3 ^{Aa} | 75,9 ^{Ab} |
| | sombra | 76,6 ^{Bb} | 82,7 ^{Ba} | 84,9 ^{Ba} | 76,3 ^{Ab} |
| Carga térmica radiante (CTR: W m^{-2}) | | | | | |
| SS18 | sol | 535,2 ^{Ab} | 630,6 ^{Aa} | 626,8 ^{Aa} | 456,2 ^{Ac} |
| | sombra | 523,8 ^{Ab} | 539,4 ^{Ba} | 579,8 ^{Ba} | 462,5 ^{Ac} |
| SS30 | sol | 487,8 ^{Bb} | 626,1 ^{Aa} | 613,1 ^{Aa} | 456,2 ^{Ac} |
| | sombra | 474,7 ^{Bb} | 546,6 ^{Ba} | 548,5 ^{Ba} | 460,7 ^{Ab} |
| SS46 | sol | 483,8 ^{Bb} | 645,9 ^{Aa} | 620,5 ^{Aa} | 459,9 ^{Ac} |
| | sombra | 490,4 ^{Bb} | 547,1 ^{Ba} | 557,8 ^{Ba} | 467,6 ^{Ac} |

Letras minúsculas distintas comparando horários dentro de sistemas para cada posição e maiúsculas distintas comparando sistemas dentro de horário para cada posição diferem entre si pelo teste de Tukey- Kramer $p < 0,05$.

O período dormência apresentou maiores ITGU e CTR nos horários 10h:00 e 14h:00 na posição sol e sombra (Tabela 02). Nos períodos vegetativo e de transição, não houve diferença no ITGU e CTR entre a posição sol e também na sombra nos horários 10h:00 e 14h:00. Maiores valores de ITGU e CTR foram verificados na posição sol nos horários 10h:00 e 14h:00 em todos os períodos (Tabela 02).

Tabela 02: Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR) nos períodos vegetativo, transição e dormência submetidos às posições sol e sombra e horários 06h:00, 10h:00, 14h:00, 18h:00.

| Período | Posição | Horários | | | |
|---|---------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | 06h:00 | 10h:00 | 14h:00 | 18h:00 |
| Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) | | | | | |
| Vegetativo | sol | 79,6 ^{Ab} | 88,6 ^{Ba} | 87,8 ^{Ba} | 76,4 ^{Ac} |
| | sombra | 78,3 ^{Ab} | 83,4 ^{Da} | 84,9 ^{Ca} | 76,7 ^{Ac} |
| Transição | sol | 76,5 ^{Bb} | 88,9 ^{Ba} | 87,9 ^{Ba} | 74,1 ^{Bc} |
| | sombra | 75,3 ^{Bb} | 80,3 ^{Da} | 82,1 ^{Ca} | 74,1 ^{Bb} |
| Dormência | sol | 78,1 ^{Ab} | 90,8 ^{Aa} | 91,1 ^{Aa} | 76,9 ^{Ac} |
| | sombra | 77,8 ^{ABb} | 87,3 ^{Ca} | 88,4 ^{Ba} | 77,1 ^{Ab} |
| Carga térmica radiante (CTR: W m ⁻²) | | | | | |
| Vegetativo | sol | 504,9 ^{ABb} | 582,7 ^{Ba} | 588,9 ^{Ba} | 461,6 ^{Ac} |
| | sombra | 486,4 ^{Bb} | 515,9 ^{Ca} | 524,8 ^{Ca} | 462,7 ^{Ac} |
| Transição | sol | 487,1 ^{Bc} | 619,7 ^{Ba} | 599,4 ^{Bb} | 447,2 ^{Bd} |
| | sombra | 505,8 ^{ABb} | 544,1 ^{Ca} | 553,6 ^{Ca} | 442,8 ^{Bc} |
| Dormência | sol | 514,9 ^{ABc} | 670,8 ^{Aa} | 649,1 ^{Ab} | 463,5 ^{Ad} |
| | sombra | 507,8 ^{ABc} | 593,1 ^{Ba} | 607,7 ^{Ba} | 460,3 ^{Ad} |

Letras minúsculas distintas comparando horários dentro dos períodos para cada posição e maiúsculas distintas comparando períodos dentro de horário para cada posição diferem entre si pelo teste de Tukey- Kramer $p < 0,05$.

5.4 Discussão

A menor umidade relativa e a maior temperatura média verificada no período dormência está relacionada à ausência de precipitação e também à menor nebulosidade característica desse período. Segundo Façanha et al. (2016), o Semiárido brasileiro entre os meses de setembro a dezembro caracteriza-se por apresentar nebulosidade praticamente nula, elevada carga térmica radiante e ausência de precipitações, acarretando elevação na temperatura ambiente e redução na umidade relativa média. Além disso, a característica caducifólia das árvores da Caatinga durante o período de dormência, favoreceu maior transmitância de radiação solar no dossel lenhoso, elevando a temperatura e diminuindo a umidade relativa.

A maior umidade relativa e menor temperatura média verificada na posição sombra às 10h:00 e às 14h:00 horas comprova a importância do componente arbóreo nos sistemas integrados como ferramenta de auxílio na mudança do microclima, podendo promover

ambientes de melhor conforto térmico, principalmente, nos horários com maior carga de radiação.

A maior velocidade do vento verificada em valores absolutos no SS18 se deveu à sua menor densidade arbórea, pois maiores densidades de árvores favorecem o efeito quebra vento, dificultando o fluxo e reduzindo sua velocidade. Baêta e Souza (2010) consideram como confortáveis para os animais velocidade de vento de 1,38 a 2,22 m s⁻¹, desta forma, os sistemas SS46, SS30 e SS18 apresentaram velocidades de vento inferior ao recomendado em todos os períodos do ano e nas posições sol e sombra. Assim, o componente arbóreo em faixas auxiliou na redução da velocidade do vento entre os sistemas, visto que, maiores valores de velocidade de vento foram verificados na estação meteorológica próxima à área experimental (Figura 01). Possivelmente, a orientação norte-sul e a altura média do componente arbóreo (3,98 m), causaram redução na velocidade de vento. Assim, desbastes orientados do componente arbóreo podem favorecer maiores velocidades de vento no interior dos sistemas, promovendo melhores condições de conforto térmico animal, principalmente, no período vegetativo e de transição, em que a velocidade do vento é reduzida e a umidade relativa é elevada.

Oliveira et al. (2017), trabalhando com diferentes arranjos entre linhas de eucalipto em sistema silvipastoris, verificaram que o sistema mais denso (14 m entre linhas, 357 árvores por hectare, 16 m de altura média do componente arbóreo) favoreceu a redução da velocidade do vento, promovendo mudanças no microclima, assim atenção especial em sistemas silvipastoris deve ser dada à densidade de árvores e altura das árvores que compõem o sistema.

Segundo Baêta e Souza (2010), o ITGU classifica-se como: conforto (até 74), alerta (74 a 79), perigo (79 a 84) e emergência (acima de 84), para bovinos puros de origem europeia. Considerando essa classificação, tanto na posição sol quanto na posição sombra, os valores registrados às 06h:00 e 18h:00 horas se classificaram como alerta e às 10h:00 e 14h:00 horas, como perigo e emergência. Desta forma, a utilização de bovinos de origem europeia nos sistemas avaliados eleva o risco biológico da atividade, visto que o ambiente não propicia adequadas condições de conforto térmico em todos os períodos.

A escolha correta da espécie e raça em ambientes semiáridos quentes é importante para a obtenção da máxima eficiência produtiva, pois os animais são desafiados pelas elevadas temperaturas o ano todo, ativando mecanismos de termorregulação como: aumento da frequência respiratória, vaso dilatação, mudança na resposta comportamental, diminuição no consumo, distúrbios metabólicos entre outros (RENAUDEAU et al., 2012).

Façanha et al. (2008), trabalhando com três rebanhos bovinos mestiços da raça holandesa (*Bos taurus taurus*) no Semiárido brasileiro (ITGU variando de 87,46 a 92,18), verificaram que o rebanho de maior proporção de holandês, apresentaram maiores frequência respiratória, temperatura retal e menor concentrações de hormônio triiodotironina total (T_3), classificando esse rebanho como menos tolerante ao ambiente daquela região. SOUZA et al. (2007) verificaram que bovinos da raça Sindi (*Bos taurus Indicus*), no Semiárido brasileiro, apresentaram elevado índice de tolerância ao calor em ambiente com ITGU de 97, caracterizando uma raça muito adaptada à condição de elevado ITGU. Silva et al. (2006) constataram elevado índice de tolerância ao calor de caprinos da raça Moxotó criados em ambientes de ITGU de até 93 no Semiárido brasileiro. Desta forma, há raças e espécies adaptadas às condições de altas e baixas temperaturas, recomendando-se os parâmetros bioclimatológicos da raça como critérios adicionais na escolha do animal a ser utilizado em cada sistema de produção, contribuindo para reduzir os impactos negativos ocasionado pelo ambiente.

As reduzidas velocidades de vento verificadas ao longo do ano e as elevadas temperaturas, proporcionaram a manutenção do ITGU na posição sol entre os sistemas SS46, SS30 e SS18. Possivelmente, a altura média do componente arbóreo (3,98 m), promoveu projeção de copa insuficiente para modificar o microclima na posição sol dos sistemas.

Apesar dos elevados valores de ITGU verificados nos SS46, SS30 e SS18 as árvores presentes nas faixas influenciaram na redução do ITGU e da CTR na posição sombra nos horários de maior temperatura e carga de radiação, evidenciando a importância dos sistemas silvipastoris em melhorar o conforto térmico animal. A presença do componente arbóreo em pastagens afeta diretamente o balanço de energia de um sistema, pois elas podem interceptar até 80% da radiação incidente (SILVA, 2006). A maior densidade de árvores no sistema SS46 proporcionou menores CTR para o horário 14h:00 na posição sol, caracterizando um ambiente com menor carga de radiação.

Mesmo na ausência das folhas do componente arbóreo durante o período dormência o interior do componente arbóreo promoveu menor CTR e ITGU, caracterizando o ambiente com melhores condições de conforto térmico no período de maior carga térmica de radiação.

Pezzopane et al. (2019), avaliando diferentes arranjos de sistemas silvipastoris em região tropical, verificaram que a presença de árvores nos sistemas promoveu maior conforto térmico animal com menor carga térmica radiante, fornecendo valores mais baixos de ITGU.

Giro et al. (2019), trabalhando com bovinos de corte canchim ($\frac{5}{8}$ Charolês \times $\frac{3}{8}$ Zebu) em dois sistemas silvipastoris com diferentes coberturas lenhosas (1,02% e 30,06%), verificaram que o sistema com maior presença de árvores foi mais eficiente na mitigação da carga de calor, sendo que os animais mantidos nesse sistema apresentaram menor temperatura da superfície do dorso e, conseqüentemente menor procura ao bebedouro, evidenciando a importância do componente arbóreo nos sistemas silvipastoris, pois o setor pecuário é responsável por cerca de 8% do uso mundial de água e o aumento da temperatura pode elevar o consumo de água em fator de dois a três (NARDONE et al. 2010). Sistemas produtivos que utilizam menos água são fundamentais para regiões áridas e semiáridas, que apresentam deficiência hídrica em grande parte do ano.

5.5 Conclusão

Os sistemas silvipastoris SS18, SS30 e SS46 promoveram melhores condições de microclima e índices de conforto térmico animal considerando o interior do componente arbóreo, sendo importante a utilização desses sistemas para as regiões semiáridas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES

A utilização de sistemas silvipastoris com cobertura lenhosa de 30,00 e 17,64% com as gramíneas *Pennisetum ciliare*, *Urochloa mosambicensis*, *Megathyrsus maximus*, *Opuntia stricta* ou *Nopalea* compondo o sub-bosque, configura-se como alternativa de sistemas de produção integrado nas condições do Semiáridas brasileiras.

Conhecendo os benefícios do componente arbóreo, o produtor poderá realizar a exploração das árvores de forma consciente e orientada, com base na legislação vigente, podendo utilizá-lo na forma de estacas e/ou mourões para realização e/ou manutenção de cercas no interior da fazenda, ou para efetuar a comercialização do excedente, gerando renda extra ao empreendimento rural. Assim, a escolha do nível de cobertura lenhosa a ser adotado, dependerá da cultura presente no sub-bosque, como também, do objetivo final do produtor (exploração madeireira x produção animal).

A presença do componente arbóreo nesses sistemas reduziu o índice de temperatura de globo negro e umidade e a carga térmica, podendo promover ambiente de melhor conforto térmico para os animais de produção, principalmente, em horários com maior temperatura média.

Por fim, o estudo realizado apresenta respostas interessantes que ajudarão aos produtores no planejamento e na implantação de um sistema silvipastoril em área de Caatinga raleada em faixas. Contudo, novas pesquisas devem ser realizadas com o intuito de determinar o manejo das gramíneas sob pastejo, verificar o comportamento e o desempenho produtivo de animais ruminantes e avaliar o funcionamento do sistema no tempo e da rotação de seus componentes.

REFERÊNCIAS

ALVES, J.J.A.; ARAÚJO, M.A.; NASCIMENTO, S.S. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009.

ALVES, B.J.R.; MADARI, B.E.; BODDEY, R.M. Integrated crop– livestock–forestry systems: Prospects for a sustainable agricultural intensification. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.108, n.1, p 1–4, 2017.

ARAÚJO FILHO, J. A. Manipulação da vegetação lenhosa da Caatinga para fins pastoris. **Embrapa Caprinos e Ovinos-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 1992.

ARAÚJO FILHO, J. A. D.; CARVALHO, F. C. D.; GARCIA, R.; SOUSA, R. A. D. Efeitos da manipulação da vegetação lenhosa sobre a produção e compartimentalização da fitomassa pastável de uma Caatinga sucessional. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 11-19, 2002.

ARAÚJO FILHO, J.A. **Manejo pastoril sustentável da Caatinga**. Recife, PE: Projeto Dom Helder Camara, 2013. 200p.

BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. 2. Ed. Universidade Federal de Viçosa, 2010.

BARBOSA, O. R.; SILVA, R. G. da. Índice de conforto térmico. **Boletim de Industria Animal**, Nova Odessa, v.52, n.1, p.29-35, 1995.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n. 10, p.01-10, 2011.

BARTHAM, G, T. **Experimental techniques: the HFRO sward stick**. In: Hill Farming Research Organization/Biennial Report. p. 29–30, 1985.

BHAGWAT, A.S.; WILLIS, K.J.; BIRKS, H.J.B.; WHITTAKER, R. J. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity?. **Trends in ecology & evolution**, v. 23, n. 5, p. 261-267, 2008.

BROOM, D.M.; GALINDO, F.A.; MURGUEITIO, E. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 280, n. 1771, p. 2013-2025, 2013.

BUFFINGTON, D.E.; COLLAZO, A.; CANTON, G.H.; PITT, D.; THATCHER, W.W.; COLLIER, R.J. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, v. 24, n. 3, p. 711-0714, 1981.

CAMPANHA, M.M.; GUIMARÃES, V.P.; BOMFIM, M.A.D. Sistema Agrossilvipastoril caprinos e ovinos: reunião técnica. **Embrapa Caprinos e Ovinos-Documents (INFOTECA-E)**, 2010.

CAMPANHA, M.M.; ARAÚJO, F.S.; MENEZES, M.O.T.; SILVA, V.M.A.; MEDEIROS, H.R. Estrutura da comunidade vegetal arbóreo-arbustiva de um sistema agrossilvipastoril, em Sobral-CE. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 94-101, 2011.

CARNEVALLI, R. A.; MELLO, A. C. T.; COLETTI, A. J.; GARCIA, L. F.; XAVIER, D. B. Shade controls the ruminating and idleness times of dairy heifers in tropical integrated systems. **Agroforestry Systems**, p. 1-12, 2019.

CARVALHO, Z.G.; SALES, E.C.J.D.; MONÇÃO, F.P.; VIANNA, M.C.M.; SILVA, E.A.; QUEIROZ D.S. Morphogenic, structural, productive and bromatological characteristics of Braquiária in silvopastoral system under nitrogen doses. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 41, n.1, 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S180786722019000100202&script=sci_arttext. Acesso em: 02 fevereiro 2021.

CONRADO, J.A.A.; CAVALCANTE, A.C.R.; TONUCCI, R.G.; SALDANHA, A.R.; CÂNDIDO, M.J.D. Management of natural pasture increases native and exotic herbaceous biomass and biodiversity in the Caatinga of Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 867-884, 2019.

EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; VALÉRIO, J. R.; BONO, J. A. M. Cultivar Massai (*Panicum maximum*) uma nova opção forrageira: características de adaptação e produtividade. **REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**, v. 37, n. 1, p. 2000, 2000.

ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. AviPublishing, Porto Oeste, 1979.

FAÇANHA, D.A.E.; MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.D.; VASCONCELOS, A.M.D.; LIMA, P.D.O.; GUILHERMINO, M.M. Variação anual de hormônios tireoideanos e características termorreguladoras de vacas leiteiras em ambiente quente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 3, p. 538-545, 2008.

FAÇANHA, D.A.E.; FERREIRA, J.B.; LEITE, J.H.G.M.; GUILHERMINO, M.M.; VASCONCELOS, A.M.; COSTA, W.P. Produção de leite e respostas fisiológicas de vacas da raça Holandesa em ambiente quente. **Revista Acta Veterinaria Brasilica**, v. 10, n. 3, p. 208-215, 2016.

FERNANDES, A.R.; PAIVA, H.N.; CARVALHO, J.G.; MIRANDA, J.R.P. Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de freijó (*Cordia goeldiana* Huber) em função de doses de fósforo e de zinco. **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 599-608, 2007.

FORZZA R.; BAUMGRATZ, J.F.A.; BICUDO, C.E.M.; CANHOS, D.A.L.; CARVALHO JUNIOR A.A.; COSTA, A.F.; COSTA, D.P.; HOPKINS, M.; LEITMAN, P.M.; LOHMANN, L.G. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil**, 2 vols. Andrea Jakobsson Estúdio and Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, BR. 1699 pp. 2010.

FREITAS, A.D.S.; SILVA, T.O.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; ARAÚJO, E.R.; FRAGA, V.S. Nodulação e fixação de nitrogênio por forrageiras da Caatinga cultivadas em solos do semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, MG, v. 40, n. 9, p. 1856-1861, 2011.

GALECKI, A.T. General class of covariance structures for two or more repeated factors in longitudinal data analysis. **Communications in Statistics-Theory and Methods**, v. 23, n. 11, p. 3105-3119, 1994.

GIRO, A.; PEZZOPANE, J.R.M.; BARIONI JUNIOR, W.; PEDROSO, A.F.; LEMES, A.P.; BOTTA, D.; ROMANELLO, N.; BARRETO, A. N.; GARCIA, A.R. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. **Science of the Total Environment**, v. 684, n. 1, p. 587-596, 2019.

GOMMERS, C.M.; VISSER, E.J.; STONGE, K.R.; VOESENEK, L.A.; PIERIK, R. Shade tolerance: when growing tall is not an option. **Trends in plant science**, v. 18, n. 2, p. 65-71, 2013.

HERNÁNDEZ, A.F.; CASTILLO, I.O.; AMADOR, B.M.; HERNANDEZ, J.L.G.; DIEGUEZ, E.T. Yield and physiological traits of prickly pear cactus ‘nopal’(Opuntia spp.) cultivars under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 70, n. 2, p. 97-107, 2004.

[IBGE] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-doterritorio/estruturateritorial/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=legislacao-relacionada>. Acessado em 28 de janeiro de 2021.

IPCC (2013) Climate Change 2013: **The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NY, EUA, 1535 p, 2013.

IVANOV, M.M.M.; LACERDA, C.F.; OLIVEIRA, T.S. Trees Lose Their Leaves Later in Agroforestry Systems. **Intern Jour of Envir. Agricul and Biotech**. v. 2, n. 2, p. 238740, 2017.

KARVATTE, N.; KLOSOWSKI, E.S.; ALMEIDA, R.G.; MESQUITA, E.E.; OLIVEIRA, C.C.; ALVES, F.V. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. **International Journal of Biometeorology**, Ohio, v. 60, n. 12, p. 1933-1941, 2016.

KIM, H.K.; OOSTEROM, E.V.; DINGKUHN, M.; LUQUET, D.; HAMMER, G. Regulation of tillering in sorghum: environmental effects. **Annals of botany**, v. 106, n. 1, p. 57-67, 2010.

KÖPPEN, W. P. **Das geographische System der Klimate**. Berlin: Gebrüder Borntraeger, p. 1-44, 1936.

LIMA, M.A.; PACIULLO, D.S.; MORENZ, M.J.; GOMIDE, C.A.; RODRIGUES, R.A.; CHIZZOTTI, F.H. Productivity and nutritive value of *Brachiaria decumbens* and performance of dairy heifers in a long-term silvopastoral system. **Grass and Forage Science**, v. 74, n. 1, p. 160-170, 2019.

LOPES, M. N. **Ecofisiologia, nutrição e análise econômica da palma forrageira sob diferentes manejos no Semiárido Brasileiro**. 2016. Tese (Doutorado em Zootecnia)- Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/17107>. Acesso em 28 de janeiro 2021.

LOPES, C.M.; PACIULLO, D.S.C.; ARAÚJO, S.A.D.C.; MORENZ, M.J.F.; GOMIDE, C.A.D.M.; MAURÍCIO, R.M.; BRAZ, T.G.D.S. Plant morphology and herbage accumulation of signal grass with or without fertilization, under different light regimes. **Ciência Rural**, v. 47, n. 2, p. 1-7, 2017.

MEDEIROS, L. F. D.; RODRIGUES, V. C.; VIEIRA, D. H.; SOUZA, S. L. G.; NETO, O. C.; OLIVEIRA, C. A.; Azevedo, S. F. Determinação dos parâmetros fisiológicos, gradiente térmico e índice de tolerância ao calor em diferentes raças de caprinos. **Brazilian Journal of Veterinary Medicine**, v. 37, n. 4, p. 275-285, 2015.

MENDES, M.M.S.; LACERDA, C.F.; CAVALCANTE, A.C.R.; FERNANDES, F.E.P.; OLIVEIRA, T.S. Desenvolvimento do milho sob influência de árvores de pau-branco em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 10, p. 1342-1350, 2013.

NAIR, P.K.R. **Agroforestry systems in the tropics**. Kluwer, Dordrecht, 1989.

NARDONE, A.; RONCHI, B.; LACETERA, N.; RANIERI, M.S, BERNABUCCI, U. Effects of climate change on animal production and sustainability of livestock systems. **Livestock Science**, v. 130, n. 1-3, p. 57-69, 2010.

NOBEL, P.S. **Cacti: Biology and uses**. Berkeley Los Angeles London: University of California Press, 2001. 289p.

NUNES, L.A.P.L.; ARAÚJO FILHO, J.Á.; JÚNIOR, E.V.H.; MENEZES, R.Q.Í. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos biológicos de solo sob Caatinga no semi-árido nordestino. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 1, p. 131-140, 2009.

OLIVEIRA, V. S. D.; FERREIRA, M. D. A.; GUIM, A.; MODESTO, E. C.; ARNAUD, B. L.; SILVA, F. M. D. Substituição total do milho e parcial do feno do capim-tifton por palma forrageira em dietas para vacas em lactação. Produção, composição do leite e custos com alimentação. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 36, n. 4, p. 928-935, 2007.

OLIVEIRA, F. T.; SOUTO, J. S.; SILVA, R. P.; DE ANDRADE FILHO, F. C.; JÚNIOR, E. B. P. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 4, p. 27-37, 2010.

- OLIVEIRA, C.C.; ALVES, F.V.; ALMEIDA, R.G; GAMARRA, É.L.; VILLELA, S.D.J. ALMEIDA, M.P.G.M. Thermal comfort indices assessed in integrated production systems in the Brazilian savannah. **Agroforestry systems**, v. 92, n. 6, p. 1659-1672, 2017.
- PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B.; AROEIRA, L.J.M.; MOREN, Z.M.J.F.; LOPES, F.C.F.; ROSSIELLO, R.O.P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 573-579, 2007.
- PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.D.; GOMIDE, C.A.M.; MAURÍCIO, R.M.; PIRES, M.F.Á.; MÜLLER, M.D.; XAVIER, D.F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science** v. 141, n. 2-3, p. 166-172, 2011a.
- PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; FERNANDES, P.B.; MULLER, M.D.; PIRES, M.D.F.A.; 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, 2011b.
- PEREIRA FILHO, J. M.; SILVA, A. M. A.; CÉZAR, M. F. Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, Salvador, v.14, n.1, p.77-90, 2013.
- PEREIRA, P.D.C.; SILVA, T.G.F.; ZOLNIER, S.; MORAIS, J.E.F.; SANTOS, D.C. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**. v. 28, n. 3, p. 184-195, 2015.
- PEZZOPANE, J.R.M.; BOSI, C.; NICODEMO, M.L.F.; SANTOS, P.M.; CRUZ, P.G.D.; PARMEJANI, R.S. Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. **Bragantia**, v. 74, n. 1, p. 110-119, 2015.
- PEZZOPANE, J.R.M.; NICODEMO, M.L.F.; BOSI, C.; GARCIA, A.R.; LULU, J. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements, **Journal of thermal biology**, v. 79, p. 103-111, 2019.
- PINHEIRO, F.M.; NAIR, P.R. Silvopasture in the Caatinga biome of Brazil: A review of its ecology, management, and development opportunities. **Forest Systems**, v. 27, n. 1, p. 7, 2018.
- RENAUDEAU, D.; COLLIN, A.; YAHAV, S.; BASILIO, V.; GOURDINE, J.L.; COLLIER, R.J. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. **Animal** , v. 6, n. 5, p. 707-728, 2012.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.) (1999). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 359 p.

RODAL, M.J.N.; SAMPAIO, E.V.S.B.; FIGUEIREDO, M.A. **Manual sobre métodos de estudos florísticos e fitossociológicos: ecossistemas Caatinga**. Brasília. Ed. Brasília SB, 2013. 37 p.

SANTOS, D.C.; GUIMARÃES, R.J.; VILELA, L.; PULROLNIK, K.; BUFON, V.B.; SOUZA, A.F.F. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 233, n.1, p. 16-24, 2016.

SANTOS, D.C.; JÚNIOR, R.G.; VILELA, L.; MACIEL, G.A.; SOUZA, A.F.F. Implementation of silvopastoral systems in Brazil with Eucalyptus urograndis and Brachiaria brizantha: Productivity of forage and an exploratory test of the animal response. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 266, n. 1, p. 174-180, 2018.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SANTOS, D. D., FARIAS, I., LIRA, M. D. A., SANTOS, M. D., ARRUDA, G. D., COELHO, R. S. B., MELO, J. D. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) em Pernambuco. **Recife: IPA**, v. 48, 2006.

SAS Institute Inc. 2015. SAS/STAT® 14.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

SILVA, I.J.O.; GHELFI FILHO, K.; CONSIGLERO, F.R. Materiais de cobertura para instalações animais. **Engenharia Rural**, v.1, n.1, p.51-60. 1990.

SILVA, G.D.A.; SOUZA, B.D.; ALFARO, C.E.; SILVA, E.D.; AZEVEDO, A.S.; AZEVEDO NETO, J.; SILVA, R.M.N. Efeito da época do ano e período do dia sobre os parâmetros fisiológicos de reprodutores caprinos no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 903-909, 2006.

SILVA, R.G. Predição da configuração de sombra de árvores em pastagens para bovinos. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 268-281, 2006.

SILVA, J. A. N. D.; SOUZA, C. M. A. D.; SILVA, C. J. D.; BOTTEGA, S. P. Crescimento e produção de espécies forrageiras consorciadas com pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 6, p. 769-775, 2012.

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; MORAIS, J. E. F.; DA SILVA DINIZ, W. J.; SOUZA, C. A. A.; CONCEIÇÃO SILVA, M. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015.

SOUZA, E. D.; SOUZA, B. B.; SOUZA, W. H. D.; CEZAR, M. F.; SANTOS, J. R. S. D.; TAVARES, G. D. P. Determinação dos parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de diferentes grupos genéticos de caprinos no Semi-Árido. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.1, p.177-184, 2005.

SOUZA, B.D.; SILVA, R.D.; MARINHO, M.L.; SILVA, G.D.A.; SILVA, E.D.; SOUZA, A.P.D. Parâmetros fisiológicos e índice de tolerância ao calor de bovinos da raça Sindi no semi-árido paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 883-888, 2007.

TOLLENAR, M.; BRUULSEMA, T.W. Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. **Agronomy Journal**. v. 80, n. 4, p. 580-585, 1988.

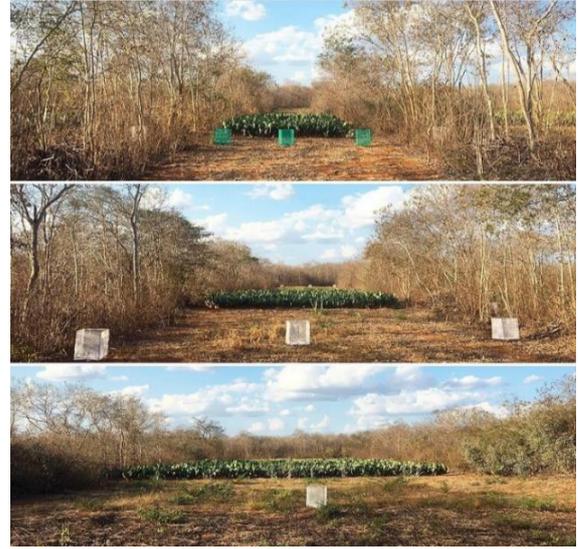
VASCONCELOS, A. G. V. D.; LIRA, M. D. A.; CAVALCANTI, V. L. B.; SANTOS, M. V. F. D.; WILLADINO, L. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius sp*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 5, p. 827-831, 2009.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

APÊNDICE A- FOTOGRAFIAS DO EXPERIMENTO



Fotografia 01: Sistemas SS46 (acima), SS30 (centro) e SS18 (abaixo) durante o período chuvoso.



Fotografia 02: Sistemas SS46 (acima), SS30 (centro) e SS18 (abaixo) durante o período seco.



Fotografia 03: Parcela com capim-buffel durante o período chuvoso.



Fotografia 04: Parcela com capim-corrente durante o período chuvoso.



Fotografia 05: Parcela com capim-massai durante o período chuvoso.



Fotografia 06: Parcela com *Opuntia stricta* (Palma Orelha de Elefante Mexicana) durante o período chuvoso.



Fotografia 07: Parcela com *Nopalea cochenillifera* (Palma Miúda) durante o período chuvoso.



Fotografia 08: Avaliação de trocas gasosas utilizando analisador de gás por radiação infravermelha (IRGA, modelo LC-Pro-SD, marca ADC Bioscientific Ltda. Hoddesdon, Hertfordshire, UK).



Fotografia 09: Mensuração da altura média do dossel do pasto utilizando bastão retrátil graduável.



Fotografia 10: Contagem da densidade populacional de perfilhos (DPP) utilizando moldura quadrada 1,0 x 1,0 m.



Fotografia 11: Corte da biomassa presente no interior de moldura quadrada 1,0 x 1,0 m para posterior estimativa de produção de biomassa total.



Fotografia 12: Subamostras devidamente pesadas, prontas para serem acondicionadas em estufa de ventilação forçada para estimativa da matéria pré-seca.



Fotografia 13: Mensuração da altura média do dossel de palma forrageira utilizando bastão retrátil graduável.



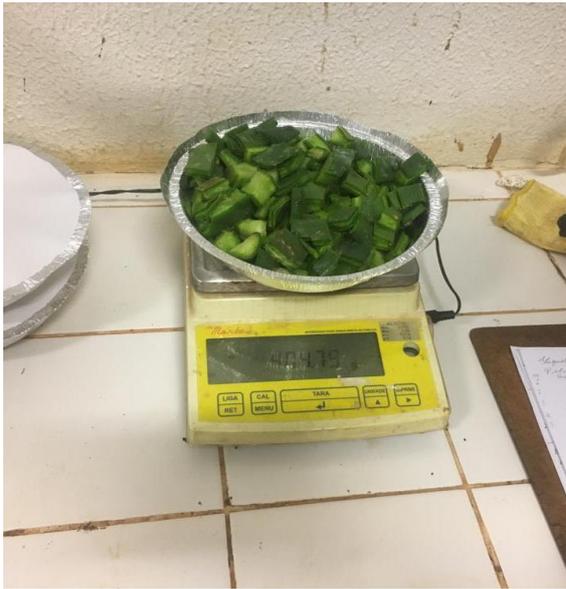
Fotografia 14: Corte da biomassa presente no metro linear posterior estimativa de produção de biomassa total.



Fotografia 15: Transporte das amostras ao laboratório para realização de pesagem.



Fotografia 16: Picagem em cubos da palma forrageira para facilitar a pré-secagem em estufa de ventilação forçada.



Fotografia 17: Subamostras de palma forrageira devidamente pesada para posterior acomodação em estufa de ventilação forçada obtendo a matéria pré-seca.



Fotografia 18: Avaliação do estrato lenhoso das faixas para realização do inventário florestal.



Fotografia 19: Avaliação ambiental utilizando medidor de stress térmico, modelo TGD 400 da Instrutherm na posição sol.



Fotografia 20: Avaliação ambiental utilizando medidor de stress térmico, modelo TGD 400 da Instrutherm na posição sombra.