

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

BIOCHAR NA FERTILIDADE DO SOLO, MORFOMETRIA E
PRODUÇÃO DO CAPIM ELEFANTE

Autora: Laiane Batista Pacheco
Orientador: Prof. Dr. Roriz Luciano Machado
Coorientador: Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

BIOCHAR NA FERTILIDADE DO SOLO, MORFOMETRIA E
PRODUÇÃO DO CAPIM ELEFANTE

Autora: Laiane Batista Pacheco
Orientador: Prof. Dr. Roriz Luciano Machado
Coorientador: Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO, ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres, Área de concentração Irrigação.

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Bb Batista Pacheco, Laiane
 Biochar na fertilidade do solo, morfometria e
 produção do capim elefante / Laiane Batista Pacheco;
 orientador Roriz Luciano Machado; co-orientador
 Frederico Antonio Loureiro Soares. -- Ceres, 2022.
 59 p.

 Dissertação (Mestrado em Mestrado Profissional em
 Irrigação no Cerrado) -- Instituto Federal Goiano,
 Campus Ceres, 2022.

 1. Pennisetum purpureum. 2. Condicionador de
 solo. 3. Fertilidade do solo. 4. Irrigação. 5.
 Capacidade de troca catiônica. I. Luciano Machado,
 Roriz, orient. II. Antonio Loureiro Soares,
 Frederico, co-orient. III. Título.



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional | - Tipo: |

Nome Completo do Autor: Laiane Batista Pacheco

Matrícula: 2020203330640072

Título do Trabalho: BIOCHAR NA FERTILIDADE DO SOLO, MORFOMETRIA E PRODUÇÃO DO CAPIM ELEFANTE

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 20/02/2023

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Local _____ Data Ceres, 20/02/2023.

Laiane Batista Pacheco

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Diriz Luciano Machado
Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLOGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 15/2022 - CCMIC-CE/GPPI/CMPCE/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 23 dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte dois, realizou-se a Defesa de Dissertação da acadêmica **Laiane Batista Pacheco** do Curso de Mestrado Profissional em Irrigação no Cerrado, número de defesa 053, matrícula 2020203330640072, RG 5475499 SPTC-GO, CPF: 035.988.571-36, cuja dissertação intitula-se "**Biochar na fertilidade do solo, morfometria e produção do capim elefante**". A defesa iniciou-se às 8 horas e 11 minutos, finalizando-se às 12 horas e 15 minutos, onde a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO, estando apta para fins de conclusão da Dissertação, devendo o acadêmico apresentar no prazo de sessenta (60) dias a versão final corrigida conforme considerações da banca, em 60 dias no formato digital (PDF), acompanhado do termo de autorização para publicação eletrônica (devidamente assinado pelo autor), para posterior inserção no Sistema de Gerenciamento do Acervo e acesso ao usuário via internet. Os integrantes da banca examinadora assinam a presente ata.

Prof. Dr. Roriz Luciano Machado

Presidente da banca
IF Goiano - Campus Ceres

Prof. Dr. Marcelo Marcondes De Godoy

Avaliador Interno
IF Goiano – Campus Ceres

Prof. Dr. Cicero Celio de Figueiredo

Avaliador Externo
Universidade de Brasília

Documento assinado eletronicamente por:

- **Cícero Célio de Figueiredo, Cícero Célio de Figueiredo - Professor Avaliador de Banca - Universidade de Brasília (00038174000143)**, em 23/09/2022 12:25:46.
- **Marcelo Marcondes de Godoy, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 23/09/2022 12:23:08.
- **Roriz Luciano Machado, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 23/09/2022 12:20:55.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 16/09/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 426306
Código de Autenticação: 42d485ecf8



AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e a Nossa Senhora, pelo dom da vida e por terem me conduzido até aqui.

Aos meus amados pais, Vanderlei e Carmen, por nunca terem medido esforços para que tudo se tornasse realidade da melhor forma possível.

Às minhas amadas irmãs Lidiane e Laís, por estarem sempre junto comigo. Aos meus sobrinhos Lavínia e Léo, que me deram ânimo e alegria para enfrentar cada etapa. Ao meu cunhado Erik.

Ao meu professor, amigo, pai e orientador, Prof. Dr. Roriz Luciano Machado, por todo apoio, incentivo, esclarecimentos e orientações na realização deste trabalho.

Ao meu amigo e companheiro de pesquisa Pedro Santhyago, que me ajudou fielmente em tudo o que foi necessário. E ao Matheus Soares, também companheiro fiel, pelo apoio na irrigação do experimento.

Aos meus queridos amigos que me apoiaram e incentivaram durante toda essa jornada.

Ao Fabrício, da Empresa Biochar Brasil, pela parceria, doando o material para ser testado.

Ao Adão e sua equipe de colaboradores, pelo auxílio, fundamental nos cortes de padronização do experimento.

Ao diretor geral Cleiton, pelo apoio de forma geral e por viabilizar a busca do Biochar em São Paulo.

Aos professores Antônio Evami e Henrique Elias, pelo apoio no processamento de dados meteorológicos e cálculo das lâminas de irrigação.

Ao professor Frederico Soares, pelo apoio nas análises estatísticas.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, minha eterna gratidão.

Ao Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, por ter me propiciado a oportunidade de cursar uma pós-graduação.

A todos os professores que contribuíram da melhor forma possível, com partilhas e transmissão de conhecimentos durante o período de mestrado.

Ao Laboratório de Solos do Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, pela ajuda durante as análises do solo.

A todos que de algum modo contribuíram direta ou indiretamente para minha formação, meu muito obrigada e minha eterna gratidão.

BIOGRAFIA DA AUTORA

LAIANE BATISTA PACHECO, filha de Vanderlei e Carmen, nascida em 10 de março de 1996, na cidade de Anápolis-GO. Em 2015, iniciou seus estudos de nível superior no curso superior de Bacharelado em Agronomia, no Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, recebendo em 2019 o título de Bacharela em Agronomia. Em 2020, iniciou seus estudos no Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado, também no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres.

RESUMO

PACHECO, LAIANE BATISTA. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres – GO, Setembro de 2022. **Biochar na fertilidade do solo, morfometria e produção do capim elefante**. Orientador: Dr. Machado, Roriz Luciano. Coorientador: Dr. Soares, Frederico Antonio Loureiro.

Entre as diversas espécies forrageiras utilizadas na alimentação de ruminantes, o capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) tem papel de destaque por ser perene e de elevado potencial de produção de matéria seca. O aumento da fertilidade do solo associado à irrigação no cerrado se mostra como estratégia para aumento da produção animal usando o capim elefante. O presente trabalho objetivou avaliar o desempenho de cultivares de capim elefante e características químicas do solo sob doses (0, 8, 16 e 24 t ha⁻¹) de biochar. Os tratamentos foram dispostos em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial (2 cultivares x 4 doses de biochar), analisado em parcela subdividida, sendo as parcelas, as cultivares x doses, e as sub-parcelas, 4 épocas de avaliação, com 4 repetições. Para fertilidade do solo não houve fator épocas. Os atributos avaliados foram: diâmetro colmo (DC), altura de planta (AP), número de perfilhos (NP), número de folhas (NF), massa pré-seca a 65 °C (MS65°), teor de matéria seca (TMS), produtividade de folha verde (PFV), produtividade de massa verde (PMV), produtividade de massa seca (PMS), relação folha/colmo (F/C), proteína bruta (PB), pH, matéria orgânica do solo (MOS), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), capacidade de troca catiônica (T), potássio (K), fósforo (P), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m). Houve efeitos significativos para fatores isolados e interação cultivar x época para vários atributos de crescimento e produção com ajustes cúbicos e quadráticos; para interação cultivar x dose, somente altura de plantas foi significativo. Para cultivar x dose x época, não houve atributos significativos. Nas avaliações aos 225 (2^a) e 335 (3^a) dias após aplicação de biochar houve melhor desempenho das cultivares. As doses de biochar

não aumentaram significativamente atributos morfométricos e de produtividade das cultivares. Houve tendência de aumento do número de perfilhos e relação F/C com o incremento nas doses de biochar na cultivar BRS Kurumi. Houve correlações entre variáveis de crescimento/produção e variáveis de solo em ambas as cultivares. A resposta do fator época após a aplicação do biochar depende da cultivar e indica maior efeito do clima. A aplicação de biochar não melhora as variáveis de produtividade e proteína bruta das cultivares de capim elefante nas condições deste estudo. O biochar estudado mostrou menor resultado que o esperado, devendo ser mais bem estudado com maior tempo de reação com o solo.

Palavras-chave: *Pennisetum purpureum*. Condicionador de solo. Fertilidade do solo. Irrigação. Capacidade de troca catiônica.

ABSTRACT

PACHECO, LAIANE BATISTA. Goiano Federal Institute, Ceres Campus, Goiás State (GO), Brazil, September 2022. **Biochar in soil fertility, morphometry, and elephant grass production.** Advisor: Prof. Dr. Machado, Roriz Luciano. Co-advisor: Prof. Dr. Soares, Frederico Antonio Loureiro.

Among the many forage species used in ruminant feeding, elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) plays a prominent role for being perennial and of high dry matter production potential. The increase in soil fertility associated with irrigation in the Cerrado (Brazilian Savannah) is shown as strategies for increasing animal production fed with elephant grass. This paper aimed to evaluate the elephant grass cultivar performance and the soil chemical characteristics under biochar doses of 0, 8, 16, and 24 t ha⁻¹. The treatments were arranged in a randomized block design in a factorial scheme of 2 cultivars x 4 biochar doses and were analyzed in a split plot; the plots, cultivars x doses, and split plots in 4 replicates were evaluated 4 times. The factor season was not considered for soil fertility. attributes evaluated were: (a) stem diameter (SD); (b) plant height (PH); (c) number of tillers (NT); (d) number of leaves (NL); (e) pre-dry mass at 65 °C (PDM65°); (f) dry matter content (DMC); (g) green leaf yield (GLY); (h) green mass yield (GMY); (i) dry mass yield (DMY); (j) leaf/stem ratio (L/S); (k) crude protein (CP); (l) pH, soil organic matter (SOM); (m) calcium (Ca); (n) magnesium (Mg); (o) potential acidity (H+Al); (p) cation exchange capacity (CEC); (q) potassium (K); (r) phosphorus (P); (s) base saturation (BS); and (t) aluminum saturation (AS). Significant effects were found for isolated factors and cultivar x season interaction for many growth and yield attributes with cubic and quadratic adjustments; for cultivar x dose interaction, only plant height was significant. No significant attributes were found for cultivar x dose x season. In the evaluations at the 225th (2nd) and the 335th (3rd) days after biochar application, there was better performance of the cultivars. Biochar doses did not significantly increase the

cultivars' morphometric and yield attributes. There was a tendency to increase the number of tillers and L/S ratio with the increase in biochar doses in BRS Kurumi cultivar. There were correlations between growth/yield and soil variables in both cultivars. The season factor response after biochar application depends on the cultivar and indicates greater climate effect. The biochar application does not improve the yield and crude protein variables of elephant grass cultivars under this study conditions. The biochar studied showed lower results than expected, suggesting better study with longer reaction time with the soil.

Keywords: *Pennisetum purpureum*. Cation exchange capacity. Irrigation. Soil conditioner. Soil fertility.

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Caracterização dos biochares produzidos a partir de resíduos de poda de mangueira (RPM), resíduos de processamento de uva (RPU), carvão vegetal (CV) e biochar de lodo de esgoto produzido a 500°C de temperatura de pirólise (BC 500°C)	18
Tabela 2 – Resultados da análise química e física de amostras de solo da área experimental na profundidade de 0 a 0,20 m.....	23
Tabela 3 - Análise química do biochar.....	25
Tabela 4 - Evapotranspiração, precipitação pluvial e lâminas de irrigação aplicadas no período de março de 2021 a junho de 2022	27
Tabela 5 - Datas das avaliações, tempo de rebrota e período de incubação do biochar	28
Tabela 6 - Resumo da análise de variância (quadrado médio) de atributos morfométricos e produção de cultivares de capim elefante sob diferentes doses de biochar e épocas de avaliação.....	31
Tabela 7 - Variáveis de crescimento e produção de cultivares de capim elefante sob doses de biochar.....	39
Tabela 8 - Resumo da análise de variância (quadrado médio) de atributos de fertilidade de solo e cultivares de capim elefante sob diferentes doses de biochar	40
Tabela 9 - Valores médios de pH, MO, Ca, Mg, K, H+Al, Al, T, Kppm, P, V, m em análise de rotina após 472 dias da aplicação diferentes doses de biochar em cultivares de capim elefante.....	41
Tabela 10 -Matriz de correlação de Pearson para atributos de crescimento, produção de BRS Kurumi e fertilidade do solo após 447 dias da aplicação de diferentes doses de Biochar	43

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Localização da área experimental	22
Figura 2 - Precipitação, temperatura mínima, máxima e média, durante o período de execução do experimento no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres..	23
Figura 3 - Vista do funcionamento da irrigação por gotejamento	27
Figura 4 - Determinação da altura de planta (A), corte da área útil (B), pesagem da massa verde (C), contagem do número de perfilhos e coleta das subamostras (D), pesagem do perfilho (E), contagem do número de folhas e separação das folhas e colmo (F), coleta dos dados de diâmetro do colmo (G), picagem das folhas (H) e picagem dos colmos (I).....	29
Figura 5 - Moagem das amostras em moinho tipo Willy (A) e determinação do teor de matéria seca (B)	30
Figura 6 - Altura de planta (cm) das cultivares de capim elefante BRS Kurumi e BRS Capiacu em função do número de dias após a aplicação do biochar (dias após aplicação - DAA).....	33
Figura 7 - Número de folhas por perfilho (quantidade) das cultivares de capim elefante BRS Kurumi e BRS Capiacu em função do número de dias após a aplicação do biochar (dias após aplicação - DAA)	33
Figura 8 - Massa pré-seca a 65°C (%) das cultivares de capim elefante BRS Kurumi e BRS Capiacu em função do número de dias após a aplicação do biochar (dias após aplicação - DAA)	34
Figura 9 - Teor de matéria seca (%) das cultivares de capim elefante BRS Kurumi e BRS Capiacu em função do número de dias após a aplicação do biochar (dias após aplicação - DAA)	35

Figura 10 - Produção de folha verde ($t\ ha^{-1}$) das cultivares de capim elefante BRS Kurumi e BRS Capiáçu em função do número de dias após a aplicação do biochar (dias após aplicação - DAA)	36
Figura 11 - Produção de massa seca ($t\ ha^{-1}$) das cultivares de capim elefante BRS Kurumi e BRS Capiáçu em função do número de dias após a aplicação do biochar (dias após aplicação - DAA)	37
Figura 12 – Altura de plantas (cm) das cultivares de capim elefante BRS Kurumi e BRS Capiáçu em função de diferentes doses de biochar.....	38
Figura 13 - Produtividade de massa seca ($t\ ha^{-1}$) da cultivar de capim elefante BRS Capiáçu em função de diferentes doses de biochar.....	39

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIATURAS E UNIDADES

Símbolo /Sigla	Significado	Unidade de medida
0.....	Dose.....	t ha ⁻¹
8.....	Dose.....	t ha ⁻¹
16.....	Dose.....	t ha ⁻¹
24.....	Dose.....	t ha ⁻¹
71.....	Cortes.....	Dias após aplicação do biochar
225.....	Cortes.....	Dias após aplicação do biochar
335.....	Cortes.....	Dias após aplicação do biochar
447.....	Cortes.....	Dias após aplicação do biochar
%	Porcentagem.....	Centímetros (cm)
CV parcela.....	Coeficiente de variação de parcela.....	%
CV subparcela	Coeficiente de variação de subparcela	%
*.....	Significativo a 5%.....	
**.....	Significativo a 1%.....	
°C.....	Graus Celsius.....	
ANOVA.....	Análise de variância.....	
AP.....	Altura de planta.....	Centímetros
C.....	Carbono.....	
cm.....	Centímetros.....	Centímetros
cmolc	Centimol carga.....	
CTA.....	Capacidade de Troca Aniônica.....	
CT.....	Corte.....	-
CTC.....	Capacidade de troca catiônica.....	
CV.....	Cultivar.....	-
CV X EP.....	Interação Cultivar x Época.....	-
D.....	Dose.....	t ha ⁻¹
D x CV x EP.....	Interação Dose x Cultivar x Época.....	
DAA.....	Dias após aplicação.....	
DBC.....	Delineamento em blocos casualizados	
DC.....	Diâmetro de colmo.....	Milímetros (mm)
dm ³	Decímetro cúbico.....	
EP.....	Época.....	
ET0.....	Evapotranspiração de referência.....	Milímetros (mm)

ETc.....	Evapotranspiração da cultura.....	Milímetros (mm)
EV.....	Evaporação do Tanque Classe A.....	Milímetros (mm)
F/C.....	Relação folha colmo.....	
FV.....	Fonte de variação.....	
G.....	Gramas.....	Gramas
GL.....	Grau de liberdade.....	
H ⁺	Hidrogênio.....	
ha.....	Hectare	Unidade
Kc.....	Coefficiente da cultura.....	-
kg.....	Quilograma.....	Quilograma
Kp.....	Coefficiente do Tanque Classe A	Milímetros (mm)
L.....	Unidade de volume.....	Litro
LB.....	Lâmina bruta de irrigação	Milímetros (mm)
m.....	Metros	Metros
mL.....	Unidade de volume.....	Mililitro
mm.....	Milímetros	Milímetros
MPSP.....	Massa pré-seca de perfilho.....	kg m ⁻¹
MS65.....	Matéria pré-seca 65 °C.....	
MVT.....	Massa verde da touceira.....	
MVP.....	Massa verde de perfilho.....	kg m ⁻¹
NF.....	Número de folhas	Unidade
NP.....	Número de perfilho	Unidade
^{ns}	Não significativo.....	
PAM.....	Poliacrilamida.....	
PB.....	Proteína Bruta.....	Porcentagem (%)
PFV.....	Produtividade de folha verde.....	t ha ⁻¹
PMS.....	Produtividade de massa seca.....	t ha ⁻¹
PMV.....	Produtividade de massa verde.....	t ha ⁻¹
TCA.....	Tanque classe A.....	-
TMS.....	Teor de matéria seca.....	%
t.....	Tonelada.....	T
V%.....	Saturação de bases.....	%

SUMÁRIO

	Página
1	INTRODUÇÃO 1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 3
2.1	Sistemas de produção de forragem no Cerrado..... 3
2.2	Irrigação de pastagens 4
2.3	Características biométricas e de produção de cultivares de capim elefante 7
2.4	Fertilidade de solos do Cerrado..... 12
2.5	Condicionadores de solo 14
2.6	Biochar 16
3	MATERIAL E MÉTODOS 22
3.1	Dados climáticos do período experimental 22
3.2	Caracterização do solo 23
3.3	Delineamento experimental e tratamentos 23
3.4	Implantação das forrageiras 24
3.5	Adubação de manutenção 24
3.6	Biochar 25
3.7	Irrigação 25
3.8	Avaliações do experimento 28
3.8	Avaliação da fertilidade do solo..... 30
3.9	Análises estatísticas..... 30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO 31
5	CONCLUSÕES..... 45
6	REFERÊNCIAS 46

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional aumentou a busca por alimentos. A pecuária contribui muito na produção de alimentos, e para suprir essa grande demanda, é necessário o uso de tecnologias aplicáveis, viáveis economicamente e sem prejuízo ao meio ambiente. O uso de plantas forrageiras adaptadas e produtivas para alimentação animal auxilia no atendimento das demandas produtivas do setor agropecuário.

Atualmente, as pastagens ainda são a forma mais barata de alimentar os rebanhos. O número de cultivares de forrageiras tropicais aumentou muito nas últimas décadas, com diferentes características agrônômicas, morfológicas e fisiológicas.

O capim elefante (*Pennisetum purpureum Schum.*) tem muita relevância entre as forrageiras, sendo cultivado em quase todas as regiões tropicais e subtropicais de todo mundo em razão do seu elevado potencial de produção de matéria seca, bom valor nutritivo, vigor, boa aceitabilidade pelos animais e persistência. Essa forrageira tem ampla versatilidade de usos na propriedade, podendo ser fornecida aos animais diretamente no cocho, ou como silagem e pastejo, sendo também considerada uma das espécies mais promissoras para produção de biomassa energética.

Entre as cultivares de capim elefante, destaca-se a cultivar BRS Capiapu, desenvolvida para atender a demanda por cultivares para corte (picado verde) e silagem, ostentando elevado potencial de produção, bom valor nutritivo e facilidade de mecanização. Outra cultivar que se destaca é a BRS Kurumi, que se caracteriza por apresentar porte baixo e atender a demanda por cultivares para pastejo, com elevado valor nutritivo e facilidade de manejo em relação a outras cultivares de capim elefante (PEREIRA, A. V. *et al.*, 2021).

O uso de forrageiras com altas produtividades como o capim elefante, aliado à irrigação ou fertirrigação, constitui uma estratégia para aumento da produtividade, bem como para a melhoria da qualidade nutricional de forrageiras no cerrado.

Solos tropicais, especialmente de cerrado, são tipicamente muito intemperizados, consequentemente, ácidos, com baixa capacidade de troca catiônica,

baixa reserva de bases e alumínio em nível tóxico. O manejo da fertilidade requer estratégias que aumentem a eficiência técnica e econômica dos sistemas de produção utilizados.

Uma das alternativas ecologicamente viáveis para aumentar a produção agrícola é o uso de recursos já disponíveis ou que sua transformação em insumos cause pouco impacto no ambiente. O biochar é um condicionador de solo que pode proporcionar melhoria na sua qualidade e ser uma alternativa para minimizar os custos de produção, bem como proporcionar ganhos em qualidade e produtividade da planta. Entre as vantagens, são esperados aumento do carbono do solo, aumento da capacidade de troca catiônica, conseqüentemente diminuição da lixiviação de nutrientes, aumento da penetração radicular e aumento da disponibilidade de ar e água na zona radicular.

Embora o número de trabalhos de pesquisa sobre biochar venha aumentando, poucos são os estudos em solos de Cerrado, principalmente com cultivares de capim elefante.

Com a hipótese de que o biochar pode melhorar a fertilidade do solo e com isso a produtividade de capim elefante, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho de cultivares de capim elefante e características químicas do solo sob diferentes doses de biochar, em Ceres (GO).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas de produção de forragem no Cerrado

O bioma Cerrado tem em torno de 29,5% da sua área ocupada com pastagens plantadas, 11,7% com áreas agrícolas (culturas anuais e perenes) e 1,5% com silvicultura (BRASIL, 2015). Grande parcela das áreas de pastagens plantadas encontra-se com baixa capacidade produtiva.

Segundo o mapeamento do Cerrado realizado 2015, aproximadamente 44% de sua área já havia sido antropizada, as pastagens plantadas continuando sendo o principal tipo de uso antrópico. A expansão agrícola gera a necessidade de fortalecimento de atividades de planejamento para uso sustentável dos recursos naturais, melhoria de infraestrutura, investimentos em pesquisa e crédito agrícola (VICTORIA *et al.*, 2020).

Os sistemas de produção pecuária são baseados no regime de alimentação, os quais são classificados em extensivo, semi-intensivo e intensivo. O sistema extensivo representa grande parte, em que são utilizadas apenas pastagens nativas ou cultivadas como fonte energética e proteica (CEZAR *et al.*, 2005).

Já no sistema semi-intensivo, a base alimentar também se constitui das pastagens nativas ou cultivadas e dos suplementos minerais, acrescidos de suplementos proteicos/energéticos. As fontes energéticas mais utilizadas são milho, sorgo, aveia e milheto, e as proteicas são farelo de soja, farelo de algodão, farelo de caroço de algodão, farelo de glúten de milho, grão de soja e ureia (GUIMARÃES, L.; NARDI; OLIVEIRA, 2017).

O sistema intensivo basicamente se diferencia do semi-intensivo por inserir a prática de confinamento. No confinamento, a maior preocupação é a redução dos custos com alimentação, procurando usar dietas com relação volumoso: concentrado próxima de 60:40. Entre os alimentos volumosos, predomina o uso de silagem de milho e de sorgo, cana fresca picada e, em menor proporção, as silagens de gramíneas. Em geral, o

confinamento se desenvolve desde um pouco antes do início do período de seca (maio) até um pouco depois do início do período chuvoso (dezembro), com duração variando de no mínimo 60 a um máximo de 110 dias, mas ocorrem casos praticados durante todo o ano (CEZAR *et al.*, 2005).

Uma prática comum e eficaz para produção de forragem nos sistemas semi-intensivo e intensivo é o uso da capineira para produção de volumosos que poderão ser cortados e fornecidos aos animais durante o ano ou destinados à estocagem. As capineiras, quando bem utilizadas, e o capim cortado em épocas apropriadas são um recurso valioso, pois produzem forragem de boa qualidade e alto desempenho, propiciando, assim, um volume alto de massa verde em pequeno espaço em razão do maior adensamento das plantas. Contudo, essa prática está sujeita a uma série de fatores adversos provocados pelo seu manejo inadequado. Portanto, é fundamental o correto manejo da capineira, sendo necessário o conhecimento da variedade utilizada, sua exigência nutricional, fertilidade do solo, espaçamentos corretos para plantio, necessidade de reposição de matéria orgânica e mineral do solo, intervalos de corte, entre outros (SANTOS, S. *et al.*, 2016).

Os fatores que apresentam maior influência na produtividade animal da região tropical são as variações na qualidade e na produção de forragem em decorrência da irregularidade das chuvas. O uso de capineiras irrigadas é um dos meios alternativos para aliviar o problema da variação no desempenho animal ao longo do ano, sendo o capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum), uma espécie forrageira que ganha destaque na formação de capineiras (ALVES, F., 2017). A adequada adubação também exerce ação importante sobre essa cultura, provocando resposta de significativa influência sobre diversos parâmetros quantitativos e qualitativos inerentes ao manejo de capineiras (VAN SOEST, 1994).

Sendo assim, o uso de tecnologias, fixação biológica de nitrogênio (FBN), recuperação de pastagens degradadas, ILPF, sistemas agroflorestais, florestas plantadas, sistemas de irrigação inteligentes e tratamento de dejetos animais são exemplos de potencialidades de expansão agrícola e diversificação mais sustentável do cerrado (VICTORIA *et al.*, 2020).

2.2 Irrigação de pastagens

O Brasil é o país que apresenta a maior disponibilidade em recursos hídricos do mundo. Apesar da alta disponibilidade hídrica, aproximadamente 80% desta disponibilidade encontra-se no bioma Amazônico. Nas demais regiões do país, há problemas de escassez, em especial na região nordeste, por apresentar baixa disponibilidade hídrica, e na região sudeste, em razão da alta demanda (LIMA; SILVA, 2008).

Em extensão territorial, o Cerrado corresponde ao segundo maior bioma brasileiro, compreendendo em torno de 204 milhões de hectares, grande parte no Planalto Central. Devido à sua altitude média elevada, desempenha papel fundamental nas vazões de recarga das principais bacias hidrográficas brasileiras e do continente sul-americano (LIMA; SILVA, 2008). Boa parte dos solos do cerrado apresenta condições edafológicas, incluindo textura, profundidade e relevo, propícias para o desenvolvimento de atividades agropastoris (EMBRAPA, 2006).

A pressão com tendência de crescimento exponencial pela abertura de novas áreas de matas no cerrado para atividades agropastoris possivelmente pode ser desacelerada, ou até mesmo invertida com o reflorestamento de áreas desmatadas, se parte destas áreas cultivadas principalmente for com pastagens fertirrigadas. O uso desta tecnologia proporciona aumentos significativos nas produtividades dos cultivos bem como na sua qualidade nutricional. Lima (2011) estimou que aproximadamente 10 milhões de hectares no Cerrado estejam aptos ao uso desta tecnologia, mas menos de 10% desta estimativa (menos de um milhão de hectares) esteja efetivamente sendo utilizada para este fim. Porém, para uma ampla implantação desta tecnologia neste bioma, são necessários estudos e planejamento socioambiental.

Segundo Macedo (1995), os cerrados apresentam cinco padrões pluviométricos. Longo período seco, que pode variar de 4 a 6 meses (de abril a novembro) na região central, que de maio a setembro tem precipitação menor que 60 mm/ mês. O clima é fator limitante ao crescimento das pastagens e culturas em grandes áreas da região dos cerrados, com distribuição anual de chuvas de característica bimodal, com alternância de um período seco e um chuvoso. Nos períodos secos, as chuvas não excedem a evapotranspiração. A precipitação anual nos cerrados varia de 800 a 1800 mm, ocorrendo 70% desse total no período chuvoso.

Um dos fatores responsáveis pelos baixos índices zootécnicos é a estacionalidade da produção das plantas forrageira tropicais, característica marcante ligada principalmente a fatores climáticos como a ocorrência de longos períodos de seca.

Por isso, a suplementação de água, via irrigação em pastagem, se torna necessária para reduzir a sazonalidade da produção durante o período de déficit hídrico e para aumentar a produtividade no verão, desde que não haja limitação de fotoperíodo e temperatura média diária (PINHEIRO, 2002).

Muitos estudos demonstraram altos rendimentos de forragem de capim elefante com uso da irrigação, quando comparado com outras forrageiras. Além disso, a irrigação provocou melhoria na composição química da forragem em razão da maior absorção dos nutrientes do solo. Vale ressaltar que a irrigação deve estar associada ao manejo da fertilidade do solo (correção e adubação mineral ou orgânica), tendo em vista que a irrigação provoca maior exportação de nutrientes, o que pode acarretar seu esgotamento. Sendo assim, para obter bons resultados de uma capineira, é indispensável suprimento de água durante todo o ano. Em razão do intenso manejo a que é submetida a capineira, o sistema de irrigação por aspersão é o mais recomendado (ITALIANO, 2004).

A irrigação é uma prática agrícola que utiliza um conjunto de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência total ou parcial de água para as plantas (BRASIL/ATLAS, 2021). Um sistema de irrigação eficiente aplica água no solo uniformemente, até determinada profundidade, propiciando umidade necessária ao desenvolvimento normal das espécies vegetais (DRUMOND, 2003). Conseqüentemente, permite aumentar a produtividade, o período anual de plantio (GUIMARÃES, D.; LANDAU, 2014) e a produção em áreas de precipitação insuficiente.

Uma grande barreira que restringe a produção de alimentos de melhor qualidade e menor custo na exploração pecuária de leite e corte no Brasil é o custo da irrigação comercial, sendo então a principal razão da inexpressiva utilização no segmento agropecuário (MENDONÇA *et al.*, 2007)

Entre os sistemas de irrigação, o mais utilizado entre os agricultores familiares nas pastagens e capineiras é o sistema de aspersão, principalmente os semiportáteis e os fixos (MENDONÇA *et al.*, 2007). Camargo *et al.* (2006) mostraram em um estudo de caso que o uso de pastejo rotacionado, a adubação das pastagens e a irrigação provocaram aumento significativo dos índices zootécnicos de uma propriedade rural de 26 hectares. Nesse contexto, verificou-se que a irrigação de pastagens é importante para garantir a produção de alimento de baixo custo para os animais. A irrigação de pastagens, quando aplicada adequadamente, proporciona obtenção de alimentos de menor custo.

De acordo com Vilela, D. *et al.* (2016), a irrigação de pastagens não tem sido feita de maneira adequada. Muitas vezes ocorre uma aplicação excessiva de água, o que

não é positivo para a planta e para o ambiente por causa do consumo desnecessário de energia elétrica e de água, lixiviação de nutrientes e maior compactação do solo, repercutindo na diminuição da produção e vida útil da pastagem. Assim, a irrigação de pastagem deve ser utilizada com critério e de forma racional, visando a não comprometer a eficiência do sistema de produção de forragem.

A escassez e a crescente demanda por recursos hídricos obrigam a utilização de manejo de irrigação baseado na viabilidade técnico-financeira do sistema de produção e na eficiência de uso da água, principalmente em regiões com conflito pelo uso da água (KLOCKE *et al.*, 2012).

O manejo de áreas irrigadas deve priorizar o conhecimento das características da distribuição das chuvas, acompanhar a disponibilidade de água das plantas e buscar complementar a água, via irrigação, no momento em que a deficiência se aproxima de um nível crítico que pode interferir no crescimento das plantas (SILVEIRA, M.; TRENTIN, 2019).

Apesar de essa prática apresentar resultados positivos de forma isolada, ela é geralmente implementada em meio a outras melhorias no “pacote tecnológico” do produtor rural, ou seja, tende a ser acompanhada ou antecedida por aperfeiçoamentos em outros insumos, serviços, máquinas, implementos (BRASIL/ATLAS, 2017). No caso de pastagem, precisa ser acompanhada ou antecedida pelo conhecimento de tecnologias de processos (técnicas de manejo do pastejo) visando a um uso mais eficiente. Sendo assim, é necessário o conhecimento de informações relativas ao crescimento e desenvolvimento das plantas forrageiras sob pastejo e das variáveis meteorológicas (radiação solar, temperatura, umidade do ar e vento) a fim de definir o momento e a quantidade de complementação de água via irrigação (SILVEIRA, M.; TRENTIN, 2019).

A determinação do momento de irrigação pode ser feita via solo com a utilização de instrumentos que monitoram o potencial matricial do solo, como tensiômetros analógicos ou eletrônicos (WANG, D.; YATES; ERNST, 1998), via estação meteorológica para monitoramento climático e ambiental e tanque classe A.

2.3 Características biométricas e de produção de cultivares de capim elefante

A base alimentar dos ruminantes são as gramíneas, a partir de plantas forrageiras

capazes de produzir grandes volumes de biomassa com altos teores de nutricionais e baixos teores de fibras, de modo a propiciar elevado desempenho produtivo dos animais. A diversificação de gêneros e cultivares da atualidade resulta em maior oferta de alimentos, com características que tornam essas cultivares cada dia mais viáveis ao produtor, uma vez que os estudos em melhoramento genético visam, além do aumento na produção e valor nutritivo dessas gramíneas, à sua adaptação às diferentes condições edafoclimáticas e à sua aceitabilidade pelo animal (SAMPAIO *et al.*, 2017).

Entre as diversas espécies utilizadas na alimentação de ruminantes, o capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) tem papel de destaque, por ser uma forrageira perene, de elevado potencial de produção de matéria seca. O capim elefante é uma das mais importantes forrageiras, sendo cultivada em todas as regiões tropicais e subtropicais (PEREIRA, A. V.; LEDO; MACHADO, 2017). Ele foi descoberto em 1827 no seu centro de origem e diversidade, a África tropical (BRUNKEN, 1977; STAPT; HUBBARD, 1934).

Descrito e classificado taxonomicamente como *Pennisetum purpureum* Schumach (STAPT; HUBBARD, 1934), a espécie pertence à família *Poaceae*, tribo *Paniceae*, gênero *Pennisetum*. Essa forrageira foi introduzida no Brasil em 1920 de estacas oriundas de Cuba, apresentando excelente adaptação ao clima brasileiro, tendo sido rapidamente disseminada por todo o país (CAVALCANTE; LIRA, 2010; PEREIRA, A. V. *et al.*, 2008).

O capim elefante caracteriza-se como perene e com hábito de crescimento cespitoso. Suas características morfológicas e fenológicas variam muito, revelando a existência de grande diversidade genética na espécie (PEREIRA, A. V., 1999). A planta pode apresentar caules do tipo colmo ereto, cilíndrico, glabro e cheio, com touceiras com numerosos perfilhos, podendo alcançar um metro de diâmetro. As plantas podem atingir de 3,5 m a 6,0 m de altura, com colmos de 20 ou mais internódios, de 15 cm a 20 cm de comprimento e de 1,5 cm a 3,0 cm de diâmetro, com raízes grossas e rizomatosas. As folhas são distribuídas nos colmos de forma alternada e apresentam até 1,25 m de comprimento por 4,0 cm de largura; lâminas foliares com bordas serrilhadas; nervura central larga, proeminente na face dorsal e de cor mais clara em relação ao limbo; bainha lanosa, fina e estriada; lígula curta e ciliada (VILELA, D. *et al.*, 2016).

As inflorescências do capim elefante são classificadas como panículas, muito embora apresentem aparência de espigas. A época de florescimento é muito influenciada por fatores ambientais como comprimento do dia, temperatura e umidade, havendo ampla

variação entre os genótipos aos estímulos climáticos. O capim elefante é uma espécie de dias curtos, requerendo 11 horas ou menos de luz para florescimento (HANNA *et al.*, 2004).

Quanto à fertilidade do solo, o capim elefante é bastante exigente, não se adapta bem a locais expostos a inundações ou a grandes períodos de encharcamento. No entanto, é uma gramínea rústica, que apresenta bom suporte ao pisoteio, mediana resistência ao frio (em geadas prolongadas, as folhas queimam, podendo chegar até a morte dos rizomas), à seca e ao fogo (VILELA, D. *et al.*, 2016).

Essa forrageira vem sendo amplamente utilizada na pecuária leiteira desde a intensificação da produção de leite a pasto, a partir da década de 1980, pelo seu elevado potencial de produção de matéria seca (a cultivar BRS Capiapu pode chegar a 50 toneladas de MS por hectare por ano). Além de apresentar boa qualidade nutricional, palatabilidade, vigor, persistência, baixa incidência de pragas e doenças quando comparada com outras espécies cultivadas, e versatilidade de utilização. A sua utilização mais frequente ocorre no regime de corte (capineiras) principalmente em pequenas e médias propriedades, podendo também ser utilizada para ensilagem (VILELA, D., 1997a) e para pastejo rotacionado (DERESZ; MOZZER, 1997; GOMIDE *et al.*, 2014). Além do mais, o capim elefante também tem sido considerado uma das espécies mais promissoras para produção de biomassa energética (ANDERSON; CASLER; BALDWIN, 2008).

Vilela, D. *et al.* (2016) destacam que o principal desafio no manejo da capineira é obter equilíbrio entre maior produção de matéria seca com o melhor valor nutritivo possível. O intervalo de corte interfere no crescimento, no rendimento de matéria seca (MS) e no valor nutritivo do capim elefante. Quando o intervalo entre cortes é curto, a produtividade da cultivar pode ficar comprometida, pois o capim precisa mobilizar suas reservas energéticas para a emissão de novas folhas. Já quando o intervalo entre cortes é muito longo, o material perde em qualidade nutricional. Portanto, o equilíbrio entre produção de biomassa e qualidade nutricional do capim é fundamental para o manejo da cultivar (RETORE *et al.*, 2021).

A escolha da cultivar deve considerar não só o potencial de produção e o valor nutritivo, mas também o objetivo de uso e de manejo requerido para se obter o melhor desempenho econômico. As cultivares melhoradas apresentam vantagens significativas em relação às cultivares tradicionais (VILELA, D. *et al.*, 2016).

A cultivar BRS Capiapu foi lançada pela Embrapa em outubro de 2016, obtida pela Embrapa Gado de Leite. Por causa do seu elevado porte e potencial de produção, a

cultivar recebeu a denominação de BRS Capiaçú (em tupi-guarani, capiaçu significa “capim grande”). Essa cultivar apresenta porte alto, touceiras de formato ereto com elevada densidade de perfilhos (média de 30 perfilhos m⁻²), o que confere boa resistência ao tombamento, bem como facilidade para a colheita mecanizada, folhas largas, compridas, de cor verde e nervura central branca, colmos grossos, internódios compridos e de coloração amarelada (PEREIRA, A. V. *et al.*, 2016).

Apresenta florescimento tardio (ocorre entre os meses de junho e julho, na maioria das regiões brasileiras), crescimento vegetativo vigoroso e rápida expansão foliar. Outra característica favorável desta cultivar é sua tolerância moderada ao estresse hídrico, o que a torna alternativa para cultivo em regiões com alto risco de ocorrência de veranicos (VILELA, D. *et al.*, 2016). Pereira, A. V. *et al.* (2021) afirmam que, apesar de a cultivar apresentar boa tolerância ao estresse hídrico, em locais sujeitos a períodos secos muito prolongados, o uso da irrigação garante a manutenção da produção de forragem. Sendo assim, o uso de uma irrigação estratégica é uma prática utilizada para fornecimento de água às plantas nos momentos críticos do ano, sejam naqueles decorrentes de veranicos, ou durante a época normal de estiagem, o que pode garantir maiores produções de matéria seca do capim elefante BRS Capiaçú.

Devido a seu elevado potencial de produção, a cultivar BRS Capiaçú extrai grandes quantidades de nutrientes do solo, portanto, ela deve ser cultivada em solos profundos, bem drenados e de boa fertilidade. O uso de fertilizantes minerais e orgânicos é fundamental para alcançar elevada produtividade. Essa cultivar apresenta susceptibilidade à cigarrinha-das-pastagens. Para o momento de colheita para ensilagem ou corte da capineira para oferecimento no choco, a idade ou altura da planta (rebrotar) não constituem parâmetros únicos para definir o momento. Fatores ambientais como época do ano, temperatura e umidade afetam o crescimento e o teor de matéria seca da planta, o que torna estas referências pouco confiáveis (PEREIRA, A. V. *et al.*, 2021).

Visando a tornar mais simples o manejo do pasto de capim-elefante, os programas de melhoramento têm desenvolvido cultivares de porte baixo, específico para esta forma de uso. As cultivares de porte baixo apresentam internódios mais curtos e maior relação folha:caule em relação às variedades de porte alto, sendo mais recomendadas para uso sob pastejo. Mais recentemente, a Embrapa lançou a cultivar BRS Kurumi (VILELA, D. *et al.*, 2016).

A cultivar BRS Kurumi (em tupi-guarani, kurumi significa “menino”) foi lançada pela Embrapa em 2012, proveniente de cruzamentos entre as cultivares Merkeron

de Pinda (BAGCE 19) e Roxo (BAGCE 57), ambas pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma de Capim Elefante (BAGCE) (PEREIRA, A. V. *et al.*, 2021).

Essa cultivar tem propagação por estaquia, ciclo perene e porte baixo, sendo recomendada para uso sob corte ou pastejo. A cultivar BRS Kurumi é caracterizada por touceiras de formato semiaberto, folhas e colmos de cor verde, internódios curtos (média de 4,8 cm) e altura média de 70 cm durante a fase vegetativa (VILELA, D. *et al.*, 2016). Além disso, apresenta crescimento vegetativo vigoroso, rápida expansão foliar e intenso perfilhamento basal e axilar. O florescimento ocorre entre os meses de junho e julho e nesta fase ocorre alongamento dos colmos. As gemas do colmo apresentam excelente capacidade de brotação. Suas principais vantagens são o elevado potencial de produção de forragem (30 t ha⁻¹ ano⁻¹ de MS), alto valor nutritivo (18% e 20% de proteína bruta e digestibilidade entre 68% e 70%), elevada relação folha/caule e facilidade de manejo devido ao porte baixo. O seu porte baixo facilita a rebaixada pelos animais em pastejo, não sendo necessária a realização de roçadas. Já suas principais desvantagens destacadas são a sua susceptibilidade à cigarrinha-das-pastagens e seu alto custo de implantação (PEREIRA, A. V. *et al.*, 2021).

Segundo Vilela, D. *et al.* (2016) e Pereira, A. V., Ledo e Machado (2017), outro aspecto a considerar é a sua exigência em relação à fertilidade do solo, pois a falta de adubações de reposição afeta o seu desenvolvimento e a capacidade de competição com plantas daninhas, resultando em pastagem infestada e produção de forragem reduzida. As adubações de cobertura devem ser feitas ao longo da estação chuvosa, após a saída dos animais dos piquetes. A cultivar não é adaptada a solos muito úmidos ou encharcados, portanto, não é recomendado o seu cultivo em áreas com essas condições de solo. Quando observadas as recomendações de plantio, adubação e manejo, estima-se que a pastagem de BRS Kurumi possa durar até 15 anos.

A cultivar apresenta boa adaptação a locais de clima tropical e subtropical, tendo então seu cultivo recomendado nos biomas Mata Atlântica, Cerrado e Amazônia. É recomendado seu cultivo em solos profundos, bem drenados e de boa fertilidade. A BRS Kurumi apresenta maior tolerância ao frio quando comparada a outras cultivares de capim elefante e a outras forrageiras tropicais. Embora seja bastante tolerante ao estresse hídrico, períodos secos muito prolongados afetam a produção de forragem. As recomendações de irrigação para a cultivar BRS Kurumi são as mesmas apresentadas anteriormente para a cultivar BRS Capiagu, sendo que a cultivar Kurumi irrigada pode ter sua capacidade de produção aumentada em mais de três toneladas de matéria seca ano⁻¹ (PEREIRA, A. V.

et al., 2021).

Gomide *et al.* (2015) recomendam a entrada dos animais quando o pasto apresentar entre 75 e 80 cm de altura e a retirada deles quando o rebaixamento atingir 35 a 40 cm, sempre fazendo adubação em cobertura após cada ciclo de pastejo.

2.4 Fertilidade de solos do Cerrado

Aproximadamente 1/4 da extensão territorial do Brasil é ocupada por solos tropicais de Cerrado, constituídos principalmente por Latossolos (46%), Argissolos (15,1%) e Neossolos Quartzarênicos (15,2%). Logo, esses solos contribuem significativamente para a produção agropecuária nacional na região dos Cerrados (RESCK *et al.*, 2008).

Esses solos são caracterizados em sua maioria por serem altamente intemperizados, com baixa fertilidade natural, com a fração argila constituída essencialmente por minerais de argila 1:1 e óxidos de Fe e Al, o que determina baixa densidade de carga superficial líquida negativa e, em consequência, baixa capacidade de troca de cátions (CTC) quando comparado aos minerais 2:1 e à própria matéria orgânica do solo (MOS) (LOSS *et al.*, 2012; RESCK *et al.*, 2008).

Grande parte dos solos tropicais apresenta baixos teores de matéria orgânica (MO), isso devido às condições de clima que ocasionam acelerada decomposição dos resíduos vegetais incorporados ao solo ou mantidos em superfície (BOLLIGER *et al.*, 2006). Além disso, a distribuição irregular das chuvas e o inverno seco dificultam o aporte de carbono (C) via resíduos vegetais na entressafra (CASTRO, 2012).

Portanto, a utilização de técnicas adequadas de manejo, a conservação do solo e da água e a otimização dos sistemas de produção são fundamentais para essa região. Afinal, tanto as entradas quanto os reservatórios de carbono no solo podem ser substancialmente alterados em razão dos diferentes sistemas de uso e manejo adotados, além de influenciar na qualidade físico-hídrica do solo e, conseqüentemente, na produtividade (ARATANI *et al.*, 2009; TREVISAN *et al.*, 2017).

Quanto às características químicas, cerca de 90% dos solos são distróficos, isto é, a saturação por bases é menor do que 50%. A capacidade de troca de cátions (CTC) varia de 4,0 a 12,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (CORREIA; REATTO; SPERA, 2004). A grande maioria dos solos é ácida e álica, com saturação por alumínio maior que 50%.

Outro aspecto importante da fertilidade do solo, relacionado à produção sustentável das forrageiras nos cerrados, se refere aos teores de cálcio e magnésio. Segundo pesquisas, considerando que o nível crítico de cálcio para as pastagens cultivadas nos cerrados varia de 1,0 a 1,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e de magnésio ao redor de 0,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, a maioria das forrageiras pode ter sua implantação e produção sustentável comprometidas (MACEDO; ZIMMER, 2007).

O nutriente limitante ao estabelecimento e à manutenção sustentável na produção das pastagens cultivadas é o fósforo. A amplitude de variação de fósforo disponível (Mehlich-1) nos solos dos Cerrados varia de 0,1 a 16,5 mg dm^{-3} , segundo Lopes, A. (1983). As recomendações da Embrapa para adubação de fósforo sugerem aplicações de fertilizantes que atinjam valores mínimos de 3 a 21 mg dm^{-3} (Mehlich-1) na camada arável, dependendo da espécie forrageira e da textura do solo, para a implantação das pastagens.

O esgotamento da fertilidade natural do solo tem conduzido os pecuaristas a uma melhor escolha de espécies forrageiras (SOARES FILHO; MONTEIRO; CORSI, 1992b). A introdução de cultivares de plantas forrageiras selecionadas permite ganhos expressivos na taxa de lotação animal, no desempenho e na produtividade animal, comparando com as pastagens formadas por espécies nativas. Sendo assim, em menos de três décadas, o cerrado transformou-se na principal área de produção de carne bovina do país (MARTHA JUNIOR; BUENO; VILELA, L.; 2002).

No entanto, um grande problema para a pecuária brasileira desenvolvida basicamente a pasto é a degradação das pastagens. Estima-se que 80% estejam neste estado, em torno de 50 a 60 milhões de hectares de pastagens cultivadas no Brasil Central estão em algum estado de degradação, sem possibilidade de recuperação natural e incapaz de sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais (AMORIM *et al.*, 2017).

Essa degradação é consequência de vários fatores que atuam isoladamente ou em conjunto, incluindo preparo incorreto do solo, escolha incorreta da espécie forrageira, utilização de sementes de baixa qualidade, má formação inicial, manejo inadequado e, principalmente, a não reposição dos nutrientes perdidos no processo produtivo, erosão, lixiviação e volatilização ao longo dos anos (CARVALHO *et al.*, 2017).

A baixa fertilidade natural dos solos do Cerrado, associada ao uso limitado de corretivos e fertilizantes na fase de estabelecimento e manutenção da pastagem, são, possivelmente, um dos principais fatores que explicam a baixa produção de forragem e a

degradação das pastagens nas propriedades no cerrado. A baixa fertilidade química da maioria dos solos do Cerrado restringe o crescimento vegetal, devido não só à acidez elevada e aos níveis tóxicos de alumínio e manganês, como também à baixa capacidade de fornecimento de nutrientes (baixos teores de bases trocáveis, fósforo, enxofre, micronutrientes e N). Portanto, na ausência do uso de corretivos e fertilizantes, as características químicas (restritivas) dos solos tropicais determinam uma redução substancial no potencial de produção da planta forrageira e, conseqüentemente, na produtividade do animal (MARTHA JUNIOR; BUENO; VILELA, L., 2002).

2.5 Condicionadores de solo

Condicionador de solo é definido como qualquer material usado para reparar danos e ajudar a manter sua qualidade (GSST, 2008). Embora contenha quantidades limitadas de nutrientes, é gerido principalmente pelo seu impacto benéfico na natureza biológica, física ou química do solo. O seu potencial ainda pode associar-se a benefícios em diferentes vertentes das propriedades do solo, pois sua aplicação na superfície pode servir como cobertura do solo, resultando no aumentando da capacidade de retenção de umidade e armazenamento de água (VILELA, F., 2017).

Silveira, M., Alleoni e Chang (2008) descrevem que os condicionadores podem também atuar como reguladores de acidez e alcalinidade, estabilizadores de compostos poluentes e no sequestro de carbono. A origem dos condicionadores pode ser de materiais orgânicos compostados ou de minerais como rochas fosfatadas, calcário e zeólitas (ZENTENO, 2012).

Singh, C. *et al.* (2018) observaram que o uso de casca de arroz como condicionador de solo em um solo agrícola tropical no cultivo de arroz de sequeiro proporcionou maior disponibilidade de nutrientes às plantas, melhor condição de desenvolvimento da microbiota do solo e melhor produtividade das plantas. Foram encontrados por Munda *et al.* (2018) resultados similares no cultivo da mesma espécie com a utilização de biochar de casca de arroz.

Tradicionalmente o esterco bovino é utilizado como fonte de matéria orgânica em muitas propriedades rurais. Isso devido ao fácil acesso e ao baixo custo de fonte de nutrientes para as plantas, especialmente de nitrogênio. Muitos estudos são conduzidos na busca de alternativas à utilização e à destinação final do esterco bovino como matéria-

prima na obtenção de carvão ativado na remoção de contaminantes orgânicos (QIAN *et al.*, 2013).

Outro condicionador químico utilizado, esse na recuperação de solos salinos, são os polímeros e, entre esses, o de poliacrilamida (PAM), que tem recebido maior destaque no cenário mundial (ALMEIDA, B., 2008). O PAM é um condicionador de solos formado pela polimerização de monômeros de acrilamida e tem sido o mais indicado para a melhoria da qualidade física dos solos.

Ainda existem os condicionadores de solo de pó de rocha, os quais são classificados como sustentáveis, econômicos (diminuem os custos de fertilização das lavouras), agregando emprego e renda localmente na produção e distribuição do seu entorno (ALMEIDA, A., 2018). Destacam-se, entre eles, o pó de ardósia e o pó de rocha calcária. De acordo com Silva, R. de K. (2015), o pó de ardósia é o resíduo gerado da mineração e beneficiamento de ardósias, que se caracterizam como rochas metamórficas de baixo grau de metamorfismo. Já o pó de rocha calcária é o material resultante do processo de mineração de rochas calcárias, com ampla utilização na construção civil. A ação do calcário no solo tem seus efeitos conhecidos de neutralização de alumínio em formas tóxicas para as plantas, a elevação do pH com consequente disponibilização de nutrientes, especialmente o cálcio e o magnésio, dada a sua presença na composição química desse tipo de rocha (CAIRES *et al.*, 2015; XU *et al.*, 2020).

Apesar do potencial de utilização desses resíduos na agricultura, existem poucos estudos que demonstrem a eficácia de sua utilização no rendimento das culturas e as possíveis alterações nos atributos do solo, especialmente no que se refere ao pó de ardósia. Dessa maneira, sua utilização deve ser avaliada, pois podem proporcionar, no decorrer do tempo, impactos negativos no sistema produtivo como um todo (ALVES, P. *et al.*, 2021).

A qualidade do solo retrata sua aptidão em promover um meio favorável à manutenção da vida animal e vegetal, sendo, portanto, de fundamental importância para as fases de nutrição, produção e desenvolvimento dos ecossistemas terrestres (DORAN *et al.*, 1997). A utilização de compostos de origem natural, que proporcionem incremento da qualidade do solo, pode ser alternativa para minimizar os custos de produção, bem como proporcionar ganhos em qualidade e produtividade. z

Uma alternativa mais recentemente que vem despertando o interesse de pesquisadores é o biochar. Trata-se de um produto sólido, rico em carbono, representa forma estável da matéria orgânica (MO) em função de suas estruturas aromáticas, constituindo eficiente ferramenta para promover o aumento da CTC do solo, além de ser

capaz de enriquecer a fertilidade do solo e aumentar a retenção hídrica (MADARI *et al.*, 2006)

2.6 Biochar

A prática de utilizar biomassa queimada como substrato para benefícios da produção em diversas culturas por meio de retenção de água e nutrientes não é recente. Apenas é recente o termo biochar para designar o condicionador do solo com origem nos solos amazônicos, o qual desempenha a função de melhoramento da qualidade do solo (SOUCHIE *et al.*, 2011).

O biochar é uma tecnologia relativamente simples que converte resíduos agrícolas em condicionador do solo que pode sequestrar carbono, promover segurança alimentar e desencorajar o desmatamento. A ideia do biochar surgiu de estudos da matéria orgânica das Terras Pretas de Índios (TPI), solos amazônicos antropogênicos, modelo de solo com excelentes características agronômicas e ambientais, tendo em vista a alta fertilidade e o alto conteúdo de carbono estável (de origem pirogênica) em sua fração orgânica, modelo este adequado ao sequestro de carbono (NOVOTNY *et al.*, 2009).

Tais materiais são conhecidos como biochar, nome adotado mundialmente para qualquer fonte de biomassa carbonizada para uso no solo, com finalidade de sequestrar carbono e melhorar a qualidade agronômica do solo. Segundo pesquisas, esta tecnologia tem potencial global de sequestro de CO₂ atmosférico em escala de bilhões de toneladas (109 t ano⁻¹) no espaço de 30 anos. Porém, os resultados, em sua maioria, refletem estudos de uso em pequena escala, impedindo generalizações quanto a diferentes regiões geográficas e tipos de biochar (SOHI *et al.*, 2010).

O elemento principal do biochar é o carbono (C), contendo também em sua composição hidrogênio (H), oxigênio (O), cinzas e traços de nitrogênio (N) e enxofre (S). Sua composição elementar vai variar de acordo com a matéria bruta do qual é produzido e com as características principais do processo de carbonização (LIU *et al.*, 2015). Além disso, o biochar tem estrutura carbonácea arranjada de forma desorganizada, formada por anéis aromáticos ligados aleatoriamente, por isso, apresenta grande área superficial, estrutura porosa, grupos funcionais na superfície e alto teor de minerais (CHA *et al.*, 2016).

Existem basicamente quatro métodos de conversão termoquímica da biomassa:

a pirólise, a liquefação, a gaseificação e a combustão (MAIA, 2010). O biochar é um material rico em carbono, produzido a partir do processo de pirólise, que consiste na queima de biomassa sem a presença de oxigênio, ou de forma limitada a temperaturas geralmente menores de 700 °C (IBI, 2015).

Uma importante característica do biochar como ferramenta de manejo ambiental é a sua estabilidade, principalmente por duas razões: primeiro, a estabilidade determina quanto tempo o carbono (C) contido no biochar permanecerá sequestrado no solo e por quanto tempo pode influenciar as emissões de gases de efeito estufa vindos da pedosfera e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas; segundo, a estabilidade determinará por quanto tempo o biochar beneficiará a qualidade do solo e o menor consumo de água.

Segundo Lehmann *et al.* (2003a, 2003b), os benefícios em longo prazo da adição do biochar à qualidade do solo incluem maior retenção e disponibilidade de nutrientes, redução da necessidade de fertilizantes, menores perdas por lixiviação de nutrientes e outros contaminantes, maior disponibilidade potencial da água às plantas, aumento da atividade micorrízica (WARNOCK *et al.*, 2007) e possíveis efeitos benéficos para outros grupos de microrganismos e suas funções no solo. Esses benefícios se potencializam pela maior eficiência energética nos cultivos em decorrência da maior produtividade, do menor uso de fertilizantes e da menor perda de nutrientes. Se o biochar se decompusesse rapidamente, estes benefícios seriam afetados em extensão e duração. Sendo assim, o biochar precisa ser de estabilidade significativamente maior no ambiente do que outra fonte de matéria orgânica, de modo a estender a duração destes benefícios (LEHMANN *et al.*, 2009).

Um dos materiais mais utilizados para a fabricação do biochar são os finos de carvão, que, além de seu uso no solo, é também uma prática estratégica sob o ponto de vista econômico, se considerarmos que o Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal e responde por cerca de 38,5% da produção. Anualmente, são produzidos no país em torno de 10 milhões de toneladas de carvão, dos quais 15% se perdem na forma de finos de carvão. Este subproduto da indústria carvoeira frequentemente não é utilizado na indústria siderúrgica (a maior consumidora do carvão vegetal) e, muitas vezes, é acrescido ao passivo ambiental dessa atividade (MAIA, 2010).

Estuda-se cada vez mais a produção de biochar a partir da transformação de resíduos orgânicos rurais e urbanos. A produção de biochar a partir destes resíduos de animais, assim como os florestais e o lodo de esgoto podem servir como estratégia para

gestão destes resíduos. A tecnologia do biochar traz benefícios não só no tratamento de resíduos, mas também no uso como matéria-prima com valor agregado. Em um sistema de gestão de resíduos orgânicos urbanos e rurais, ele ajudaria nas questões ambientais e sanitárias relacionadas ao processamento, armazenamento, transporte e uso dos resíduos para fins agronômicos (PHAM *et al.*, 2013). Existem diversas outras fontes importantes de biomassa residual nas cadeias da agroenergia, incluindo bagaço de cana, resíduos do babaçu, de soja, entre outros materiais (MAIA, 2010).

As características do biochar dependem do seu material de origem e do processo de pirólise. Materiais de origem animal, como dejetos, tendem a ter maior pH em comparação com aqueles advindos de material vegetal. Com isso, pode ter maior quantidade de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio, magnésio, devido à sua constituição química inicial e à maior capacidade de troca catiônica, porém com menor quantidade de C (SINGH, B.; SINGH, B. P.; COWIE, 2010).

O biochar tem suas características químicas e físicas diferentes de acordo com a matéria-prima para sua fabricação (Tabela 1). Sendo assim, seu efeito depende da fonte da matéria-prima. A Tabela 1 apresenta características químicas de biocarvões obtidos em diferentes estudos. Observa-se que cada biochar produzido a partir de diferentes materiais, como resíduos de poda de mangueira (RPM), resíduos de processamento de uva (RPU), carvão vegetal (CV) e lodo de esgoto, apresenta resultados distintos, indicando efeito da fonte do material empregado na sua elaboração.

Tabela 1 - Caracterização dos biochares produzidos a partir de resíduos de poda de mangueira (RPM), resíduos de processamento de uva (RPU), carvão vegetal (CV) e biochar de lodo de esgoto produzido a 500 °C de temperatura de pirólise (BC 500 °C)

Atributos	RPM ^a	RPU ^a	CV ^a	BC 500 °C ^b
C. E (mS cm ⁻¹)	0,93	0,82	1,06	-
pH	8,7	5,4	6,9	6,5
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,5	3	10,2	7,8 ^b
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1	1,7	1,8	1,7 ^b
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0	0	0	-
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	0	13	1,4	-
SB (cmol _c dm ⁻³)	2,5	4,7	12	-
CTC (cmol _c dm ⁻³)	2,5	17,7	13,4	-
V (%)	100	26,6	89,3	-
Umidade (%)	3,43	7,91	7,41	17,0
Material volátil (%)	23,59	55,81	28,4	45,0
Cinzas (%)	16,53	8,37	15,25	54,0

Fonte: A autora (2022).

Nota: C.E. condutividade elétrica; pH: determinado em água na proporção de 1:2,5; Ca⁺², Mg⁺² e Al⁺³: extração em KCl 0,5 mol L⁻¹; H+Al; SB: soma de bases (Ca⁺² + Mg⁺² + Na⁺¹ + K⁺¹); CTC: capacidade de troca de cátions (H+Al + SB); V%: saturação por bases (SB/CTC) *100; ^b g kg⁻¹. ^aPereira, J. (2019); ^bSchneider (2015).

A capacidade de troca catiônica (CTC) do solo expressa a forma como alguns nutrientes (cátions) estão ligados a ele, disponíveis para a absorção pelas plantas e menos propensos de serem lixiviados para águas subterrâneas e superficiais. Nos locais de carga negativa da superfície do biochar (e da argila e matéria orgânica do solo), onde os cátions podem se manter ligados e serem trocados, a liberação de nutrientes irá ocorrer até que se alcance o ponto de equilíbrio químico, que depende do pH, pois o consumo de H^+ na solução de solo implica a liberação/retenção de outra carga positiva/negativa) (NÓBREGA, 2011).

Os atributos que influenciam a CTC do biochar dependem da matéria-prima usada para ser carbonizada e da temperatura de pirólise. Temperaturas mais elevadas promovem perda dos grupos funcionais, fazendo com que a CTC seja baixa, diminuindo a capacidade em reter cátions (HOSSAIN *et al.*, 2011; STEWART *et al.*, 2013). Já em contrapartida, com a maturação do biochar, há um aumento na formação desses grupos e outros grupos oxigenados na superfície do biochar, fazendo com que haja aumento na CTC. Com essa maturação, ocorre ainda redução considerável na capacidade de troca aniônica (CTA), em virtude do desaparecimento de carga positiva da superfície (NÓBREGA, 2011). A substituição de cadeias alifáticas da biomassa por anéis aromáticos com grupos funcionais de superfície faz com que o biochar aumente a capacidade de troca de cátions (CANTRELL *et al.*, 2012; MUKHERJEE; ZIMMERMAN, 2013; SINGH, B.; SINGH, B. P.; COWIE, 2010; UCHIMIYA *et al.*, 2010).

A capacidade na retenção de água está relacionada à alta porosidade e à sua estrutura química, rica em grupos polares, contendo oxigênio em sua maior parte, que podem reter água pelo estabelecimento de pontes de hidrogênio (PETTER; MADARI, 2012). Ainda segundo Karhu *et al.* (2011), o efeito direto do biochar está relacionado com sua grande superfície interna e sua elevada quantidade de microporos, onde a água é retida por capilaridade. Sendo assim, ao melhorar a porosidade total do solo, também é aumentada a água disponível para as plantas, o que representa efeito benéfico no rendimento das culturas.

Segundo Maia (2010), para maior eficiência agrônômica, é interessante que o material carbonizado seja homogeneizado, podendo ser moído ou quebrado em fragmentos entre 2 e 10 mm. O material deve ser analisado para determinar seu teor de umidade, cinzas e carbono, pois somente assim será possível saber as doses de biochar e de carbono que estão sendo efetivamente aplicadas ao solo. A determinação de cinzas é

importante por seu efeito neutralizante semelhante ao calcário, pois a cinza é muito rica em potássio, cálcio e magnésio, entre outros íons. Sua aplicação pode ser a lanço ou nas linhas de cultivo, manual ou mecanicamente. O biochar, com baixa densidade, é importante que seja incorporado ao solo para aumentar sua interação com as partículas minerais e com os agentes biológicos (raízes e organismos do solo).

Quando se trata dos custos para a produção do biochar, sua produção no país é principiante e os processos de pirólise para esse fim não são amplamente aplicados no mercado. A análise do custo para produção de biochar, considerando toda a cadeia de custos, está em estágio de desenvolvimento. Há poucos estudos que fazem uma avaliação abrangente dos custos no ciclo de vida do sistema energético baseado em biochar e que considera cada etapa do ciclo de produção e uso. Homagain *et al.* (2016) ligam a viabilidade econômica do sistema de produção de bioenergia, com base em biochar no Canadá, aos custos de pirólise, processamento de matéria-prima (secagem, moagem e peletização), coleta e transporte e valor de compensação total de carbono fornecida pelo sistema. Todavia, ganhos nos sistemas de produção agrícola geralmente não são levados em consideração nos estudos econômicos e de ciclo de vida dos sistemas para produção de biochar, sendo necessário incluir este aspecto nos estudos para se ter uma avaliação mais fidedigna.

A maioria dos estudos sobre uso do biochar no solo é recente e em pequena escala, havendo poucas informações sobre o efeito desta prática em experimentos de longo prazo. Sendo assim, não há estudos suficientes para recomendações técnicas de doses a serem aplicadas. Com isso, a análise de fertilidade e física do solo, da composição química do biochar e as exigências da cultura são sempre necessárias. Além disso, não existe uma recomendação técnica para a frequência de aplicação, o que implica diretamente os custos de operação, sobretudo o de transporte, que costuma ser alto (MAIA, 2010).

Em um experimento realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Agrobiologia), estudando duas forrageiras *Brachiaria* e *Panicum* com ou sem inoculante fertilizante e biocarvão (15 t ha⁻¹), foram obtidos resultados que mostram que a incorporação de biocarvão ao solo das pastagens pode melhorar sua produtividade e impactar positivamente numa série de indicadores de forragem e qualidade do solo. E, além disso, foram constatados resultados positivos da interação entre biocarvão e fertilizante para *Panicum*. Esses resultados confirmam a literatura, mostrando que, para maximizar o efeito do biocarvão na produtividade agrícola de plantas

selecionadas, ele deve ser usado em combinação com fertilizante (LATAWIEC *et al.*, 2019).

Os mesmos autores ressaltaram que, embora os métodos de produção de biocarvão sejam simples e não exijam instalação e operação de equipamentos sofisticados, os custos de mão de obra são levados em consideração na aplicação de biocarvão na dose utilizada no estudo. Sendo assim, sua utilização não é competitiva quando comparada a outras alternativas de correção do solo. Mesmo com o aumento significativo na produtividade das pastagens após a aplicação do biochar e potenciais lucros adicionais para os agricultores com o aumento da produção de carne, para uma pequena e média propriedade, a viabilidade financeira para produzir e aplicar biochar ainda é um grande desafio. Nesse sentido, há necessidade de mais pesquisas e investimentos para recomendar o uso de biochar na pecuária.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto Federal Goiano - Campus Ceres (Fig. 1), latitude $15^{\circ}20'56,06''$ S, longitude $49^{\circ}36'19,85''$ W e altitude de 571 m aproximadamente.



Figura 1- Localização da área experimental
Fonte: Google Earth com modificações (2022).

3.1 Dados climáticos do período experimental

De acordo com a classificação de Köppen e Geiger, o clima da região é classificado como Aw. No inverno, praticamente não há chuva, que se concentra, na sua quase totalidade, no verão (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014).

Os valores de precipitação pluvial, temperatura máxima, mínima e média durante o período de execução do experimento são apresentados na Figura 2.

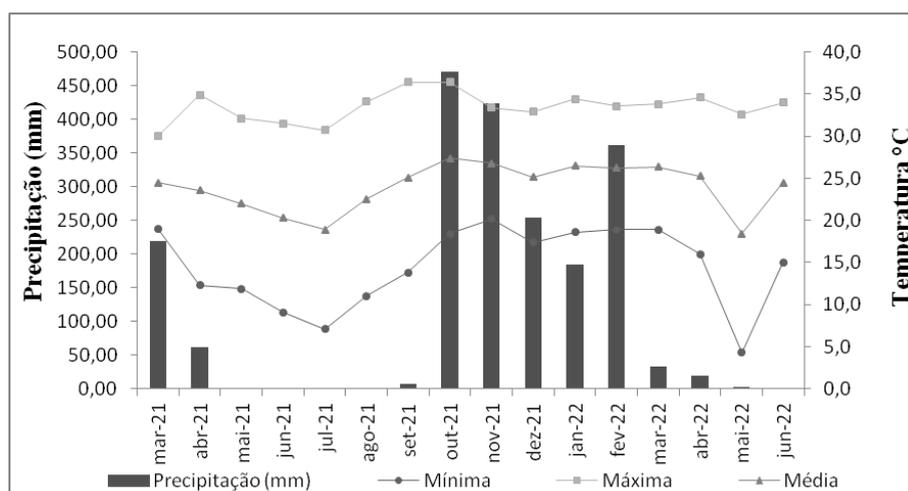


Figura 2 - Precipitação, temperatura mínima, máxima e média, durante o período de execução do experimento no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres

Fonte: A autora (2022).

No período experimental, que consistiu entre março de 2021 e junho de 2022, houve precipitação total de 2.038,34 mm.

3.2 Caracterização do solo

O solo da área foi classificado como Nitossolo Vermelho Eutrófico de acordo com SANTOS, H. *et al.* (2018). É um solo utilizado há mais de 50 anos, predominantemente com culturas anais, preparo convencional e com manejo da fertilidade (correção e adubação). A análise de solo da área apresentou as características químicas na camada de 0 a 20 cm (Tabela 2). Essa caracterização inicial da fertilidade do solo e mais outros critérios serviram de base para a recomendação de fertilizantes para o experimento.

Tabela 2 – Resultados da análise química e física de amostras de solo da área experimental na profundidade de 0 a 0,20 m

Bloco	pH	MO g dm ⁻³	Ca -----cmolc dm ⁻³	Mg	Al	H+Al -----	P ---mg dm ⁻³ ---	K	V %	Areia	Silte -----g kg ⁻¹ -----	Argila
I	5,42	24,36	4,02	1,14	0,12	2,53	6,28	64,21	96,49	296,5	144,1	559,3
II	5,35	24,95	5,28	1,49	0,11	3,01	4,48	39,38	93,87	301,8	152,1	546,1
III	5,53	28,01	7,37	3,06	0,08	3,43	6,94	71,99	96,01	314,6	182,2	503,2
IV	6,11	29,40	6,81	4,09	0,05	2,76	7,03	136,13	98,16	317,6	190,1	492,3

Fonte: Elaborado pela autora com os resultados da análise de solo feita no Laboratório de Análise de Solo – IF Goiano – Campus Ceres (2022).

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi implantado em delineamento de blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial (2 cultivares x 4 doses de biochar) e analisado em parcela subdividida, sendo as parcelas, as cultivares x doses, e as sub-parcelas, 4 épocas de avaliação, com 4 repetições. As cultivares testadas foram BRS Capiacu e BRS Kurumi. As doses de biochar corresponderam a 0, 8, 16 e 24 toneladas ha^{-1} , e as épocas de avaliação foram de 71, 225, 335 e 447 dias após aplicação do biochar. As doses de biochar foram definidas tendo por base as doses estudadas por Silva, M. *et al.* (2011).

O experimento foi conduzido de março de 2021 a junho de 2022 e avaliado na época da seca e na época das águas. As parcelas tinham a dimensão de 3 x 3 m, cada parcela com 4 linhas distanciadas de 1 e 2 m entre si. A área útil consistiu de um metro linear central em uma das linhas centrais da parcela.

3.4 Implantação das forrageiras

As forrageiras BRS Capiacu e BRS Kurumi foram implantadas em 2019. O preparo do solo foi do tipo cultivo mínimo, com dessecação prévia com pulverização de herbicida glifosato duas vezes antes do sulcamento da área, seguido do sulcamento para o plantio. A propagação das plantas foi feita plantando colmos em sulcos no local definitivo do experimento, utilizando material propagativo de capineiras estabelecidas no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres.

3.5 Adubação de manutenção

As doses para as adubações de manutenção foram calculadas a partir dos resultados obtidos nas análises químicas de solo (Tabela 1). As adubações de manutenção ocorreram após cada corte de padronização, todas elas parceladas em duas vezes, com intervalo de 30 dias. Foram feitas de forma manual, sendo aplicadas em todas as linhas das parcelas.

Após o corte de padronização da primeira avaliação, foram aplicados para a cultivar BRS Capiacu 75, 90, 75 $kg\ ha^{-1}$ de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente, utilizando a formulação 20-00-20 (375 kg) e superfosfato simples (450 kg). Após 30 dias (segunda parcelamento), foram aplicados 75 e 36 $kg\ ha^{-1}$ de N e K_2O , utilizando ureia (167 kg) e KCl (60 kg), respectivamente. Para a cultivar BRS Kurumi, foram aplicados 50, 90 e 50

kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, por meio da formulação 20-00-20 (250 kg) e superfosfato simples (450 kg). No segundo parcelamento, foram aplicados 50 e 24 kg ha⁻¹ de N e K₂O, respectivamente, via ureia (111,1 kg) e KCl (40 kg), respectivamente.

Na segunda avaliação, a adubação consistiu na aplicação de 52 e 50 kg ha⁻¹ de N via ureia (116 e 111 kg) e, após 30 dias, 36 e 24 kg ha⁻¹ de K₂O via KCl (60 e 40 kg), para as cultivares BRS Capiacu e BRS Kurumi, respectivamente. As adubações referentes à terceira e quarta avaliações seguiram as doses utilizadas na primeira avaliação.

3.6 Biochar

A fonte do biochar utilizada foi fornecida pela empresa Biochar Brasil, produzido a partir do pó de carvão vegetal de madeira totalmente reflorestada de eucalipto. O produto foi aplicado de forma localizada e incorporado na linha de touceiras em dois metros linear de três linhas de cada parcela, exceto na parcela de dose 0 t ha⁻¹.

A fim de verificar os nutrientes e características químicas do biochar, optou-se por mostrar na Tabela 3 a composição nutricional prontamente disponível para as plantas. Por isso adotou-se a metodologia de análise de fertilizantes, seguindo a metodologia de Teixeira *et al.* (2017).

Tabela 3 - Análise química do biochar

Amostra	pH	MO	Ca	Mg	K	H+Al	Al	P	K	V	Are	sil	Arg
Biochar	-	$\frac{g}{dm^{-3}}$			$cmol_c dm^{-3}$			$mg dm^{-3}$		%			
	6,8	1,95	7,0	2,1	2,0	1,8	0,0	78,7	764,5	85,9	-	-	-

Fonte: Elaborado pela autora com os resultados da análise de solo feita no Laboratório de Análise de Solo – IF Goiano – Campus Ceres (2022).

3.7 Irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento, com fitas perfuradas colocadas sobre a superfície do solo com gotejadores dispostos a cada 20 cm. O sistema foi operado com pressão de serviço de 1 bar e vazão de 1,6 L h⁻¹ por gotejador. Foi aplicada a mesma lâmina de água para todas as parcelas. O manejo da irrigação foi feito pela reposição da evapotranspiração da cultura.

O monitoramento da evapotranspiração foi feito por leituras diárias de evaporação do tanque Classe A, localizado na estação meteorológica sediada no IF

Goiano - Campus Ceres. Para tanto, determinou-se a evapotranspiração de referência [Equação (1)].

$$ET_o = EV \times K_p \quad (1)$$

Em que:

ET₀: evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹;

EV: evaporação do tanque; e

K_p: coeficiente do tanque = 0,65.

Após calcular o ET₀, foi determinada a evapotranspiração da cultura (ET_c) [Equação (2)]:

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (2)$$

Em que:

ET_c: evapotranspiração da cultura, mm dia⁻¹;

ET₀ = evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹;

K_c: coeficiente da cultura = 0,80.

Em seguida, calculou-se a lâmina bruta de irrigação (LB), ou seja, a lâmina aplicada [Equação (3)].

$$LB = ET_c / E_a \quad (3)$$

Em que:

E_a - eficiência da aplicação do sistema de irrigação utilizado = 0,9.

Por fim, calculou-se o tempo de irrigação em minutos [Equação (4)].

$$T_i \text{ (min)} = (60 \times LB \times EL \times E_g) / (E_a \times NL \times Q_g) \quad (4)$$

Em que:

T_i (min): tempo em minutos;

LB = lâmina bruta, mm;

EL: espaçamento entre linhas = 1,0 m;

E_g = espaçamento entre gotejadores = 0,2 m;

E_a = eficiência da aplicação do sistema de irrigação utilizado = 0,9;

NL = Número de linhas laterais/fileiras de planta = 1; e

$Q_g = \text{Vazão do gotejador} = 1,6 \text{ L h}^{-1}$.

Os dados da evaporação diária do tanque classe A e do pluviômetro, situados na estação meteorológica sediada no IF Goiano - Campus Ceres, foram inseridos diariamente em uma tabela, e todas essas equações acima eram resolvidas automaticamente, disponibilizando, assim, o tempo de irrigação e a lâmina a ser aplicada.

A Tabela 4 mostra os valores de evapotranspiração média diária e evapotranspiração total/mensal coletados na estação meteorológica, no período experimental. As medições das precipitações foram feitas pela estação meteorológica do campus. Dois pluviômetros de acrílico com capacidade de até 130 mm de chuva foram instalados na área do experimento para averiguar as medições.



Figura 3 - Vista do funcionamento da irrigação por gotejamento
Fonte: A autora (2022).

Tabela 4 - Evapotranspiração, precipitação pluvial e lâminas de irrigação aplicadas no período de março de 2021 a junho de 2022

mês/ano	Evapotranspiração Média (mm dia^{-1})	Evapotranspiração mensal (mm)	Precipitação pluvial (mm)	Lâmina de irrigação aplicada (mm)
mar/21	-	-	219,90	0
abr/21	-	-	62,10	0
mai/21	5,23	162	0,00	43,18
jun/21	5,13	77	0,00	20,51
jul/21	-	-	0,00	-
ago/21	7,62	228,46	0,00	58,47
set/21	8,21	238,16	6,45	41,27
out/21	6,58	138,12	470,51	20,72
nov/21	3,75	11,26	423,50	0
dez/21	-	-	254,16	0
jan/22	-	-	184,50	0
fev/22	5,95	71,35	362,30	0
mar/22	4,44	31,09	32,47	3,13
abr/22	5,15	139,17	19,21	23,56
mai/22	5,79	179,62	3,24	29,58
jun/22	6,32	82,16	0,00	14,26

Fonte: A autora (2022).

3.8 Avaliações do experimento

A decisão sobre o momento de cada corte (avaliação) foi feita tendo como critério a altura da forrageira. Para tal, foram utilizados os parâmetros de aproximadamente 2 m de altura para a cultivar BRS Capiacu e de 0,80 m para a cultivar BRS Kurumi. A Tabela 5 mostra as datas das avaliações, o tempo de rebrota e o período de incubação do biochar. Considerando época da seca o período de maio a setembro e a época das águas de outubro a abril na região, os períodos de rebrota compreenderam predominantemente a sequência de época das águas – seca – águas - seca.

Tabela 5 - Datas das avaliações, tempo de rebrota e período de incubação do biochar

Avaliação	Data corte de padronização	Data da avaliação	Período de rebrota (dias)	Tempo de incubação do biochar (dias)
1	18/03/2021	03/06/2021	77	71
2	02/08/2021	04/11/2021	94	225
3	07/12/2021	22/02/2022	77	335
4	23/02/2022	14/06/2022	111	447

Fonte: A autora (2022).

Cada avaliação foi iniciada com a determinação da altura da planta (AP) com auxílio de uma trena, medindo-se da base da planta até a curvatura da folha bandeira, em cinco pontos de cada parcela (antes do corte), e ao final, foi calculada a média da parcela. Em seguida, foi feito um corte rente ao solo na área útil de cada parcela, seguido da pesagem denominada de massa verde (MV) e contagem do número de perfilhos (NP). Uma subamostra foi feita utilizando 10 perfilhos de forma aleatória e feitas as avaliações morfométricas de diâmetro do caule (DC) com um paquímetro digital, a pesagem de massa verde de folhas e colmos e a contagem do número de folhas (NF). Os dez colmos e suas folhas foram picados, colocados separadamente em saco de papel kraft e levados para a estufa de ventilação forçada a 65 °C por 72 horas, para determinar a massa pré-seca a 65 °C (MS65°). A relação folha colmo (F/C) foi determinada tendo como base os dados de massa pré-seca.



Figura 4 - Determinação da altura de planta (A), corte da área útil (B), pesagem da massa verde (C), contagem do número de perfilhos e coleta das subamostras (D), pesagem do perfilho (E), contagem do número de folhas e separação das folhas e colmo (F), coleta dos dados de diâmetro do colmo (G), picagem das folhas (H) e picagem dos colmos (I)

Fonte: A autora (2022).

Para avaliar o desempenho produtivo das cultivares, foram estimadas a produtividade de massa verde (PMV), a produtividade de massa seca (PMS) e a produtividade de folha verde (PFV). Nas avaliações bromatológicas, foram determinados o teor de massa seca (TMS) e a proteína bruta (PB).

A determinação da MS foi feita em laboratório utilizando em torno de 2,0 g de amostra pré-seca moída a 1 mm em moinho tipo Willye, a qual foi seca em estufa à temperatura de 100 °C a 105 °C por 12 h. O produto da umidade da massa seca e a massa pré-seca constituíram o TMS. As análises de proteína bruta (PB) foram feitas no Laboratório Terra, segundo o método de *Kjeldahl*.

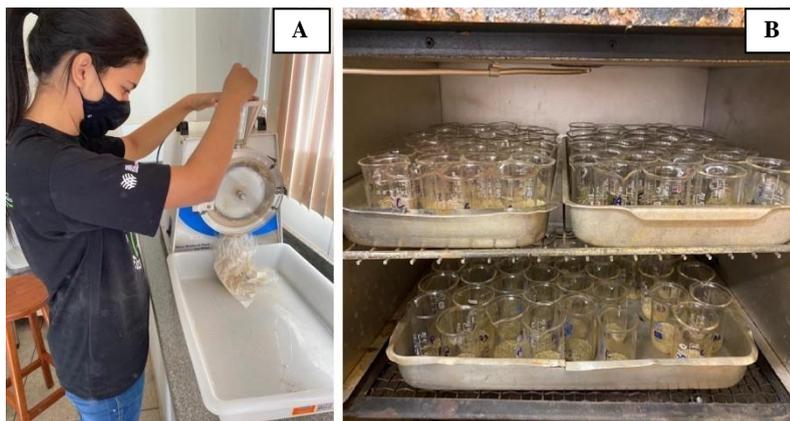


Figura 5 - Moagem das amostras em moinho tipo Willy (A) e determinação do teor de matéria seca (B)
Fonte: A autora (2022).

3.8 Avaliação da fertilidade do solo

A amostragem de solo para análises químicas foi feita na camada de 0 a 0,2 m, usando trado holandês antes da aplicação do biochar (janeiro/2021) ao longo de cada bloco para definir a adubação, e, no final do período experimental (junho/2022), para avaliar o efeito do biochar. Na primeira, foram retiradas 4 subamostras por bloco. Na última amostragem, foram retiradas amostras simples em 3 pontos diferentes ao lado linha onde foi aplicado o biochar em cada uma das 32 parcelas.

As análises químicas do solo foram feitas no Laboratório de Solos do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, seguindo a metodologia de Teixeira *et al.* (2017). Foram feitas análises de pH em água, matéria orgânica do solo (MOS), cálcio, magnésio, alumínio, acidez potencial (H+Al), fósforo, potássio, CTC, V% e saturação de Al (m).

3.9 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e os tratamentos significativos, ao teste de médias de Tukey para cultivares, e a análise de regressão para doses e épocas foi feita utilizando software Sisvar. Foram feitas também análises de correlação de Pearson entre as variáveis da quarta avaliação, utilizando o software Saeg 5.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o resumo do quadro da análise de variância (Tabela 4), observa-se que somente a variável AP apresentou interação cultivar x dose de biochar ($p < 0,01$). As variáveis NP, NF, MS65°, TMS, PFV, PMV, PMS e F/C foram influenciadas pelas cultivares, a PMS, pelos fatores isolados cultivar e dose, e DC não teve efeito dos fatores.

A Tabela 6 mostra interação significativa entre cultivar x época para as variáveis AP, NF, MS65°, TMS, PFV e PMS. As variáveis DC, NP, PMV, F/C e PB foram afetadas somente pelo fator época. A interação dose x cultivar x época não apresentou diferenças significativas para nenhuma variável.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância (quadrado médio) de atributos morfométricos e produção de cultivares de capim elefante sob diferentes doses de biochar e épocas de avaliação

FV	GL	DC	AP	NP	NF
Dose	3	10,74 ^{ns}	593,70 [*]	90,02 ^{ns}	1,95 ^{ns}
Cultivar (CV)	1	18,42 ^{ns}	165960,01 ^{**}	7626,13 ^{**}	125,41 ^{**}
Dose*CV	3	12,65 ^{ns}	970,57 ^{**}	22,40 ^{ns}	1,05 ^{ns}
Bloco	3	26,33 ^{ns}	4975,15 ^{**}	172,77 ^{ns}	14,62 ^{ns}
Resíduo a	9	8,12	113,58	159,47	4,70
Época (EP)	3	223,10 [*]	28769,26 ^{**}	2808,0 ^{**}	122,15 ^{**}
Dose x EP	9	4,34 ^{ns}	239,40 ^{ns}	176,47 ^{ns}	1,28 ^{ns}
CV x EP	3	16,43 ^{ns}	2274,34 ^{**}	595,27 ^{ns}	8,02 [*]
Dose x CVx EP	9	11,77 ^{ns}	408,57 ^{ns}	205,04 ^{ns}	2,01 ^{ns}
Resíduo b	84	6,22	449,05	271,34	2,87
Total corrigido	127	-	-	-	-
CV% parcela	-	23,06	8,09	24,17	19,76
CV% subparcela	-	20,19	16,09	31,53	15,44
FV	GL	MS65°	TMS	PFV	PMV
Dose	3	0,0006 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	66,54 ^{ns}	1060,04 ^{ns}
Cultivar (CV)	1	0,0475 ^{**}	0,0420 ^{**}	150,21 ^{ns}	3671,32 [*]
Dose*CV	3	0,0005 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	75,01 ^{ns}	839,29 ^{ns}
Bloco	3	0,0021 [*]	0,0016 [*]	273,95 [*]	2554,22 [*]
Resíduo a	9	0,0005	0,0004	40,27	399,45
Época (EP)	3	0,0960 ^{**}	0,0959 ^{**}	2039,24 [*]	16185,00 [*]
Dose x EP	9	0,0007 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	22,92 ^{ns}	243,03 ^{ns}
CV x EP	3	0,0044 ^{**}	0,0032 ^{**}	174,82 [*]	1068,66 ^{ns}
Dose x CVx EP	9	0,0005 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	32,30 ^{ns}	385,09 ^{ns}
Resíduo b	84	0,0007	0,0006	51,92	430,95
Total corrigido	127	-	-	-	-
CV% parcela	-	11,06	10,90	34,73	39,67
CV% subparcela	-	13,02	13,52	39,43	41,20

(continua...)

Tabela 6 - Resumo da análise de variância (quadrado médio) de atributos morfométricos e produção de cultivares de capim elefante sob diferentes doses de biochar e épocas de avaliação

(Conclusão)

FV	GL	PMS	F/C	PB
Dose	3	36,80*	0,1254 ^{ns}	0,2708 ^{ns}
Cultivar (CV)	1	409,32**	4,4439**	7,0312 ^{ns}
Dose*CV	3	19,09 ^{ns}	0,0009 ^{ns}	0,5104 ^{ns}
Bloco	3	80,92**	0,3330*	0,1875 ^{ns}
Resíduo a	9	8,53	0,0564	0,4756
Época (EP)	3	218,92**	2,3064**	242,06**
Dose x EP	9	10,18 ^{ns}	0,0442 ^{ns}	0,2361 ^{ns}
CV x EP	3	74,54**	0,1640 ^{ns}	0,0937 ^{ns}
Dose x CV x EP	9	13,87 ^{ns}	0,0415 ^{ns}	0,2118 ^{ns}
Resíduo b	84	12,96	0,1037	0,5970
Total corrigido	127	-	-	-
CV% parcela	-	33,84	23,02	7,97
CV% subparcela	-	41,70	31,20	8,93

Fonte: A autora (2022).

Nota: Grau de liberdade (GL), dose (D), cultivar (CV), interação dose x cultivar (CV x D), bloco (BL), época (EP), interação dose x época (D x EP), interação cultivar x época (CV x EP), interação dose x cultivar x época (D x CV x EP). Diâmetro colmo (DC), altura de planta (AP), número de perfilhos (NP), número de folhas (NF), massa pré-seca a 65°C (MS65°), teor de massa seca (TMS), produtividade de folha verde (PFV), produtividade de massa verde (PMV), produtividade de massa seca (PMS), relação folha/colmo (F/C), proteína bruta (PB). Coeficiente de variação (CV%), **Significativo a 1%, * significativo a 5% e ^{ns} não significativo.

A seguir são discutidas as variáveis significativas para cultivar x época. Analisando a altura de planta das duas cultivares em relação às épocas de avaliação, verificou-se que os dados se ajustaram ao modelo cúbico (Fig. 6), atingindo seus máximos de crescimento na terceira avaliação. Isso pode estar relacionado às condições climáticas favoráveis (umidade, temperatura e fotoperíodo) do período chuvoso a partir de outubro/novembro. Por outro lado, o maior desenvolvimento relativo à terceira avaliação, quando comparado com a primeira, ambas na época das águas, indica não ser efeito apenas do clima.

Por volta de 447 dias (12.06.2022) da implantação do experimento, o que corresponde à quarta avaliação, pôde-se notar decréscimo na altura de plantas, o que pode estar associado às condições climáticas desfavoráveis da época, a qual foi marcada por temperaturas mais baixas a partir de abril (Fig. 2) e fotoperíodo mais curto, em razão da proximidade do solstício de inverno (21 de junho).

As forrageiras tropicais são plantas C4, estimuladas ao crescimento por luz e umidade do solo, sendo inibidas quando esses fatores não estão presentes em quantidades adequadas (MORENO *et al.*, 2014).

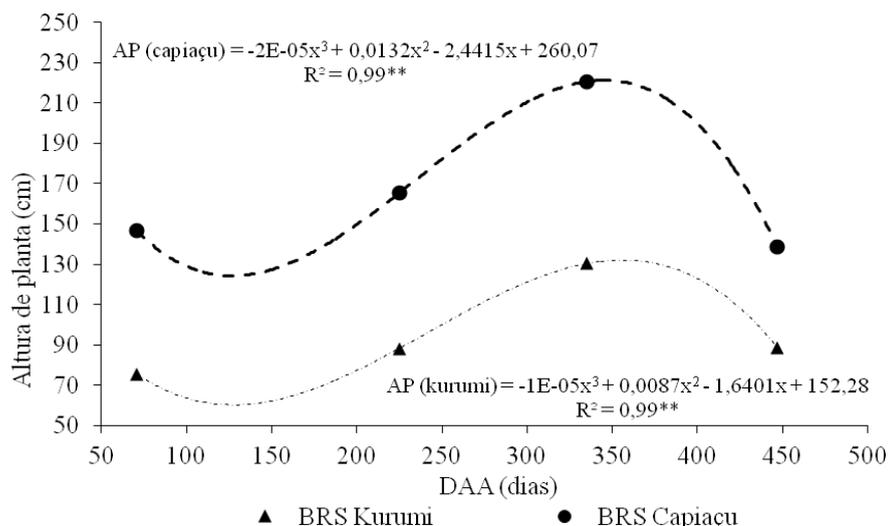


Figura 6 - Altura de planta (cm) das cultivares de capim elefante BRS Kurumi e BRS Capiaçú em função do número de dias após a aplicação do biochar (dias após aplicação - DAA)
Fonte: A autora (2022).

Quanto ao atributo número de folhas (NF), foi observado ajuste ao modelo cúbico para as duas cultivares estudadas (Fig. 7), mesmo comportamento de altura de planta. Isso pode ter acontecido em razão da correlação de altura de planta e número de folhas ($r = 0,68^{**}$, BRS Kurumi) e do efeito das condições edafoclimáticas do período de avaliação. De acordo com Melo *et al.* (2011), as variações de temperatura do ar e intensidade luminosa promovem alterações no tamanho da folha, número de folhas e densidade de perfílios.

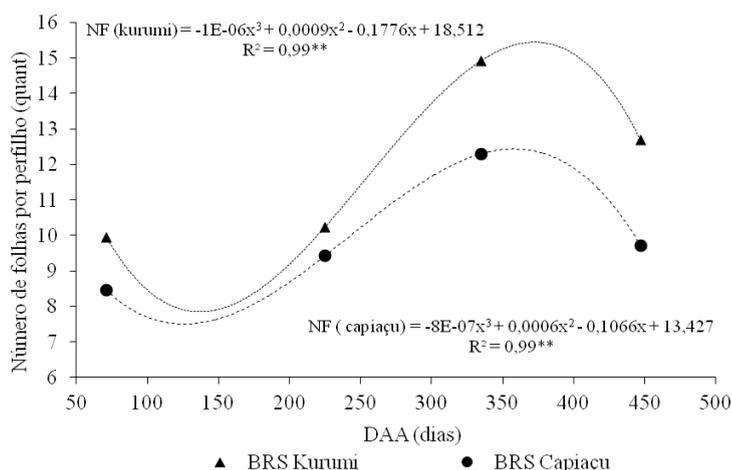


Figura 7 - Número de folhas por perfilho (quantidade) das cultivares de capim elefante BRS Kurumi e BRS Capiaçú em função do número de dias após a aplicação do biochar (dias após aplicação - DAA)
Fonte: A autora (2022).

Em relação à variável massa pré-seca a 65°C (MS65°C), ocorreu ajuste dos dados ao modelo quadrático descendente para as duas cultivares (Fig. 8). A cultivar BRS

Capiaçu apresentou maior massa pré-seca a 65 °C que a BRS Kurumi. Isso pode ser justificado pelas características distintas das duas cultivares, sendo a cultivar BRS Kurumi de menor porte e menor teor de fibras. A BRS Capiaçu caracteriza-se por ser uma cultivar de porte mais alto, com maior peso de colmo. Apesar de o peso das folhas não diferir muito, o peso dos colmos é o principal responsável pela massa total de cada cultivar que apresenta maior teor de fibras.

A cultivar BRS Kurumi caracteriza-se por apresentar elevado valor nutritivo, com teores de 20,5% de proteína bruta e de 53,6% de fibra detergente neutro). Já a cultivar BRS Capiaçu normalmente apresenta cerca de 8% de proteína bruta e 65% de fibra em detergente neutro, se fornecida com 60 a 70 dias de idade PEREIRA, A. V. *et al.*, (2021).

Os menores resultados de massa pré-seca a 65 °C encontrados por volta da 2ª avaliação podem ser devidos ao fato de as plantas de capim terem atingido o tamanho padrão para corte em um menor intervalo de dias, e com isso, apresentarem maior teor de água e, conseqüentemente, menor teor de matéria seca. Na última avaliação, pode ter ocorrido o contrário, pois houve maior intervalo de dias (111 dias, Tabela 4) para atingir altura de corte em razão da menor velocidade de crescimento atribuído à diminuição das temperaturas em maio de 2022.

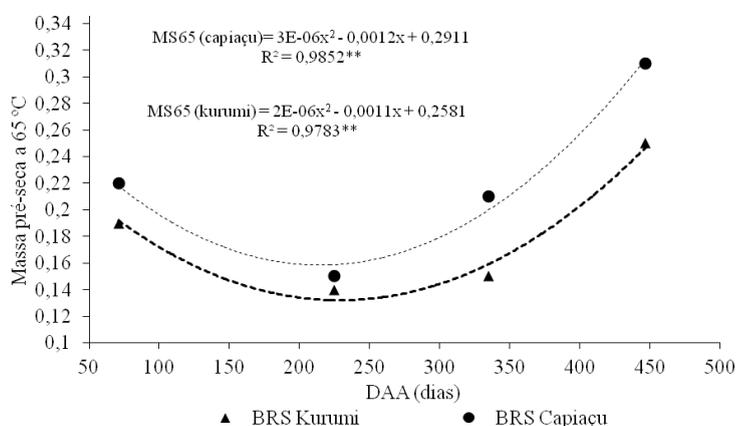


Figura 8 - Massa pré-seca a 65°C (%) das cultivares de capim elefante BRS Kurumi e BRS Capiaçu em função do número de dias após a aplicação do biochar (dias após aplicação - DAA)

Fonte: A autora (2022).

Avaliando o atributo teor de matéria seca (TMS) em relação a épocas de avaliação (Fig. 9), verificou-se que as duas cultivares se ajustaram também ao modelo quadrático descendente. O menor teor de matéria seca foi observado aos 200 dias após a aplicação do biochar para a cultivar BRS Capiaçu, com 0,14%. Já para a cultivar BRS Kurumi, aos 250 dias foi alcançado o menor de TMS, 0,12%.

O maior teor de matéria seca apresentado na última avaliação pode ser explicado da mesma forma que para massa pré-seca a 65 °C, tendo em vista que essas duas variáveis são similares, diferindo apenas no teor de umidade residual.

Segundo Pereira, A. V. *et al.* (2021), a partir dos 90 dias, a cultivar BRS Capiaçú tende a atingir o teor de MS de 18 a 20%. Já a BRS Kurumi, aos 75 dias, tende a atingir 15% de teor de MS (LEAL *et al.*, 2020). Os resultados obtidos nesse trabalho confirmam os resultados dos autores supracitados, exceto na segunda avaliação, com menor MS, influenciado provavelmente por fatores climáticos favoráveis para o rápido crescimento, atingindo altura de corte mais cedo.

Retore *et al.* (2021) notaram que o teor de MS do capim BRS Capiaçú aumentou com o avanço da idade de corte, resultado já esperado, pois conforme ocorre o processo de maturação da planta, há diminuição da proporção de folhas em relação aos colmos e, conseqüentemente, aumento do teor de fibra.

No manejo de capineiras, a idade de corte influencia seu rendimento e sua qualidade. Quanto maior o intervalo de dias, maior a quantidade de massa seca e o declínio no valor nutritivo (LEAL *et al.*, 2020).

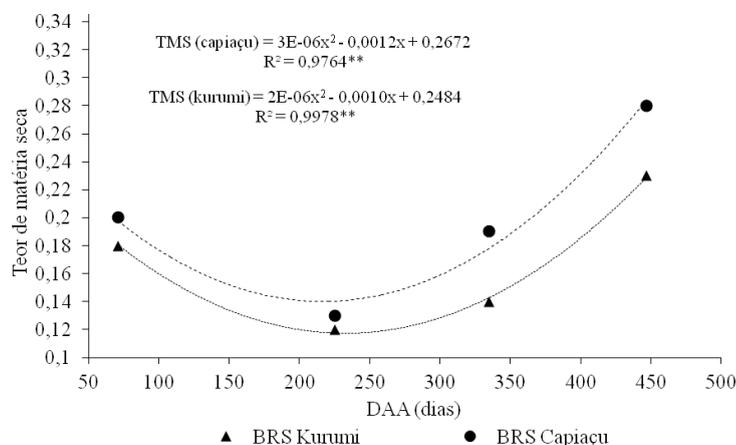


Figura 9 - Teor de matéria seca (%) das cultivares de capim elefante BRS Kurumi e BRS Capiaçú em função do número de dias após a aplicação do biochar (dias após aplicação - DAA)
 Fonte: A autora (2022).

Em relação à produtividade de folhas verdes (PFV), observa-se que as duas cultivares se ajustaram ao modelo quadrático (ascendente), comportamento oposto ao teor de matéria seca, sendo que a BRS Capiaçú apresentou menor PFV que a cultivar BRS Kurumi. Respectivamente, BRS Kurumi e BRS Capiaçú apresentaram seus pontos de máximo de PFV referentes à segunda avaliação (94 dias de rebrota) aos 255 e 278 dias, com 29,57 e 27,44 t ha⁻¹. A partir desses pontos, há redução da produtividade de folhas

verdes para as duas cultivares (Fig. 10). Esses resultados confirmam os de Retore *et al.* (2021) e colaboradores, que observaram maior proporção de folhas para as plantas de BRS Capiaçú manejadas com intervalos de cortes de 90 dias.

Esse comportamento oposto ao TMS pode ser devido ao intervalo de dias entre os cortes, tendo, assim, mais material verde que material senescente quando o tempo de rebrota para atingir a altura de corte foi menor. Pode ser atribuído também às características climáticas do período de avaliação com temperaturas mais elevadas e maior fotoperíodo. A última avaliação, além de ter tido maior senescência de folhas, em razão do maior período de rebrota, teve ataque da cigarrinha das pastagens.

O atributo produtividade de folhas verdes tem chamado a atenção de técnicos e pesquisadores sendo um dos fatores relacionados à maior produção de carne e leite, pois quando o animal consome mais folhas e menos talos, ele ingere volumoso de melhor qualidade nutricional. Isso tem buscado orientar o manejo para menor período de ocupação e maior altura de corte das forrageiras, ou seja, “consumo das pontas do capim”.

Gontijo Neto *et al.* (2006) afirmam que a maciça presença de folhas, relativamente a outros componentes da planta, corresponde a uma condição importante para cumprir as necessidades nutricionais dos animais. As folhas são preferencialmente mais consumidas e nutritivas que os colmos (BRITO *et al.*, 2015).

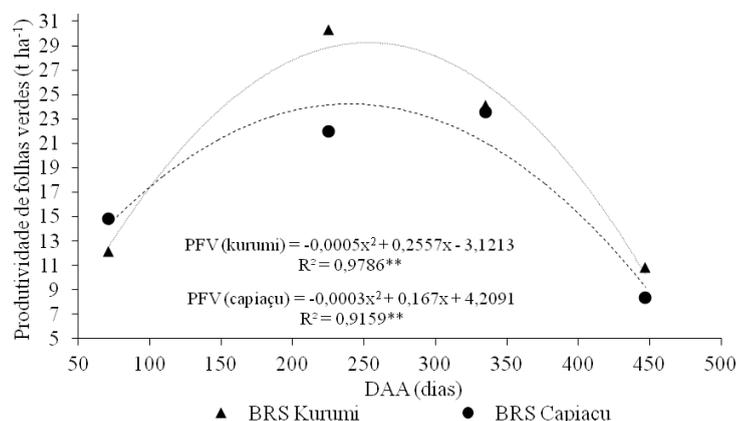


Figura 10 - Produção de folha verde ($t\ ha^{-1}$) das cultivares de capim elefante BRS Kurumi e BRS Capiaçú em função do número de dias após a aplicação do biochar (dias após aplicação - DAA)

Fonte: A autora (2022).

Quanto ao atributo produtividade de massa seca (PMS), ocorreu ajuste cúbico para a cultivar BRS Capiaçú e quadrático para a BRS Kurumi em relação às épocas de avaliação (Fig. 11). Na BRS Capiaçú, a PMS oscilou entre as épocas. As avaliações em épocas de chuva apresentaram melhores resultados, principalmente na segunda avaliação

dessa época, feita onze meses da aplicação do biochar. Os dados indicam possível efeito dos fatores água (chuva) e tempo decorrido da aplicação de biochar no solo para sua maior reação e benefícios para o sistema solo-planta.

Para a cultivar BRS Kurumi, a PMS foi menor que para a Capiaçú, mas se apresentando mais estável ao longo do período experimental. Assim como em outros atributos desse trabalho, PMS apresentou tendência de aumento com o passar do tempo chegando ao máximo valor aos 281,9 dias, com 8,18 t ha⁻¹.

Leal *et al.* (2020), estudando cultivares de capim elefante e intervalo de dias de corte, obtiveram maiores resultados de produtividade de massa seca (PMS) com corte feito aos 60 dias, no período da seca. A partir desse intervalo de dias, a PMS não alterou estatisticamente seus valores, mas teve tendência de apresentar menores resultados.

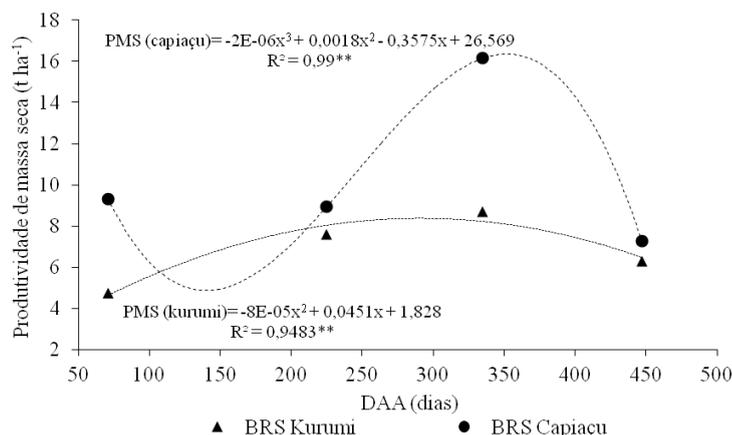


Figura 11 - Produção de massa seca (t ha⁻¹) das cultivares de capim elefante BRS Kurumi e BRS Capiaçú em função do número de dias após a aplicação do biochar (dias após aplicação - DAA)
 Fonte: A autora (2022).

A Figura 12 apresenta o desdobramento da interação cultivar x dose para a variável altura de planta. Observa-se que a BRS Capiaçú se ajustou ao modelo linear e a BRS Kurumi não teve ajuste significativo a modelos até 3ª ordem. A cultivar BRS Capiaçú teve pequeno decréscimo de AP em relação ao aumento das doses de biochar, com redução em 13,8 % entre a testemunha e a maior dose (24 t ha⁻¹). Para a cultivar BRS kurumi, observa-se que praticamente não houve resposta para esse atributo.

Petter *et al.* (2012), ao testar concentrações de biochar na produção de mudas de *Eucalyptus citriodora*, para o parâmetro morfológico altura de plantas, não observaram efeito significativo da aplicação de biochar. Todavia para a espécie *E. urophylla*, as concentrações de 30% e 60% do v/v proporcionaram os menores valores de altura de planta.

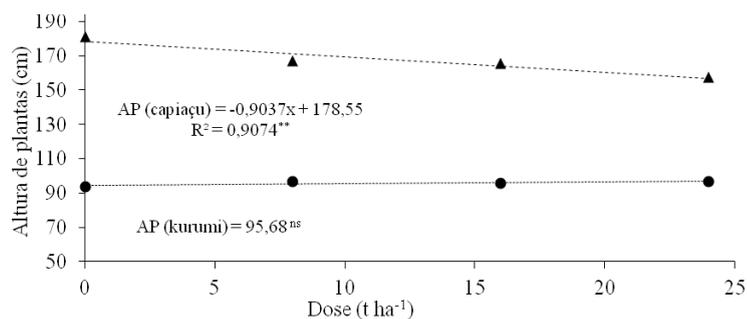


Figura 12 – Altura de plantas (cm) das cultivares de capim elefante BRS Kurumi e BRS Capiaçú em função de diferentes doses de biochar

Fonte: A autora (2022).

Analisando o efeito isolado de doses de biochar, a variável produtividade de massa seca (PMS) teve ajuste significativo ao modelo linear (Fig. 13). De forma geral, a produtividade diminuiu 28,8% entre a testemunha e a maior dose. Isso pode ter ocorrido pelo possível efeito hidrofóbico do biochar em razão da sua caracterização nutricional e do tempo de avaliação após a aplicação ter sido curto para reagir e então dar os resultados esperados.

Além disso, doses maiores indicam efeito decrescente na resposta das plantas, possivelmente, por estar interagindo de forma negativa com outros atributos de solo, como, por exemplo, imobilização de nutrientes em decorrência da relação C/N do material (PÖTTKER; ROMAN, 1994).

Zimmerman, Gao e Ahn (2011) verificaram que a adição de biochar produzido a partir de diferentes matérias-primas a diferentes temperaturas afetou claramente o solo. Isso foi atribuído pelos autores à decomposição (mineralização) do biochar em si, medida pela evolução de CO₂, bem como aos efeitos interativos com o solo. Os autores destacaram a importância do tempo necessário de a mistura solo+biochar se estabilizar, o chamado processo de maturação do biochar.

Alguns autores verificaram efeito de curto prazo da adição de biochar sobre o rendimento de diversas culturas (AGEGNEHU; NELSON; BIRD, 1999; GONZAGA *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2016). Existem relatos de que o biochar precisa de um tempo maior de reação no solo para expressar efeito sobre o rendimento das culturas. Major *et al.* (2010) avaliaram durante quatro anos o efeito do biochar (de madeira comercial) nas doses 0, 8 e 20 Mg ha⁻¹ sobre a retenção de cátions e a produtividade de soja e milho em um Latossolo, na Colômbia. O aumento na produtividade foi verificado a partir do segundo ano, sendo que a maior diferença entre as doses de biochar e o controle foi

verificada tão somente no quarto ano após a aplicação. As melhorias de produtividade foram atribuídas principalmente ao aumento do pH e à retenção de nutrientes no solo.

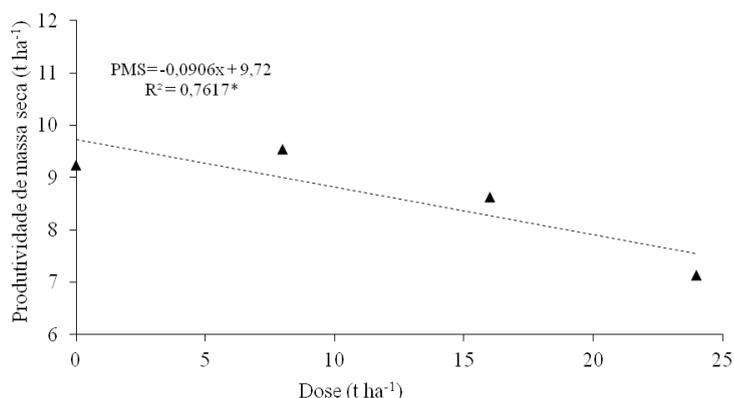


Figura 13 - Produtividade de massa seca (t ha⁻¹) da cultivar de capim elefante BRS Capiáçu em função de diferentes doses de biochar

Fonte: A autora (2022).

A Tabela 7 apresenta os resultados do teste de Tukey para as variáveis de crescimento para o fator isolado cultivar. Pode-se observar que houve diferença entre as cultivares para todas as variáveis, exceto para DC e PFV.

Observa-se que a cultivar BRS Kurumi mesmo sendo de porte baixo se destaca em alguns atributos morfométricos como número de perfilhos, elevada proporção de folhas, pequeno alongamento do colmo e elevada relação folha/caule. Esses atributos são favoráveis do ponto de vista da qualidade da forragem como já conhecido pelo maior teor de proteína bruta (PEREIRA, A. V. *et al.*, 2021).

Para o fator isolado doses, de forma geral, houve pequena tendência de variação para todos os atributos estudados, destacando-se BRS Capiáçu com tendência de diminuir o DC e PFV com o incremento de doses de biochar, e BRS Kurumi, em aumentar o NP e a relação F/C com o aumento da dose.

Verificou-se tendência de incremento da proteína bruta (PB) com aumento das doses para a cultivar BRS Kurumi e o inverso para a cultivar BRS Capiáçu.

Tabela 7 - Variáveis de crescimento e produção de cultivares de capim elefante sob doses de biochar

CV	DC		NP		NF	
Kurumi	11,97a		59,97a		11,96a	
Capiáçu	12,73a		44,53b		9,98b	
DOSE	BRS Kurumi	BRS Capiáçu	BRS Kurumi	BRS Capiáçu	BRS Kurumi	BRS Capiáçu
0	11,84	14,07	59,81	45,63	11,86	10,21
8	12,28	12,93	57,63	43,75	12,18	10,4
16	11,77	12,75	59,38	43	11,79	9,77
24	12,01	11,19	63,06	45,75	12,01	9,53

(Continua...)

Tabela 7 - Variáveis de crescimento e produção de cultivares de capim elefante sob doses de biochar (conclusão)

CV	MS65°		TMS		PFV	
Kurumi	0,18b		0,17b		19,36a	
Capiaçú	0,22a		0,20a		17,19a	
DOSE	BRS Kurumi	BRS Capiaçú	BRS Kurumi	BRS Capiaçú	BRS Kurumi	BRS Capiaçú
0	0,19	0,22	0,17	0,2	18,22	19,05
8	0,19	0,22	0,17	0,2	22,16	17,22
16	0,18	0,22	0,16	0,2	18,46	18,57
24	0,18	0,23	0,16	0,21	18,59	13,93
CV	PMV		F/C		PB	
Kurumi	45,03b		1,22a		8,90a	
Capiaçú	55,74c		0,85b		8,42b	
DOSE	BRS Kurumi	BRS Capiaçú	BRS Kurumi	BRS Capiaçú	BRS Kurumi	BRS Capiaçú
0	42,82	63,93	1,16	0,81	8,63	8,50
8	53,24	55,63	1,19	0,81	8,94	8,50
16	42,87	60,77	1,21	0,83	8,94	8,25
24	41,18	42,63	1,31	0,94	9,07	8,44

Fonte: A autora (2022).

Nota: Diâmetro do colmo (DC), número de perfilhos (NP), número de folhas (NF), massa pré-seca a 65°C (MS65), teor de matéria seca (TMS), produtividade de folhas verdes (PFV), produtividade de massa verde (PMV), relação folha/colmo (F/C) e proteína bruta (PB).

A Tabela 8 apresenta o resumo da análise de variância para fertilidade do solo. Observa-se que somente o atributo T (CTC – Capacidade de Troca Catiônica) apresentou interação cultivar x dose de biochar ($p < 0,05$), no entanto, os modelos não foram significativos até 3ª ordem. Para os fatores isolados dose e cultivar, apenas o fator cultivar teve efeito significativo, somente para o atributo K(ppm) ($p < 0,05$).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância (quadrado médio) de atributos de fertilidade de solo e cultivares de capim elefante sob diferentes doses de biochar

FV	GL	pH	MOS	Ca	Mg	K	H+Al
Cultivar (CV)	1	0,001 ^{ns}	3,85 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,011 ^{ns}	2,15 ^{ns}
Dose	3	0,027 ^{ns}	7,74 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,17 ^{ns}
CV * Dose	3	0,300 ^{ns}	1,86 ^{ns}	3,02 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,004 ^{ns}	1,71 ^{ns}
Bloco	3	0,774 ^{ns}	81,06 ^{ns}	6,48 ^{ns}	4,96 ^{ns}	0,003 ^{ns}	5,33 ^{ns}
Resíduo	21	0,378	4,77	1,82	0,60	0,003	0,59
Total corrigido	31	31	31	31	31	31	31
CV (%)	-	3,43	8,30	19,55	31,79	43,64	26,20
Média geral	-	5,67	26,32	6,90	2,43	0,13	2,94
FV	GL	Al	T	K ppm	P	V	m
Cultivar (CV)	1	0,003 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1818,05	2,00 ^{ns}	129,00 ^{ns}	0,70 ^{ns}
Dose	3	0,003 ^{ns}	3,09 ^{ns}	690,77 ^{ns}	40,25 ^{ns}	10,17 ^{ns}	0,29 ^{ns}
CV * Dose	3	0,002 ^{ns}	12,01 [*]	281,38 ^{ns}	3,41 ^{ns}	18,62 ^{ns}	0,60 ^{ns}
Bloco	3	0,089 ^{ns}	16,81 ^{ns}	1256,28 ^{ns}	23,61 ^{ns}	302,89 ^{ns}	12,24 ^{ns}
Resíduo	21	0,007	3,61	317,08	26,15	38,53	0,71
Total corrigido	31	31	31	31	31	31	31
CV (%)	-	47,30	15,33	35,67	54,76	8,19	52,77
Média geral	-	0,18	12,39	49,93	9,34	75,82	1,60

Fonte: A autora (2022).

Nota: Grau de liberdade (GL), cultivar (CV), dose (D), interação cultivar x dose (CV x D), bloco (BL). pH, matéria orgânica do solo (MOS), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), acidez total (H+Al), capacidade total de troca de cátions (T), (K ppm), fósforo (P), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m). Coeficiente de variação (CV%), * significativo a 5% e ^{ns} não significativo.

A Tabela 9 apresenta os resultados do teste de Tukey para os atributos estudados do solo para o fator isolado cultivar. Observou-se diferença estatística entre as cultivares apenas para o atributo K, tendo a cultivar BRS Capiaçú apresentado melhor resultado.

Embora não significativo estatisticamente, o teor de P no solo aumentou 66,4% com a adição de 16 t ha⁻¹ de biochar em relação ao controle. Madari *et al.* (2006) também observaram elevação dos teores de P com uso de biochar no cultivo de arroz de terras altas em solo argiloso.

Não foram verificadas alterações significativas nas concentrações de matéria orgânica com uso de biochar, o que pode estar diretamente ligado ao curto prazo de avaliação. Novos estudos devem ser conduzidos para verificar se, com o decorrer do tempo de incubação do biochar no solo, pode ocorrer alteração da matéria orgânica.

Da mesma forma, observou-se também que a CTC aumentou 10,4% com a utilização de 24 t ha⁻¹ de biochar em comparação com a dose zero. As características da carga de superfície e o seu desenvolvimento ao longo do tempo determinarão o efeito a longo prazo sobre a agregação do solo. O biochar depois de algum tempo geralmente apresenta uma CTC alta, estendendo seu potencial para atuar como agente de ligação de matéria orgânica e sais minerais. A elevada área de superfície do biochar pode, assim, levar ao aumento de retenção de água, mas o efeito dependerá da textura do solo (KARHU *et al.*, 2011).

Tabela 9 - Valores médios de pH, MO, Ca, Mg, K, H+Al, Al, T, Kppm, P, V, m em análise de rotina após 472 dias da aplicação diferentes doses de biochar em cultivares de capim elefante

	pH	MO	Ca	Mg	K	H+Al
	-	g kg ⁻¹	-----cmolc dm ⁻³ -----			
BRS Kurumi	5,66 ^a	25,98 ^a	6,86 ^a	2,29 ^a	0,11 ^a	2,68 ^a
BRS Capiaçú	5,68 ^a	26,67 ^a	6,94 ^a	2,57 ^a	0,14 ^a	3,20 ^a
Dose (t ha ⁻¹)						
0	5,73	27,63	6,56	2,39	0,14	2,78
8	5,71	25,94	7,25	2,51	0,10	2,88
16	5,61	26,43	6,61	2,09	0,14	3,01
24	5,63	25,30	7,18	2,73	0,13	3,10
	Al	T	K ppm	P	V	m
	----cmolc dm ⁻³ ----		---mg dm ⁻³ ---		-----%-----	
BRS Kurumi	0,17 ^a	12,28 ^a	42,39 ^b	9,09 ^a	73,82 ^a	1,45 ^a
BRS Capiaçú	0,19 ^a	12,50 ^a	57,46 ^a	9,59 ^a	77,83 ^a	1,74 ^a
Dose (t ha ⁻¹)						
0	0,16	11,86	58,55	7,45	75,60	1,62
8	0,19	12,73	37,30	7,88	77,20	1,75
16	0,20	11,88	54,86	12,40	74,50	1,69
24	0,16	13,10	48,99	9,64	76,00	1,32

Fonte: A autora (2022).

Como pode se observar na Tabela 10, algumas correlações para a cultivar BRS

Kurumi entre variáveis (atributos) de crescimento e produção foram altas, e entre variáveis de crescimento/produção com variáveis de solo foram baixas.

Já para atributos de crescimento/produção com variáveis de solo, as correlações que mais se destacaram foram: Al com correlação alta e negativa para F/C; MOS com correlação positiva com MS65 e TMS; e Mg e T com PFV, PMV e PMS. Isso indica possível efeito do biochar na melhoria desses atributos de solo e, conseqüentemente, melhoria da produção de capim elefante, o que precisa ser mais bem estudado com maior tempo de reação do biochar.

Diferentemente da cultivar BRS Kurumi, para a cultivar BRS Capiáçu (Tabela 11), houve menos correlações altas, inclusive entre variáveis de crescimento/produção. As correlações entre variáveis de solo e morfometria/produção que mais se destacaram foram: MOS, de forma positiva com MS65, e Al, de forma negativa com a mesma variável. Já K(ppm) se correlacionou de forma positiva com a variável AP.

Tabela 10 - Matriz de correlação de Pearson para atributos de crescimento, produção de BRS Kurumi e fertilidade do solo após 447 dias da aplicação de diferentes doses de Biochar

	DC	NF	AP	NP	MS65	TMS	PFV	PMV	PMS	FC	Ca	Mg	MOS	H+Al	Al	T	K	P	V	PB	
DC	1,00																				
NF	0,58 ^{ns}	1,00 ^{**}																			
AP	0,38 ^{ns}	0,68 ^{ns}	1,00 ^{**}																		
NP	0,49 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1,00 ^{**}																	
MS65	0,39 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,52 ^{ns}	1,00 ^{**}																
TMS	0,40 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1,00 ^{**}	1,00 ^{**}															
PFV	0,53 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,48 ^{**}	1,00 ^{**}														
PMV	0,54 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,78 [*]	0,53 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,99 ^{**}	1,00 ^{**}													
PMS	0,54 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,74 [*]	0,54 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,98 ^{**}	0,99 ^{**}	1,00 ^{**}												
FC	-0,50 ^{ns}	-0,85 ^{**}	-0,81 ^{**}	-0,31 ^{ns}	-0,68 ^{ns}	-0,71 ^{ns}	-0,64 ^{ns}	-0,72 ^{ns}	-0,72 ^{ns}	1,00 ^{**}											
Ca	0,32 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,46 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	1,00 ^{**}										
Mg	0,35 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,57 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,76 [*]	1,00 ^{**}									
MOS	0,21 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,34 ^{ns}	-0,68 ^{ns}	0,08	-0,27 ^{ns}	1,00 ^{**}								
H+Al	-0,50 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,15	-0,42 ^{ns}	0,50 ^{ns}	1,00 ^{**}							
Al	-0,63 ^{ns}	-0,64 ^{ns}	-0,62 ^{ns}	-0,63 ^{ns}	-0,70 ^{ns}	-0,71 ^{ns}	-0,68 ^{ns}	-0,70 ^{ns}	-0,71 ^{ns}	0,80 ^{**}	-0,33	-0,32 ^{ns}	-0,38 ^{ns}	0,12 ^{ns}	1,00 ^{**}						
T	0,13 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,48 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,91 ^{**}	0,74 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,18 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	1,00 ^{**}					
K	-0,16 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,00 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,04	-0,23 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,23 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1,00 ^{**}				
P	-0,06 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,18 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,31 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	0,08	-0,28 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,52 ^{ns}	1,00 ^{**}			
V	0,54 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,30 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,34 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,62	0,78 [*]	-0,44 ^{ns}	-0,85 ^{**}	-0,22 ^{ns}	0,35 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	1,00 ^{**}		
PB	-0,27 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,40 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,23 ^{ns}	-0,41	-0,01 ^{ns}	-0,47 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,16 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	1,00 ^{**}	

Fonte: A autora (2022).

Nota: Diâmetro de colmo (DC), número de folhas (NF), altura de planta (AP), número de perfilhos (NP), massa pré-seca a 65°C (MS65°), teor de massa seca (TMS), produtividade de folha verde (PFV), produtividade de massa verde (PMV), produtividade de massa seca (PMS), relação folha/colmo (F/C), cálcio (Ca), magnésio (Mg), matéria orgânica do solo (MOS), acidez total (H+Al), capacidade total de troca de cátions (T), potássio(K), fósforo (P), saturação por bases (V), proteína bruta (PB). ** significativo a 1% * significativo a 5% e ^{ns} não significativo

Tabela 11 - Matriz de correlação de Pearson para atributos de crescimento, produção de BRS Capiacu e fertilidade do solo após 447 dias da aplicação de diferentes doses de Biochar

	DC	NF	AP	NP	MS65	TMS	PFV	PMV	PMS	FC	Ca	Mg	MOS	H+AL	AL	T	K	P	V	PB	
DC	1,00																				
NF	0,82**	1,00**																			
AP	0,02 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	1,00**																		
NP	0,08 ^{ns}	0,27 ^{ns}	-0,72 ^{ns}	1,00																	
MS65	-0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,32**	1,00**																
TMS	0,07 ^{ns}	0,11 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,95**	1,00**															
PFV	0,71 ^{ns}	0,69 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	0,42 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	1,00**														
PMV	0,78*	0,69 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,35 ^{ns}	-0,31 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,97**	1,00**													
PMS	0,82*	0,72 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,33 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,97**	0,97**	1,00**												
FC	-0,53 ^{ns}	-0,35 ^{ns}	-0,44 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,37 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	1,00**											
Ca	-0,03 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,00	0,03 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	1,00**										
Mg	-0,09 ^{ns}	-0,33 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,19 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,38 ^{ns}	0,74*	1,00**									
MOS	0,33 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,11 ^{ns}	-0,50 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,38 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	1,00**								
H+Al	0,06 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,56 ^{ns}	1,00**							
Al	-0,16 ^{ns}	0,18 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,29 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,34 ^{ns}	-0,33 ^{ns}	-0,51 ^{ns}	-0,54 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	1,00**						
T	-0,03 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	0,12 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,23 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,40 ^{ns}	0,89**	0,80**	0,19 ^{ns}	0,28 ^{ns}	-0,52 ^{ns}	1,00**					
K	0,31 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,61 ^{ns}	-0,43 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,21 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,22 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	1,00**				
P	-0,27 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	0,26 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,26 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,16 ^{ns}	1,00**			
V	-0,12 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,21 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,61 ^{ns}	-0,48 ^{ns}	-0,84**	0,01 ^{ns}	0,27 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	0,27 ^{ns}	1,00**		
PB	0,32 ^{ns}	0,26 ^{ns}	-0,31 ^{ns}	0,30 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,34 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,16 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	0,11 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,42 ^{ns}	1,00**	

Fonte: A autora (2022).

Nota: Diâmetro de colmo (DC), número de folhas (NF), altura de planta (AP), número de perfilhos (NP), massa pré-seca a 65°C (MS65°), teor de massa seca (TMS), produtividade de folha verde (PFV), produtividade de massa verde (PMV), produtividade de massa seca (PMS), relação folha/colmo (F/C), cálcio (Ca), magnésio (Mg), matéria orgânica do solo (MOS), acidez total (H+Al), capacidade total de troca de cátions (T), potássio(K), fósforo (P), saturação por bases (V), proteína bruta (PB). ** significativo a 1% * significativo a 5% e ^{ns} não significativo.

5 CONCLUSÕES

Considerando este estudo, pode-se concluir que:

- a) doses de biochar influenciaram na altura de plantas das cultivares de capim elefante BRS Capiacu e BRS Kurumi;
- b) os atributos morfométricos e de produção das cultivares estudadas são influenciados isoladamente pelas cultivares;
- c) a resposta de época após aplicação do biochar depende da cultivar e indica que os fatores climáticos podem ter sobreposto o possível efeito do biochar;
- d) as variáveis de produtividade e proteína bruta não apresentaram melhorias com a aplicação de biochar nas condições deste estudo; e
- e) o biochar utilizado proporciona efeito menor que o esperado em capim elefante devendo ser mais bem estudado com maior tempo de reação com o solo.

6 REFERÊNCIAS

- AGEGNEHU, G.; NELSON, P. N.; BIRD, M. I. Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols. **Soil and Tillage Research**, v. 160, p. 1-13, 2016.
- ALMEIDA, A. N. **Atributos químicos e físicos de latossolo decorrentes da aplicação de pó de metabasalto**. 2018, 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS. 2018. Disponível em: <http://tede.upf.br/jspui/bitstream/tede/1659/2/2018AdrianoNunesAlmeida.pdf> . Acesso em: 22 mar. 2022.
- ALMEIDA, B. G. de. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-18112008-100808/>. Acesso em: 17 jul. 2022.
- ALVES, F. G. da S. Características morfogênicas, estruturais, produção e composição química do capim-elefante cv. carajás adubado com ureia convencional e protegida. 2017. 52 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/33158> Acesso em: 4 mar. 2022.
- ALVES, P. F. da S.; SAMPAIO, R. A.; KONDO, M. K.; FERREIRA, V. G.; PEGORARO, R. Pó de rocha como condicionador de solo para o feijoeiro no norte de Minas Gerais. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, e45101018331, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18331>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/353814896_Po_de_rocha_como_condicionador_de_solo_para_o_feijoeiro_no_norte_de_Minhas_Gerais Acesso em: 23 jan. 2022.
- AMORIM, D. S., SILVA, A. L., SOUSA, S. V., 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**, 3, 215-237, 2017. DOI: <https://doi.org/10.21674/2448-0479.31.215-237> Disponível em: <http://revista.uergs.edu.br/index.php/revuergs/article/view/506> Acesso em: 6 mar. 2022.
- ANDERSON, W.; CASLER, M.; BALDWIN, B. S. Improvement of perennial forage species as feedstock for bioenergy. In: VERMERRIS, W. (ed.). **Genetic Improvement of Bioenergy Crops**. Gainesville: Springer, p. 308-345, 2008. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1249&context=usdaarsfacpub> Acesso em: 24 abr. 2022.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 3, p. 677-687, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/rc4xH8TQcVtBfKnnBFB8zjJ/abstract/?lang=pt> . Acesso em: 28 abr. 2022.

BIRD, M. I., MOYO, C., VEENEDAAL, E. M., LLOYD, J., FROST, P. Stability of carbon in savanna soil. **Global Biochemical Cycles**, Washington, v. 13, n. 4, p. 923-932, 1999. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/1999GB900067> . Acesso em: 3 mai. 2022.

BOLLIGER, A.; MAGID, J.; AMADO, T.J.C.; SKÓRANETO, F.; SANTOS RIBEIRO, M.F.; CALEGARI, A.; RALISCH, R.; NEERGAARD, A. Taking Stock of the Brazilian “Zero Till Revolution”: A Review of Landmark Research and Farmers’ Practice. **Advances in Agronomy**, v.91, p. 47-110, 2006. Disponível em: [https://plen.ku.dk/english/employees/?pure=en%2Fpublications%2Ftaking-stock-of-the-brazilian-zero-till-revolution\(28a4ec40-a1c1-11dd-b6ae-000ea68e967b\)%2Fexport.html](https://plen.ku.dk/english/employees/?pure=en%2Fpublications%2Ftaking-stock-of-the-brazilian-zero-till-revolution(28a4ec40-a1c1-11dd-b6ae-000ea68e967b)%2Fexport.html). Acesso em: 4 maio 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas, 2017. 86 p. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c639ac44-8151-421d-a1ed-c333392d76a9> . Acesso em: 20 fev. 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada/Agência Nacional de Águas e s Saneamento Básico. - 2.ed. -- Brasília: ANA, 2021. Disponível em:** <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b> . Acesso em: 20 fev. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Projeto TerraClass Cerrado: mapeamento do uso e cobertura vegetal do Cerrado**. Brasília, DF, 2015. 67 p. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/Metodologia_TCCerrado_2013.pdf . Acesso em: 13 jan. 2022.

BRITO, R. R.; GRASSI FILHO, H.; SAAD, J. C. C.; OLIVEIRA, S. R. M. Produtividade do feijoeiro sob diferentes potenciais matriciais e fatores de depleção da água no solo. **Nativa, Sinop**, v. 03, n. 02, p. 109-114, 2015. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/2039> . Acesso em: 20 abr. 2022.

BRUNKEN, J. N. A systematic study of Pennisetum Sect. Pennisetum (Graminae). **American Journal of Botany**, v. 64, p. 161-176, 1977. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2442104> . Acesso em: 6 mar. 2022.

CAIRES, E. F.; HALISKI, A.; BINI, A. R.; SCHARR, D. A. Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil. **European Journal of Agronomy**, v.66, p.41-53, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.02.008> Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030115000210?via%3Dihub> Acesso em: 15 mar. 2022.

CAMARGO, A. C. de; NOVAES, N. J.; NOVO, A. L. M.; MENDONÇA, F. C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; FAVARETTO, M. R. M.; MARQUES, W.; TOSCANO, J. F.; SANCHES, I. C.; RIBEIRO, W. M.; FARIA, V. P. **Projeto Balde Cheio**: Transferência de tecnologia na produção leiteira: estudo de caso do sítio São Nhandeara, J. de. SP. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006. 8 p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Comunicado Técnico, 71). Disponível em <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/47056> . Acesso em: 7 jan. 2022.

CANTRELL, K. B.; HUNT, P. G.; UCHIMIYA, M.; NOVAK, J. M.; RO, K. S. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. **Bioresource technology**, v. 107, p. 419–428, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852411016956> . Acesso em: 14 maio 2022

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de köppen-geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.8, n.16, p.40-55, 2014. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/15047> . Acesso em: 16 dez. 2021.

CARVALHO, W. T. V.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILANOVA, D. F. Q.; MAURICIO, R. M.; PEREIRA, R. V. G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **PUBVET**, v.11, n.10, p.1036-1045, out, 2017. Disponível em: <https://www.pubvet.com.br/artigo/4110/pastagens-degradadas-e-teacutecnicas-de-recuperaccedilatildeo-revisatildeo> . Acesso em: 3 jan. 2022.

CASTRO, G. S. A. **Atributos do solo decorrentes dos sistemas de produção e da aplicação superficial de corretivos**, 2012. 155p. Tese (Doutorado em Agronomia – Agricultura - FCA) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu. Faculdade de Ciências Agrônomicas, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/99938> <http://hdl.handle.net/11449/99938>. Acesso em: 4 jan. 2022.

CAVALCANTE, M., LIRA, M.A. Variabilidade genética em *Pennisetum purpureum* Schumacher. *Revista Caatinga*, 23:153-163, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277166878_VARIABILIDADE_GENETICA_EM_Pennisetum_purpureum_Schumacher . Acesso em: 12 mar. 2022.

CEZAR, I. M.; QUEIROZ, H. P.; THIAGO, L. R. L. S.; CASSALES, F. L. G. E.; COSTA, F. P. Uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate. **Documentos Embrapa Gado de Corte**. *Embrapa Gado de Corte*, v.151, Campo Grande, 2005. Disponível em: https://old.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/doc/doc_pdf/doc151.pdf . Acesso em: 4 jan. 2022.

CHAN, K. Y.; ZWIETEN, L. Van.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. D. Using poultry litter biochars as soil amendments. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, n. 5, p. 437-444, 2008. DOI:10.1071/SR08036. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/240506248_Using_poultry_litter_biochars_as_soil_amendments . Acesso em: 10 maio 2022.

CORREIA, J. R.; REATTO, A.; SPERA, S. T. Solos e suas relações com o uso e o manejo. Capítulo 1, p. 29-58. *In*: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2.ed. 2004. 416p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/555355/cerrado-correcao-do-solo-e-adubacao> . Acesso em: 28 mar. 2022.

DERESZ, F.; MOZZER, O. L. Produção de leite em pastagem de capim-elefante. *In*: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F.; CARVALHO, L. de A. (ed.). **Capim-elefante: produção e utilização**. 2.ed. rev. Juiz de Fora: Embrapa-CNPGL, 1997. p. 189-208. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35644/1/CIT15.pdf> . Acesso em: 14 mar. 2022.

DORAN, J. W.; SAFLEY, M.; PANKHURST, C.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. **Defining and assessing soil health and sustainable productivity. Biological indicators of soil health**, p.1-28, 1997. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US1997059134> . Acesso em: 11 mar. 2022.

DRUMOND, L. C. da. **Aplicação de água residuária de suinocultura por aspersão em malha: desempenho hidráulico e produção de matéria seca de Tifton 85**. 2003. 102p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/vtt-11116> . Acesso em: 14 fev. 2022.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solo: 4ª aproximação. Rio de Janeiro, 1997. 169 p.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

GOMIDE, C. A. M.; CHAVES, C. S.; RIBEIRO, K. G.; SOLLENBERGER, L. E.; PACIULLO, D. S. C.; PEREIRA, T. P.; MORENZ, M. J. F. Structural traits of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) genotypes under rotational stocking strategies. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 32, p. 1-7, 2014. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2989/10220119.2014.930929> . Acesso em: 17 mar. 2022.

GOMIDE, C. A. M.; PACIULLO, D. S. C.; LEDO ou LÉDO, F. J. da S.; PEREIRA, A. V.; MORENZ, M. J. F.; BRIGHENTI, A. M. **Informações sobre a cultivar de capim-elefante BRS Kurumi**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2015. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 75). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1015855/informacoes-sobre-a-cultivar-de-capim-elefante-brs-kurumi> . Acesso em: 18 mar. 2022.

GONTIJO NETO, M. M.; EUCLIDES, V. P. B.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; MIRANDA, L.F.; FONSECA, D.M.; OLIVEIRA, M.P. Consumo e tempo de pastejo por novilhos Nelore em pastagem de capim-tanzânia sob diferentes ofertas de forragem.

Revista Brasileira de Zootecnia, v.35, n.1, p.60-66, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/tnzSRK67LR4ZrCs3xrNLXbH/abstract/?lang=pt> . Acesso em: 16 mar. 2022.

GONZAGA, M. I. S.; MACKOWIAK, C.; ALMEIDA, A. Q. .; CARVALHO JUNIOR J. I. T.; ANDRADE, K. R. Positive and negative effects of biochar from coconut husks, orange bagasse and pine wood chips on maize (*Zea mays* L.) growth and nutrition. **Catena**, v. 162, p. 414-420, 2018. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183097533> . Acesso em: 9 mar. 2022.

GSST. Glossary of Soil Science Terms. **Soil Science Society of America**. Madison: SSSA. 2008. Print ISBN:9780891188513 |Online ISBN:9780891188957 Book Series:ASA, CSSA, and SSSA Books. |DOI:10.2136/2008.glossarysoilscienceterms Disponível em: <https://www.soils.org/publications/soils-glossary/#> <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.2136/2008.glossarysoilscienceterms> Acesso em: 8 mai. 2022.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil em 2013**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. 40 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 106). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1008950> . Acesso em: 18 fev. 2022.

GUIMARÃES, L. A.; NARDI, G. de N. J.; OLIVEIRA, P. A. Análise e viabilidade econômica em um sistema de confinamento para a terminação de gado de corte anelado. **Tekhne e Logos**, Botucatu, SP, v.8, n.1, abril, 2017. Disponível em: <http://revista.fatecbt.edu.br/index.php/tl/article/view/459> . Acesso em: 4 jan. 2022.

HANNA, W. W.; CHAPARRO, C. J.; MATHEWS, B. W.; BURNS, J. C.; SOLLENBERGER, L. E.; CARPENTER, J. R. Perennial Pennisetums. In: MOSER, L. E.; BURSON, B. L.; SOLLENBERGER, L. E. (ed.). Warm-Season (C4) Grasses. Madison: ASA; CSSA; SCSA, 2004. p. 503-535. (American Society of Agronomy Monograph, 45). Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronmonogr45.c1> Acesso em: 26 mar. 2022.

HOMAGAIN, K.; SHAHI, C.; LUCKAI, C.; SHARMA, M. Life cycle cost and economic assessment of biochar-based bioenergy production and biochar land application in Northwestern Ontario, Canada. **Forest Ecosystems**, v. 3, n. 1, p. 21, 2016. Disponível em: <https://forestecosyst.springeropen.com/articles/10.1186/s40663-016-0081-8> Acesso em: 13 mar. 2022

HOSSAIN, M. K.; STREZOV, V.; CHAN, K. Y.; ZIOLKOWSKI, A.; NELSON, P. F. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. **Journal of environmental management**, v. 92, n. 1, p. 223–228, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20870338/> . Acesso em: 11 maio 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**: Resultados Definitivos. 2017. Disponível em:

https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html. Acesso em: 4 ago. 2022.

IBI - International Biochar Initiative. **Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil**. versão 2.1, nov. [S.l.], 2015. Disponível em: https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI_Biochar_Standards_V2.1_Final.pdf . Acesso em: 8 maio 2022.

ITALIANO, E. C. **Recomendações para o cultivo e utilização do capim-elefante**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 19 p.:il.; 21 cm. - (Embrapa Meio-Norte. Documentos: 98). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/68244> . Acesso em: 16 mar. 2022.

KARHU, K.; MATTILA, T.; BERGSTRÖM, I.; REGINA, K. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.140, p.309-313, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/251520323_Biochar_Addition_to_Agricultural_Soil_Increased_CH4_Uptake_and_Water_Holding_Capacity_-_Results_from_a_Short-Term_Pilot_Field_Study . Acesso em: 11 maio 2022.

KLOCKE, N. L.; CURRIE, R. S.; TOMSICEK, D. J.; KOEHN, J. W. Sorghum yield response to deficit irrigation. **Transaction of the ASABE**, v. 55, n. 3, p. 947-955, 2012. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/9402845.pdf> . Acesso em: 6 fev. 2022.

LATAWIEC, A. E.; STRASSBURG, B. B. N.; JUNQUEIRA, A. B.; ARAUJO, E.; MORAES, L. F. D. de; PINTO, H. A. N.; CASTRO, A.; RANGEL, M.; MALAGUTI, G. A.; RODRIGUES, A. F.; BARIONI, L. G.; NOVOTNY, E. H.; MENDES, M.; BATISTA, N.; GUERRA, J. G.; DOZONTA, E.; JAKOVAC, C.; HALE, S. E. Biochar amendment improves degraded pasturelands in Brazil: environmental and cost-benefit analysis. **Scientific Reports**, n.9, p.11993, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47647-x> . Acesso em: 12 mai. 2022.

LEAL, V. N.; MACHADO, R. L.; ARAUJO, L. C. de; GODOY, M. M. de; LINHARES, A. J. de S.; FERREIRA, J. C. Q.; LEOPOLDINO, L. de D.; SANTOS, E. A. dos; MIYAGI, E. S.. Produção e valor nutritivo de forragem de cultivares de capim-elefante em diferentes períodos de rebrotação. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, e41391110025, 2020. . Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10025> Acesso em: 12 jan. 2021.

LEHMANN, J.; CZIMCZIK, C.; LAIRD, D.; SOHI, S. P. Stability of biochar in soil. *In*: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (ed.). **Biochar for environment management**. London: Sterling: Earthscan Publ., p. 183-198, 2009. Disponível em: <https://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/First%20proof%202013-01-09.pdf> Acesso em: 9 maio 2022.

LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. **Amazonian dark earths: origin, properties, management**. Amsterdam: Kluwer Academic Publ., 2003a. 523 p. Disponível em: <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2389.2005.0756e.x> . Acesso em: 8 maio 2022.

LEHMANN, J.; SILVA JUNIOR.; J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments, **Plant and Soil**, v. 249, p. 343-557, 2003b. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1022833116184> . Acesso em: 23 abr. 2022.

LIMA, J. E. F. W. Situação e perspectivas sobre as águas do cerrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.63, n.3, jul. 2011. <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252011000300011> Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252011000300011&lng=pt&tlng=pt Acesso em: 6 fev. 2022.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. da. Análise da situação dos recursos hídricos do cerrado com base na importância econômica e socioambiental de suas águas. SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9 –SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2. ParlaMundi, Brasília, DF. 2008.. Disponível em: http://simposio.cpac.embrapa.br/simposio/trabalhos_pdf/00738_trab2_ap.pdf . Acesso em: 14 fev. 2022.

LIU, N.; CHARRUA, A. B.; WENG, C. H.; YUAN, X.; DING, F. Characterization of Biochars Derived from Agriculture Wastes and their Adsorptive Removal of Atrazine from Aqueous Solution: A Comparative Study. **Bioresource Technology**, v.198, p.55-62, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852415012353> . Acesso em: 7 maio 2022.

LOPES, A. S. **Solos sob Cerrado**: características, propriedades e manejo. Instituto da Potassa, Piracicaba, SP, 1983. 162 p. Disponível em: [https://biblioteca.incaper.es.gov.br/busca?b=ad&id=4162&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22LOPES,%20A.%20S.%22&qFacets=autoria:%22LOPES,%20A.%20S.%22&ort=&paginacao=t&paginaAtual=1](https://biblioteca.incaper.es.gov.br/busca?b=ad&id=4162&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22LOPES,%20A.%20S.%22&qFacets=autoria:%22LOPES,%20A.%20S.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1) . Acesso em: 2 abr. 2022.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Densidade e fertilidade do solo sob sistemas de plantio direto e de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Revista Ciências Agrárias**, v.55, p. 260-268, 2012. Disponível em: <https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/rca.2012.066> . Acesso em: 2 abr. 2022.

MACEDO, M. C. M. Pastagem no ecossistema Cerrados: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. *In*: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS, 1, 1995, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Zootecnia, p. 28-62, 1995. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Macedo-2/publication/325698028_PASTAGENS_NO_ECOSISTEMA_CERRADOS_EVOLUCAO_DAS_PESQUISAS_PARA_O_DESENVOLVIMENTO_SUSTENTAVEL/links/5b1eaf1da6fdcc69745be0a6/PASTAGENS-NO-ECOSISTEMA-CERRADOS-EVOLUCAO-DAS-PESQUISAS-PARA-O-DESENVOLVIMENTO-SUSTENTAVEL.pdf . Acesso em: 5 jan. 2022.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H. Sistemas integrados de lavoura-pecuária na região dos cerrados do Brasil. Trabalho apresentado no Simpósio Internacional em

Integração Lavoura-Pecuária, Curitiba, **Anais...** 2007; Pesquisadores da Embrapa Gado de Corte. Disponível em:

<https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/zootecnia/anaclaudiaruggieri/12.-sistemas-integrados-de-lavoura-pecuaria---cerrado.pdf> . Acesso em: 7 jan. 2022.

MADARI, B. E.; COSTA, A. R. da; CASTRO, L. M. de; SANTOS, J. L. S.; BENITES, V. de M.; ROCHA, A. de O.; MACHADO, P. L. O. de A. **Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar Primavera): um estudo prospectivo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/215275> Acesso em: 4 maio 2022.

MAIA, C. M. B. F. Finos de carvão: fontes de carvão estável e condicionador de solos [recurso eletrônico]. 1 CD-ROM. - (**Documentos/Embrapa Florestas**, ISSN 1679-2599; 200). Dados eletrônicos. - Colombo: Embrapa Florestas, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/876272> Acesso em: 26 abr. 2022.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant and Soil**, v. 333, n. 1, p. 117-128, 2010. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/226399803_Major_J_Rondon_M_Molina_D_Riha_SJ_Lehmann_J_Maize_yield_and_nutrition_during_4_years_after_biochar_application_to_a_Colombian_savanna_oxisol_Plant_Soil_333_117-128 . Acesso em: 11 mai. 2022.

MARTHA JUNIOR; BUENO, G.; VILELA, L. **Pastagens no cerrado: baixa produtividade pelo uso limitado de fertilizantes**. Embrapa Cerrados, 32 p. Planaltina; 2002. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/23083/1/doc_50.pdf . Acesso em: 26 mar. 2022.

MELO, J. C.; SANTOS, P. M. dos; SANTOS, A. C. dos; ALEXANDRINO, E.; PAULA NETO, J. J. de. Respostas morfofisiológicas do capim mombaça submetido a doses de resíduo líquido de laticínios. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 54, n. 3, p. 247-258, 2011. Disponível em:

<https://ajaes.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/345> . Acesso em: 23 abr. 2022.

MENDONÇA, F. de C. **Dimensionamento de sistemas de irrigação para pastagens em propriedades de agricultura familiar**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. Disponível em: <http://www.cppse.embrapa.br/servicos/publicacao gratuita/boletim-de-pesquisa-desenvolvimento/boletimp-d-10.pdf/view>. Acesso em: 15 jan. 2022.

MORENO, L. S. B.; PEDREIRA, C. G. S.; BOOTE, K. J.; ALVES, R. R. Base temperature determination of tropical *Panicum* spp. grasses and its effects on degree-day-based models. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 186, p. 26-33, 2014. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/259510897_Base_temperature_determination_of_tropical_Panicum_spp_grasses_and_its_effects_on_degree-day-based_models

Acesso em: 13 mar. 2022.

MUKHERJEE, A.; ZIMMERMAN, A. R. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures. **Geoderma**, v. 193-194, p. 122-130, 2013. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/256716583_Organic_carbon_and_nutrient_release_from_a_range_of_laboratory-produced_biochars_and_biochar-soil_mixtures

Acesso em: 06 mai. 2022.

MUNDA, S.; BHADURI, D.; MOHANTY, S.; CHATTERJEE, D.; TRIPATHI, R.; SHAHID, M.; KUMAR, U.; BHATTACHARYYA, P.; KUMAR, A.; ADAK, T.; JANGDE, H. K.; NAYAK, A. K. Dynamics of soil organic carbon mineralization and C fractions in paddy soil on application of rice husk biochar. **Biomass and bioenergy**, v. 115, p.1-9, 2018. Disponível em:

https://agris.fao.org/agris-search/search.do?jsessionid=266B5B0A5DF7F4CD30E7D131EA752535?request_locale=ar&recordID=US201800261451&query=&sourceQuery=&sortField=&sortOrder=&agrovocString=&advQuery=¢erString=&enableField=&aggregatorField=&typesResultsField= Acesso em: 25 abr. 2022.

NÓBREGA, I. P. C. **Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: Sequestro de Carbono no solo**. 46 p. Tese (Mestrado em). - Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa, 2011. Disponível em:

<https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/adubacao/EFEITOS%20DO%20BIOCHAR%20NAS%20PROPRIEDADES%20FISICAS%20E%20QUIMICAS%20DO%20SOLO%20-%20SEQUESTRO%20DE%20CARBONO%20DO%20SOLO.pdf> Acesso em: 4 maio 2022.

NOVOTNY, E. H.; AZEVEDO, E. R.; SOUZA, A. A.; SONG, G.; NOGUEIRA, C. M.; MANGRICH, A. S.; HAYES, M. H. B.; MADARI, B. E.; BONAGAMBA, T. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilization of charcoal for soil amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, n. 6, p. 1003-1010, 2009. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/jbchs/a/JJRVT8PKDf6jL9mNXTSgdk/?lang=en> Acesso em: 23 abr. 2022.

PEREIRA, A. V. (ed.). **Biologia e manejo do capim-elefante**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 1999. 16p.

PEREIRA, A. V.; AUAD, A. M.; SANTOS, A. M. B. dos; MITTELMANN, A.; GOMIDE, C. A. DE M., MARTINS, C. E., PACIULLO, D. S. C., LÉDO, F. J. das; OLIVEIRA, J. S. E.; LEITE, J. L. B.; MACHADO, J. C., MATOS, L. L. DE, MORENZ, M. J. F., ANDRADE, P. J. M., BENDER, S. E.; ROCHA, W. S. D. da. **BRS Capiacu e BRS Kurumi: cultivo e uso**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1131853/brs-capiacu-e-brs-kurumi-cultivo-e-uso> Acesso em: 16 dez. 2021.

PEREIRA, A.V.; LÉDO, F. J. da S.; MACHADO, J. C. BRS Kurumi and BRS Capiacu - New elephant grass cultivars for grazing and cut-and-carry system. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 17, p. 59-62, 2017. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/acre/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1072267/brs-kurumi-and-brs-capiacu---new-elephant-grass-cultivars-for-grazing-and-cut-and-carry-system>

Acesso em: 16 mar. 2022.

PEREIRA, A. V.; LEDO, F. J. da S.; MORENZ, M. J. F.; LEITE, J. L. B.; BRIGHENTI, A. M.; MARTINS, C. E.; MACHADO, J. C. **BRS Capiacu**: cultivar de capim-elefante de alto rendimento para produção de silagem. Comunicado Técnico 79 Embrapa Gado de Leite. Juiz de Fora, MG, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1056288/brs-capiacu-cultivar-de-capim-elefante-de-alto-rendimento-para-producao-de-silagem> Acesso em: 18 mar. 2022.

PEREIRA, A.V., MACHADO, M.A., AZEVEDO, A.L.S., DO NASCIMENTO, C.S., CAMPOS, A. L., DA SILVA LÉDO, F.J. Diversidade genética entre acessos de capim elefante obtida com marcadores moleculares. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:1216-1221, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/hxhxqFzDhvG5qxjDrZYYwCv/?lang=pt> Acesso em: 12 mar. 2022.

PEREIRA, J. R. C. **Potencial do biocarvão para a produção de milho e melhoria da qualidade do solo**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental para o Semiárido - PPGCTAS. Universidade de Pernambuco, Campus Petrolina, Petrolina-PE, 2019. 90f. 437p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195181/1/Dissertacao.Pereira.pdf> . Acesso em: 10 maio 2022.

PEREIRA, L. C.; LOMBARDI NETO, F. **Avaliação da aptidão agrícola das terras**: proposta metodológica. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/14508/avaliacao-da-aptidao-agricola-das-terras-proposta-metodologica> Acesso em: 21 out. 2021.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n.7, p. 761-768, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/QdpF8VmVnngZ5fPgv3LPbsj/?lang=en> . Acesso em: 8 maio 2022.

PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MARIMON JUNIOR, B. H.; GONÇALVES, L. G. V.; SOUZA, T. R. S. de. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de eucalipto. *Revista Caatinga*, v. 25, n. 4, p. 44-51, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/2597> . Acesso em: 9 maio 2022

PHAM, M.; CHIDEMAN. L.; SHARMA, B. K.; ZHANG, Y.; CHEN, W. T. Effects of hydrothermal liquefaction on the fate of bioactive contaminants in manure and algal feedstocks. *Bioresource technology*, v. 149, p. 126-135, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852413013825> . Acesso em: 29 abr. 2022.

PINHEIRO, V. D. **Viabilidade econômica da irrigação de pastagem de capim Tanzânia em diferentes regiões do Brasil**. 2002. 85f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-17072002-164519/pt-br.php> . Acesso em: 19 fev. 2022.

PÖTTKER, D. & ROMAN, E.S. Efeitos de resíduos de culturas e do pousio de inverno sobre a resposta do milho a nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 29, n. 5, p. 763-770, 1994. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212785/1/Efeito-de-residuos-de-culturas-e-do-pousio.pdf> . Acesso em: 15 fev. 2022.

QIAN, T.; ZHANG, X.; HU, J.; JIANG, H. Effects of environmental conditions on the release of phosphorus from biochar. *Chemosphere*, v. 93, n. 9, p. 2069-2075, 2013.

Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23958443/> . Acesso em: 27 abr. 2022.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. *In*: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo:**

Ecosistemas tropicais e subtropicais. 2 ed. rev. e atual. Porto Alegre, RS: Metropole, 2008, 654 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/548002/dinamica-da-materia-organica-na-regiao-dos-cerrados> . Acesso em: 11 jan. 2022.

RETORE, M.; ALVES, J. P.; ORRICO JÚNIOR, M. A.; GALEANO, E. J. Manejo do capim BRS Capiapu para aliar produtividade à qualidade. **Comunicado Técnico 263** – Embrapa. Dourados –MS, 2021. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1134720> . Acesso em: 19 mar. 2022.

SAMPAIO, R. L.; RESENDE, F. D.; REIS, R. A.; OLIVEIRA, I. M.; CUSTÓDIO, L.; FERNANDES, R. M.; PAZDIORA, R. D.; SIQUEIRA, G. R. The nutritional interrelationship between the growing and finishing phases in crossbred cattle raised in a tropical system. **Tropical Animal Health and Production**, Edinburgh, v. 49, n. 5, p. 1015-1024, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11250-017-1294-8> . Acesso em: 29 jan. 2022

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. A. DE; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO Filho, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. De & CUNHA, T. J. F. 2018. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ed.rev.ampl. Embrapa, Brasília, DF. 390 pp.

SANTOS, S. de L.; ARAÚJO, M. S.; CAMPOS, A. C.; SILVA, J. J. F. S.; COSTA, P. da S. Formação e manejo de capineiras como estratégia para convivência com a seca no semiárido. CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 1, **Anais....**2016. Disponível em:

<https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/23844> . Acesso em: 11 jan. 2022.

SILVA, M. A. S. da; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. de M.; BERNARDES, T. G.; SOUZA, R. de O.; OLIVEIRA, F. B. de. Efeito da aplicação de biochar sobre propriedades químicas do solo e produtividade de feijoeiro comum irrigado. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 10., 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2011. Disponível em:

<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/916049> Acesso em: 6 maio 2022.

SILVA, R. de K. R. e. Propostas de aproveitamento de resíduos de ardósia da cidade de Pompéu, Minas Gerais. **Revista Intercâmbio**, v.6, p.86-95, 2015. SSN -2176-669X. Disponível em: <https://silo.tips/download/propostas-de-aproveitamento-de-residuos-de-ardosia-da-cidade-de-pompeu-minas-ger> Acesso em: 23 abr. 2022.

SILVEIRA, M. L., ALLEONI, L. R. F., CHANG, A. Condicionadores químicos de solo e retenção e distribuição de cádmio, zinco e cobre em latossolos tratados com biossólido. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v.32, n.3, p.1087-1098, 2008.

SILVEIRA, M. T. da; TRENTIN, G. Manejo para pastagens irrigadas: fundamentos e recomendações. PDF, 44 p. — (**Documentos/Embrapa Pecuária Sul**, ISSN 1982-5390; 163) Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2019. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1117383> . Acesso em: 9 fev. 2022.

SINGH, B.; SINGH, B. P.; COWIE, A. L. Characterization and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. **Soil Research**, v. 48, n. 7, p. 516-525, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/221899792_Characterisation_and_evaluation_of_biochars_for_their_application_as_soil_amendment . Acesso em: 19 maio 2022.

SINGH, C.; TIWARI, S.; GUPTA, V. K.; SINGH, J. S. The effect of rice husk biochar on soil nutrient status, microbial biomass and paddy productivity of nutrient poor agriculture soils. **Catena**, v. 171, p. 485-493, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816218303199#!> Acesso em: 2 maio 2022.

SOARES FILHO, C. V.; MONTEIRO, F. A.; CORSI, M. Recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria decumbens*. 2. Variação sazonal de parâmetros bioquímico-fisiológicos. **Pasturas Tropicais**, n.14, p.7-13, 1992b. Disponível em: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Vol14_rev2_a%C3%B1o92_art3.pdf Acesso em: 14 jan. 2022.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A review of biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, v. 105, p. 47-82, 2010. Disponível em: <https://repository.rothamsted.ac.uk/item/8q4w6/a-review-of-biochar-and-its-use-and-function-in-soil> . Acesso em: 4 maio 2022.

SOUCHIE, F. F., JUNIOR, B. H. M., PETTER, F. A., MADARI, B. E., MARIMON, B. S., LENZA, E. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris*. **Ciência Florestal**, v.2, n.4, p.811-821, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/4526> Acesso em: 22 abr. 2022.

STAPT, O.; HUBBARD, C. E. Pennisetum. In: PRAIN, D. (ed.). **Flora of tropical Africa**. Ashford: Reeve, 1934. v. 9, p. 954-1070. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19340700340> . Acesso em: 16 mar. 2022.

STEWART, C. E.; ZHENG, J.; BOTE, J.; COTRUFO, M. F. Co-generated fast pyrolysis biochar mitigates green-house gas emissions and increases carbon sequestration in temperate soils. **Global Change Biology Bioenergy**, v.5, n.2, p.153-

164, 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcbb.12001>
Acesso em: 12 mai. 2022.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.
Manual de métodos de análise de solo, 2017. Embrapa Solos.

TREVISAN, R. G.; FREDDI, O. S.; WRUCK, F. J.; TAVANTI, R. R.; PERES, F. S. C.
Variabilidade de atributos físicos do solo e do arroz cultivado sob plantas de cobertura em sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**, v.76, n.1, p. 145- 154, 2017.
Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/brag/a/dPBg46trYyjLWm7KBdZYYv/?lang=pt&format=pdf>
Acesso em: 4 abr. 2022.

UCHIMIYA, M.; LIMA, I. M.; KLASSON, K. T.; WARTELLE, M. L. H. Contaminant immobilization and nutrient release by biochar soil amendment: roles of natural organic matter. **Chemosphere**, v. 80, n. 8, p. 935–40, 2010. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20542314/> Acesso em: 9 fev. 2022.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**, 2.ed. Cornell university press. USA, Books,1994. 476p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=-mwUu6PL1UgC&printsec=copyright&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false> Acesso em: 07 mar. 2022.

VICTORIA, D. de C.; BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; ASSAD, E. D.; ANDRADE, R. G.; GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções**. Cap. 8, p.229- 258. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212381/1/LV-DINAMICA-AGRICOLA-CERRADO-2020.pdf> . Acesso em: 12 jan. 2022.

VILELA, D. Conservação de Forragens. *In*: CARVALHO, M. M.; CAMPOS, O. F. (org.). **Embrapa Gado de Leite: vinte anos de pesquisa**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, p. 93-112, 1997a. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/163437/1/Parte02-cap03.pdf>
Acesso em: 15 mar. 2022.

VILELA, D.; FERREIRA, R. de P.; FERNANDES, E. N.; JUNTOLLI, F. V. **Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 435p. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164236/1/Pecuarria-de-leite-no-Brasil.pdf> . Acesso em: 18 jan. 2022.

VILELA, F. J. **Desenvolvimento de um condicionador de Solos com valor agregado a partir da biomassa de *Magonia pubescens***. 2017, quantas páginas. Tese (Doutorado em) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017. Disponível em:
<https://repositorio.unb.br/handle/10482/23507> . Acesso em: 30 abr. 2022.

WANG, D.; YATES, S. R.; ERNST, F. F. Determining soil hydraulic properties using tension infiltrometers, time domain reflectometry and tensiometers. **Soil Science Society American Journal**, v.62, n.2, p.318-325, mar./abr. 1998. Disponível em:
<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1998.03615995006200020004x> . Acesso em: 7 maio 2022.

WARNOCK, D. D.; LEHMANN, J.; KUYPER, T. W.; RILLING, M. Mycorrhizal responses to biochar in soil: concepts and mechanisms. **Plant and Soil**, v.300, p. 9-20, 2007. Disponível em:

https://www.academia.edu/13679090/Mycorrhizal_responses_to_biochar_in_soil_concepts_and_mechanisms . Acesso em: 27 abr. 2022.

XU, D.; CARSWELL, A.; ZHU, Q.; ZHANG, F.; DE VRIES, W. Modelling long-term impacts of fertilization and liming on soil acidification at Rothamsted experimental station. *Science of The Total Environment*, 713, 136249, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136249>. Acesso em: 26 jan. 2022.

ZENTENO, M. D. C. **Condicionadores minerais e orgânicos na imobilização de cádmio em solos**. Tese (doutorado em) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFV_50aadada021a2e18d2ecaf7d318e2d24 . Acesso em: 29 abr. 2022.

ZHANG, D.; PAN, G.; WU, G.; KIBUE, G. W.; LI, L.; ZHANG, X.; ZHENG, J.; ZHENG, J.; CHENG, K.; JOSEPH, S.; LIU, X. Biochar helps enhance maize productivity and reduces greenhouse gas emissions under balanced fertilization in a rainfed low fertility inceptisol. **Chemosphere**, v.142, p.106-113, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653515004348> . Acesso em: 18 maio 2022.

ZIMMERMAN, A. R.; GAO, B.; AHN, M.-Y. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.43, p.1169-1179, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071711000769> . Acesso em: 19 mai. 2022.