

A
M
A
R
A
L

E
M

R
E
S
P
I
R
A
Ç
Ã
O

D
O

S
O
L
O

·
·
·

2
0
2
2

Folha reservada para ficha catalográfica

“A todos aqueles que acreditam num futuro melhor”

AGRADECIMENTOS

- 2 Agradeço aos meus pais, Severino Martins dos Santos e Ana Maria Martins Amaral, por todo amor,
carinho, segurança e ajuda. Em seus nomes eu agradeço a todos os meus familiares;
- 4 Agradeço a minha companheira, Thanires Ramalho, por todo o respeito, amor, carinho, paciência e
apoio. Em seu nome agradeço a todos os meus amigos mais próximos.
- 6 Agradeço a meu Orientador, Eduardo Soares de Souza, muito mais que um orientador, um
professor, um amigo, a ele dediquei minha graduação, agora dedico o meu mestrado. Em seu nome
- 8 agradeço a todos os professores que fizeram parte deste caminho.
- Agradeço a Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Ao
- 10 Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal por todo conhecimento compartilhado comigo e
toda experiência de vida e profissional.

[...] Eu olho para o mundo e eu noto que ele está girando ...

Nós certamente precisamos aprender com cada erro [...]

The Beatles – While My Guitar Gently Weeps

Resumo

2 A respiração do solo é um processo metabólico biológico que resulta na emissão de CO₂ para a
atmosfera. Quantificar a respiração ajuda avaliar a saúde do solo, especialmente de espécies
4 forrageiras para fins agrícolas. Combinar diferentes grupos vegetais e estudar sua influência na
respiração do solo pode ajudar a desenvolver estratégias de convivência com o semiárido. O
6 objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de consórcios forrageiros na manutenção da
respiração do solo em ambiente semiárido e correlacioná-los com a produção de biomassa aérea.
8 Para tanto foi montado um experimento de irrigação deficitária em campo (7° 52' 05.5" S & 38° 02'
27.3" W), durante a estação seca, em um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo de
10 parcela subdividida, com 4 sistemas de cultivos (Palma – P; Palma + Crotalaria – PC; Palma +
Guandu – PG; Palma + Leucena - PL), com presença e ausência de Milheto (Com e Sem), avaliados
12 aos 35, 45 e 55 DAR (dias após o replantio), em 5 repetições com 2 réplicas. A respiração do solo
foi monitorada com o IRGA (analisador de gás infravermelho). A umidade e a temperatura do solo
14 foram monitorados simultaneamente a respiração. O índice de área foliar (IAF) foi medido para
avaliar a dinâmica da cobertura vegetal dos sistemas de cultivo, sendo a biomassa aérea fresca e
16 seca obtida aos 60 DAR. A biomassa conhecida permitiu examinar os rendimentos dos consórcios a
partir dos índices de competitividade: Razão Equivalente de Terra (LER), Agressividade (A),
18 Coeficiente de Aglomeração Relativa (K), Razão Competitiva (CR) e Perda de rendimento real
(AYL). Como os valores de umidade e temperatura dos solos mantiveram-se constantes no tempo, a
20 diferença na respiração se deu pela ação das plantas e microrganismos dos solos sob os diferentes
sistemas de cultivo. A presença de milheto nos sistemas aumentou significativamente a respiração,
22 em quase 100%, para a maioria das parcelas. A interação entre os indivíduos favoreceu a respiração
e seu desenvolvimento, corroborando com os resultados do IAF que indicaram diferenças nas
24 coberturas vegetais dos sistemas com a presença do milheto. Isso implica dizer que o incremento de
biomassa na presença dos consórcios triplos é maior, mesmo com a respiração mais elevada. Os
26 índices indicaram forte competição entre as espécies, e o milheto prevalece como espécie
dominante. Logo, considerando o grau de demanda de biomassa no tempo, conclui-se que os
28 sistemas PC + Milheto, PG + Milheto e PL + Milheto são as melhores combinações de consórcios
triplos para curto, médio e longo prazo de fornecimento de alimento aos animais.

30 **Palavras Chave:** Espécies forrageiras, Efluxo de CO₂, IAF, Índices de competitividade,
culturas consorciadas.

ABSTRACT

2 Soil respiration is a biological metabolic process that results in the emission of CO₂ into the
atmosphere. Quantifying respiration helps to assess soil health, especially of forage species for
4 agricultural purposes. Combining different plant groups and studying their influence on soil
respiration can help to develop strategies for coexistence with the semiarid region. The objective of
6 this work was to evaluate the influence of forage consortia on the maintenance of soil respiration in
a semi-arid environment and to correlate them with the production of aerial biomass. For this
8 purpose, a deficit irrigation experiment was carried out in the field (7° 52' 05.5" S & 38° 02' 27.3"
W), during the dry season, in a completely randomized design, in a split-plot arrangement, with 4
10 irrigation systems. crops (Palm - P; Palm + Sunn Hemp - PC; Palm + Pigeon pea - PG; Palm +
Leucena - PL), with presence and absence of millet (With and Without), evaluated at 35, 45 and 55
12 DAR (days after replanting)), in 5 replicates with 2 replicates. Soil respiration was monitored with
the IRGA (infrared gas analyzer). Soil moisture and temperature were monitored simultaneously
14 with respiration. The leaf area index (LAI) was measured to evaluate the dynamics of the vegetation
cover of the cropping systems, with fresh and dry aerial biomass obtained at 60 DAR. The known
16 biomass allowed us to examine the yields of the consortia from the competitiveness indices:
Equivalent Land Ratio (LER), Aggressiveness (A), Relative Agglomeration Coefficient (K),
18 Competitive Ratio (CR) and Real Yield Loss (AYL) . As the values of soil moisture and temperature
remained constant over time, the difference in respiration was due to the action of plants and soil
20 microorganisms under different cropping systems. The presence of millet in the systems
significantly increased respiration, by almost 100%, for most plots. The interaction between
22 individuals favored respiration and its development, corroborating the results of the IAF that
indicated differences in the vegetation cover of the systems with the presence of millet. This implies
24 that the increase in biomass in the presence of triple consortia is greater, even with higher
respiration. The indices indicated strong competition between species, and millet prevails as the
26 dominant species. Therefore, considering the degree of biomass demand over time, it is concluded
that the systems PC + Millet, PG + Millet and PL + Millet are the best combinations of triple
28 consortia for short, medium and long term supply of food to animals.

Keywords: Forage species, CO₂ efflux, LAI, Competitiveness indices, intercropped cultures.

Índice de figuras

Figura 1. Subsistema de irrigação por gotejamento com destaque para o sistema com palma solteira.	22
Figura 2. Temperatura do solo nos tratamentos aos 35, 45 e 55 DAR.....	29
Figura 3. Umidade do solo, na camada 0 - 10 cm, para os fatores sistemas e milho aos 35, 45 e 55 dias.....	31
Figura 4. Respiração total do solo nos tratamentos aos 35, 45 e 55 DAR.....	32
Figura 5. Índice de Área Foliar para os fatores sistemas e milho aos 35, 45 e 55 DAR.....	35

Índice De Tabelas

Tabela 1. Rendimento total da biomassa aérea fresca e seca das espécies de leguminosas e do milho, em g planta ⁻¹	36
Tabela 2. Índices de competitividade de carácter total entre as espécies consorciadas.....	37
Tabela 3. Índices de competitividade de carácter individual das espécies consorciadas.....	38

Sumário

Apresentação.....	15
1. Introdução.....	16
2. Contextualização.....	17
3. Objetivos.....	20
Geral.....	20
Específicos.....	20
4. Material e métodos.....	20
Área experimental.....	20
Instalação e condução experimental.....	20
Respiração, umidade e temperatura do solo.....	23
Índices de área foliar e de competitividade dos consórcios.....	24
Análise estatística.....	27
5. Resultados e discussão.....	27
6. Conclusões.....	39
7. Referências bibliográficas.....	40

Apresentação

2 A respiração do solo é uma medida quantitativa utilizada para calcular o balanço de carbono
em um ecossistema. É resultante do processo metabólico dos organismos vivos. Em ambientes
4 equilibrados, a ciclagem de nutrientes permite a renovação da matéria orgânica no solo e
desenvolvimento das plantas, essa disponibilidade de recursos e alimentos permite o livre
6 desenvolvimento da vida que, conseqüentemente, respira. Durante o processo de fotossíntese os
organismos fotossintetizantes sequestram carbono atmosférico, na forma de gás CO₂, metabolizam,
8 transformam, transportam e incorporam a biomassa, contudo, ao realizar o processo de respiração,
produzem novamente CO₂ que é liberado na atmosfera. Proporcionalmente, esses indivíduos
10 sequestram mais que emitem. De modo natural, ao senescerem, estes indivíduos depositam sob a
superfície do solo carbono na forma de matéria orgânica, estes serão o alimento pros organismos
12 decompositores. Ao decompor matéria orgânica, os microrganismo se desenvolvem e, nesse
processo, respiram, como consequência, emitem CO₂ de volta pra atmosfera.

14 Todo o corpo vegetal vivo respira, todo microrganismo respira, assim, isolando esses
componentes por setores tem-se a respiração aérea, que envolve a copa das plantas, e a respiração
16 do solo, que contempla as raízes das plantas e os microrganismos. A planta produz o próprio
alimento, e respira, essa respiração é denominada autotrófica. Já os microrganismos consomem
18 matéria orgânica e, pra se desenvolver, respira, essa é denominada heterotrófica. Pra haver vida é
necessário recursos ambientais, para as plantas, luz, temperatura, água e nutrientes, para os
20 microrganismos são estes mesmos recursos, com ressalva pois estes nutrientes são obtidos pelo
alimento. Assim, a respiração é um fator interno do indivíduo mas que é limitado pelo ambiente e
22 seus recursos. Além disso, quanto mais indivíduos presentes no mesmo ambiente, mais respiração
há.

24 A respiração do solo é um forte indicador de equilíbrio ecológico e pode ser quantificado.
Isolando uma pequena superfície do solo é possível acoplar equipamentos sensíveis ao CO₂. Estas
26 medidas são fortes indicadores da qualidade do solo e pode ser utilizado para estudar florestas
naturais, florestas plantadas, áreas de recuperação, cultivos agrícolas e pastagens. Portanto, essa
28 dissertação em corpo único apresenta conceitos, hipóteses, contextualizações e justificativas de um
estudo realizado sob um olhar para forragicultura do semiárido, através da técnica de consórcio,
30 utilizando a respiração do solo e produção de biomassa aérea como auxiliares de discussão.

1. Introdução

2 O estudo do balanço de carbono de agroecossistemas em clima semiárido auxilia na
explicação dos efeitos da substituição da floresta natural por sistemas de produção agrícola ou
4 pastagens (RAMESH et al., 2019; SHI et al., 2019). As plantas fixam CO₂ atmosférico pela
fotossíntese, transforma, redistribui e compartimentaliza, em contrapartida, o processo de respiração
6 autotrófica das raízes, associada a respiração heterotrófica dos organismos do solo, emitem CO₂ pra
atmosfera (KIRSCHBAUM et al., 2001; LAL, 2019; BARNARD et al., 2020) limitados pela
8 temperatura e umidade do solo (SILVA et al., 2019), condicionados pelo ambiente, o clima, a
vegetação, manejo do solo (LAL, 2019; SANTANA et al., 2019) e salinidade (DATTA et al., 2019;
10 CHITDESHWARI et al., 2020). Estudar a respiração em ecossistemas e agroecossistemas,
especialmente de clima semiárido, dá suporte na avaliação da saúde do solo e auxilia na justificativa
12 de modificação do ambiente para fins agrícolas, principalmente multiculturais, como pastagens
mistas, consórcios forrageiros, adubação verde e agroflorestas (ABBAS et al., 2020).

14 Conceitua-se respiração do solo como o processo de produção de energia e desenvolvimento
metabólico que resulta na emissão de CO₂ para a atmosfera (YIQI; ZHOU, 2010). A liberação de
16 CO₂ do solo é influenciada pelo crescimento das raízes das plantas e composição microbiana do
solo, incluindo a respiração autotrófica pelas raízes das plantas e a respiração heterotrófica dos
18 microrganismos do solo (ZHANG et al., 2020). A fração heterotrófica contribui com mais de 60%
da respiração total do solo, pela constante atividade microbiologia de decomposição (ABS;
20 FERRIÈRE, 2020). O processo de exsudação das raízes, a atividade enzimática microbiológica de
decomposição e a respiração, das raízes e dos microrganismos, são preditores da respiração global
22 do solo (BECKER; HOLZ, 2021). A respiração total é uma medida quantitativa que auxilia no
entendimento do equilíbrio ecológico em um determinado ecossistema, refletindo diretamente no
24 grau de impacto sobre o ambiente e que ajuda a justificar uso de solos para fins agrícolas (LIMA et
al., 2020).

26 A biodiversidade torna a respiração total uma medida complexa, por causa da influência das
fenologias das plantas de cobertura e influências na rizosfera, da capacidade de interação com os
28 fatores limitantes e condicionantes do ambiente que provocam as variações na respiração
(BARRON-GAFFORD et al., 2011). Comparativamente, florestas nativas, principalmente de climas
30 tropicais, apresentam maiores taxas de emissão de CO₂ do solo, e que normalmente são mais
intensos nas estações chuvosas (ALMAGRO et al., 2009). Os ecossistemas terrestres liberam cerca
32 de 60 Gt C ano⁻¹ do solo, dos quais, 40% são provenientes de florestas tropicais (PEREIRA, 2018;
KIM et al., 2019). Estima-se que 85% do CO₂ emitido por uma floresta vem do solo (FERREIRA,

2015). A elevada variação de temperatura e umidade nesses solos favorece a produção e decomposição de matéria orgânica e, conseqüentemente, a emissão de CO₂ (MANTOVANELLI et al., 2016).

4 A substituição da vegetação nativa por cultivos agrícolas ou pastagens, alteram a dinâmica com o meio, decaindo os valores de respiração do solo e, em contrapartida, reduzem as taxas de absorção de CO₂ atmosférico (DUSZA, 2020). O incremento de fitomassa aérea e dos índices de cobertura vegetal para fins agrícolas e de acordo com o uso do solo, influencia diretamente na 6 respiração do solo (ZHANG et al., 2020). Os agroecossistemas forrageiros formam uma cobertura vegetativa estratégica na mitigação das mudanças climáticas, visto que ocupam 13% da área de 8 cultivo global, contudo, as medidas de respiração total do solo nesses ambientes ainda estão sendo estudadas (FRANCIONI et al., 2020). O tipo de vegetação, finalidade de uso, pastejo, corte ou 10 pousio são cruciais nos níveis de emissão desse gás (FER et al., 2020).

Estudos indicam que diferentes níveis de corte, ou pastejo, de espécies forrageiras, em curto 14 prazo, não afetaram significativamente as taxas da respiração total, permitindo assim um uso mais intensivo destes ambientes (FRANCIONI et al., 2020). Portanto, utilização de espécies forrageiras 16 consorciadas pode melhorar a disponibilidade de alimento animal e a saúde de solos no semiárido. O incremento de biomassa aérea de um sistema multicultivo favorece à emissão de CO₂ por 18 respiração do solo, ao mesmo tempo que condiciona o aumento da taxa de sequestro de CO₂ atmosférico, interferindo no balanço de carbono. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a 20 influência de consórcios de plantas forrageiras na manutenção da respiração total do solo em ambiente semiárido, sob condição irrigada, correlacionando-as com medidas do índices de cobertura 22 vegetal e o incremento de biomassa.

2. Contextualização

24 Segundo a classificação de Köppen, 15% da superfície terrestre tem o clima classificado como semiárido, abrigando quase 15% da população mundial (KOTTEK et al, 2006; HUANG et 26 al., 2016). São ecossistemas sensíveis às mudanças climáticas e severamente comprometida pela ação antrópica, principalmente pela agricultura (GARCIA-FRANCO et al., 2018). Historicamente, 28 o manejo agrícola nesses ambientes declinaram a qualidade dos solos, da água e no aumento da emissão de gases de efeito estufa atmosféricos (CAVALCANTE JÚNIOR et al., 2019). A conversão 30 de áreas degradadas em policultivos forrageiros surge como estratégia tecnológica para a ciclagem de nutrientes, manutenção da umidade e redução da emissão de carbono em agroecossistemas de 32 regiões semiáridas (PEREIRA FILHO et al., 2019; SOUZA et al., 2019). Quantificar a contribuição desses agroecossistemas na emissão e captação de CO₂ atmosférico dá suporte à justificativa de

adoção de tecnologias alternativas de produção de alimento e subsistência da agricultura no
2 semiárido (MEDEIROS et al., 2021).

A partir da visão socioeconômica ambiental, as problemáticas humanas, agrícolas, de
4 regiões semiáridas não se agravam, exclusivamente, pelas secas cíclicas, mas também como um
resultado de uma formação estrutural histórica do caráter exploratório dos recursos naturais locais
6 (CAVALCANTE JÚNIOR et al., 2019). Como consequência, os índices de desertificação crescem
constantemente em decorrência da perda de biodiversidade, redução da capacidade de retenção de
8 água, infertilidade do solo, erosão e salinidade (AFRASINEI et al., 2017). Atualmente, a
preocupação com a preservação desses ecossistemas fomenta pesquisas direcionadas a recuperação
10 de florestas, pastagens e áreas de grande potencial agricultável (ZETHOF et al., 2019). Tais estudos
comprovam que o balanço de carbono no sistema é favorecido a partir da implementação de
12 sistemas multiculturais nesses ambientes (FELICIANO et al., 2018; LIU et al., 2018; RAMESH et
al., 2019; MEDEIROS et al., 2021).

A conversão de áreas degradadas em pastagens, quando comparadas a reflorestamento ou
14 cultivo agrícola, sequestra mais carbono e melhora sua dinâmica no solo (RAMESH et al., 2019),
16 pois as forrageiras adaptadas ao clima semiárido investem em biomassa radicular, eficiência no uso
da água e poder competitivo (MacADAM; NELSON, 2020) melhorando as condições do
18 microambiente. O consórcio de diferentes grupos forrageiros é uma alternativa para a resiliência das
pastagens no semiárido (SOUZA et al., 2019), pois aumentam a dinâmica de carbono (STAGNARI
20 et al., 2017; MEDEIROS et al., 2021). O consórcio de forrageiras favorece a recuperação de áreas
degradadas, sequestram e otimizam o CO₂ atmosférico, regulam a respiração total no solo e dão
22 subsídio à produção de alimento animal.

As perspectivas futuras para criação animal no semiárido envolvem o cultivo de plantas
24 resistentes aos intempéries destes ambientes (GUSHA et al., 2015). Atualmente, o cacto Palma
(*Opuntia stricta* Haw.) é uma das principais culturas estudadas e cultivadas no semiárido, possui
26 uma alta relação água-biomassa, excelente armazenamento de água, e devido ao seu valor
energético, alto coeficiente de digestibilidade e grande adaptabilidade às condições climáticas. É
28 uma alternativa para suprir a falta de alimento e água para os animais em períodos escassez hídrica
(SOUZA et al., 2019). Um estudo desenvolvido por Silva et al., (2014) no semiárido sergipano em
30 2009, concluiu que é possível adensar a palma e melhorar a produção de biomassa. Neste estudo,
nas densidade de 10.000 e 80.000 plantas ha⁻¹, teve uma produção de 100 e 400 t ha⁻¹ de massa
32 verde, e 5,8 e 20,2 t ha⁻¹ de massa seca, respectivamente. Contudo, a palma forrageira não é uma

planta rica em fibra, por isso, aconselha-se o fornecimento de uma gramínea forrageira para suprir
2 essa deficiência nutricional (DINIZ et al., 2017).

No que diz respeito ao cultivo de gramínea forrageira no semiárido, o milheto (*Pennisetum*
4 *glaucum*) é uma das principais alternativas, com elevados níveis de armazenamento e eficiência
hídrica, energia, sais minerais e fibra, além de alta tolerância a salinidade, estresses hídricos e
6 térmicos (SOUZA et al., 2019; ROCHA FILHO et al., 2021). A variedade produzida pelo Instituto
Agrônômico de Pernambuco (IPA), a IPA BULK 1 se destaca como sendo uma das mais produtivas,
8 com um ciclo que varia entre 70 e 120 dias, sendo uma excelente alternativa para produção de
silagem (LIRA et al., 2017). O milheto se sobressai sobre as demais gramíneas forrageiras de não-
10 pastejo, pois é uma cultura com baixa demanda hídrica, exigindo em média 350 mm de água por
ciclo, enquanto o sorgo e o milho requer 14 e 42%, respectivamente (ULLAH et al., 2017).

12 As gramíneas forrageiras no entanto apresentam um teor relativamente baixo de proteínas
quando comparadas as leguminosas forrageiras (DAS et al., 2015). No que diz respeito a
14 recuperação de pastagens ou áreas degradadas, a utilização de leguminosas, principalmente
forrageiras, são as mais indicadas (TERRA et al., 2019). Recuperar áreas degradadas plantando
16 leguminosas apresenta várias vantagens, destacando-se a capacidade de associação com bactérias
fixadoras de nitrogênio, reduzindo a utilização de fertilizantes químicos nitrogenados (MEENA;
18 LAL, 2018). Para a alimentação animal, as leguminosas forrageiras apresentam maior teor de
proteína bruta, menor proporção de parede celular e boa digestibilidade da matéria seca
20 (CAPSTAFF; MILLER, 2018).

No grupo das leguminosas encontram-se o feijão guandu (*Cajanus cajan*), altamente
22 tolerante às condições adversas de ambientes semiáridos (MUSOKWA; MAFONGOYA, 2021).
Trata-se de uma cultura agrícola amplamente cultivada como alimentação humana no semiárido,
24 através dos grãos (BENEVIDES et al., 2019); a crotalária (*Crotalaria juncea*) que possui ciclo
rápido, grande capacidade de fixar nitrogênio no solo, com excelente desenvolvimento em
26 ambientes tropicais e recurso na adubação verde (DAS et al., 2020); e a leucena (*Leucaena*
leucocephala) espécie arbórea, utilizado na agricultura como arbusto, excelente taxa de rebrota,
28 elevada capacidade adaptativa e alta palatabilidade (SANTOS et al., 2017). Portanto, tem-se assim
diferentes culturas pra diferentes aptidões no espaço e no tempo.

30 O desenvolvimento de pesquisas agrícolas baseiam-se em uma realidade comum entre os
produtores rurais do semiárido pois a agricultura familiar de subsistência é a principal característica
32 da população. Associado a limitação técnica e financeira, o recursos naturais são baixos e, quando
existentes, são de baixa qualidade. Muitos solos do semiárido brasileiro apresentam algum grau de

degradação e as águas subterrâneas possuem elevado grau de salinidade. Como alternativa de produção, os agricultores optam por plantios consorciados e a criação de animais. Para tal, buscamos associar o cultivo de culturas consorciadas e fomentar a criação animal.

3. Objetivos

Geral

Avaliar a influência de consórcios de plantas forrageiras irrigadas na manutenção da respiração total do solo em ambiente semiárido.

Específicos

- Aferir a variação da respiração total no solo em diferentes combinações de consórcios: Palma vs milho vs leguminosas;
- Aferir o efeito da competição entre plantas consorciadas na produção de biomassa aérea.
- Avaliar o efeito da competição no rendimento dos consórcios duplos e triplos através dos índices de competitividade;

4. Material e métodos

• Área experimental

O experimento foi conduzido em campo na comunidade Souto (7° 52' 05.5" S & 38° 02' 27.3" W), situada na porção territorial do vale do Pajeú do município de Triunfo, sertão do estado de Pernambuco, Brasil. A vegetação predominante é a Caatinga e o clima é classificado por Köppen como Bsh, semiárido quente e seco, com precipitações médias anuais de 645 mm e temperaturas de 25°C (KOTTEK et al., 2006).

O solo é um Neossolo litólico de textura franco arenosa, plano com declividade menor que 10%, explorado por agricultura de subsistência no período de 2014 – 2020 tendo como as principais práticas agrícolas a queimada, aração e o cultivo em consórcio. Inicialmente, a área total de 800 m² (40 m x 20 m) estava ocupada uma vegetação nativa arbustiva, na qual foi manualmente removida, em janeiro de 2020.4.2

• Instalação e condução experimental

Foram cultivadas três espécies de plantas forrageiras em consórcio: i) A Palma forrageira (*Opuntia stricta* Haw.); ii) três leguminosas, Guandu (*Cajanus cajan*), Crotalária (*Crotalaria*

1 *juncea*) e *Leucena* (*Leucaena leucocephala*); iii) uma gramínea, Milheto (*Pennisetum glaucum*). A
2 palma forrageira cv orelha de elefante mexicana (*Opuntia stricta* Haw.) foi a única espécie de planta
mantida em todas as parcelas experimentais.

4 A palma foi a primeira espécie vegetal a ser plantada na área experimental, em 28 de
fevereiro de 2021. A palma semente foi advinda de um plantio local, sendo plantado cladódios de 2°
6 e 3° ordem de forma aleatória nas parcelas. Foram 3 linhas de 5 indivíduos cada, espaçados a 50 cm
para manter uma densidade de 25.000 plantas por ha. Todos os indivíduos plantados tiveram
8 sucesso no pegamento. A densidade adotada segue trabalhos com adensamentos deste clone,
obtendo números próximos á 50.000 plantas ha⁻¹ (SANTOS et al., 2020), de 20.000 a 100.000
10 plantas ha⁻¹ (PEREIRA et al., 2018), de 10.000 a 50.000 plantas ha⁻¹ (GALVÃO-JUNIOR et al.,
2014) e 33.333 a 66.666 plantas ha⁻¹ (LEMOS et al., 2021).

12 As demais espécies foram semeadas em 25 de agosto de 2021, sendo necessário o replantio
de algumas parcelas em 04 de setembro de 2021. As sementes de milheto (variedade IPA BULK-1-
14 BF), foi semeada em linha entres as fileiras de palma (50 cm), espaçadas a cada 40 cm, em sulcos,
numa densidade de plantas de 250.000 indivíduos por ha. Por recomendação técnica, para produção
16 de silagem, para densidade de 250.000 plantas ha⁻¹, o espaçamento entre linhas deve ser 80 cm, com
20 plantas por metro linear, contudo, obedecendo o espaçamento da palma, de 50 cm, e entre
18 plantas de 40 cm, o número indivíduos por sulco foi 5.

A crotalária foi comprada via comércio online (BR SEEDS) e o guandu e a leucena
20 adquiridas através de banco de sementes crioulas local, safra/colheita 2020. As três leguminosas
tiveram as mesmas densidades de cultivo de 200.000 plantas ha⁻¹ (50 cm entre linhas, 40 cm entre
22 sulcos, 4 sementes por sulco). Para Pereira et al., (2005) esta densidade se adéqua a crotalária. Com
relação ao guandu, Souza et al., (2007) destacam que a densidade máxima deve ser de 150.000
24 plantas ha⁻¹, contudo, com finalidade de produção de semente, assim, aumentar a densidade e ter a
finalidade de uso para corte e produção de feno/silagem é viável. A superpopulação se aplica apenas
26 para a leucena, pois, ao analisá-la como árvore, essa densidade se torna inviável. Segundo
Drummond & Ribaski (2010), uma população de 40.000 planta ha⁻¹, com ciclos de corte de 3 vezes
28 ao ano, pode produzir até 7,5 t ha⁻¹ por ano de matéria seca.

Inicialmente, essa população foi adotada para manter um plantel que sobrevivesse as
30 limitações ambientais, e que pudesse contribuir com os experimentos de respiração do solo. Para a
obtenção de alimento animal em um curto espaço de tempo, mais indivíduos por metro linear foi
32 semeado para garantir uma maior produção no primeiro ciclo. Depois de uma estabilização,

eliminou-se 80% das plantas de leucena por unidade experimental, ou seja, manteve-se 1 indivíduo por sulco, resultando numa população de 50.000 plantas ha⁻¹.

Para analisar a influência do consórcio na respiração do solo e no desenvolvimento vegetativo, foi implantado um experimento em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em arranjo de parcela subdividida, com 8 tratamentos e 5 repetições. A área de cada parcela é de 6 m² (3m x 2m). Os tratamentos são as combinações entre os dois fatores (sistemas e milheto). O fator primário, ou parcela, é o que denominamos de sistemas compostos por uma parcela de Palma Solteira (P) como testemunha, Palma + Crotalária (PC), Palma + Guandu (PG) e Palma + Leucena (PL). O fator secundário, ou subparcela, é a ausência (SEM) ou presença (COM) de milheto, compondo o consórcio triplo. A área útil experimental media 2m² (2m x 1m) no interior da unidade experimental.

Após 50 dias do semeio das culturas e replantio, ou seja, da implantação dos tratamentos, foram registrados apenas 2 eventos de chuva que acumularam 60 mm, aferidos por um pluviômetro instalando ao lado do experimento. Para manter o pleno desenvolvimento das espécies, e garantir apenas o efeito destes indivíduos sobre as variáveis respostas, foi proposto a irrigação a partir de um sistema pressurizado por gotejamento.

Foram instaladas linhas espaçadas a cada 50 cm, com distância entre emissores de 20 cm, e vazão média de 2,6 l h⁻¹. A água foi obtida a partir de um poço semi artesiano, cujo pH e condutividade elétrica (CE) é de 5,6 e 3,9 dS m⁻¹, respectivamente. Um volume de água diário limitado apenas 2000 l/dia, garantiu uma lâmina de irrigação constante de 6,5 mm por unidade experimental (Figura 1).

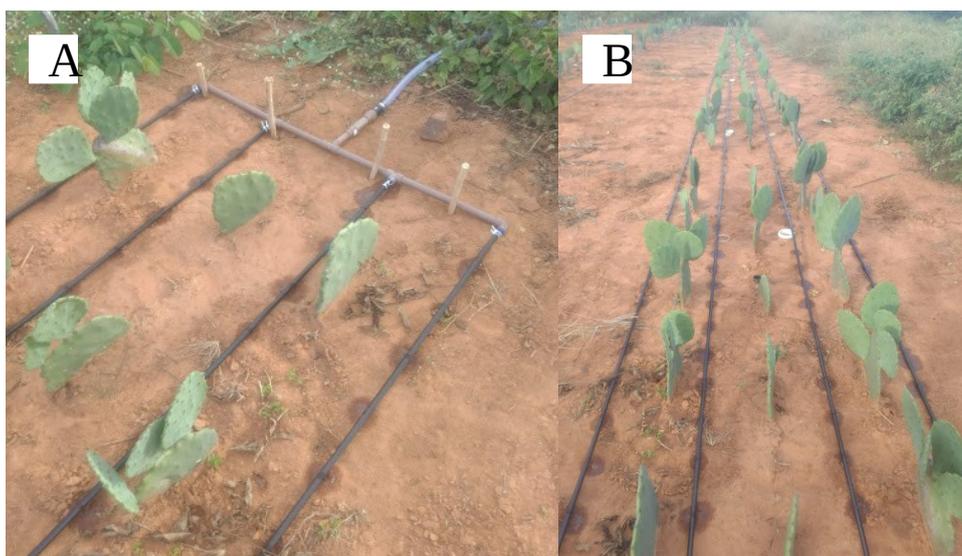


Figura 1. Subsistema de irrigação por gotejamento com destaque para o sistema com palma solteira.

Devido ao baixo volume de água e a baixa velocidade de reposição, o sistema de irrigação foi dividido em 5 partes, cada um responsável por 4 linhas, irrigando simultaneamente 8 parcelas experimentais (Figura 1). Para haver maior controle no volume irrigado, cada sistema era mantido ligado por 15 minutos, sempre de forma aleatória para não promover diferenciação de parcelas.

- **Respiração, umidade e temperatura do solo**

A respiração total (R_s) foi quantificada a partir de um analisador de gás por infravermelho (IRGA LI6400-XT –LI-COR), baseado na absorção de radiação na banda do infravermelho ($\lambda > 0,7\text{mm}$) pelo CO_2 , conectado a uma câmara de retenção de CO_2 ($\mu\text{mol}_c \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) (LI-6400-09, LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA), acoplado ao cilindro cravado no solo, até sua estabilização (Imagem 2). As aferições da respiração total se deram aos 35 após o replantio (35 DAR), aos 45 dias após o replantio (45 DAR) e aos 55 dias após o replantio (55 DAR), e para cada tempo, foram realizadas 2 medidas da respiração total por parcela. As aferições eram aleatórias entre as parcelas, afim de eliminar o efeito do ganho de temperatura ao longo do dia, pois as medidas iniciavam às 09h e terminavam às 15h, para 35, 45 e 55 DAR.

A umidade do solo (θ) foi aferida simultaneamente às medidas da respiração. Foram instalados tubos de acesso de PVC, com 30 cm de profundidade, monitorada a partir da sonda Diviner FDR (SENTEK®), instalados em 10 de junho de 2021. Conforme proposto por Resende et al., (2017), foram utilizados neste experimento eletrotubos pretos, na qual foi necessário realizar uma calibração previa para as constantes dielétricas do ar e da água sob influencia do material, seguindo a metodologia proposta no manual do aparelho. Por esta calibração, foi possível constatar que o valor médio para a umidade na capacidade de campo (θ_{cc}) foi de aproximadamente 22%. O FDR monitorou as umidades das camadas de 00 – 10 cm, 10 – 20 cm e 20 – 30 cm de profundidade, expressando os dados em %, para todas as parcelas, no respectivo instante da medida da respiração total. Para avaliar o efeito sob a respiração do solo, foi utilizado os valores correspondente á camada de 0-10 cm.

A temperatura da superfície do solo (T_s)(primeiros 15 cm) foi aferida por um termômetro digital portátil de haste (MINIPA – MV-363, precisão básica de 3°C) para cada medida da respiração. A camada superficial do solo concentra a maior densidade de raízes, microbiologia do solo, por consequência do maior acumulo de matéria orgânica e nutrientes do solo, sendo estes os principais responsáveis pelos níveis de CO_2 emitidos pela respiração total. Além disso, a cobertura vegetal atua diretamente na quantidade de radiação que atinge o solo, promovendo a manutenção da temperatura.

- **Índices de área foliar e de competitividade dos consórcios**

2 O índice de área foliar (IAF) é a relação entre a área do dossel e a superfície do solo por ela
ocupada, em $m^2 m^{-2}$ e foi aferida pelo ceptômetro Accupar LP-80 (METER ENVIRONMENT).
4 Consiste na diferença entre a radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel com a
total. Uma vez que essa medida é diretamente relacionada com a qualidade do indivíduos vegetais
6 presentes, um efeito de competição, ou interação, além de influenciar no IAF, age diretamente sobre
o desenvolvimento vegetativo e conseqüentemente na respiração do solo. Para cada bateria de
8 medida da respiração, foram realizadas mensurações de IAF. Cada medida consistia na média entre
4 valores obtidas por mensurações ao norte, sul, leste e oeste da área útil experimental, com o
10 sensor sob a superfície do solo.

Por se tratar de um agroecossistema com diferentes níveis de consórcio entre plantas
12 forrageiras, há efeitos de interação, ou competição, entre os indivíduos (DOUBI et al., 2016;
KHONDE et al., 2018). Para avaliar esses efeitos dentro de cada tratamento foram utilizados os
14 índices de competição, determinados por Razão Equivalente de Terra (LER), Agressividade (A),
Coeficiente de Aglomeração Relativa (K), Razão Competitiva (CR) e Perda de rendimento real
16 (AYL).

Para aplicação destes índices são necessários dados de rendimento comuns entre todos os
18 indivíduos, portanto, foi utilizado os valores da biomassa aérea fresca e seca. Os valores de
biomassa foram obtidos aos 60 DAR para todas as espécies, com exceção da palma forrageira que
20 não atingira a idade ideal para a colheita. É recomendada colheitas bienais da palma forrageira
(FARIAS et al., 2005). No centro da área útil experimental, selecionou-se 10 indivíduos por espécie,
22 seccionados a 15 cm da superfície do solo. As amostras foram fragmentadas, ensacadas em
recipientes de papel e aferida sua massa com auxílio de uma Balança eletrônica semi analítica
24 SHIMADZU BL3200H (precisão de 0,01g). Estas mesmas amostras foram submetidas a secagem
artificial, em estufa de circulação forçada à temperatura de $65 \pm 5^\circ C$, durante o período de 72 horas, a
26 massa resultante determinou a biomassa aérea seca. Os resultados estão expressos em $g planta^{-1}$.

Para determinação desses índices, obteve-se o rendimento específico das espécies em
28 monocultivo sob mesmo ambiente. A biomassa de referência, tanto fresca como seca, foram
definidas a partir da seleção de indivíduos com melhor desenvolvimento vegetativo (aspecto visual
30 de altura e desenvolvimento de copa), em todo o campo experimental, por tratamento. Os
indivíduos formaram uma amostra composta, por espécie.

32 Com exceção do LER, definiu-se os demais índices apenas entre as leguminosas e o
milheto. Como o rendimento da palma não foi quantificado, alguns índices não foram avaliados

entre as culturas de modo geral. Apesar do efeito da palma forrageira sobre as demais culturas dos consórcios triplos, partiu-se do pressuposto que essa competição foi a mesma para todas as espécies.

A Razão Equivalente de Terras (LER) indica a eficiência do consórcio quando comparado ao monocultivo, na exploração dos recursos ambientais disponíveis e calculado a partir de:

$$LER = LER_{Leguminosa} + LER_{Milheto} \quad (1)$$

com,

$$LER_{Leguminosa} = \frac{Y_{CL}}{Y_{SL}} \quad (2)$$

e

$$LER_{Milheto} = \frac{Y_{CM}}{Y_{SM}} \quad (3)$$

sendo Y_{CL} o rendimento de uma leguminosa específica (Crotalária, Guandu e Leucena) no consórcio, Y_{SL} o rendimento da leguminosa no monocultivo, Y_{CM} o rendimento do milho no consórcio e Y_{SM} o rendimento do milho no monocultivo,

Quando o $LER > 1$ o consórcio favorece o crescimento e a produtividade das espécies, quando o $LER < 1$, o consórcio afeta negativamente o crescimento e a produtividade das plantas, e a competição interespecífica supera a interação intraspecífica dentro do sistema consorciado (ZHANG et al., 2011).

A Agressividade (A) determina a relação competitiva entre as espécies e avalia qual se sobressai sob a outra, a partir de:

$$A_{Leguminosa} = \frac{Y_{CL}}{Y_{SL} \cdot P_{CL}} - \frac{Y_{CM}}{Y_{SM} \cdot P_{CM}} \quad (7)$$

e

$$A_{Milheto} = \frac{Y_{CM}}{Y_{SM} \cdot P_{CM}} - \frac{Y_{CL}}{Y_{SL} \cdot P_{CL}} \quad (8)$$

onde P_{CL} é a proporção de plantio da leguminosa (20 plantas m^{-2}) e P_{CM} é a proporção de plantio do milho no consórcio (25 plantas m^{-2}). Note que os fatores de ambas as formulas são os mesmos, isso significa que, quando os rendimentos forem iguais, o resultado será 0, ou seja, ambas as culturas são igualmente competitivas. A espécie que apresenta valor de A positivo, é dominante, e quando A for negativo, esta é a dominada.

O Coeficiente de aglomeração relativa (K) é uma medida da dominância relativa de uma espécie sobre a outra em um consórcio em função do rendimento da população, dada por:

$$K = K_{Leguminosa} \cdot K_{Milheto} \quad (9)$$

2 com,

$$K_{Leguminosa} = \frac{Y_{CL} \cdot P_{CM}}{(Y_{SL} - Y_{CL}) \cdot P_{CL}} \quad (10)$$

4 e

$$K_{Milheto} = \frac{Y_{CM} \cdot P_{CL}}{(Y_{SM} - Y_{CM}) \cdot P_{CM}} \quad (11)$$

6 Quando o $K > 1$, há vantagem de rendimento; quando $K = 1$, não há vantagem de rendimento; e quando $K < 1$, há uma desvantagem.

8 A taxa ou razão de competitividade (CR) é um indicador de avaliação de competição entre cultura, contudo, mais vantajoso que A e K. O CR usa a proporção de LER's individuais das
10 culturas consorciadas e leva em consideração a proporção das culturas em que são semeadas inicialmente, calculada a partir de:

$$12 \quad CR_{Leguminosa} = \frac{LER_{Leguminosa} \cdot P_{CM}}{LER_{Milheto} \cdot P_C} \quad (12)$$

e

$$14 \quad CR_{Milheto} = \frac{LER_{Milheto} \cdot P_C}{LER_{Leguminosa} \cdot P_{CM}} \quad (13)$$

16 Se $CR > 1$, mais competitivo, se $CR < 1$, menos competitivo. Culturas com CR's, simultaneamente < 1 ou > 1 , quem apresentar maior valor é mais competitivo.

A Perda real de rendimento (AYL) é um índice mais preciso, tanto entre quanto dentro das
18 culturas consorciadas, pois é baseado em rendimento por planta. O AYL é a perda ou ganho proporcional de rendimento dos consórcios em relação ao respectivo cultivo solteiro, ou seja, leva
20 em consideração a proporção real semeada dos cultivos componentes com seu estande único. Contudo, como o rendimento do monocultivo foi obtido a partir de indivíduos referências, assume-se
22 se que ambas as condições tenham as mesmas populações por unidade área (superpopulação em consorcio ou subpopulação em solteiro), dada por:

$$24 \quad AYL = AYL_{Leguminosa} + AYL_{Milheto} \quad (14)$$

com,

$$26 \quad AYL_{Leguminosa} = \frac{Y_{CL}}{P_{CL}} / \frac{Y_{SL}}{P_{SL}} - 1 \quad (15)$$

e

$$AYL_{Milheto} = \frac{Y_{CM}}{P_{CM}} / \frac{Y_{SM}}{P_{SM}} - 1 \quad (16)$$

onde $P_{CL} = P_{SL}$ e $P_{CM} = P_{SM}$; Os valores positivos ou negativos de AYL indicam a vantagem ou desvantagem do consórcio.

• Análise estatística

Os dados da R_s , θ , T_s e IAF foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificação da suposição de normalidade e ao teste de Levene para verificação da homoscedasticidade. Apenas os dados que apresentaram inconsistências quanto a normalidade precisaram ser transformados, sendo submetidos a análise BoxCox (OSBORNE, 2010), para determinação do valor de λ (fator de transformação):

$$y_\lambda = y^\lambda, \text{ para } (\lambda \neq 0) \quad (17)$$

e

$$y_\lambda = \log y, \text{ para } (\lambda = 0) \quad (18)$$

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ao nível de probabilidade de 5%, pelo pacote ExpDes.pt, no Rstudio (R CORE TEAM, 2020). Para os índices de competitividade (LER, A, K, CR e AYL) os valores foram expressos como média \pm desvio padrão.

5. Resultados e discussão

No período de transição entre a época de chuva e seca, já com a palma em pleno desenvolvimento a pelo menos 3 meses, quando os solos se encontravam expostos à uma intensa radiação solar que interferia para o aumento da T_s e redução da θ , além de uma baixa atividade microbiológico e reduzida degradação de matéria orgânica, instalou-se os tubos de respiração.

As espécies forrageiras apresentaram bom desenvolvimento durante o período experimental. A palma, após o corte de uniformização, emitiram mais de 95% de novos cladódios, em média de 11 novos cladódios por planta. O milheto completou seu ciclo de desenvolvimento aos 60 DAR, emitindo a panícula em mais de 75% dos indivíduos em todas as parcelas. A cultura que melhor apresentou desenvolvimento foi a Crotalária, pois aos 30 DAR, alguns indivíduos aleatórios já apresentavam florescimento. Aos 45 DAR, a Crotalária encontrava-se em pleno florescimento, mantendo-se assim até os 60 DAR, quando a frutificação atingiu a maturação. O Guandu apresentou

apenas o desenvolvimento vegetativo, apesar de alguns indivíduos senescerem devido a limitação hídrica. O menor desempenho apresentado foi da Leucena, com poucos indivíduos atingindo os 30 cm de altura.

Os dados referentes a θ e T_s , apresentaram regularidade nos pré-requisitos para análise de variância (normalidade de resíduos e homoscedasticidade), contudo, a respiração do solo aos 35 e 45 DAR precisaram ser transformados para obtenção da normalidade, com os valores do fator de transformação λ no box cox (Equação 17) iguais a -0,3650 e -0,3527, respectivamente. Já para o IAF, apenas aos 35 DAR que apresentou irregularidade dos pré-requisitos, obtendo um valor de transformação λ igual a -0,7661. Os gráficos foram plotados a partir dos dados não transformados, mas a comparação estatística das médias foram feitas a partir dos dados transformados no método box cox.

Para explicar o fenômeno da respiração do solo total, é necessário conhecer os efeitos dos fatores limitantes, a T_s (Figura 2) e θ (Figura 3), que atuam simultaneamente e sinergicamente sobre os agentes condicionantes, influenciada pelas condições de clima, tempo e cobertura do solo, que diminui a incidência de radiação sob a superfície, devido ao efeito de interceptação pelo dossel da vegetação.

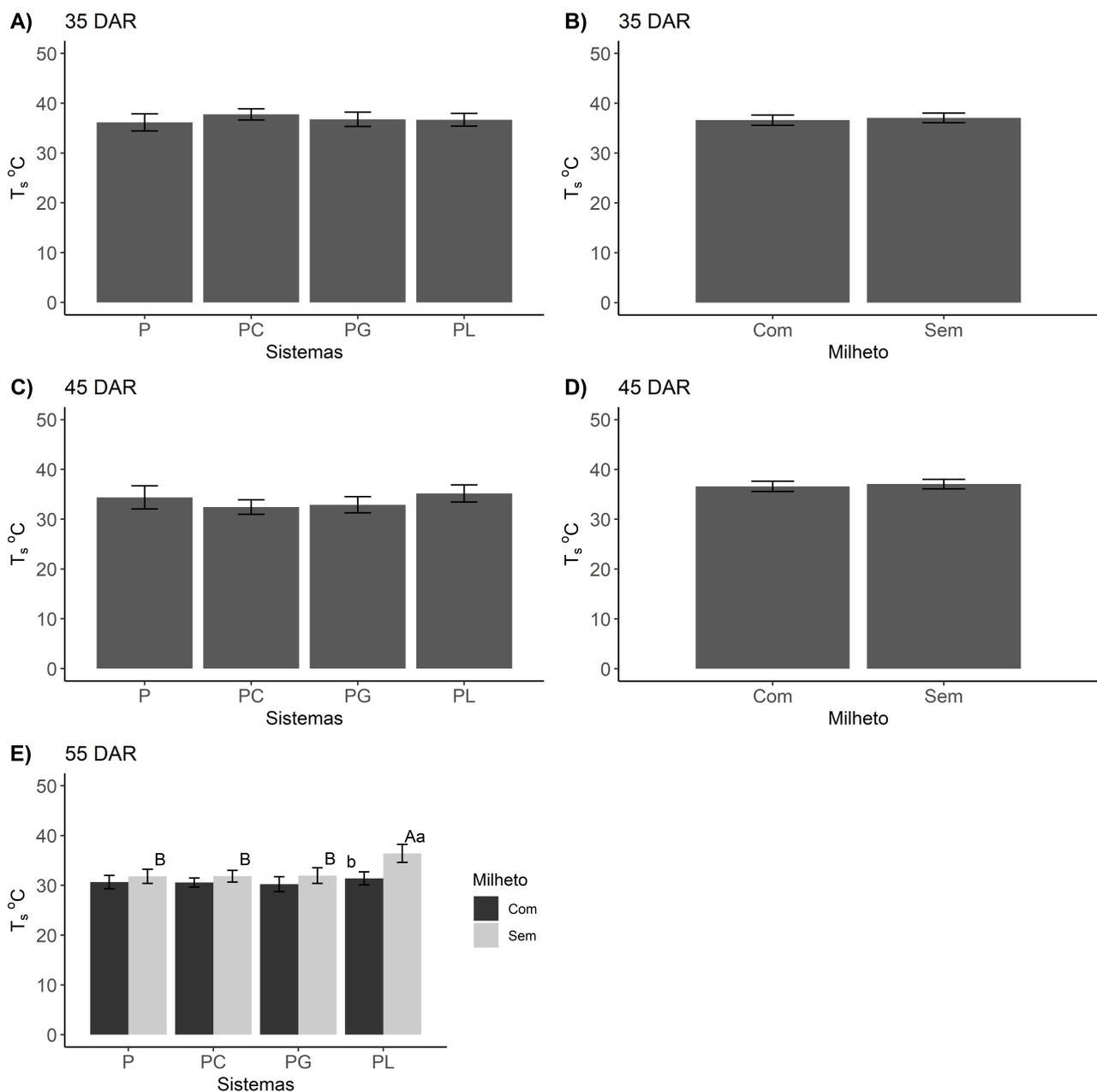


Figura 2. Temperatura do solo nos tratamentos aos 35, 45 e 55 DAR.

DAR - Dias após o replantio; T_s - Temperatura do solo; P - Palma; PC - Consórcio Palma + Crotalária; PG - Consórcio Palma + Guandu; PL - Consórcio Palma + Leucena; Com - Presença de milho; Sem - Ausência de milho. Letras minúsculas diferentes divergem entre si ao teste de tukey (0,05) para a presença ou ausência de milho dentro de cada nível de sistemas. Letras maiúsculas diferentes diferem ao teste de Tukey (0,05) no mesmo nível de milho entre os sistemas.

Não houve efeito de interação estatística entre os fatores Sistemas e Milho (p -valor 0,48 e 0,40, respectivamente) para T_s do solo aos 35 e 45 DAR, havendo apenas efeitos simples (Figura 2A, B, C e D). A interação entre os tratamentos para T_s se deu apenas aos 55 DAR (p -valor 0,03). A média da T_s do solo para os sistemas aos 35 DAR (Figura 2A) é praticamente igual, tendo em vista

que neste estágio as plantas estavam em desenvolvimento e a cobertura do dossel era pouca. No efeito simples da presença de milho os 35 DAR (Figura 1B), também houve uma diferença.

Durante a estação de seca na região semiárida, entre maio e outubro (SPARACINO et al., 2021), os índices de radiação fotossinteticamente ativa superam os $2000 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, atingindo temperaturas médias do ar acima dos 30°C (SOUZA et al., 2015). Essa radiação incidente na superfície do solo eleva sua temperatura, que varia de acordo com o dossel vegetal (BEZERRA et al., 2021). Em cultivos irrigados, mesmo durante as estações de seca, o fornecimento de água ajuda na manutenção da temperatura do solo (DONATONI et al., 2021). Outro fator é o desenvolvimento acelerado de culturas de caráter forrageiro, principalmente de ciclo C_3 e C_4 (SOUZA et al., 2018).

Aos 45 DAR, comparando tanto os sistemas (Figura 2C) como as condições de ausência e presença do milho (Figura 2D), não houve diferença entre as médias. A medida que aumenta o desenvolvimento vegetativo, a dinâmica do dossel ajuda diminuir a incidência de radiação e consequentemente reduz a T_s do solo. O destaque para a T_s do solo se dá aos 55 DAR (Figura 2E) quando percebe-se um efeito de interação entre os fatores (sistemas de cultivos *versus* condição com a presença e ausência de milho).

Apesar do saldo acumulado de chuvas entre 45 e 55 DAR (60 mm) reduzir a T_s do solo em $\pm 5^\circ\text{C}$, o consórcio PL apresentou uma temperatura média acima dos outros tratamentos, ficando até mesmo acima da temperatura média da Palma solteira, que, por característica, apresenta a menor taxa de cobertura vegetal, logo, maior exposição do solo. Tal comportamento não é apresentado para este mesmo consórcio (PL) na presença de milho. Supomos que há uma interação entre Palma-Leucena que contribua para elevar a temperatura do solo. Para os demais sistemas, a T_s manteve-se constante.

A temperatura é uma variável meteorológica importante na manutenção da vida, diretamente relacionada com a radiação, promove fotossíntese nos organismos vegetais, aumento de respiração, incremento de biomassa e, por consequência destes fatores, influenciam na θ , por evapotranspiração (KLUGE et al., 2015). Em outras palavras, a θ é afetada pela temperatura e pelo dossel, mesmo em cultivos irrigados (Figura 3).

A θ não apresentou diferença estatística entre as médias dos tratamentos para nenhum dos dias. Dos 35 aos 45 DAR, a irrigação manteve a umidade do solo constante. Aos 55 DAR, a chuva acumulada elevou a θ em mais de 2 vezes, contudo, o comportamento dos indivíduos vegetais apresentaram similaridades ao longo do tempo. Onde os indivíduos apresentaram maiores desenvolvimentos (crotalaria), ou onde a demanda hídrica foi maior (consórcios triplos) há uma tendência nos valores de umidade em apresentarem valores médios menores. Isso demonstra que a

umidade favoreceu o desenvolvimento das espécies e consequentemente influenciou na respiração destes indivíduos.

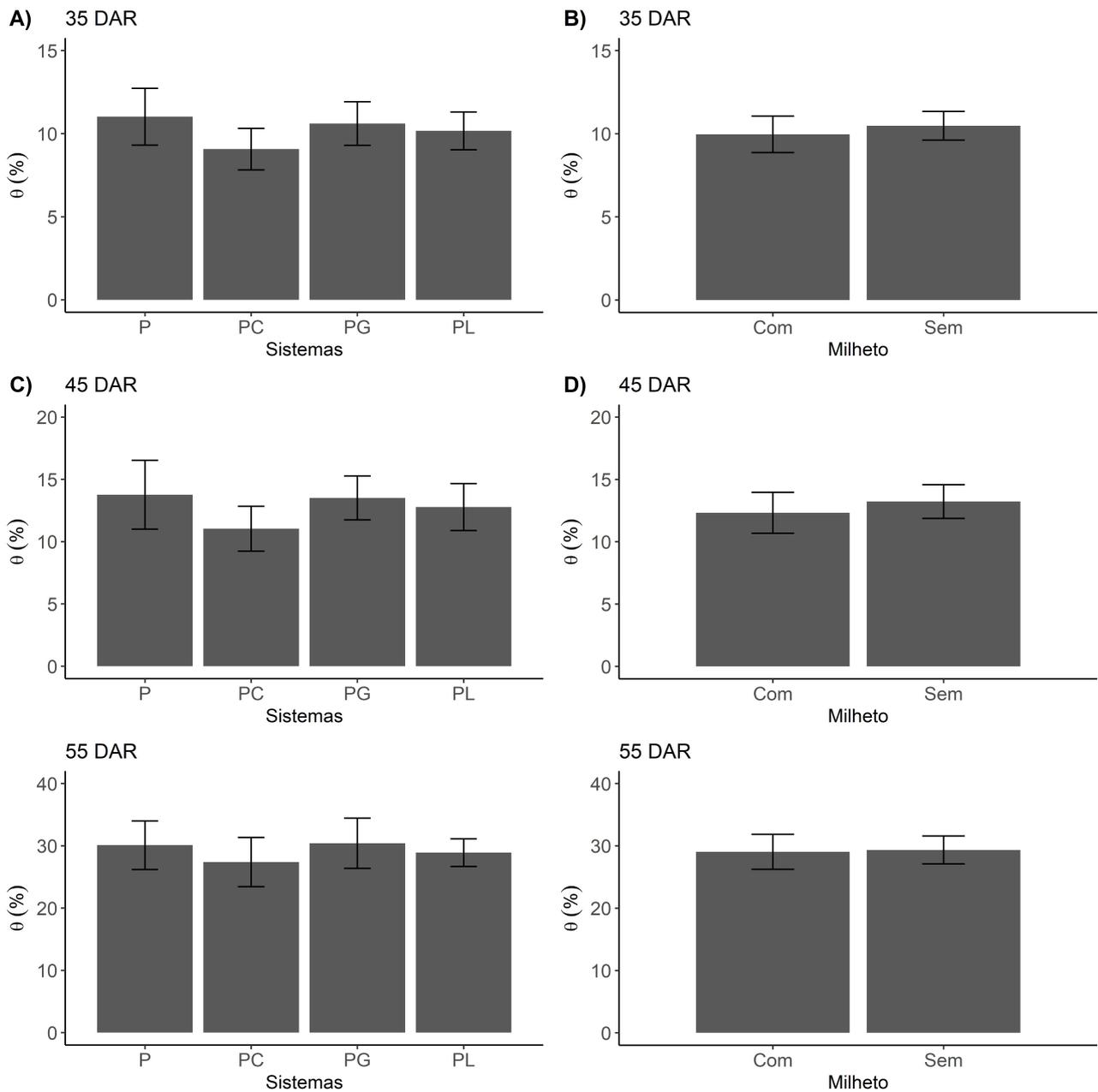


Figura 3. Umidade do solo, na camada 0 - 10 cm, para os fatores sistemas e milho aos 35, 45 e 55 dias.

DAR - Dias após o replantio; P - Palma; PC - Consórcio Palma + Crotalária; PG - Consórcio Palma + Guandu; PL - Consórcio Palma + Leucena; Com - Presença de milho; Sem - Ausência de milho.

Uma vez que a T_s e a θ , fatores limitantes da respiração total do solo, para cada tempo, são constantes, e que estes não foram interferidos pela cobertura vegetal, significa afirmar que a variação na R_s total, é resultante da interação ou competição entre os indivíduos e da atividade

microbiana (ROBY et al., 2019). Quanto mais equilibrado for o sistema, maior o nível de interação entre os fatores, e maior é a taxa de respiração, correlacionado com o maior sequestro de carbono atmosférico, portanto, o sistema que apresentar maiores valores da respiração total está indicando ser um sistemas ecologicamente mais estável, pois favorece para uma maior saúde do solo (BARRON-GAFFORD et al., 2011, DUSZA et al., 2020).

Pode-se considerar que a contribuição microbiológica inicial seja constante para todos os tratamentos, levando em consideração que o solo aparenta apresentar homogeneidade de características físicas e estruturais. Contudo, como os indivíduos vegetais nos consórcios interagem de forma diferente com a microbiota do solo, isso pode favorecer um desenvolvimento microbiológico desigual entre os tratamentos, sendo assim, além dos distintos consórcios promoverem alterações no efluxo, essa sinergia com a microbiologia do solo intensifica esta variação na respiração total (Figura 4).

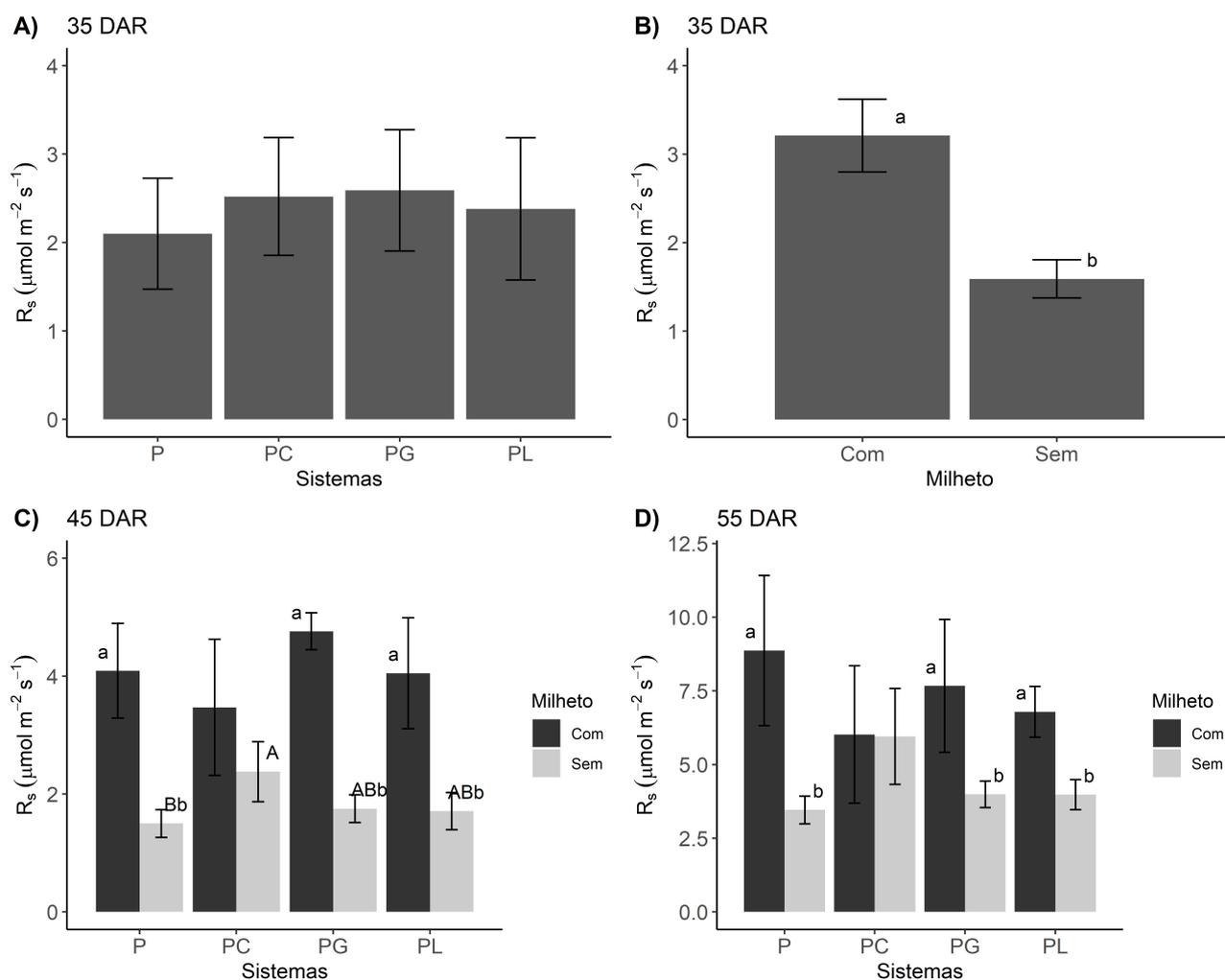


Figura 4. Respiração total do solo nos tratamentos aos 35, 45 e 55 DAR.

DAR - Dias após o replantio; R_s – Respiração do solo; P - Palma; PC - Consórcio Palma + Crotalária; PG - Consórcio Palma + Guandu; PL - Consórcio Palma + Leucena; Com - Presença de milho; Sem - Ausência de milho. Letras minúsculas iguais, de acordo com o teste de Tukey (0,05), não diferem entre os consórcios com e sem milho dentro de cada nível de sistema. Letras maiúsculas iguais, de acordo com o teste de Tukey (0,05), não diferem para o mesmo nível de milho entre os sistemas .

Aos 35 DAR não houve efeito de interação, com diferença apenas na subparcela. Aos 35
2 DAR, todos os sistemas apresentaram R_s semelhante (Figura 4A). A maior diferença se encontra na
subparcela, onde a respiração nos solos com consórcios triplos é o dobro dos consórcios duplos +
4 testemunha (Figura 4B). A R_s respondeu diretamente a concentração de raízes e o desenvolvimento
das plantas. Há ainda um efeito competitivo entre eles, que provoca uma aceleração no metabolismo
6 devido a escassez de recursos (CASAGRANDE et al., 2014).

As primeiras diferenças entre os tratamentos se deu aos 45 DAR, onde houve efeito na
8 interação entre os fatores Sistemas e Milho (p-valor 0,009). Com o incremento de biomassa no
tempo, os tratamentos com milho tiveram a respiração do solo quase 3 vezes maior que os
10 tratamentos sem (Figura 4C). Apesar disso, entre os sistemas, a presença do milho não fez variar
as médias. Já para os tratamentos sem milho o comportamento foi inverso, os sistemas variaram
12 em função do grau de desenvolvimento das leguminosas em relação a palma solteira. Os solos com
o consórcio PC sem milho obtiveram os maiores valores da R_s , diferindo apenas da Palma solteira
14 (P). Os demais sistemas tiveram valores médios semelhantes aos da palma solteira.

As maiores variações da respiração do solo se deram aos 55 DAR, também havendo
16 interação entre os fatores (p-valor 0,02). Não houve diferença entre os sistemas, tanto na ausência
como na presença de milho. Comparando R_s de cada sistema dentro do fator milho, com exceção
18 do consórcio PC, todos apresentaram diferença , ou seja, os consórcios triplos possuem maiores
taxas de respiração que os consórcios duplos.

O aumento expressivo da R_s aos 55 DAR foi influenciado pelo aumento na θ e a redução na
20 T_s , que aceleraram o desenvolvimento vegetativo e microbiológico dos solos consorciados, exceto
para a Palma Solteira, que, apesar do aumento da R_s no tempo (Figura 4C e D), não apresentou
22 grandes variações. A palma como sendo uma representante das Cactaceae, de metabolismo CAM,
ao invés de separar as reações dependentes da luz e o uso do CO_2 no ciclo de Calvin no espaço, as
24 plantas CAM separam estes processos no tempo (ALVES et al., 2020). A noite, plantas CAM abrem
seus estômatos, permitindo a difusão do CO_2 para o interior das folhas, para tal, tem sua taxa de
26 desenvolvimento vegetativo reduzido sob circunstâncias adversas, demorando a apresentar
respostas sob condições favoráveis ao desenvolvimento (SILVA MACEDO et al., 2020). Isso
28

implica dizer que no sistema PM, o milho é o responsável pelo aumento na R_s e pela diferença significativa, padrão observado em todos os tratamentos e no tempo (Figura 4).

O milho é uma gramínea tropical de metabolismo C_4 , onde as reações dependentes da luz e o Ciclo de Calvin estão fisicamente separados, com as reações dependentes da luz acontecendo nas células do mesófilo (tecido esponjoso no meio da folha) e o Ciclo de Calvin acontecendo em células especiais ao redor das nervuras (SILVA et al., 2020). Além disso, o rendimento energético metabólico é maior, ou seja, produzem moléculas com 4 carbonos na cadeia e, embora a fotorrespiração seja otimizada, tendendo ao mínimo necessário, o efeito da maior assimilação de C é incorporado na biomassa e na aceleração do desenvolvimento, uma vez que os fatores externos estejam favoráveis, isso promove aumento na taxa de respiração da planta (AMORIM et al., 2017).

A crotalária é uma leguminosa de ciclo rápido (~60 dias) e possui crescimento determinado. Aos 55 DAR, mais de 90% das plantas de crotalária apresentaram pleno florescimento e frutificação. Isso intensificou a competição entre os indivíduos, resultando num ambiente de difícil desenvolvimento, refletindo na respiração do solo. O Feijão Guandu é uma leguminosa bianual descendente de uma variedade crioula mais adaptada ao ambiente semiárido e de desenvolvimento vegetativo lento. Mesmo sob irrigação, o desenvolvimento do Feijão Guandu foi minimizado pela temperatura média elevada no período seco. A Leucena é a única leguminosa de caráter arbóreo, e que por apresentar um desenvolvimento muito lento, pouco contribuiu para a respiração do solo consorciado.

Com a T_s e θ constantes para os tratamentos ao longo do período experimental, as diferenças detectadas na R_s é decorrente do efeito de interação vs competição entre as respirações das raízes dos indivíduos consorciados e as respirações heterotróficas da microbiota do solo. Os conflitos entre organismos vegetais e microbiológicos pelos recursos, refletem diretamente no desenvolvimento das plantas, resultando numa heterogeneidade de dossel (SHEN et al., 2009).

O IAF permite compreender a influência da dinâmica de cobertura vegetal dos distintos consórcios sobre respiração do solo. Como os valores de umidade e temperatura do solo, dentro de cada intervalo de tempo (35, 45 e 55 DAR), foram praticamente os mesmos, subentende-se que R_s responde as atividades heterotróficas e autotróficas em função do desenvolvimento vegetativo detectado com as medidas de IAF (Figura 5).

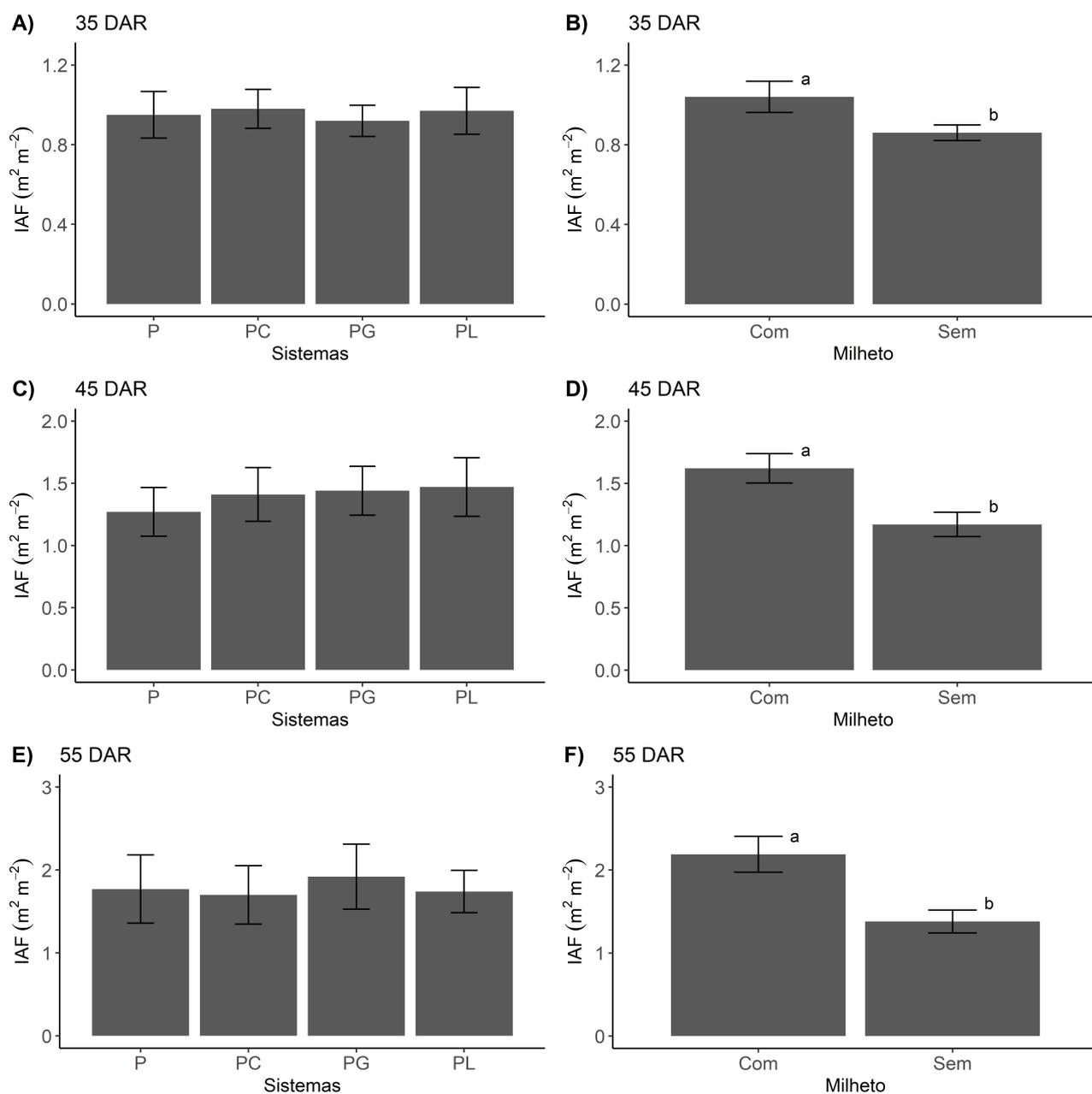


Figura 5. Índice de Área Foliar para os fatores sistemas e milho aos 35, 45 e 55 DAR.

DAR - Dias após o replantio; P - Palma; PC - Consórcio Palma + Crotalária; PG - Consórcio Palma + Guandu; PL - Consórcio Palma + Leucena; Com - Presença de milho; Sem - Ausência de milho. Letras minúsculas semelhantes não diferem entre si ao teste tukey (0,05).

Não houve efeito de interação entre os fatores para nenhum dos intervalos de tempo estudados, havendo diferença apenas no fator milho isoladamente. Aos 35, 45 e 55 DAR, os sistemas mantiveram taxas de incremento de biomassa aérea constantes e uniformes (Figuras 5A, C e E), com um incremento médio no IAF de $0,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ para cada 10 dias. As principais diferenças entre os tratamentos estão no fator milho, onde a sua presença elevou o IAF do consórcio em

aproximadamente 30%, comparado com os consórcios sem milheto. O IAF é uma medida de desenvolvimento vegetativo que revela a variação da área de cobertura no espaço e no tempo (SANTOS, 2009). Isso corroboram com os dados de respiração, onde houve maiores taxas de respiração do solo, no tratamento e no tempo, houve maior incremento de biomassa aérea.

O IAF é uma medida qualitativa do grau de desenvolvimento dos indivíduos, porém, para fins aplicáveis, é necessário avaliar quantitativamente os rendimentos obtidos em um determinado cultivo. A biomassa aérea é um rendimento na qual está diretamente relacionada com o objetivo dos cultivos, a produção de alimento de fins forrageiros ou agrícolas (Tabela 1).

Tabela 1. Rendimento total da biomassa aérea fresca e seca das espécies de leguminosas e do milheto, em g planta⁻¹.

Espécie avaliada	Condição	Biomassa Aérea Fresca	Biomassa Aérea Seca
Crotalária	Referência	37,93 ± 4,31	15,06 ± 2,40
	Consórcio P	14,39 ± 2,33	5,41 ± 0,82
	Consórcio PM	5,87 ± 3,57	2,54 ± 1,52
Guandu	Referência	54,52 ± 5,13	19,68 ± 1,44
	Consórcio P	24,87 ± 14,39	10,55 ± 4,80
	Consórcio PM	2,18 ± 1,24	1,23 ± 0,75
Leucena	Referência	14,72 ± 2,11	7,31 ± 0,99
	Consórcio P	10,43 ± 4,51	3,96 ± 0,83
	Consórcio PM	0,77 ± 0,45	0,47 ± 0,23
Milheto	Referência	366,69 ± 29,87	94,51 ± 11,2
	Consórcio P	48,66 ± 7,38	15,69 ± 1,72
	Consórcio PC	41,93 ± 17,94	12,63 ± 2,16
	Consórcio PG	45,12 ± 12,67	15,65 ± 3,7
	Consórcio PL	39,07 ± 11,22	13,36 ± 2,10

*valores médios ± desvio padrão. P - Palma; PM - Consórcio Palma + Milheto.

Os rendimentos de biomassa aérea dos indivíduos consorciados foram inferiores aos de referência para todas as espécies avaliadas. Os rendimentos de biomassas aéreas das três leguminosas e do milheto se aproximaram das suas referências, apenas quando consorciadas com a Palma. É importante destacar que as plantas se desenvolveram em um ambiente hostil, estresse térmico, baixa θ e efeitos competitivos. Por não ter sido quantificado o rendimento da palma, os índices de competitividade foram calculados a partir dos consórcios triplos, envolvendo apenas a gramínea e a respectiva leguminosa (Tabela 2).

Tabela 2. Índices de competitividade de caráter total entre as espécies consorciadas.

Espécies	Biomassa Aérea Fresca			Biomassa Aérea Seca		
	LER	K	AYL	LER	K	AYL
Crotalária	0,19 ± 0,06	0,25 ± 0,16	-0,85 ± 0,09	0,17 ± 0,10	0,27 ± 0,18	-0,83 ± 0,10
Milheto	0,11 ± 0,05	0,11 ± 0,05	-0,89 ± 0,05	0,13 ± 0,02	0,12 ± 0,02	-0,87 ± 0,02
Total	0,30 ± 0,07	0,35 ± 0,13	-1,73 ± 0,07	0,30 ± 0,10	0,40 ± 0,18	-1,70 ± 0,10
Guandu	0,04 ± 0,02	0,05 ± 0,03	-0,94 ± 0,03	0,06 ± 0,04	0,09 ± 0,06	-0,92 ± 0,05
Milheto	0,12 ± 0,03	0,11 ± 0,03	-0,88 ± 0,03	0,17 ± 0,04	0,16 ± 0,04	-0,83 ± 0,04
Total	0,16 ± 0,04	0,17 ± 0,05	-1,82 ± 0,05	0,23 ± 0,05	0,25 ± 0,06	-1,75 ± 0,05
Leucena	0,05 ± 0,03	0,07 ± 0,04	-0,98 ± 0,01	0,06 ± 0,03	0,09 ± 0,05	-0,97 ± 0,02
Milheto	0,11 ± 0,03	0,10 ± 0,03	-0,89 ± 0,01	0,14 ± 0,02	0,13 ± 0,02	-0,86 ± 0,02
Total	0,16 ± 0,04	0,17 ± 0,05	-1,87 ± 0,05	0,21 ± 0,05	0,22 ± 0,06	-1,83 ± 0,03

*valores médios ± desvio padrão. LER - Land Equivalent Ratio; ATER - Area Time Equivalent Ratio; K - Relative crowding coefficient; AYL - Actual yield loss;

Ocorreu um efeito competitivo entre as espécies severo (Tabela 2). O LER mostra que houve uma redução de rendimento mínima de 70%, tanto entre os indivíduos de referência e no consórcio, quanto no tempo, tanto na biomassa fresca quanto pra seca.

O K expressa o efeito competitivo no rendimento pelas espécies, perante suas densidades de plantio. Tanto na biomassa fresca quanto na seca, a densidade adotada afetou significativamente a competição e refletiu no baixo rendimento, principalmente para o guandu e a leucena. A crotalária, apesar de ter seu rendimento reduzido em mais de 70%, apresentou as melhores relações entre o milho e a palma.

O AYL compara os LER's das espécies consorciadas, menos um fator de correção. Quando há efeitos de interação, ambas as culturas são beneficiadas e o resultado final é uma interação positiva. Contudo, os rendimentos da biomassa aérea (fresca e seca), mostraram efeitos negativos de interação, ou seja, competição pelos recursos. Ambas as leguminosas apresentaram um caráter semelhante ao competirem com o milho, sendo a leucena a mais prejudicada.

Alguns índices são obtidos de forma separada entre as espécies em consórcio, e comparadas entre si pra avaliar qual se sobressai sobre a outra (Tabela 3).

Tabela 3. Índices de competitividade de caráter individual das espécies consorciadas.

Espécies	Biomassa Aérea Fresca		Biomassa Aérea Seca	
	A	CR	A	CR
Crotalária	-0,0039 ± 0,0025	2,64 ± 0,64	-0,0043 ± 0,0014	1,65 ± 0,38
Milheto	0,0039 ± 0,0025	0,40 ± 0,12	0,0043 ± 0,0014	0,50 ± 0,10
Guandu	-0,0047 ± 0,0015	0,43 ± 0,25	-0,0061 ± 0,0019	0,51 ± 0,39
Milheto	0,0047 ± 0,0015	3,33 ± 2,54	0,0061 ± 0,0019	3,03 ± 2,33
Leucena	-0,0042 ± 0,0014	0,66 ± 0,36	-0,0055 ± 0,0009	0,56 ± 0,27
Milheto	0,0042 ± 0,0014	3,95 ± 5,95	0,0055 ± 0,0009	3,04 ± 3,41

*valores médios ± desvio padrão. A - *Agressividade*; CR – *Taxa competitiva*.

2 O CR compara o LER das espécies consorciadas com a proporção de indivíduos, ou seja,
 4 avalia a discrepância entre o rendimento por monocultivo e no consórcio No consórcio triplo PC +
 6 Milheto, o CR das produções de biomassa seca e fresca da crotalária são, nessa ordem, 230 e 560%
 8 superiores as do milho. Isso ratifica o acelerado desenvolvimento da crotalária. Em melhores
 condições ambientais, esse rendimento pode ser ainda maior. Já quando comparado com o guandu e
 leucena, o milho tem uma ampla vantagem no consórcio. Com relação ao A, todas as leguminosas
 apresentaram os valores negativos, isso significa que o milho apresentou maior competitividade e
 foi mais eficaz em acessar os recursos locais.

10 De um modo geral, o milho se destacou em relação a maioria das demais espécies dos
 consórcios, exceto para a crotalária que ao acelerar o seu desenvolvimento competiu mais
 12 agressivamente pelos recursos com o milho. Tanto o milho como a crotalária, obtiveram uma
 produção satisfatória pelas condições impostas durante o experimento.

6. Conclusões

2 Uma vez que as variáveis limitantes da respiração do solo foram consideradas constantes
entres os tratamentos no tempo, apenas a influência do sistema radicular das plantas consorciadas,
4 somadas as contribuições microbiológicas, foram responsáveis pela variação na respiração do solo.

A respiração do solo respondeu de forma positiva ao incremento de biomassa, através da
6 biomassa aérea fresca e seca e apoiada pelo aumento no IAF, ainda mais acentuado no consórcio
triplo. Como medida quantitativa de saúde do solo e equilíbrio ecológico, a respiração do solo
8 mostrou que os sistemas avaliados possuem grandes benefícios à atividade agrícola no semiárido, e
podem ser usados como mecanismos de produção de alimento para criação animal, mesmo sob um
10 sistema de irrigação deficitária. Apesar dos efeitos competitivos contribuírem para um baixo
rendimento, ainda assim o consórcio se mostrou eficaz, haja vista o ambiente estressante aos
12 cultivos.

Não houve um tratamento específico que objete médias que sobressaíssem
14 comparativamente com as demais, isso dá suporte a justificativa de uso destes e sua finalidade no
tempo.

16 Recomendamos o consórcio triplo, com as culturas base de Palma e Milheto, representando
o grupo dos cactos e das gramíneas, respectivamente. O terceiro elemento, do grupo das
18 leguminosas, recomendamos de acordo com a necessidade de rapidez na obtenção da biomassa.

Caso haja demanda em um curto intervalo de tempo, recomendamos a crotalária, que em
20 menos de 60 dias após o plantio entrou em fase de floração e frutificação. Se o objetivo for
obtenção de alimento não apenas para animal, mas também humano, recomendamos o feijão
22 guandu, através dos grãos. É uma cultura bienal e com capacidade de produção de grãos a partir dos
120 dias após plantio, tolera bem o período seco e produz significativamente bem no 2º ano. Por
24 fim, se o planejamento seja para períodos futuros mais distantes, a leucena torna-se a melhor
cultura, pois é uma espécie arbórea, com grande volume de biomassa, alta taxa de rebrota e
26 tolerante a seca. A biomassa fresca e seca confirmou nossa hipótese de que o consórcio triplo
produziu maior quantidade de biomassa aérea por unidade de área, pelo maior incremento de C,
28 mesmo havendo elevação na emissão da respiração total, contudo, nas condições impostas, houve
uma perda de rendimento devido aos efeitos competitivos.

7. Referências bibliográficas

- 2 ABBAS, F.; HAMMAD, H. M.; ISHAQ, W.; FAROOQUE, A. A.; BAKHAT, H. F.; ZIA, Z.;
4 CERDÀ, A. A review of soil carbon dynamics resulting from agricultural practices. **Journal of
environmental management**, v. 268, p. 110319. 2020.
- 6 ABS, E.; FERRIÈRE, R. Modeling Microbial Dynamics and Heterotrophic Soil Respiration: Effect
of Climate Change. In K, Dontsova, Z, Balogh-Brunstad, G, Le Roux (Eds.), *Biogeochemical
Cycles: Ecological Drivers and Environmental Impact*. v. 251, p. 103-129. John Wiley & Sons,
8 2020.
- 10 AFRASINEI, G. M.; MELIS, M. T.; BUTTAU, C.; ARRAS, C.; PISTIS, M.; ZERRIM, A.;
GHIGLIERI, G. Classification methods for detecting and evaluating changes in desertification-
12 related features in arid and semiarid environments. **Euro-Mediterranean Journal for
Environmental Integration**, , v. 2, n. 1, p. 1-19, 2017.
- 14 ALMAGRO, M.; LÓPEZ, J.; QUEREJETA, J. I.; MARTÍNEZ-MENA, M. Temperature
dependence of soil CO₂ efflux is strongly modulated by seasonal patterns of moisture availability in
a Mediterranean ecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 3, p. 594-605, 2009.
- 16 ALVES, F. A. L.; SANTOS, D. C.; SIQUEIRA, S. M.; CONCEIÇÃO SILVA, M.; MELLO, D. R.
18 Metabolismo fotossintético de variedades de palma forrageira cultivadas no Semiárido brasileiro.
Pesquisa Agropecuária Pernambucana, v. 25, n. 2. 2020.
- 20 AMORIM, D. S.; SILVA, A. L.; SOUSA, S. V.; DE SOUSA, P. H. A. A.; REIS, Á. L. A.
Caracterização e restrições de forrageiras indicadas para as diferentes espécies de animais de
produção–revisão. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 3, n. 1, p. 215-237. 2017.
- 22 BARNARD, R. L.; BLAZEWICZ, S. J.; FIRESTONE, M. K. Rewetting of soil: Revisiting the
origin of soil CO₂ emissions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 147, p. 107819. 2020.
- 24 BARRON-GAFFORD, G. A.; SCOTT, R. L.; JENERETTE, G. D.; HUXMAN, T. E. The relative
controls of temperature, soil moisture, and plant functional group on soil CO₂ efflux at diel,
26 seasonal, and annual scales. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 116, n. G1,
2011.
- 28 BECKER, J. N.; HOLZ, M. Hot or not? connecting rhizosphere hotspots to total soil respiration.
Plant and Soil, v. 464, p. 1-11, 2021.
- 30 BENEVIDES, C. M. J.; SANTOS, A. D. J. S.; LIMA, L. S. D. S.; TRINDADE, B. A.; LOPES, M.
V.; SOUZA MONTES, S.; SOUZA, A. C. S. Aspectos tecnológicos do subproduto de panc (farinhas
32 de *Cajanus cajan* e *Phaseolus lunatus*): fortalecimento da agricultura familiar. **Brazilian Journal of
Development**, v. 5, n. 11, p. 23221-23233, 2019.
- 34 BEZERRA, H. N.; BEZERRA, J. M.; SOBRINHO, J. E.; SILVA, W. B.; RÊGO, A. T. A. Avaliação
espaço-temporal do saldo de radiação para área heterogênea em região semiárida. **Revista de
36 Geografia (Recife)**, v. 38, n. 3, 2021.

- 2 CAPSTAFF, N. M.; MILLER, A. J. Improving the yield and nutritional quality of forage crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 535, 2018.
- 4 CASAGRANDE, D. R.; DE KÁSSIA GOMES, F.; DE SÁ, O. A. A. L.; LARA, M. A. S. Compatibilidade entre gramíneas e leguminosas em pastagens consorciadas. **QuaeWork: a method to assess work organization (duration and regulation) at farm-scale**, 307. 2014.
- 6 CAVALCANTE JÚNIOR, R. G.; VASCONCELOS FREITAS, M. A.; DA SILVA, N. F.; DE AZEVEDO FILHO, F. R. Sustainable groundwater exploitation aiming at the reduction of water
8 vulnerability in the Brazilian semi-arid region. **Energies**, v. 12, n. 5, p. 904, 2019.
- 10 CHITDESHWARI, T.; KARTHIKEYAN, S.; SIVAKUMAR, U. Bioremediation of Salt Affected Soils. Technological advances in enhancing productivity of salt affected soils. **Today & tomorrow's printers and publishers**. p. 743-770. 2020.
- 12 DAS, K.; BISWAKARMA, N.; ZHIIPAO, R.; KUMAR, A.; GHASAL, P. C.; POONIYA, V. Significance and Management of Green Manures. **In Soil Health** (pp. 197-217). Springer, Cham.
14 2020.
- 16 DAS, L. K.; KUNDU, S. S.; KUMAR, D.; DATT, C. Fractionation of carbohydrate and protein content of some forage feeds of ruminants for nutritive evaluation. **Veterinary World**, v. 8, n. 2, p. 197, 2015.
- 18 DATTA, A.; SETIA, R.; BARMAN, A.; GUO, Y.; BASAK, N. Carbon Dynamics in Salt-Affected Soils. **In Research Developments in Saline Agriculture**. p. 369-389. 2019.
- 20 DINIZ, W. J. D. S.; SILVA, T. G. F. D.; FERREIRA, J. M. D. S.; SANTOS, D. C. D.; MOURA, M. S. B. D.; ARAÚJO, G. G. L. D.; ZOLNIER, S. Consórcio de palma forrageira e sorgo em diferentes
22 lâminas de irrigação no Semiárido Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 724-733, 2017.
- 24 DONATONI, K. A. P.; BIANCHO, L. E.; APARECIDO, C. F. F.; CARVALHO, J. B. Temperatura do solo em áreas irrigadas com diferentes coberturas vegetais. **Unifunec científica multidisciplinar**, v. 10, n. 12, p. 1-13, 2021.
- 26 DOUBI, B. T. S.; KOUASSI, K. I.; KOUAKOU, K. L.; KOFFI, K. K.; BAUDOIN, J. P.; ZORO, B. I. A. Existing competitive indices in the intercropping system of *Manihot esculenta* Crantz and *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley. **Journal of Plant Interactions**, v. 11, n. 1, p. 178-185,
28 2016.
- 30 DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J. *Leucena (Leucaena leucocephala)*: leguminosa de uso múltiplo para o semiárido brasileiro. **Embrapa Florestas-Comunicado Técnico** (INFOTECA-E). 2010.
- 32 DUSZA, Y.; SANCHEZ-CAÑETE, E. P.; LE GALLIARD, J. F.; FERRIERE, R.; CHOLLET, S.; MASSOL, F.; BARRON-GAFFORD, G. A. Biotic soil-plant interaction processes explain most of hysteric soil CO₂ efflux response to temperature in cross-factorial mesocosm experiment.
34 **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2020.
- 36

- 2 FARIAS, I.; SANTOS, D. C.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B. Estabelecimento e manejo da palma
4 forrageira. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. (Ed.). A palma no
Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: **Ed. Universitária da UFPE**, p. 81-104. 2005.
- 6 FELICIANO, D.; LEDO, A.; HILLIER, J.; NAYAK, D. R. Which agroforestry options give the
greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions?. **Agriculture, ecosystems
& environment**, v. 254, p. 117-129, 2018.
- 8 FÉR, M.; KODEŠOVÁ, R.; KALKUŠOVÁ, B.; KLEMENT, A.; NIKODEM, A. An empirical
10 model for describing the influence of water content and concentration of sulfamethoxazole
(antibiotic) in soil on the total net CO₂ efflux. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, v. 68,
n. 4, p. 351-358, 2020.
- 12 FERREIRA, C. R. P. C. Respiração do solo em áreas de caatinga e de pastagem no agreste de
Pernambuco. 2015.
- 14 FRANCONI, M.; LAI, R.; D'OTTAVIO, P.; TROZZO, L.; KISHIMOTO-MO, A. W.; BUDIMIR,
K.; TODERI, M. Soil respiration dynamics in forage-based and cereal-based cropping systems in
16 central Italy. **Scientia Agricola**, v. 77, n. 3, p. 10, 2020.
- GALVÃO-JUNIOR, J. G. B.; SILVA, J. B. A.; MORAIS, J. H. G.; DE LIMA, R. N. Cactus in
18 ruminant feeding: culture and use. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 8, n. 2, p. 78-85, 2014.
- GARCIA-FRANCO, N.; HOBLEY, E.; HÜBNER, R.; WIESMEIER, M. Climate-smart soil
20 management in semiarid regions. **In Soil management and climate change**, p. 349-368, 2018.
- GUSHA, J.; HALIMANI, T. E.; NGONGONI, N. T.; NCUBE, S. Effect of feeding cactus-legume
22 silages on nitrogen retention, digestibility and microbial protein synthesis in goats. **Animal Feed
Science and Technology**, v. 206, p. 1-7, 2015.
- 24 HUANG, J.; JI, M.; XIE, Y.; WANG, S.; HE, Y.; RAN, J. Global semi-arid climate change over last
60 years. **Climate Dynamics**, v. 46, n. 3-4, p. 1131-1150, 2016.
- 26 KHONDE, P.; CONGO, R. D.; TSHIABUKOLE, K.; CONGO, R. D.; KANKOLONGO, M.;
CONGO, R. D.; ... NKONGOLO, K. Evaluation of yield and competition indices for intercropped
28 eight maize varieties, soybean and cowpea in the zone of savanna of South-West RD Congo. **Open
Access Library Journal**, v. 5, n. 01, p. 1, 2018.
- 30 KIM, D.; LEE, M. I.; SEO, E. Improvement of soil respiration parameterization in a dynamic global
vegetation model and its impact on the simulation of terrestrial carbon fluxes. **Journal of Climate**,
32 v. 32, n. 1, p. 127-143, 2019.
- KIRSCHBAUM, M. U. F.; EAMUS, D.; GIFFORD, R. M.; ROXBURGH, S. H.; SANDS, P. J.
34 Definitions of some ecological terms commonly used in carbon accounting. Cooperative **Research
Centre for Carbon Accounting**, Canberra, p. 2-5. 2001.
- 36 KLUGE, R. A.; TEZOTTO-ULIANA, J. V.; DA SILVA, P. P. Aspectos fisiológicos e ambientais da
fotossíntese. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, 56-73. 2015.

- 2 KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. 2006.
- 4 LAL, R. Carbon cycling in global drylands. **Current climate change reports**, v. 5, n. 3, p. 221-232. 2019.
- 6 LALONDE, R. G.; PRESCOTT, C. E. Partitioning heterotrophic and rhizospheric soil respiration in a mature Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) forest. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 37, n. 8, p. 1287-1297. 2007.
- 8 LEMOS, M.; FERREIRA-NETO, M.; FERNANDES, C. S.; LIMA, Y. B.; DIAS, N. D. S.; MEDEIROS, J. F.; SÁ, F. V. s. The effect of domestic sewage effluent and planting density on growth and yield of prickly pear cactus in the semiarid region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 185, p. 104372, 2021.
- 10
- 12 LIMA, J. R. D. S.; SOUZA, R. M. S.; SANTOS, E. S. D.; SOUZA, E. S. D.; OLIVEIRA, J. E. D. S.; MEDEIROS, É. V. D.; HAMMECKER, C. Impacts of land-use changes on soil respiration in the semi-arid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44. p. 19, 2020.
- 14
- 16 LIRA, M. A.; MELLO, A. C.; CUNHA, M. V.; MÉRCIA, V.; SANTOS, F.; DUBEUX JR, J.C.; APOLINÁRIO V. X. O. Produção animal em pastagens tropicais da América Latina. **Arquivos Latino-Americanos de Produção Animal**, v. 25, não. 1-2, 2017.
- 18 LIU, X.; YANG, T.; WANG, Q.; HUANG, F.; LI, L. Dynamics of soil carbon and nitrogen stocks after afforestation in arid and semi-arid regions: A meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v. 618, p. 1658-1664, 2018.
- 20
- 22 MACADAM, J. W.; NELSON, C. J. Plant-Water Relations in Forage Crops. **Forages: The Science of Grassland Agriculture**, v. 2, p. 113-126. 2020.
- 24 MANTOVANELLI, B. C.; CAMPOS, M. C. C.; ALHO, L. C.; SILVA, P. C. D. S.; SILVA, D. A. P.; CUNHA, J. M. D.; SOARES, M. D. R. Distribuição espacial da emissão de CO₂ e atributos do solo sob campo nativo na região de Humaitá, Amazonas. **Sociedade & Natureza**, v. 28, p. 273-284, 2016.
- 26
- 28 MEDEIROS, A. D. S.; MAIA, S. M. F.; SANTOS, T. C. D.; GOMES, T. C. D. A. Losses and gains of soil organic carbon in grasslands in the Brazilian semi-arid region. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 3, 2020.
- 30 MEENA, R. S.; LAL, R. Legumes and sustainable use of soils. In Legumes for Soil Health and Sustainable Management. **Springer**, Singapore, p. 1-31. 2018.
- 32 MUSOKWA, M.; MAFONGOYA, P. Pigeonpea Yield and Water Use Efficiency: A Savior under Climate Change-Induced Water Stress. **Agronomy**, v. 11, n. 1, p. 5, 2021.
- 34 PEREIRA FILHO, A.; TEIXEIRA FILHO, J. E.; SALVIANO, A. M.; YURI, J. E.; GIONGO, V. Nutrient cycling in multifunctional agroecosystems with the use of plant cocktail as cover crop and green manure in the semi-arid. **African Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 5, p. 241-251, 2019.
- 36

- PEREIRA, A. J.; GUERRA, J. G. M.; MOREIRA, V. F.; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S.;
2 POLIDORO, J. C.; ESPINDOLA, J. A. A. Desempenho agrônomo de *Crotalaria juncea* em
diferentes arranjos populacionais e épocas do ano. Embrapa Agrobiologia-Comunicado Técnico
4 (INFOTECA-E). n. 82, p. 4, 2005.
- PEREIRA, J.; CAMPOS, F. S.; CAVALCANTE, A. B.; CORREIA, A. A. V.; GOIS, G. C.; SILVA,
6 T. G. F.; VOLTOLINI, T. V. Número e participação de cladódios por ordem na palma forrageira
cultivada em diferentes densidades. **In Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso**
8 **(ALICE)**. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO ANIMAL DA UFRPE-UAST, 2.; 2018, Serra Talhada.
Mudanças climáticas e avanços tecnológicos na produção animal. Serra Talhada: UFRPE Unidade
10 Acadêmica de Serra Talhada, 2018.
- PEREIRA, V. G. Efluxo de CO₂ em diferentes sistemas de cultivo. Tese de Doutorado. Universidade
12 Federal de Viçosa. 2018.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for**
14 **Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2020.
- RAMESH, T.; BOLAN, N. S.; KIRKHAM, M. B.; WIJESEKARA, H.; KANCHIKERIMATH, M.;
16 RAO, C. S.; FREEMAN II, O. W. Soil organic carbon dynamics: Impact of land use changes and
management practices: A review. **Advances in agronomy**, v. 156, p. 1-107, 2019.
- 18 RESENDE, R. S.; BATISTA, W. R. M.; AMORIM, J. Calibração do sensor de capacitância Diviner
2000 utilizando tubos de acesso padrão e alternativo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-**
20 **RBAI**, v. 11, n. 5, 1662-1669. 2017.
- ROBY, M. C.; SCOTT, R. L.; BARRON-GAFFORD, G. A.; HAMERLYNCK, E. P.; MOORE, D.
22 J. Environmental and vegetative controls on soil CO₂ efflux in three semiarid ecosystems. **Soil**
Systems, v. 3, n. 1, p. 6. 2019.
- 24 ROCHA FILHO, R. R.; SANTOS, D. C.; VÉRAS, A. S. C.; SIQUEIRA, M. C. B.; NOVAES, L. P.;
MORA-LUNA, R.; FERREIRA, M. A. Can spineless forage cactus be the queen of forage crops in
26 dryland areas?. **Journal of Arid Environments**, v. 186, p. 104426, 2021.
- SANTANA, M. S.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; GIONGO, V.; MENEZES, R. S. C.; DE JESUS, K.
28 N.; DE ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; PRIMO, D. C. Carbon and nitrogen stocks of soils under
different land uses in Pernambuco state, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 16, e00205. 2019.
- 30 SANTOS, E. E. F.; SILVA, T. N.; SILVA, C. L.; SANTOS, M. H. L. C.; MOURA, W. N. D.;
SOUZA RIBEIRO, D. Atributos químicos de solo cultivado com palma forrageira sob irrigação
32 com água salobra. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e698997531-e698997531,
2020.
- 34 SANTOS, K. C.; MAGALHÃES, A. L. R.; SILVA, D. K. A.; ARAÚJO, G. G. L.; FAGUNDES, G.
M.; YBARRA, N. G.; ABDALLA, A. L. Nutritional potential of forage species found in Brazilian
36 Semiarid region. **Livestock Science**, v. 195, p. 118-124, 2017.
- SANTOS, N. L. Avaliação do capim-tanzânia manejado com Diferentes IAF residuais sob lotação
38 Rotacionada por cabras bôer x saanen. 2009.

- 2 SHEN, G.; YU, M.; HU, X. S.; MI, X.; REN, H.; SUN, I. F.; MA, K. Species–area relationships explained by the joint effects of dispersal limitation and habitat heterogeneity. **Ecology**, v. 90, n. 11, p. 3033-3041. 2009.
- 4 SHI, W. Y.; ZHU, X. C.; ZHANG, F. B.; WANG, K. B.; DENG, L.; MA, M. G. Soil carbon biogeochemistry in arid and semiarid forests. In *Applied Geochemistry with Case Studies on Geological Formations, Exploration Techniques and Environmental Issues*. **IntechOpen**. 2019.
- 8 SILVA MACÊDO, A. J.; NETO, J. M. C.; DE OLIVEIRA, L. B.; EDVAN, R. L.; SANTOS, E. M. A cultura da palma, origem, introdução, expansão, utilidades e perspectivas futuras: Revisão de Literatura. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 62967-62987. 2020.
- 10 SILVA, D. A. P.; CAMPOS, M. C. C.; MANTOVANELLI, B. C.; SANTOS, L. A. C.; SOARES, M. D. R.; CUNHA, J. M. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em
12 área de pastagem na região Amazônica, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.18, n.1, 119-126. 2019.
- 14 SILVA, J. R. I.; JARDIM, A. M. D. R. F.; DE SOUZA, E. S.; JUNIOR, G. B.; LEITE, M. L. D. M. V.; SOUZA, R.; ANTONINO, A. C. D. Inter-relação de técnica de manejo de água e solo aplicadas
16 a cultura do milho: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, e569974503-
e569974503. 2020.
- 18 SILVA, L. M. D.; FAGUNDES, J. L.; VIEGAS, P. A. A.; MUNIZ, E. N.; RANGEL, J. H. D. A.;
20 MOREIRA, A. L.; BACKES, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes
densidades de plantio. **Ciência Rural**, v. 44, p. 2064-2071, 2014.
- 22 SILVA, R. M. D.; LIMA, E. J. D.; SANTOS, D. C. D.; BADJI, C. A.; OLIVEIRA, J. T. C.;
24 MOREIRA, K. A. Avaliação de indutores de resistência no controle de *Dactylopius opuntiae* em
genótipos de *Opuntia spp.* **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n.
18, p. 533-542, 2021.
- 26 SOUZA, F. H. D.; FRIGERI, T.; MOREIRA, A.; GODOY, R. Produção de sementes de guandu.
Embrapa Pecuária Sudeste-Documentos (INFOTECA-E). n. 69, p. 68. 2007.
- 28 SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Balanço de radiação em
ecossistema de Caatinga preservada durante um ano de seca no Semiárido Pernambucano.
Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE). v. 8, n. 1, 041-055. 2015.
- 30 SOUZA, M. D. S.; DA SILVA, T. G. F.; DE SOUZA, L. S. B.; JARDIM, A. D. R.; ARAÚJO
JÚNIOR, G. D. N.; ALVES, H. M. N. Practices for the improvement of the agricultural resilience of
32 the forage production in semiarid environment: a review. **Amazonian Journal of Plant Research**,
v. 3, n. 4, p. 417-430, 2019.
- 34 SPARACINO, J.; ARGIBAY, D. S.; ESPINDOLA, G. Caracterização de Longo Prazo (35 Anos) das
Estações Secas e Chuvosas no Semiárido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de**
36 **Meteorologia**, v. 36, p. 377-391, 2021.

- 2 TERRA, A. B. C.; FLORENTINO, L. A.; REZENDE, A. V.; SILVA, N. C. D. E. Leguminosas forrageiras na recuperação de pastagens no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias (Portugal)**, v. 42, n. 2, pág. 305-313, 2019.
- 4 ULLAH, A.; AHMAD, A.; KHALIQ, T.; AKHTAR, J. Recognizing production options for pearl millet in Pakistan under changing climate scenarios. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 4, p. 762-773, 2017.
- YIQI, L.; ZHOU, X. Soil respiration and the environment. 1º Edição. San Diego. **Elsevier**, 2010.
- 8 ZETHOF, J. H.; CAMMERAAT, E. L.; NADAL-ROMERO, E. The enhancing effect of afforestation over secondary succession on soil quality under semiarid climate conditions. **Science of the Total Environment**, v. 652, p. 1090-1101, 2019.
- 10 ZETHOF, JH, CAMMERAAT, EL, E NADAL-ROMERO, E. O efeito potencializador da arborização sobre a sucessão secundária na qualidade do solo em condições de clima semiárido. **Ciência do Ambiente Total**, v. 652, p. 1090-1101, 2019.
- 12 ZHANG, G.; YANG, Z.; DONG, S. Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system. **Field Crops Research**, v. 124, n. 1, p. 66-73, 2011.
- 14 ZHANG, Y.; ZHAO, W.; FU, L.; ZHAO, C.; JIA, A. Land use conversion influences soil respiration across a desert-oasis ecoregion in Northwest China, with consideration of cold season CO₂ efflux and its significance. **Catena**, v. 188, p. 1-10, 2020.
- 16
- 18