



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

LUCAS OLIVEIRA REIS

PRODUÇÃO DE BIOMASSA, ACÚMULO DE NUTRIENTES E
DEMANDA NUTRICIONAL DO FEIJÃO GUANDU COM SORGO OU
MILHETO EM CONSÓRCIO E ROTACIONADO

PETROLINA, PE

2023

LUCAS OLIVEIRA REIS

**PRODUÇÃO DE BIOMASSA, ACÚMULO DE NUTRIENTES E
DEMANDA NUTRICIONAL DO FEIJÃO GUANDU COM SORGO OU
MILHETO EM CONSÓRCIO E ROTACIONADO**

Tese apresentada à Universidade Federal do Vale do São Francisco como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal.

Orientador: Dr. Mário Adriano Ávila Queiroz.

Coorientadores: Dra. Salete Alves de Moraes e Dra. Alessandra Monteiro Salviano.

PETROLINA, PE

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

LUCAS OLIVEIRA REIS

**PRODUÇÃO DE BIOMASSA, ACÚMULO DE NUTRIENTES E
DEMANDA NUTRICIONAL DO FEIJÃO GUANDU COM SORGO OU
MILHETO EM CONSÓRCIO E ROTACIONADO**

Tese apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de doutor em Ciência Animal
do Programa de Pós-Graduação em Ciência
Animal, pela Universidade Federal do Vale do
São Francisco.

Aprovada em: 25 de agosto de 2023.

Banca Examinadora



Documento assinado digitalmente
MARIO ADRIANO AVILA QUEIROZ
Data: 05/09/2023 15:14:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Mário Adriano Ávila Queiroz
(Orientador - UNIVASF)



Documento assinado digitalmente
ELISVALDO JOSE SILVA ALENCAR
Data: 05/09/2023 15:59:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Elisvaldo José Silva Alencar
(Membro externo - UNIVASF)



Documento assinado digitalmente
JOAO VIRGINIO EMERENCIANO NETO
Data: 05/09/2023 16:14:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. João Virgínio Emerenciano Neto
(Membro interno - UFRN)



Documento assinado digitalmente
FRANCISCO ITALO FERNANDES DE OLIVEIRA
Data: 05/09/2023 15:53:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Francisco Ítalo Fernandes de Oliveira
(Membro externo - Pnz Agro Serviços Agronômicos)

Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva
(Membro externo - UAST/UFRPE)



Documento assinado digitalmente
THIERES GEORGE FREIRE DA SILVA
Data: 05/09/2023 17:38:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas oportunidades que me foram dadas nesta trajetória, suprimindo todas as minhas necessidades e permitindo mais esta conquista. À minha mãe, Maria Cleide Oliveira da Paixão Reis e ao meu pai, Lourenço de Carvalho Reis (*in memoriam*) que acreditaram em mim, sem a participação de vocês eu nunca teria chegado até aqui. À minha família pelo apoio e confiança em minhas decisões, em especial aos meus tio Osvaldo Ramos e meu sogro Antônio Custódio pelo apoio dado durante a minha caminhada na academia no doutorado.

Aos amigos Timóteo, Geraldo, Igor, Flaviano, Quesia, Daiane, Nataline, Ananda, Izanildo, Benedito, Lucas Lopes, Yan, Francisco Allan, Ricardo, Pedro e Juliana.

Ao meu orientador, Dr. Mário Queiroz agradeço pelo incentivo, motivação e pela grande amizade construída e contribuição nesta jornada, para alcançar minha realização profissional. A Embrapa Semiárido, que disponibilizou laboratórios para a execução das análises e as Dr^a Salete Alves de Moraes e Dr^a Diana Signor Deon. Ao docente da UAST/UFRPE, Dr. Thieres George Freire da Silva e a Dr^a Alessandra Monteiro Salviano pela contribuição na confecção da tese.

À Rosângela pela assistência, dedicação e carinho para com todos. A disposição e apoio dos funcionários do Campus de Ciências Agrárias (CCA) - UNIVASF.

À minha esposa, Leilta Gonçalves da Penha pelo carinho, apoio, incentivo e por tornar a minha vida mais feliz e completa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

A Universidade Federal do Vale do São Francisco e o Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal (PPGCA) pelo espaço e contribuição.

Venho aqui fazer meus sinceros agradecimentos às pessoas acima citadas, que de maneira direta ou indireta contribuíram com meu trabalho nessa nova e importante etapa da minha vida.

RESUMO

Diante da necessidade de suplementar os animais nas regiões semiáridas, principalmente no período de estiagem prolongada, torna-se necessário o estudo em condição de consórcio e rotacionado, entre plantas leguminosa e gramíneas forrageiras adaptadas as condições da região, com intuito de diversificação e formação de banco de proteína. Objetivou-se com a execução desta pesquisa é avaliar a influência de diferentes sistemas de cultivo, na produção de biomassa e na demanda nutricional das plantas forrageiras (guandu, sorgo e milheto). O experimento foi conduzido durante o ano de 2020 a 2022, no campo experimental do Campus de Ciências Agrárias, pertencente à Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina - PE, em Neossolo Quartzarênico em um delineamento inteiramente casualizado (DIC). As espécies estudadas foram o sorgo – BRS Ponta Negra, milheto - BRS 1501 e o feijão guandu – BRS Mandarin, arrançados em diferentes sistemas de cultivo: guandu solteiro (G); sorgo solteiro (S); milheto solteiro (M); consórcio de guandu e sorgo (G+S) e guandu e milheto (G+M), e o rotacionado de guandu e sorgo (GS) e guandu e milheto (GM). Foram realizadas coletas para a determinação dos índices produtivos e características estruturais das plantas, bem como, a exportação e as eficiências dos nutrientes pelas culturas nos diferentes sistemas de produção. Conclui-se que a associação sorgo-guandu e milheto-guandu não apresentaram vantagem biológica e capacidade competitiva em ambos os consórcios comparado aos sistemas de monocultivo e rotacionado. Mesmo a cultura guandu incrementando a produção do consorcio com o milheto, além de apresentar as maiores participações da fração folha. O cultivo sucessivo das gramíneas nos sistemas de cultivo rotacionado não melhorou os índices produtivos comparado aos seus sistemas de monocultivo. O guandu solteiro apresentou os melhores resultados de eficiência de uso ($EU_{(w)}$) para o P, K Ca, Mg, B, Cu e Zn mostrando ser uma excelente cultura no quesito de aproveitamento dos nutrientes aplicados via fertilizante no solo. Comportamento semelhante manteve-se quando em consórcio com as gramíneas (G+S e G+M), permitindo a utilização deste método de cultivo em condições de semiárido, considerando os benéficos sustentáveis para o meio ambiente, devido ao melhor aproveitamento dos insumos aplicados e o aumento dos parâmetros produtivos. Pois, o tratamento os tratamentos G+S e G+M acumularam mais P, K, Ca, Mg e B proporcionalmente, comparado aos seus respectivos cultivos solteiros das gramíneas no último período agrícola. Enquanto os sistemas rotacionado (GS e GM) de cultivo para as gramíneas (2021/2022) não apresentou vantagens quando a demanda nutricional dos macros e micronutrientes avaliadas das culturas comparado ao sistema solteiro de cultivo. Quanto ao saldo final ($SF_{(Ca \text{ e } Mg)}$) os mesmos apresentaram saldos negativos para todos os tratamentos em ambos os períodos, sendo estes um empecilho para o desenvolvimento das culturas do presente estudo. Para a eficiência de absorção ($EAb_{(w)}$) do P, K, Ca, Mg, B, Cu e Zn, apresentaram as menores eficiências para o cultivo do milheto solteiro e rotacionado (GM), sendo o tratamento do consórcio guandu+milheto beneficiado pela cultura do guandu.

Palavras-chave: eficiência biológica. exportação de nutrientes. gramínea. habilidade competitiva. leguminosa. produtividade.

ABSTRACT

Given the need to supplement animals in semi-arid regions, especially during periods of prolonged drought, it is necessary to study in consortium and rotational conditions, between leguminous plants and forage grasses adapted to the conditions of the region, with the aim of diversification and formation of protein bank. The objective of carrying out this research was to evaluate the influence of different cultivation systems on biomass production and nutritional demand of forage plants (pigeon pea, sorghum and millet). The experiment was conducted during the year 2020 to 2022, in the experimental field of the Agricultural Sciences Campus, belonging to the Federal University of Vale do São Francisco, Petrolina - PE, in Quartzarenic Neossolo in a completely randomized design (DRC). The species studied were sorghum – BRS Ponta Negra, millet – BRS 1501 and pigeon pea – BRS Mandarin, arranged in different cultivation systems: single pigeon pea (P); single sorghum (S); single millet (M); consortium of pigeon pea and sorghum (P+S) and pigeon pea and millet (P+M), and the rotation of pigeon pea and sorghum (PS) and pigeon pea and millet (PM). Collections were carried out to determine the production indices and structural characteristics of the plants, as well as the export and efficiency of nutrients by crops in different production systems. It is concluded that the association sorghum-pigeon and millet-pigeon did not present a biological advantage or competitive capacity in both consortia compared to monoculture and rotational systems. Even the pigeon pea crop increases the production of the intercrop with millet, in addition to presenting the largest shares of the leaf fraction. The successive cultivation of grasses in rotational cropping systems did not improve production rates compared to monoculture systems. Single pigeon pea showed the best use efficiency results ($EU_{(w)}$) for P, K, Ca, Mg, B, Cu and Zn, showing it to be an excellent crop in terms of making use of nutrients applied via fertilizer to the soil. A similar behavior was maintained when in consortium with grasses (P+S and P+M), allowing the use of this cultivation method in semi-arid conditions, considering the sustainable benefits for the environment, due to better use of the applied inputs and the increase in production parameters. Therefore, the P+S and P+M treatments accumulated more P, K, Ca, Mg and B proportionally, compared to their respective single grass cultivations in the last agricultural period. While the rotational cultivation systems (PS and PM) for grasses (2021/2022) did not present advantages when considering the nutritional demand for macro and micronutrients evaluated from the crops compared to the single cultivation system. As for the final balance ($FB_{(Ca \text{ and } Mg)}$), they presented negative balances for all treatments in both periods, which are an obstacle to the development of the crops in the present study. For the absorption efficiency ($Abe_{(w)}$) of P, K, Ca, Mg, B, Cu and Zn, they presented the lowest efficiencies for the cultivation of single and rotated millet (RM), with the treatment of the pigeon pea + millet consortium benefited from pigeon pea culture.

Key-words: biological efficiency. nutrient export. grassy. competitive skill. legume. productivity.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1 - Balanço Hídrico e Evapotranspiração potencial (ETP) de Thornthwaite (1948) e a precipitação no período experimental de julho de 2020 a outubro de 2022. DEF (-1) = déficit hídrico, EXC= excesso hídrico.53

LISTAS DE TABELAS

Revisão

Tabela 1 - Valores médios de proteína bruta (PB), da produção de matéria seca (PMS), e verde (PMV), em kg do feijão-guandu cv. Mandarin.	19
Tabela 2 - Valores médios de proteína bruta (PB), da produção de matéria seca (PMS), e verde (PMV), em kg do sorgo – cv. Ponta Negra.	21

Capítulo 1

Tabela 1 - Resultado da análise química do solo da área experimental.	50
Tabela 2 - Nutrientes aplicados ao longo dos ciclos de cultivo solteiro e consórcio de sorgo, milho e guandu, em Neossolo Quartzarênico no campo experimental da Universidade Federal do Vale do São Francisco, em Petrolina - PE, no período de 2020-2022.	54
Tabela 3 - Características estruturais e porcentagem de matéria seca (%MS) de forrageiras em cultivos solteiro, consorciado (Cons.) e rotacionado (Rot.), no ano agrícola 2020/2022.	60
Tabela 4 - Produtividade da matéria seca total (PMS-T) e taxa de acúmulo de matéria seca (Tax-MS) do sorgo, milho e feijão guandu em cultivos solteiros, consorciados (Cons) e rotacionados (Rot) nos anos agrícolas 2020/2021 e 2021/2022.	62
Tabela 5 - Valores médios de eficiência biológica e capacidade de competitividade do guandu forrageiro (<i>Cajanus cajan</i> (L.)), sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>) e milho (<i>Pennisetum glaucum</i> L.) consorciado, comparado ao sistema solteiro de cultivo no Semiárido Brasileiro.	64
Tabela 6 - Valores médios de eficiência biológica e capacidade de competitividade do guandu forrageiro (<i>Cajanus cajan</i> (L.)), sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>) e milho (<i>Pennisetum glaucum</i> L.) consorciado, comparado ao sistema rotacionado no Semiárido Brasileiro.	65

Capítulo 2

Tabela 1 - Produção de matéria seca da planta inteira (PMS-PI) e exportação de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (g planta ⁻¹) na parte aérea do Sorgo, Milho e Guandu em diferentes sistemas de cultivo no ano 2020/2021 e 2021/2022.	80
---	----

Tabela 2- Eficiência de uso (EU) (g g^{-1}), absorção (Eab) (g g^{-1}), balanço (BN) e saldo final (SF) em kg ha^{-1} respectivamente, do fósforo (P) na parte aérea nos diferentes sistemas de cultivo no ano de 2020/2022.	82
Tabela 3- Eficiência de uso (EU) (g g^{-1}), absorção (Eab) (g g^{-1}), balanço (BN) e saldo final (SF) em kg ha^{-1} respectivamente, do potássio (K) na parte aérea nos diferentes sistemas de cultivo no ano de 2020/2022.	83
Tabela 4- Eficiência de uso (EU) (g g^{-1}), absorção (Eab) (g g^{-1}), balanço (BN) e saldo final (SF) em kg ha^{-1} respectivamente, do cálcio (Ca) na parte aérea nos diferentes sistemas de cultivo no ano de 2020/2022.	85
Tabela 5- Eficiência de uso (EU) (g g^{-1}), absorção (Eab) (g g^{-1}), balanço (BN) e saldo final (SF) em kg ha^{-1} respectivamente, do magnésio (Mg) na parte aérea nos diferentes sistemas de cultivo no ano de 2020/2022.	86

Capítulo 3

Tabela 1- Produção de matéria seca da planta inteira (PMS-PI) (g planta^{-1}) e exportação de boro, cobre e zinco (mg planta^{-1}) na parte aérea do Sorgo, Milheto e Guandu em diferentes sistemas de cultivo de forragem no ano 2020/2022.....	98
Tabela 2- Eficiência de uso (EU) (g g^{-1}), absorção (Eab) (g mg^{-1}), balanço (BN) e saldo final (SF) em g ha^{-1} , do boro (B) na parte aérea nos diferentes sistemas de cultivo no ano de 2020/2022.	99
Tabela 3- Eficiência de uso (EU) (g g^{-1}), absorção (Eab) (g mg^{-1}), balanço (BN) e saldo final (SF) em g ha^{-1} , cobre (Cu) na parte aérea nos diferentes sistemas de cultivo no ano de 2020/2022.	100
Tabela 4- Eficiência de uso (EU) (g g^{-1}), absorção (Eab) (g mg^{-1}), balanço (BN) e saldo final (SF) em g ha^{-1} , zinco (Zn) na parte aérea nos diferentes sistemas de cultivo no ano de 2020/2022.	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	Porcentagem
<	Menor que
>	Maior que
BN _(w)	Balanço de nutriente
CMS	Conteúdo de matéria seca
CT	Carboidratos totais
Cv	Cultivar
DIC	Delineamento inteiramente casualizado
EAb _(w)	Eficiência de absorção dos nutrientes
EU _(w)	Eficiência de uso dos nutrientes
FDA	Fibra insolúvel em detergente ácido
FDN	Fibra insolúvel em detergente neutro
G	Gramma
GMF	Ganho de matéria fresca
GMS	Ganho de matéria seca
K	Potássio
Kg	Quilograma
kg/ha	Quilograma por hectare
kg/ha/dia	Quilograma por hectare dia
kg/t de MV	Quilograma por tonelada de matéria verde
M	Metro
m ²	Metro quadrado

MM	Matéria mineral
Mm	Milímetro
MS	Matéria Seca
N	Nitrogênio
NDT	Nutrientes digestíveis totais
°C	Graus Celsius
P	Fósforo
PB	Proteína bruta
pH	Potencial hidrogeniônico
pH-metro	Potenciômetro digital
PMF-T	Produção da matéria fresca total
PMV	Produção de matéria verde
PMS	Produção de matéria seca
PMS-PI	Produção de matéria seca da planta inteira
PMS-T	Produção de matéria seca total
R _L -F/C	Relação folha caule
SF _(w)	Saldo final do nutriente
Ton	Tonelada
ton/ha	Tonelada por hectare

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	O uso da irrigação em regiões semiáridas	17
2.2	Espécies forrageiras adaptadas a região semiárida	18
2.2.1	Feijão guandu	18
2.2.2	Sorgo forrageiro	20
2.2.3	Milheto forrageiro	22
2.3	Sistemas integrados: gramínea-leguminosa	23
2.3.1	Forrageiras consorciadas	23
2.3.2	Rotacionado entre culturas forrageiras	25
2.4	Benefícios do sistema gramínea-leguminosa	26
2.5	Extração, balanço e eficiência do uso dos nutrientes	27
3	JUSTIFICATIVA	29
4	HIPÓTESE CIENTÍFICA	30
5	OBJETIVOS	30
5.1	Geral	30
5.2	Específico	31
6	CAPÍTULO 1: PRODUTIVIDADE E ÍNDICE DOS SISTEMAS DE CULTIVO DO FEIJÃO GUANDU, SORGO E MILHETO	46
6.1	INTRODUÇÃO	48
6.2	MATERIAL E MÉTODOS	50
6.2.1	Localização do experimento	50
6.2.2	Caracterização inicial do solo	50
6.2.3	Delineamento experimental e tratamentos	51
6.2.4	Manejos de plantio e colheita da forragem	51
6.2.5	Recomendação de adubação	51
6.2.6	Dados meteorológicos e irrigação	52
6.2.7	Quantidade de nutrientes aplicados	53
6.2.8	Respostas produtivas e estruturais	54
6.2.9	Eficiência biológica	55
6.2.10	Habilidade competitiva	57
6.2.11	Estatística	59
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
6.4	CONCLUSÃO	67

7	CAPÍTULO 2: EXPORTAÇÃO, BALANÇO E EFICIÊNCIA DE USO DE MACRONUTRIENTES EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO COM O USO FEIJÃO GUANDU, SORGO E MILHETO	73
7.1	INTRODUÇÃO	75
7.2	MATERIAL E MÉTODOS	76
7.2.1	Localização do experimento	76
7.2.2	Caracterização inicial do solo	76
7.2.3	Delineamento experimental e tratamentos	76
7.2.4	Manejos do plantio e colheita da forragem	76
7.2.5	Recomendação de adubação	76
7.2.6	Dados meteorológicos e irrigação	76
7.2.7	Quantidade de nutrientes aplicados	76
7.2.8	Cortes e determinação da matéria seca da forragem	77
7.2.9	Determinação da composição mineral das plantas	77
7.2.10	Acúmulo de nutrientes pelas culturas	77
7.2.11	Eficiência do uso dos macronutrientes	78
7.2.12	Balanço e saldo final dos nutrientes	78
7.2.13	Estatística	79
7.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
7.4	CONCLUSÃO	86
8	CAPÍTULO 3: EXPORTAÇÃO, BALANÇO E EFICIÊNCIA DE USO DE MICRONUTRIENTES PARA O FEIJÃO GUANDU, SORGO E MILHETO EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO	91
8.1	INTRODUÇÃO	93
8.2	MATERIAL E MÉTODOS	94
8.2.1	Localização do experimento	94
8.2.2	Caracterização inicial do solo	94
8.2.3	Delineamento experimental e tratamentos	94
8.2.4	Manejos do plantio e colheita da forragem	94
8.2.5	Recomendação de adubação	95
8.2.6	Dados meteorológicos e irrigação	95
8.2.7	Quantidade de nutrientes aplicados	95
8.2.8	Cortes e obtenção da matéria seca da forragem	95
8.2.9	Determinação da composição mineral das plantas	95
8.2.10	Acúmulo de nutrientes pelas culturas	95
8.2.11	Eficiência do uso dos micronutrientes	96

8.2.12	Balanço e saldo final dos micronutrientes	96
8.2.13	Estatística	97
8.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
8.4	CONCLUSÃO	102

1 INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro é caracterizado principalmente pela distribuição espaço temporal das chuvas, que apesar de ser o mais chuvoso do mundo, possui ampla variação pluviométrica, apresentando magnitudes entre 400 e 800 mm/ano, gerando elevado déficit hídrico, devido à alta evapotranspiração potencial, em torno de 1800 mm/ano (MELO et al., 2011) e capacidade de suporte reduzida quando comparada a outros sistemas de produção (MOREIRA, 2013). Atualmente deparasse com a real importância da utilização de forrageiras mais produtivas, já que o ganho em qualidade é uma necessidade emergente nos sistemas de alta produtividade, aliado à estacionalidade da produção de alimentos, pois é sabido que a reduzida produção de forragens no período seco interfere na produtividade dos rebanhos (SALES, 2001), devido à baixa qualidade nutritiva das plantas forrageiras nativas nesta época do ano.

O uso crescente de plantas leguminosas como fonte proteica, tem sido uma alternativa nutricionalmente potencializadora para compor dietas, além de reduzir custos de alimentação nas regiões semiáridas, como exemplo, temos o feijão guandu é uma leguminosa pertencente da família Fabaceae, com ciclo anual ou semiperene de porte arbustivo (ARAÚJO et al., 2019). O seu ciclo produtivo pode variar de 80 a 180 dias, para as variedades anãs (baixo porte de crescimento e estrutural) e convencionais (denominadas de porte normal), respectivamente (PINHEIRO et al., 2013). A forragem proveniente desta leguminosa, é composta por alto valor nutritivo, com isso, disponibilizando um alimento com excelente fonte de energia e proteína para os ruminantes da região semiárida (CHOUDHARY et al., 2013; KHOURY et al., 2015).

As leguminosas forrageiras são plantas de uso múltiplo e justamente também por esse motivo conseguem se destacar na eficiência do uso da terra nos sistemas de produção animal em pastagens (RESENDE & MOHALLEM., 2018). Os mesmos autores relatam que o Feijão Guandu traz características que contribuem bastante para a reforma de pastos e aumento da produtividade na propriedade. Além da associação o rotacionado, leguminosa-gramínea tem contribuído positivamente para o valor nutritivo da dieta dos ruminantes e melhorar a eficiência do uso dos fertilizantes aplicados, quando comparada à monocultura com gramíneas tropicais. Segundo Andrade et al. (2013) e Minuzzi et al. (2014) tais práticas agrícolas auxiliam na tomada de decisão em regiões semiáridas, onde, é muito afetado pela sazonalidade da chuva,

resultando em prejuízos para a agricultura familiar e a pecuária, tornando-as vulneráveis e com baixo rendimento. Para minimizar estes efeitos, torna-se necessário a busca por alternativas, como a utilização de espécies vegetais resistentes ou tolerantes e, com isso, potencializar a agricultura local (PEREIRA et al., 2015; DINIZ et al., 2017; BIESDORF et al., 2019).

Nas regiões semiáridas, muitas gramíneas forrageiras já são adaptadas as condições edafoclimáticas da região, e assim são utilizadas na alimentação animal. O uso do sorgo e milho é uma alternativa de produção de volumoso em regiões tropicais e podem ser utilizadas em condições de associação e cultivo sucessivo a leguminosa. O sorgo tem um alto teor de fibras fermentáveis e açúcares, que pode ser explorado em grande escala e com grande adaptabilidade (CARRILLO et al., 2014), e o milho apresenta valor nutricional considerável e possui baixo custo de implantação devido a sua menor exigência por água e fertilidade do solo (BERGAMASCHINE et al., 2011).

Desta maneira, um manejo nutricional que permita a utilização de recursos forrageiros adaptados às condições climáticas locais, associada a técnicas resilientes são de extrema necessidade, pois, permite maiores rendimentos e sustentabilidade dos cultivos (DUBEUX JÚNIOR et al., 2021; JARDIM et al., 2021b). Espera-se que o uso do feijão-guandu em sistema integrado com gramíneas forrageiras seja uma ferramenta importante para promover alterações positivas nas propriedades físico-hídricas do solo bem como aumentar a produtividade de forragem e dos resíduos vegetais no solo, e melhor uso dos nutrientes via fertilizantes pelas culturas consorciadas e sucessivas, importantes para sustentabilidade do sistema de cultivo.

Então torna-se necessário o estudo em condições de consórcio e rotacionado, entre leguminosa e gramínea adaptadas às condições da região. Para definir uma estratégia de manejo mais adequada para a implantação e diversificação de plantas forrageiras em uma propriedade na região semiárida, considerando as respostas produtivas e as demandas nutricionais das culturas para os macros e micronutrientes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O uso da irrigação em regiões semiáridas

Na região do Vale do São Francisco, o cenário é caracterizado por períodos intercalados de pouca umidade e de seca extrema, que impactam diretamente a história, marcada por dificuldades sociais e econômicas que podem ser medidas pela proximidade ou distância dos municípios das margens do rio (SILVA, 2021). Segundo o mesmo autor, o modelo de desenvolvimento, implementado a partir de 1980 e ainda predominante, alicerça-se na produção de energia elétrica por meio de grandes barragens, como a de Sobradinho, na Bahia, que favorecem a implantação de agricultura irrigada e de subsistência. A fonte hídrica para irrigação também é o Rio São Francisco e os cultivos agrícolas que predominam são a uva, a manga e a banana (CODEVASF, 2014).

A administração desse projeto fica a cargo do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (Dnocs) e da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf), responsáveis por aproximadamente 80% dos perímetros públicos irrigados no Brasil, e da administração dos estados e do Ministério da Integração (FERREIRA & VIEIRA FILHO, 2021). Essas são regiões onde o governo investiu em irrigação, ocorreu desenvolvimento econômico, desenvolvimento social e, consequentemente redução de pobreza, melhorando a qualidade de vida das comunidades (MONTE et al., 2019).

Entretanto, a seca de 2012–2015 foi considerada a mais grave nas últimas décadas, com impactos em muitos distritos das regiões semiáridas, principalmente as do Nordeste (MARENGO et al., 2016; VIDAL & XIMENES, 2016). Para Vidal & Ximenes (2016), nesse período, a área com fruticultura permanente na região de atuação do Banco do Nordeste sofreu redução de quase 218 mil hectares. O período de estiagem prejudicou o cultivo de sequeiro e o irrigado, por causa da redução dos níveis dos reservatórios (FERREIRA & VIEIRA FILHO, 2021). Dentre os impactos desse evento climático extremo, destaca-se a deficiência hídrica que assolou a região, onde o volume de água dos rios e reservatórios atingiu níveis extremamente críticos (BARBOSA; KUMAR, 2016).

Com essas demandas, torna-se necessário ter um melhor aproveitamento da água aplicada na agricultura, apesar das culturas frutíferas e forrageiras estarem adaptadas, ainda é necessário o emprego de práticas de manejo que possam melhorar ainda mais as respostas produtivas nas condições ambientais dessa região. O uso de irrigação complementar, por exemplo, é uma prática que possibilita incrementos produtivos, sem comprometer as características bromatológicas e produtivas da cultura (QUEIROZ et al., 2015; ROCHA; VOLTOLINI; GAVA, 2017; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021; JARDIM et al., 2021), uma vez que o regime hídrico local é superado pela alta demanda atmosférica, ocasionando déficit hídrico para as forragens (SARKER et al., 2020).

Instabilidade pluviométrica, que tão bem caracteriza o semiárido nordestino, é um fenômeno que está diretamente relacionado ao balanço hídrico negativo, e índices baixos de produção das lavouras de sequeiro, como as de feijão, mandioca e milho, culturas alimentares praticadas, majoritariamente, por agricultores familiares e que representam as principais atividades na produção agrícola regional (LEMOS et al., 2016). De acordo com Quaranta (2013), tendo em vista que a agricultura de sequeiro nas regiões semiáridas é uma atividade sujeita a altos riscos de perdas de safra devido à alta variabilidade pluviométrica, deve se basear em sistemas de economia de água que, interligada à utilização de técnicas específicas de cultivo, permitem um uso eficaz e eficiente da limitada umidade do solo. O déficit hídrico atrelado às mudanças climáticas intensifica o processo de desertificação das áreas nessas regiões, isso porque um baixo teor de matéria orgânica, a estabilidade agregada e os baixos níveis de produtividade biológica fazem com que as terras secas fiquem mais vulneráveis à desertificação (KAR et al., 2016).

2.2 Espécies forrageiras adaptadas a região semiárida

2.2.1 Feijão guandu

Pertencente à família Fabaceae e subfamília Faboideae o feijão guandu é uma leguminosa arbustiva anual ou semiperene. É uma cultura mundialmente importante, com destaque em regiões semiáridas, devido apresentar tolerância à seca

(VARSHNEY et al., 2010). De acordo com Venkata et al. (2018), o feijão-guandu possui múltiplos usos e se destaca como uma importante leguminosa alimentar na Ásia, África e América Latina, garantido a sobrevivência, sobretudo, de pequenos agricultores. Em 2020, a produção mundial de grãos de feijão-guandu foi estimada em cerca de 5,01 milhões de toneladas, com produtividade média aproximada de 822 kg ha⁻¹, tendo sido a Ásia, África e Américas responsáveis por 84,7, 14,2 e 1,1% da produção mundial, respectivamente, onde a Índia (3,89 milhões de toneladas) foi o país com maior produção, seguido por Malawi (424 mil toneladas) e Mianmar (339 mil toneladas) (FAOSTAT, 2022).

O feijão guandu também vem se destacando na alimentação animal, sendo uma das principais leguminosas cultivadas nas diferentes regiões do mundo, altamente palatável, produz elevadas quantidades de forragem com altos teores de proteína e minerais durante a época da seca (SILVA et al., 2018; LIGOSKI et al., 2020). Essa leguminosa é ideal como fonte de proteína barata e pode substituir outras fontes de alimentação animal, com elevados rendimentos de proteína bruta que podem chegar a 22% (ABEBE, 2022).

A inclusão dessa leguminosas na ensilagem de cultura anuais, como o milho promove aumento nos teores de proteína bruta da silagem oferecida aos animais, reforçando as contribuições positivas da presença da leguminosa na qualidade do alimento (LIGOSKI et al., 2020) e reduzindo o custo com aquisição de sais proteinados e/ou concentrados.

Tabela 1 - Valores médios de proteína bruta (PB), da produção de matéria seca (PMS), e verde (PMV), em kg do feijão-guandu cv. Mandarin.

Fonte	Teor de PB	PMV	PMS
	%	t ha ⁻¹	
Wolf Seeds (2011)	20	-	17 t ha ⁻¹ ano ⁻¹
Embrapa (2008)	20	-	-
Câmara & Godoy (2019)		29,59 t ha ⁻¹	10,61 t ha ⁻¹

Além de ser utilizado na alimentação humana na forma de farinha e de grãos, o feijão guandu pode ser usado para os mais diversos fins, como na alimentação de animais domésticos e na pecuária, na recuperação de solos e áreas degradadas e

renovação de pastagens (AZEVEDO et al., 2007). Além disso, é um excelente suplemento proteico para os ruminantes.

No período seco, apresenta-se verde, mantém sua produtividade, palatabilidade e aceitação pelos animais (RODRIGUES et al., 2004; BENEDETTI, 2005; SOUZA et al., 2007).

Para a Wolf Seeds (2011), o feijão-guandu cv. BRS Mandarin pode produzir em altitude de até 1.000 m; ciclo de florescimento de 150 dias; quanto à tolerância, destaca-se: à seca, alta; ao frio, média; à umidade, baixa; e ao sombreamento, média. Souza et al. (2007) salientaram que as plantas de guandu destinadas ao consumo animal na forma de forragem devem apresentar alta produção de fitomassa, ramos de diâmetro reduzido e flexíveis, menor sensibilidade ao fotoperíodo, tolerância a cortes e desfolhas e retenção de folhas durante o período de déficit hídrico.

Nos sistemas produtivos, gramíneas e leguminosas competem por nutrientes e água, contudo essa competição se dá por habilidades específicas como a arquitetura radicular (LEMAIRE, 2001), que é profundo e ramificado. A cultura do feijão Guandu é capaz de resistir a períodos de seca e de romper camadas compactadas de solo, melhorando a aeração do solo. Além de possibilitar a restauração química dos solos degradados, a partir da fixação biológica de nitrogênio e solubilização do fósforo ligado ao solo, além de permitir a sobrevivência da cultura em regiões com baixa disponibilidade hídrica (VERSLYPE et al., 2015; ARAÚJO et al., 2019; SEWSARAN et al., 2019). Em estudo de Oliveira et al. (2017) observou que a cultivar de feijão guandu BRS Mandarin pela maior produção de massa seca e persistência na área experimental é indicada para a recuperação de pastagens, quando comparado as cultivares G6 e G66.

2.2.2 Sorgo forrageiro

O sorgo apresenta moderada resistência à seca, possui característica bromatológica semelhante ao milho, favorecendo o processo da ensilagem (TABOSA et al., 2012), e elevada produtividade de biomassa com menor custo de produção, permitindo mais de um corte com uma única semeadura. Isto resulta em economia no preparo do solo, na semeadura, no uso de sementes, maior densidade de plantas e com produção de até 60% do primeiro corte (VON PINHO et al., 2007). A adaptabilidade do sorgo decorre de suas características agrônômicas como sistema

radicular bem desenvolvido, ser tolerante a solos ácidos tornando-o atrativo na produção animal (SANTIN et al., 2020).

Outra vantagem do sorgo é a sua alta produção de massa verde, aliada com baixo poder tampão e alta concentração de carboidratos solúveis, bom valor nutricional adequados para o processo de ensilagem, desde que ensilado no momento certo (VERIATO et al., 2018). O sorgo apresenta um excelente potencial de rebrota, sua produção pode atingir até 60% de seu potencial do primeiro corte quando submetido a manejo adequado (CRUZ et al., 2020). Segundo os mesmos autores, o sorgo produz silagem com boa aceitabilidade, entretanto, por ser uma cultura alta, possui alta fração de fibras no colmo, o que pode interferir no seu consumo pelos animais.

Segundo Buso et al. (2011) o sorgo (*Sorghum bicolor*) apresenta boa adaptação a ambientes salinos. A variedade de sorgo BRS Ponta Negra possui a característica de precocidade, com corte no ponto ideal para silagem próximo aos noventa dias após o plantio, enquanto outras cultivares atingem este ponto em cerca de cem dias (ANTUNES NETO et al., 2016).

Tabela 2 - Valores médios de proteína bruta (PB), da produção de matéria seca (PMS), e verde (PMV), em kg do sorgo – cv. Ponta Negra.

Fonte	Teor de PB	PMV	PMS
	% MS	t ha ⁻¹ *	
Vale & Azevedo (2013)		45,70 t ha ⁻¹	
Perazzo et al. (2013)		52,14 t ha ⁻¹	12,07 t ha ⁻¹
Cândido et al. (2015)	4,91		16,36 t ha ⁻¹
Santos et al. (2013)		76,20 t ha ⁻¹	19,70 t ha ⁻¹
Antunes Neto et al. (2016)	5,39	47,71 t ha ⁻¹	12,43 t ha ⁻¹

*: primeiro corte.

O sorgo – cv. Ponta Negra pode apresentar altura de 2,3 m, e 25,5% de panícula, 56,5% de colmo e 17,9% de folha na matéria seca (SANTOS et al., 2013). Antunes Neto et al. (2016) em estudo na região de Gameleira-MG, encontrou na silagem de sorgo BRS Ponta Negra: Fibra em Detergente Neutro (FDN), Digestibilidade In Vitro da Fibra em Detergente Neutro (DIVFDN), Amido Total (AT) e Nutrientes Digestíveis

Totais (NDT), respectivamente, 27,2; 64,91; 46,17; 12,34 e 52,9 % na Matéria seca (MS).

2.2.3 Milheto forrageiro

O milheto (*Pennisetum glaucum* L.) é uma cultura que vem se destacando nos últimos anos, por apresentar tolerância à seca, boa adaptabilidade a solos de baixo nível de fertilidade e elevada capacidade de extração de nutrientes (LINDAU; PEREIRA, 2009).

Segundo Guimarães et al. (2005), o milheto apresenta grande potencial forrageiro, devido ao alto valor nutritivo e à sua grande versatilidade de utilização, uma vez que se trata de uma cultura de fácil instalação e que requer poucos insumos, pois a planta tem um sistema radicular profundo e vigoroso, o que a torna eficiente no uso de água e nutrientes (PAYNE, 2000).

Além disso, a cultura é capaz de vegetar em regiões com precipitações pluviométricas próximas a 400 mm anuais (BARROS et al., 2002). Lindau e Pereira 2009) afirmam que a baixa exigência hídrica do milheto o coloca à frente do milho e do sorgo. Enquanto o milho e o sorgo necessitam, respectivamente, de 370 e 321g de água para cada grama de matéria seca produzida, o milheto precisa, dependendo das circunstâncias climáticas, de aproximadamente 300g de água.

De forma análoga, o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) é uma variedade que se adapta a diferentes condições de solos, tendo boa aceitação em solos com déficit de nutrientes e água, ou seja, seu cultivo demanda baixa aplicação de insumos, diminuindo seu custo produtivo e possui benefícios no gasto com água em relação ao milho e ao sorgo (SILVA; FRATONI; SCUDELETTI, 2015). Outra característica que faz do milheto uma cultura vantajosa, quando comparada ao milho e sorgo, é o curto ciclo fenológico. De acordo com Almeida (2011), essa cultura apresenta teores de matéria seca que variam de 12,16 a 33,21% e proteína bruta de 11,43 a 7,80% nos cortes realizados entre 50 e 106 dias, respectivamente.

Pinho, et al. (2013), encontrou composição bromatológica da planta do milheto BRS 1501 correspondendo, respectivamente, proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), extrato etéreo (EE), matéria orgânica (MO), cinzas (CZ), carboidratos totais (CT), carboidratos solúveis (CHO's), e carboidratos não-fibrosos (CNF): 10,82;

66,66; 1,42; 83,43; 16,57; 71,19; 6,99 e 4,52% da MS. Enquanto Guimarães Jr, et al. (2008), avaliando as silagens dos genótipos BRS 1501, encontrou, respectivamente, os seguintes valores PB, MS, FDN e FDA: 11,8, 21,3, 70,5 e 37,7%.

2.3 Sistemas integrados: gramínea-leguminosa

2.3.1 Forrageiras consorciadas

O consórcio de culturas forrageiras, é um sistema que busca a melhoria da resiliência agrícola e a diversificação agrícola em mesma área. Visto que, a otimização da eficiência no uso da terra, é em função da quantidade ideal de plantas por unidade de área (SILVA et al., 2019; MENG et al., 2020). Por outro lado, essa prática deve consistir na adequação do cultivo, a fim de melhorar a interceptação luminosa dos vegetais, com influência direta na área e inserção foliar, e na produção de matéria seca (BUESA; MIRÁS-AVALOS; INTRIGLIOLO, 2020; OLIVEIRA et al., 2012; TONINI et al., 2019).

Para o entendimento das características produtivas, competitividade entre as culturas e benefício econômico do consórcio em função das modificações no sistema de cultivo, a determinação da produção forrageira aplicação de índices biológicos e de rentabilidade, são ferramentas essenciais para o auxílio na tomada de decisão, favorecendo a escolha do melhor sistema a ser utilizado pelo produtor (DINIZ et al., 2017; HENDGES et al., 2019).

O cultivo consorciado de gramíneas e leguminosas no sistema integração lavoura pecuária tem proporcionado um incremento considerável na biomassa microbiana do solo, segundo Laroca et al (2018), pela relação C/N, proveniente deste mútuo de diferentes espécies tem gerando um aumento na biodiversidade dos microrganismos no solo e atividade de enzimas que decompõem os resíduos vegetais, têm proporcionado um incremento na produtividade de grãos (SHINKAI et al., 2020). Contudo Miguel et al. (2018) também constataram que este consórcio tem auxiliado no acréscimo de N e K quando cultivado em sucessão de culturas.

Como o seu sistema radicular é profundo e ramificado, a cultura do feijão guandu é capaz de resistir a períodos de seca e de diminuir a compactação dos solos, atuando como adubo verde, fazendo a manutenção da fitomassa e beneficiando a atuação dos micro-organismos heterotróficos do solo (ARAÚJO et al., 2019). De acordo com Pires et al. (2006), ela também pode ser usada como planta fitorremediadora, transferindo metais e água do solo para a parte aérea, removendo os assim, da área poluída. O Guandu atua na restauração química dos solos por seu importante papel na fixação biológica de nitrogênio (FAVERO et al., 2000), e em consórcio também apresenta a vantagem de melhoria na qualidade das dietas dos animais.

O guandu é uma leguminosa de ótima aceitabilidade aos bovinos, apresenta desempenho satisfatório em consórcios (GUIMARÃES et al., 2017). A incorporação de leguminosas nos sistemas de produção de ruminantes pode ser feita sob pastejo direto em consórcio com espécies de gramíneas, na forma de suplementos ou bancos de proteínas, tem-se a possibilidade de utilização de colher a forragem, para posteriormente picar ou oferecer os ramos *in natura* para os animais (STIVARI et al., 2011). O banco de proteína consiste em área cultivada com planta forrageira (leguminosas) de qualidade superior às gramíneas utilizadas nas pastagens, especialmente quanto ao teor de proteína, podendo ser exclusivo ou em consórcio (NETTO et al., 2016). A utilização de forrageiras leguminosas em consórcio com o milho tem apresentado resultados produtivos positivos (OLIVEIRA et al., 2011). O objetivo é aumentar o aporte de nitrogênio (N) no solo, via fixação biológica do N atmosférico, visto que sistemas de integração lavoura pecuária (ILP) ainda são limitados pela carência de N, com alta dependência do uso de adubo nitrogenado para o sucesso da produção (ROSOLEM et al., 2011).

De acordo com Ferreira et al. (2015) o consórcio de milho com guandu não afetou a produção de matéria seca do milho. Sarto (2018), avaliando a inserção de guandu na silagem de milho nas proporções de 5,80 e 6,30% nos dois anos de estudo, verificou que os teores de matéria seca e proteína bruta foram maiores nos consórcios com guandu, sendo capaz de elevar em 17,90% o teor de proteína bruta. Porém, elevou significativamente os teores de FDA, sem, no entanto, comprometer a dieta final. Junqueira (2018), estudando a produção e qualidade da silagem de milho com guandu em sistema orgânico, verificou que nos consórcios em que o guandu foi

semeado aos 60 e 45 dias antecedendo ao milho, apresentaram respectivamente, 86% e 105% de incremento a concentração de proteína bruta em relação à silagem exclusiva de milho.

Avaliando o consórcio de milho com braquiárias e feijão guandu, Gomes et al. (2021) observaram que o consórcio pode ser considerado uma alternativa para aumentar a proteína bruta da silagem, além de proporcionar maior diversidade na forragem após o corte para a ensilagem.

Santos et al. (2009), em pesquisa envolvendo consórcio entre sorgo com soja na entrelinha, observaram maiores rendimentos forrageiros e melhor qualidade nutricional do consórcio em relação ao monocultivo. Alcântara et al. (2011), também observou maiores rendimentos quanto ao consórcio do sorgo com a soja onde mostrou maior rendimento de massa verde, matéria seca e proteína bruta, comparado ao monocultivo de sorgo, o que só agrega mais valor e qualidade a cultura que já tem boas qualidades.

2.3.2 Rotacionado entre culturas forrageiras

Sabe-se que a diminuição das operações agrícolas não é suficiente na prevenção a compactação do solo, quando não é utilizada com práticas conservacionistas como a rotação de culturas pelo cultivo de espécies que produzam grande quantidade de biomassa vegetal e de sistema radicular profundo (JIMENEZ et al., 2008). Calonego e Rosolem (2010), afirmam que a adoção de um sistema de rotação de culturas com espécies de sistema radicular profundo e agressivo, gradualmente aumenta a presença de bioporos ao longo do perfil e diminuem a resistência do solo à penetração, os autores afirmam que a adoção desse sistema pode substituir operações mecânicas de descompactação a exemplo de uma escarificação do solo.

Os resíduos das gramíneas imobilizam consideráveis quantidades de nutrientes do solo, principalmente N (ANDERSON, 2016) e a taxa de mineralização de espécies pertencentes a essa família é mais lenta comparada às leguminosas, que além do benefício da fixação biológica do N em associação com bactérias diazotróficas, essas também possuem maior capacidade na rápida disponibilização dos nutrientes para as culturas subsequentes (MENDONÇA et al., 2017). Portanto, no

planejamento de um programa de rotação de culturas, deve-se levar em consideração, cronologicamente, o cultivo intercalado de leguminosas e gramíneas e e/ou até mesmo a associação simultânea de espécies de ambas as famílias.

Os estudos de sistemas rotacionados de culturas forrageiras destinado à alimentação animal tanto a cultura anterior quanto a sucessiva são escassos, visto que a palhada (biomassa aérea) é recolhida e mantido somente o sistema radicular. E ao contrário das pastagens a adubação das leguminosas e gramíneas de porte médio é realizada na linha de cultivo, visto que mantém os resíduos dos fertilizantes e a contribuição do sistema radicular do ciclo anterior para o posterior. A contínua adubação na linha de semeadura, associado ao revolvimento mínimo do solo, contribui para a melhor absorção e acúmulo de nutrientes no tecido das plantas e sua liberação ao longo do tempo, aumentando os teores de nutrientes, principalmente Ca, Mg, K e P nas camadas superficiais do solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008; NEUGSCHWANDTNER et al., 2014).

2.4 Benefícios do sistema gramínea-leguminosa

Dentre as técnicas de manejo cultural, a adubação baseada na exigência nutricional da planta, juntamente com a correção da fertilidade do solo, são fatores considerados cruci