

Desenvolvimento radicular, produção e qualidade da biomassa em variedades de capim-elefante na Zona da Mata de Alagoas



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

7 ENERGIA LIMPA
E ACESSÍVEL



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Tabuleiros Costeiros
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
168**

**Desenvolvimento radicular, produção e
qualidade da biomassa em variedades de
capim-elefante na Zona da Mata de Alagoas**

*Anderson Carlos Marafon
Juarez Campolina Machado
Jonas Paulino dos Santos
Victor dos Santos Guimarães*

**Embrapa Tabuleiros Costeiros
Aracaju, SE
2022**

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Av. Gov. Paulo Barreto de Menezes, nº 3250
CEP 49025-040, Aracaju, SE
Fone: +55 (79) 4009-1300
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Tabuleiros Costeiros

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Viviane Talamini

Secretário-Executivo
Ubiratan Piovezan

Membros
*Aldomário Santo Negrizoli Júnior, Ana da
Silva Lédo, Angela Puchnick Legat, Elío
Cesar Guzzo, Fabio Enrique Torresan, Josué
Francisco da Silva Junior, Julio Roberto Araujo
de Amorim, Emiliano Fernandes Nassau Costa,
Renata da Silva Bomfim Gomes*

Supervisão editorial e editoração eletrônica
Aline Gonçalves Moura

Normalização bibliográfica
Josete Cunha Melo

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Foto da capa
Anderson Carlos Marafon

1ª edição
Publicação digital - PDF (2022)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Tabuleiros Costeiros

Desenvolvimento radicular, produção e qualidade da biomassa em variedades de capim-
-elefante na zona da mata de Alagoas. / Anderson Carlos Marafon [et al...]. – Aracaju :
Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2022.

27 p. : il. (Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1961; 168)

1. Capim elefante. 2. Biomassa. 3. Sistema radicular. I. Marafon, Anderson
Carlos. II. Machado, Juarez Campolina. III. Santos, Jonas Paulino dos. IV.
Guimarães, Victor dos Santos. VI. Série.

CDD (Ed. 21) 633.2

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução.....	8
Material e Métodos	10
Condições experimentais e material vegetal.....	10
Biometria, produção e qualidade da biomassa	11
Avaliação do desenvolvimento radicular	12
Análise estatística	12
Resultados e Discussão	12
Biometria, produção e qualidade da biomassa	12
Avaliação do desenvolvimento radicular	15
Considerações Finais.....	21
Conclusões.....	23
Referências	23

Desenvolvimento radicular, produção e qualidade da biomassa em variedades de capim-elefante na Zona da Mata de Alagoas

Anderson Carlos Marafon¹

Juarez Campolina Machado²

Jonas Paulino dos Santos³

Victor dos Santos Guimarães⁴

Resumo – O objetivo desta pesquisa foi avaliar o desenvolvimento do sistema radicular, o potencial de produção e a qualidade da biomassa em variedades de capim-elefante cultivadas no município de Rio Largo, situado na região da Zona da Mata do Estado de Alagoas. Foram avaliadas seis variedades de capim-elefante (BRS Capiçu, Madeira, Capim C6, Capim C8, King Grass e Pasto Panamá) quanto às seguintes características: produção de biomassa seca, relação folha/colmo, relação carbono/nitrogênio, teores de celulose, hemicelulose, lignina e cinzas, altura de planta, número de perfilhos, índice de área foliar e densidade de comprimento de raízes. Os resultados evidenciam o maior índice de perfilhamento da variedade Madeira (18,6 perfilhos m⁻¹), o maior índice de área foliar do Capim C6 (5,15), a maior relação folha/colmo da variedade King Grass (0,618) e a maior relação carbono/nitrogênio do Capim C8, em relação às demais variedades. As variedades não diferiram entre si quanto à produção de biomassa e os teores de fibras, lignina e cinzas. A produção média de biomassa seca das variedades foi de 31,3 Mg ha⁻¹, com teores médios de 40,7 % celulose, 27,5% de hemicelulose, 8,54 % de lignina e 5,89 % de cinzas. A densidade de comprimento de raízes na camada mais superficial do perfil do solo (0 a 20 cm) foi significativamente superior nas variedades Madeira e Capim C8, aos 80 e 120 dias após o

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP-Rio Largo), Rio Largo, AL.

² Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG.

³ Estudante de graduação em Agronomia, Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo, AL.

⁴ Estudante de pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo, AL.

plantio; no Pasto Panamá, aos 120 dias após o plantio; e no Capim C8, aos 40 dias após o corte. Já na camada de 20 a 40 cm do perfil do solo, o desenvolvimento radicular foi mais pronunciado no Capim C8, em todas as épocas de avaliação; na variedade Madeira, aos 120 dias após o plantio; e na cultivar BRS Capiçu, aos 120 dias após o plantio e aos 40 dias após o corte. As variáveis de crescimento analisadas neste experimento evidenciam o elevado potencial produtivo das variedades de capim-elefante na região dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil, apontando esta espécie como excelente fonte de biomassa para uso forrageiro e/ou energético.

Termos para indexação: *Cenchrus purpureus*, biometria, densidade de comprimento de raízes, produção de biomassa lignocelulósica.

Root development, biomass production and quality of elephant grass varieties in the Zona da Mata de Alagoas

Abstract – The objective of this research was to evaluate the development of the root system, the production potential, and the quality of the biomass in varieties of elephant grass cultivated in the municipality of Rio Largo, located in the region of Zona da Mata of the Alagoas State. Six varieties of elephant grass (BRS Capiaçú, Madeira, Capim C6, Capim C8, King Grass and Pasto Panamá) were evaluated regarding the following characteristics: dry biomass production, leaf/stem ratio, carbon/nitrogen ratio, cellulose, hemicellulose, lignin and ash contents, plant height, tiller number, leaf area index and root length density. The results show the highest tillering rate of the Madeira variety (18.6 tillers m⁻¹), the highest leaf area index of C6 Grass (5.15) and the highest leaves:culms ratio of the King Grass variety (0.618), compared to the other varieties. The varieties did not differ in terms of biomass production and fiber, lignin and ash content. The average dry biomass production of the varieties was 31.3 Mg ha⁻¹, with average contents of 40.7% cellulose, 27.5% hemicellulose, 8.54% lignin and 5.89% ash. Root length density values in the most superficial layer of the soil profile (0 to 20 cm) were significantly higher in Madeira and Capim C8 varieties, at 80 and 120 days after planting; in Pasto Panamá, at 120 days after planting; and in Grass C8, at 40 days after cutting. On the other hand, in the layer from 20 to 40 cm of the soil profile, the root development was more pronounced in Capim C8, at all evaluation times; in the Madeira variety, at 120 days after planting; and in the BRS Capiaçú cultivar, at 120 days after planting and at 40 days after cutting. The growth variables analyzed in this experiment show the high productive potential of elephant grass varieties in the Coastal Tablelands region of the Brazilian Northeast, indicating this species as an excellent source of biomass for forage and/or energy use.

Index terms: *Cenchrus purpureus*, biometry, root length density, lignocellulosic biomass production.

Introdução

A crise energética mundial decorrente do contínuo crescimento das demandas globais por fontes de energia, da instabilidade política nos países exportadores de petróleo e da persistente ameaça das mudanças climáticas, vem se agravando nas últimas décadas e tem provocado crescentes preocupações acerca do uso generalizado de recursos derivados de combustíveis fósseis (Tomalsquim, 2016). Neste cenário de mudanças climáticas e de limitação de recursos naturais, um dos principais desafios do melhoramento genético é compreender e melhorar a eficiência dos sistemas radiculares dos cultivos agrícolas (Gregory et al., 2013).

As gramíneas, em especial as espécies perenes, podem sequestrar e fixar grandes quantidades de carbono orgânico no solo de forma sustentável, através de suas raízes, mitigando diretamente as emissões atmosféricas de CO₂ (Sumiyoshi et al., 2017). O cultivo de gramíneas energéticas, especialmente as perenes do tipo C4 (cujos primeiros intermediários estáveis da fotossíntese são moléculas contendo 4 carbonos) é uma opção de fornecimento de matéria-prima para uso industrial, especialmente em regiões onde a disponibilidade de biomassa residual é limitada (Samson et al., 2005). Evidências sugerem que espécies perenes são mais eficientes no consumo de água e nutrientes e menos propícias às perdas de solo do que cultivos anuais (Boehmel et al., 2008).

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum, homotípico de *Cenchrus purpureus* [Schumach.] Morrone) se apresenta como uma das mais promissoras opções como fonte incremental de biomassa energética, por se tratar de uma espécie perene de propagação vegetativa, com ciclo curto (4 a 6 meses), alto perfilhamento, rápida expansão foliar nos primeiros meses após o plantio e alta produção de matéria seca (acima de 40 t ha⁻¹ ano⁻¹). Por tais razões, a espécie tem sido apontada como alternativa sustentável para uso como insumo energético em diferentes aplicações, como geração de energia termelétrica, produção de pellets e briquetes, biogás, etanol celulósico, biocarvão/bioóleo (Rocha et al., 2017; Fontoura et al., 2015).

No Brasil, o capim-elefante é cultivado em todo o território nacional, com boa adaptação às condições de clima e solo do país, sendo tradicionalmente explorado para fins de alimentação animal. O capim-elefante

apresenta estatura elevada (até 7 m), baixa sensibilidade ao fotoperíodo (Anderson et al., 2016), ampla adaptação edafoclimática, capacidade de fixação biológica de nitrogênio e um sistema radicular caracterizado pela presença de raízes grossas e de rizomas curtos, desenvolvendo-se melhor em áreas com precipitações anuais superiores a 1000 mm e temperaturas entre 30 e 35 °C (Hanna et al., 2004). Além da alta produção, o cultivo do capim-elefante apresenta vantagens como a possibilidade de realização de múltiplos cortes ao ano (em diferentes épocas e idades da planta), persistência das rebrotas e uso eficiente de água e nutrientes (Ra et al., 2012).

A arquitetura do sistema radicular determina seu potencial de exploração do solo, bem como sua capacidade de responder dinamicamente a períodos de baixa restrição de recursos para o crescimento da planta, através da regulação metabólica da atividade meristemática e da captura e transporte de água e nutrientes minerais, tais como o fósforo, elemento imóvel transportado via corrente transpiratória (Lynch; Brown, 2008).

A extensão e a velocidade de proliferação das raízes estão associadas com a produção de biomassa da parte aérea. Assim, a compreensão dos fenômenos que ocorrem na parte aérea das plantas torna-se mais completa, quando se tem conhecimento da dinâmica de crescimento e da distribuição do sistema radicular das plantas no solo. Esses aspectos fundamentais do processo de absorção de água e nutrientes do solo servem de base para a seleção de genótipos mais eficientes e para o aprimoramento de diversas práticas de manejo (Smith et al., 2005). Neste contexto, o levantamento de informações sobre o desenvolvimento radicular pode ser útil na seleção de variedades com características de interesse e na recomendação de práticas de manejo para o aumento da produtividade agrícola (Thorup-Kristensen; Kirkegaard, 2016).

A identificação de variedades de capim-elefante com sistemas radiculares mais robustos e vigorosos pode contribuir com o programa de melhoramento genético de capim-elefante da Embrapa, na seleção e no desenvolvimento de materiais com maior eficiência no uso de água e nutrientes e com maior capacidade de suportar condições edafoclimáticas adversas, como a deficiência hídrica ou a baixa fertilidade do solo. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o desenvolvimento do sistema radicular, o potencial produtivo e a qualidade

da biomassa de seis variedades de capim-elefante cultivadas nas condições ambientais da região da Zona da Mata do Estado de Alagoas.

Esta publicação contribui diretamente para o alcance da meta 7.2 do ODS 7 - Energia limpa e acessível da Agenda 2030 da ONU, ao propor soluções inovadoras para compor a matriz energética.

Material e Métodos

Condições experimentais e material vegetal

No início do mês de julho de 2021 foi implantado um experimento em área experimental pertencente à Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Tabuleiros Costeiros, situada no município de Rio Largo, região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas (bioma Mata-Atlântica) com seis variedades de capim-elefante: BRS Capiçaçu, Madeira, Capim C6, Capim C8, King Grass e Pasto Panamá.

O experimento foi conduzido segundo um delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. A parcela experimental foi constituída por quatro fileiras de 6 m de comprimento, espaçadas em 1 m. As coordenadas geográficas do local são Latitude 09° 28' 29,1"S, Longitude 35° 49' 43,6"W e altitude de 130 m. Os dados mensais de precipitação pluviométrica e radiação solar global foram coletados em uma estação meteorológica instalada à cerca de 300 metros do experimento (Tabela 1).

Tabela 1. Precipitação pluviométrica e radiação solar global média mensais no local do experimento. Rio Largo/AL, 2022.

Variáveis	abr/21	mai/21	jun/21	jul/21	ago/21	set/21
Precipitação pluviométrica (mm)	331,7	281,8	268,7	195,8	206,2	95,5
Radiação Solar Global (MJ m ³ dia ⁻¹)	19	16	14,2	15,3	15,5	18,3

Fonte: Laboratório de Agrometeorologia e Radiometria Solar - CECA/UFAL.

O solo do foi classificado como Latossolo Amarelo Coeso Argissólico de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2006) (Tabela 2).

Tabela 2. Propriedades químicas do solo na área experimental. Rio Largo/AL, 2022.

Camada do perfil	Nutrientes minerais				Atributos químicos			
	Potássio	Fósforo	Cálcio	Magnésio	pH	T	V	MO
	mg dm ⁻³		mmolc dm ⁻³		%			
0 – 20	36	4	1,8	1,6	6,8	5,96	59,7	2,65
20 – 40	36	4	1,1	1,1	5,9	4,46	52,9	2,25

*T - capacidade de troca de cátions (pH 7); V - saturação por bases e MO - matéria orgânica.

Quanto às suas características físicas, o solo da área experimental apresentou-se com uma textura areno-argilosa (Tabela 3).

Tabela 3. Características físicas do solo da área experimental. Rio Largo/AL, 2022.

Camada do perfil (cm)	Atributos físicos				
	Areia (0,05 – 2 mm)	Silte (0,002 -0,05 mm)	Argila (≤ 0,002 mm)	Relação Silte/Argila	Densidade do solo (kg dm ⁻³)
0 – 20	62,5 %	6 %	31,5 %	0,24	1,42
20 – 40	57 %	6 %	37 %	0,16	1,60

Biometria, produção e qualidade da biomassa

Foram avaliadas as seguintes características das plantas: produção de biomassa, teores de celulose, hemicelulose, lignina e cinzas, relação carbono/nitrogênio (C/N), relação folha/colmo (F/C), altura da planta (m), número de perfilhos, índice de área foliar (IAF), e densidade de comprimento de raízes (mm cm⁻²). A avaliação da produção de biomassa seca (Mg ha⁻¹) foi realizada aos 120 dias após o plantio (DAP), a partir do corte e pesagem das plantas e da secagem de subamostras em estufa a 105 °C durante 48 h. O IAF foi determinado a partir da utilização de um integrador de área foliar modelo LP 80 (Accupar). Os teores de celulose, hemicelulose e lignina foram determinados de acordo com a metodologia de Silva (2006). Os teores de cinzas foram determinados de acordo com a norma NBR 8112 (Associação..., 2015) e os teores de carbono e nitrogênio, em analisador elementar CHNS Flash 2000 (Thermo Scientific™). Os resultados foram expressos em porcentagem de matéria seca (% MS).

Avaliação do desenvolvimento radicular

As avaliações do desenvolvimento do sistema radicular foram efetuadas através de um Scanner de Raízes modelo CI-600 (CID Bio-Science), em três épocas durante o ciclo de desenvolvimento vegetativo: 80 e 120 dias após o plantio (DAP) e 40 dias após o corte (DAC). Imagens foram obtidas às profundidades de 0 a 20 e de 20 a 40 cm do perfil do solo, após a prévia instalação de tubos de acrílico transparentes, com ângulo de inclinação de 45° em relação à superfície do solo, sendo processadas pelo software RootSnap! (CID Bio Science) para definição da densidade de comprimento de raízes, expressa em milímetros por centímetro quadrado (mm cm⁻²). As imagens das duas camadas do perfil do solo foram agrupadas para cada variedade e época de avaliação.

Análise estatística

Foram realizadas análises de variância e a comparação das médias dos dados pelo teste de Scott e Knott ($p \leq 0,05$), utilizando-se o programa Sisvar (Ferreira, 2011).

Resultados e Discussão

Biometria, produção e qualidade da biomassa

Em relação aos índices biométricos, a variedade Madeira apresentou o maior índice de perfilhamento (18,6 perfilhos m⁻¹), o Capim C6 o maior IAF (5,15), a variedade King Grass, a maior relação F/C (0,618) (Tabela 4). As produções de biomassa das variedades não diferiram significativamente entre si. No entanto, os resultados evidenciaram o elevado acúmulo de biomassa seca nas variedades de capim-elefante, cujas produções oscilaram entre 27,1 (Pasto Panamá) e 35,4 Mg ha⁻¹ (Madeira) na ocasião do corte aos 120 dias após o plantio (Tabela 4).

Tabela 4. Índices biométricos, relação folha/colmo (F/C) e Produção de biomassa seca em variedades de capim-elefante, 120 dias após o plantio. Rio Largo/AL, 2022.

Variedade	Perfilhos m ⁻¹	Altura de planta (m)	Índice de Área Foliar	Relação F/C	Biomassa Seca (Mg ha ⁻¹)
Madeira	18,6 a	3,87 a	4,55 b	0,504 b	35,4 a
BRS Capiaçú	12,7 c	4,05 a	4,23 b	0,543 b	33,1 a
King Grass	15,9 b	4,15 a	4,39 b	0,618 a	35,0 a
Pasto Panamá	13,2 b	3,65 a	4,56 b	0,458 b	27,1 a
Capim C6	15,4 b	3,85 a	5,15 a	0,560 b	27,5 a
Capim C8	15,2 b	3,90 a	4,38 b	0,439 b	30,0 a

*Médias distintas entre linhas dentro da mesma coluna diferem entre si pelo teste Scott e Knott ($p \leq 0,05$).

O capim-elefante é uma das espécies com maior capacidade de acumular matéria seca em razão da sua elevada eficiência fotossintética na fixação de CO₂ atmosférico. Nas regiões tropicais e subtropicais do mundo, as estações de crescimento permitem o contínuo desenvolvimento das gramíneas perenes, oferecendo o benefício único da possibilidade de fornecimento contínuo de matéria-prima para a produção de proteína animal, biocombustíveis e/ou de outros produtos de base biológica (Samson et al., 2005).

Rueda et al. (2016) constataram que o máximo rendimento de biomassa de oito variedades de capim-elefante ocorreu após um estágio de crescimento exponencial acelerado dos colmos, com produções semestrais de 25,4 a 32,7 toneladas de massa seca por hectare. Woodard e Prine (1993) relataram rendimentos anuais da ordem de 47 Mg de matéria seca por hectare, em resposta ao aporte de 200 kg de nitrogênio por hectare.

Em cultivo do capim-elefante 'King Grass', no México, Rueda et al. (2016) obtiveram produção anual média de biomassa seca de 31,7 Mg ha⁻¹. Em regiões de baixas latitudes, como a Flórida, na região Sudeste dos Estados Unidos, os rendimentos anuais de biomassa seca de variedades de capim-elefante foram de 30 a 50 Mg ha⁻¹ (Fedenko et al., 2013). Marafon et al. (2019) observaram alto potencial de

produção de biomassa do capim-elefante na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, com produções anuais de biomassa seca superiores aos 40 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Estes autores propõem que, para a obtenção de máximas produtividades, seriam recomendados dois cortes durante a estação chuvosa (março-agosto), com ciclos curtos (90 a 100 dias), e um outro corte no final da estação seca (outubro-fevereiro), com ciclo mais longo (160-180 dias). Neste aspecto, a idade de corte afeta o rendimento e a qualidade do material, o que tem implicações na forma como se deseja utilizar a biomassa (Rengsirikul et al., 2011).

Neste trabalho, os teores de celulose, hemicelulose, lignina e cinzas das variedades não diferiram significativamente entre si. Apenas o Capim C8 apresentou a maior relação C/N dentre as seis variedades avaliadas (94,1). Os teores de celulose variaram entre 37,8 (King Grass) e 42,5 % MS (Capim C8), enquanto os teores de hemiceluloses oscilaram desde 25,5 (Pasto Panamá) até 28,7 % MS (King Grass). Os teores de lignina ficaram entre 7,43 (King Grass) e 9,85 (Capim C8), enquanto os teores de cinzas situaram-se numa faixa entre 4,43 (Capim C8) e 7,13 % MS (Pasto Panamá) (Tabela 5).

Tabela 5. Relação carbono/nitrogênio (C/N) e teores de fibras, lignina e cinzas em variedades de capim-elefante, 120 dias após o plantio. Rio Largo/AL, 2022.

Variedade	Relação C/N	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Cinzas
		% MS			
Madeira	62,3 b	41,1	26,9	8,57	6,71
BRS Capiaçú	60,1 b	40,2	28,3	8,45	5,33
King Grass	56,9 b	37,8	28,7	7,43	5,66
Pasto Panamá	55,4 b	41,2	25,8	8,57	7,13
Capim C6	46,2 c	41,6	27,6	8,38	6,13
Capim C8	94,1 a	42,5	27,7	9,85	4,43

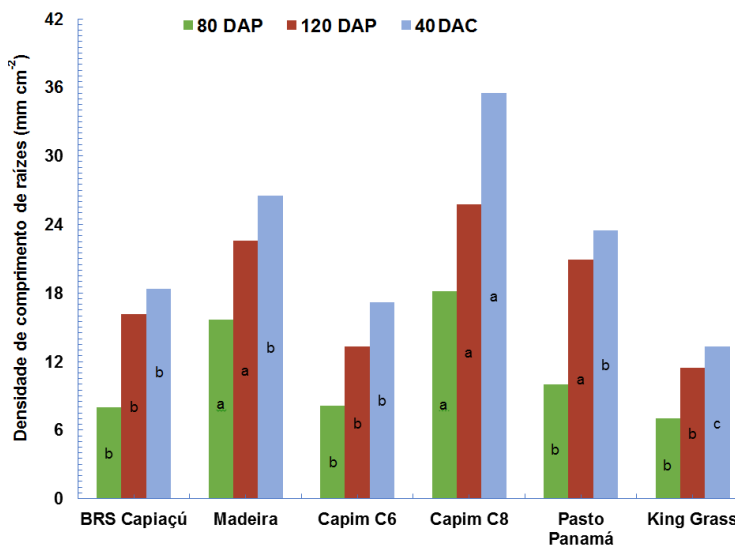
*Médias distintas entre linhas dentro da mesma coluna diferem entre si pelo teste Scott e Knott ($p \leq 0,05$).

Os valores descritos na literatura sobre a composição química de biomassa lignocelulósica variam em função do tipo de biomassa e normalmente apresentam faixas entre 35-50% para celulose, de 20 a 35% para hemicelulose e de 10 a 25% de lignina e uma pequena quantidade de cinzas e extrati-

vos (Santos et al., 2012). Surendra e Khanal (2015) analisaram amostras de capim-elefante com quatro meses de idade e encontraram valores semelhantes aos verificados no presente trabalho para as concentrações de celulose (41,4%), hemicelulose (18,7%) e lignina (8,7%). Surendra et al. (2018) estudaram variedades de capim-elefante e cana-energia e encontraram teores de cinzas de 7,36 a 8,76%, de hemicelulose entre 21,04 e 23,44%, de celulose entre 38,85 e 42,61% e de lignina entre 7,20 e 8,32%. Similarmente, em variedades de cana-energia estes mesmos autores encontraram teores de cinzas de 4,32 a 6,10%, de hemicelulose entre 18,20 e 19,98%, de celulose entre 29,01 e 32,63% e de lignina entre 5,00 e 6,78%.

Avaliação do desenvolvimento radicular

A densidade de comprimento de raízes na camada de 0 a 20 cm do perfil do solo foi significativamente superior ($p \leq 0,05$) nas variedades Madeira e Capim C8 aos 80 e aos 120 DAP, no Pasto Panamá aos 120 DAP e no Capim C8 aos 40 DAC (ciclo de rebrota), em relação às demais variedades (Figura 1).



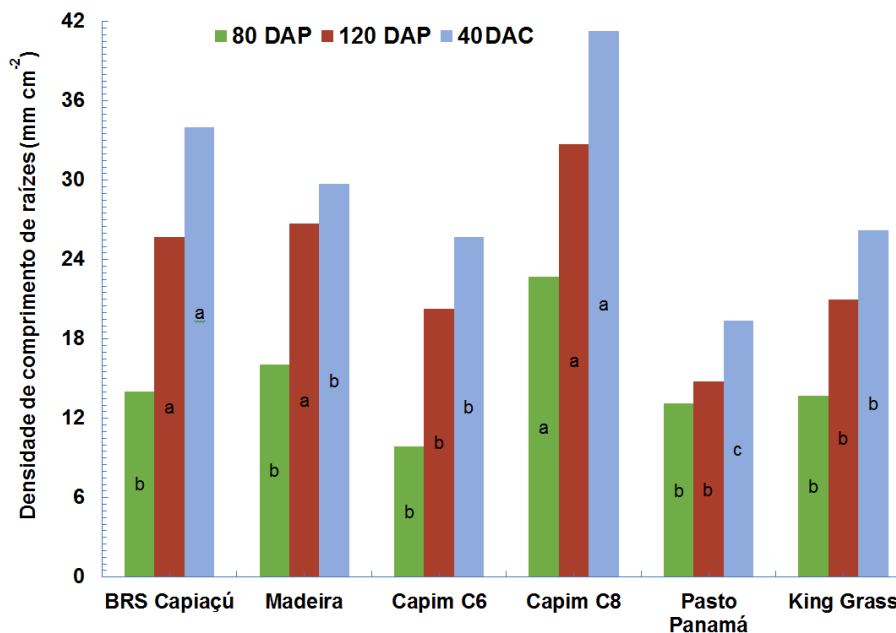
*Médias distintas entre colunas dentro da mesma época de avaliação diferem entre si pelo teste Scott e Knott ($p \leq 0,05$).

Figura 1. Densidade de comprimento de raízes (mm cm^{-2}) em variedades de capim-elefante na profundidade de 0 a 20 cm do perfil do solo. Rio Largo/AL, 2022.

Sekiya et al. (2013) estimaram valores de densidade de comprimento de raízes em variedades de capim-elefante obtiveram valores entre 15,6 e 43,6 mm cm⁻². Estes valores condizem com os encontrados no presente estudo. Em cana-de-açúcar, Zhao et al. (2020) observaram que a variedade ROC 22 apresentou maior densidade de comprimento de raízes (3,10 mm·cm⁻²) na de profundidade de 0 a 0,36 m do perfil do solo em relação às demais variedades avaliadas (1.67 - 2.65 mm·cm⁻²) no primeiro ciclo de rebrota.

O desenvolvimento do sistema radicular apresenta variabilidade quanto ao comprimento, densidade, diâmetro, idade e atividade metabólica, cujas características variam em função da profundidade do perfil do solo (Jong Van Lier et al., 2008). Os gastos energéticos para formação das raízes dependem de fatores como a espessura da raiz, sendo que as raízes finas requerem menor quantidade de carbono do que as raízes grossas. No entanto, os custos para a manutenção das raízes finas são maiores do que os das raízes grossas (por unidade de peso de raiz). Outros atributos importantes são o número, o tamanho e a localização dos pelos radiculares, que têm um enorme impacto na área de superfície de absorção da raiz (Hauggaard-Nielsen; Jensen, 2005).

A densidade de comprimento de raízes na camada de 20 a 40 cm do perfil do solo foi significativamente superior ($p \leq 0,05$) no Capim C8 em todas as épocas de avaliação, na variedade Madeira aos 120 DAP e na cultivar BRS Capiacu aos 120 DAP e 40 DAC (ciclo de rebrota) em relação às demais variedades (Figura 2).



*Médias distintas entre colunas dentro da mesma época de avaliação diferem entre si pelo teste Scott e Knott ($p \leq 0,05$).

Figura 2. Densidade de comprimento de raízes (mm cm^{-2}) em variedades de capim-elefante na profundidade de 20 a 40 cm do perfil do solo. Rio Largo/AL, 2022.

Em área com irrigação sub superficial de cana-de-açúcar, Ohashi et al. (2015) estimaram valores de densidade de comprimento de raízes até a profundidade de 0,8 m variando entre 3,6 e 12,9 $\text{mm} \cdot \text{cm}^{-2}$ de acordo com as variedades. Em condições controladas, em cultivo em vasos com 100 litros de capacidade, Marafon et al. (2020) observaram que densidade média de comprimento de raízes de quatro variedades de capim-elefante aos 75 dias após o plantio (4,19 mm cm^{-2}) foi mais pronunciado do que na cultivar de cana-de-açúcar RB 92579 (1,92 mm cm^{-2}).

Gramíneas perenes, que são capazes de produzir elevadas quantidades de biomassa da parte aérea, geralmente possuem grande produção de biomassa de raízes (Sumiyoshi et al., 2017). A formação de um sistema radicular vigoroso, profundo e bem distribuído é fundamental para que as plantas possam suportar situações de estresse, principalmente a deficiência hídrica, permitindo que as plantas explorem melhor o solo (Palta; Watt, 2009; Smith et al., 2005).

O desenvolvimento do sistema radicular do capim-elefante se inicia com a formação das raízes primárias, que emergem dos primórdios da raiz situados nos nós dos colmos, logo acima da cicatriz da folha. São raízes finas e altamente ramificadas, as quais sustentam a planta nas primeiras semanas após a brotação. As raízes secundárias, por sua vez, são raízes mais grossas e se formam na base das novas brotações (perfilhos), em torno de 5 a 7 dias após o plantio. Tais raízes apresentam alta taxa de alongamento 10 dias após o plantio, com crescimento médio de 40 mm por dia em solos arenosos e 28 mm por dia em solos argilosos (Glover, 1967). Ao se efetuar o corte, ao mesmo tempo que ocorre a brotação das socarias, um novo sistema radicular é formado, ocorre o desenvolvimento de novas raízes a partir dos perfilhos, sendo que estas raízes se desenvolvem mais superficialmente do que as raízes do primeiro ciclo de cultivo. Quando este corte é realizado no período de estiagem, há predominância de raízes mortas sobre vivas (ou biologicamente ativas), o que não ocorre quando o corte é realizado em condições de solo úmido (Casagrande, 1991), como no caso do presente estudo, o que pode ser constatado pelos altos índices pluviométricos no período (Tabela 1).

Nas figuras 3, 4, 5, 6, 7 e 8 podemos observar a evolução do desenvolvimento do sistema radicular das seis variedades de capim-elefante avaliadas neste experimento.

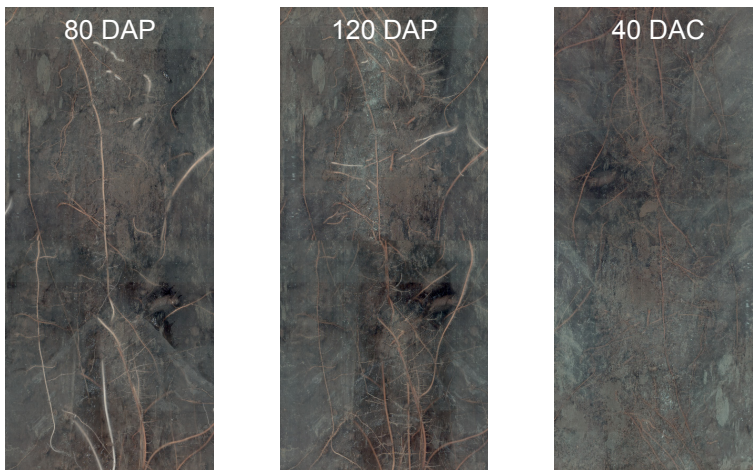


Figura 3. Imagem digitalizada do sistema radicular do capim-elefante cultivar BRS Capiçu aos 80 e 120 dias após o plantio (DAP) e aos 40 dias após o corte (DAC). Rio Largo/AL, 2022.

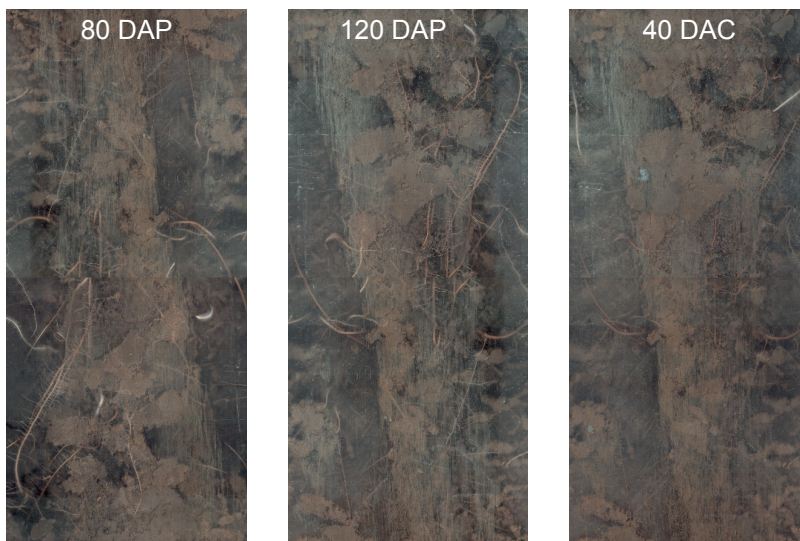


Figura 4. Imagem digitalizada do sistema radicular do capim-elefante variedade Madeira aos 80 e 120 dias após o plantio (DAP) e aos 40 dias após o corte (DAC). Rio Largo/AL, 2022.



Figura 5. Imagem digitalizada do sistema radicular do capim-elefante variedade King Grass aos 80 e 120 dias após o plantio (DAP) e aos 40 dias após o corte (DAC). Rio Largo/AL, 2022.

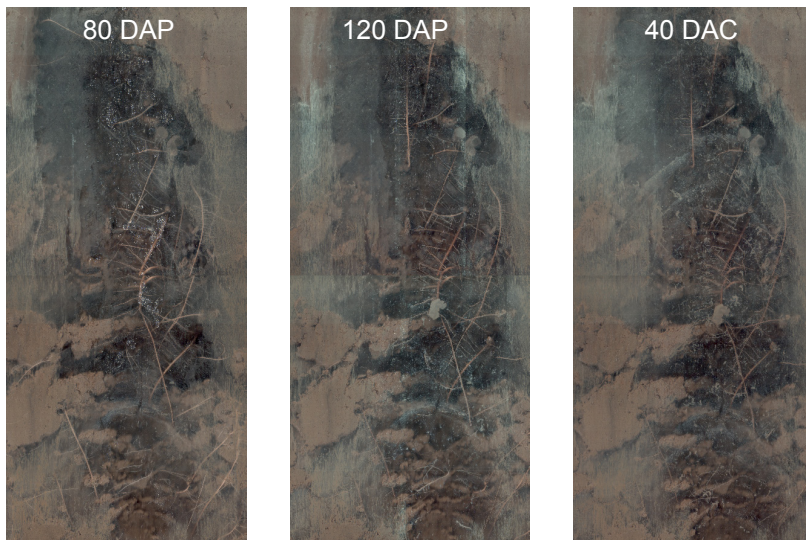


Figura 6. Imagem digitalizada do sistema radicular do capim-elefante variedade Pasto Panamá aos 80 e 120 dias após o plantio (DAP) e aos 40 dias após o corte (DAC). Rio Largo/AL, 2022.

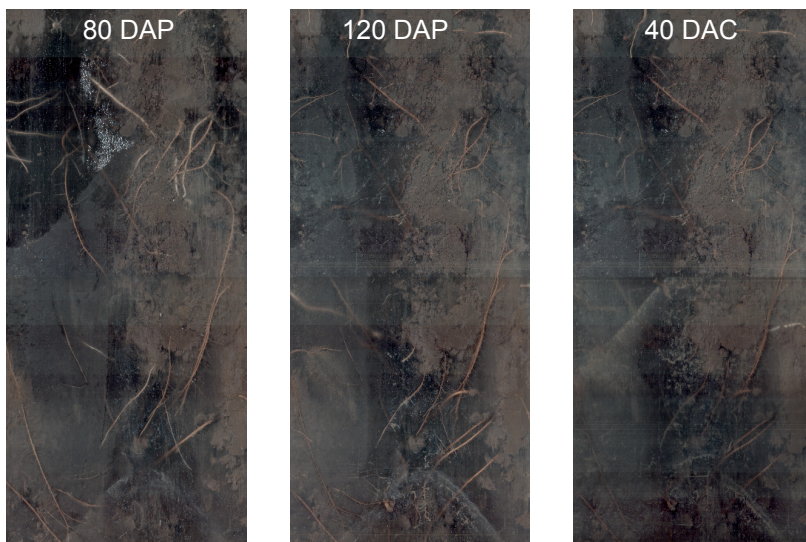


Figura 7. Imagem digitalizada do sistema radicular do capim-elefante do Capim C6 aos 80 e 120 dias após o plantio (DAP) e aos 40 dias após o corte (DAC). Rio Largo/AL, 2022.

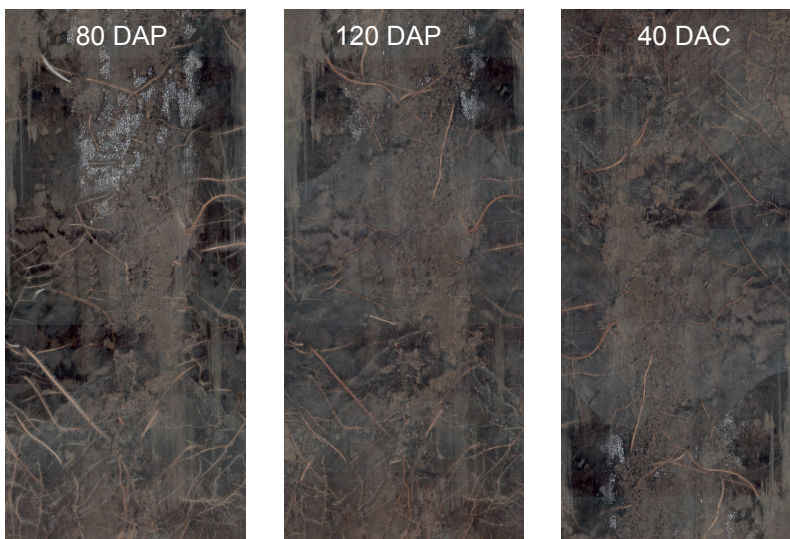


Figura 8. Imagem digitalizada do sistema radicular do capim-elefante Capim C8 aos 80 e 120 dias após o plantio (DAP) e aos 40 dias após o corte (DAC). Rio Largo/AL, 2022.

Considerações Finais

O crescimento e a distribuição do sistema radicular são dependentes do genótipo e das condições do ambiente, sendo que as raízes apresentam alta plasticidade, ou seja, mudam sua forma ou tamanho e o padrão de distribuição no perfil do solo conforme as condições físicas, químicas e biológicas dos solos (Vasconcelos et al., 2003). Se, por um lado, os sistemas radiculares são estruturas ramificadas complexas que variam no espaço e no tempo, por outro, os solos onde as plantas se desenvolvem possuem seus próprios padrões de variabilidade espacial, que reforçam a plasticidade na distribuição do sistema radicular, cujo crescimento ocorre em direções não uniformes, como uma estratégia para garantir a disponibilidade de água e nutrientes (Bengough et al., 2006).

O capim-elefante apresenta alta concentração de carboidratos nas raízes, o que contribui na decomposição destas raízes e, conseqüentemente, no acúmulo de carbono no solo (Liang et al., 2019). A taxa de mortalidade de raízes está associada com a renovação radicular que, por sua vez, depende da remobilização de assimilados para suprir o crescimento das plantas

no período de rebrota (Lemus; Lal, 2005). Além de desenvolver um extenso sistema radicular para garantir o vigoroso crescimento das plantas, a biomassa radicular do capim-elefante, incluindo raízes mortas e exsudatos associados, pode fornecer matéria orgânica e levar ao acúmulo substancial de carbono para aumentar ou sustentar a fertilidade do solo (Farrar et al., 2003; Kuzyakov; Domanski, 2000).

A distribuição das raízes não ocorre uniformemente ao longo do perfil do solo, sendo que fatores genéticos e ambientais influenciam a profundidade do enraizamento. A profundidade do enraizamento varia muito entre espécies, determinando a capacidade de uma cultura em interceptar água e nutrientes, tais como o nitrogênio, particularmente na forma de nitratos (NO_3). A aquisição de água e nutrientes é afetada por processos simbióticos entre as raízes e os microrganismos do solo (notavelmente micorrizas e bactérias fixadoras de N), pela modificação da rizosfera através da liberação de exsudatos radiculares e por características próprias de absorção e transporte dos eixos radiculares de cada espécie vegetal (Gregory et al., 2013).

As cadeias de suprimento de biomassa para produção de bioenergia envolvem elementos críticos que influenciam a viabilidade dos investimentos e devem ser organizadas e otimizadas de maneira a melhorar sua competitividade. A carência ou a sazonalidade na oferta de matéria-prima para uso energético é um dos fatores mais importantes, especialmente, ao se falar de plantas para a geração de eletricidade e a produção de biocombustíveis. Por apresentar altas taxas de crescimento e elevadas produções de biomassa com qualidade para uso forrageiro e energético, o cultivo de capim-elefante pode aumentar a disponibilidade de matéria-prima em escala industrial, desde que tenha seu sistema de produção alinhado ao planejamento agrícola de plantio e colheita, de forma a garantir o contínuo fornecimento de biomassa à indústria. Assim, o estabelecimento de um cronograma de manejo agrônomico com estratégias adequadas e definições acerca das melhores variedades, épocas e frequências de corte recomendadas para cada região, aspectos fundamentais para garantir o suprimento de matéria-prima, a sustentabilidade e a viabilidade econômica da unidade industrial.

Conclusões

As variedades Capim C8 e Madeira são as que apresentam as maiores densidades de comprimento de raízes aos 80 e 120 dias após o plantio, cujas produções de biomassa seca são de 30 e 35,4 Mg ha⁻¹, respectivamente. A cultivar BRS Capiapu apresenta a maior densidade de comprimento de raízes no início do ciclo de rebrota (40 dias após o corte), cuja produção de biomassa seca é de 33,1 Mg ha⁻¹.

Em relação à qualidade energética da biomassa, o Capim C8 apresenta os maiores teores de celulose (42,5 % da matéria seca) e lignina (9,85% da matéria seca), o menor teor de cinzas (4,43% da matéria seca) e a maior relação carbono/nitrogênio (94,1). A variedade King Grass apresenta o maior teor de hemicelulose (28,7 % da matéria seca) e o menor teor de lignina (7,43 da matéria seca).

A variedade Madeira apresenta o maior índice de perfilhamento (18,6 perfilhos m⁻¹), o Capim C6 apresenta o maior índice de área foliar (5,15) e a variedade King Grass apresenta a maior relação folha/colmo (0,618).

Referências

ANDERSON, W. F.; SARATH, G.; EDME, S. Dedicated Herbaceous Biomass Feedstock Genetics and Development. **Bioenergy Research**, v. 9, p. 399–411, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112 – Carvão vegetal**: análise imediata. São Paulo, 2015. 6 p.

BENGOUGH, A. G.; BRANSBY, M. F.; HANS, J.; MCKENNA, S. J.; ROBERTS, T. J.; VALENTINE, T. A. Root responses to soil physical conditions: growth dynamics from field to cell. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 437-447, 2006.

BOEHMEL, C.; LEWANDOWSKI, I.; CLAUPEIN, W. Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. **Agricultural Systems**, v. 96, n. 1-3, p. 224-236, 2008.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.

- FARRAR, J.; HAWES, M.; JONES, D.; LINDOW, S. How roots control the flux of carbon to the rhizosphere. **Ecology**, v. 84, n. 4, p. 827-837, 2003.
- FEDENKO, J. R.; SOLLENBERGER, L. E.; ERICKSON, J. E.; WOODARD, K. R.; VENDRAMINI, J. M. B.; GILBERT, R. A.; HELSEL, Z. R.; PETER, G. F. Biomass production and composition of perennial grasses grown for bioenergy in a subtropical climate across Florida, USA. **Bioenergy Research**, v. 6, n. 3, p. 1-13, 2013.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A Computer Statistical Analysis System. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FONTOURA, C. F.; BRANDÃO, L. E.; GOMES, L. L. Elephant grass biorefineries: towards a cleaner Brazilian energy matrix? **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 85-93, 2015.
- GLOVER, J. The simultaneous growth of sugarcane roots and tops in relation to soil and climate. **Proceedings of South African Sugar Technologists Association**, Johannesburg, v. 41, p. 143-159, 1967.
- GREGORY, P. J.; ATKINSON, C. J.; BENGOUGH, A. G.; ELSE, M. A.; FERNÁNDEZ, F.; HARRISON, R. J.; SCHMIDT, S. Contributions of roots and rootstocks to sustainable, intensified crop production. **Journal of Experimental Botany** v. 64, p. 1209–1222, 2013.
- HANNA, W. W.; CHAPARRO, C. J.; MATHEWS, B. W.; BURNS, J. C.; SOLLENBERGER, L. E. Perennial Pennisetums. In: MOSER, L. E.; BURSON, B. L.; SOLLENBERGER, L. E. (ed.). **Warm-Season (C4) Grasses**. Madison, WI: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2004. p. 503-535.
- HAUGGAARD NIELSEN, H.; JENSEN, E. S. Facilitative root interactions in intercrops. **Plant and Soil**, v. 274, p. 237-250, 2005.
- JONG van LIER, Q.; METSELAAR, K.; van DAM, J. C.; JONG, R.; DUIJNISVELD, W. H. M. Macroscopic root water uptake distribution using a matric flux potential approach. **Vadose Zone Journal**, v. 7, p. 1065-1078, 2008.
- KUZYAKOV, Y.; DOMANSKI, G. Carbon input by plants into the soil. Review, **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 163, n. 4, p. 421-431, 2000.
- LEMUS, R.; LAL, R. Bioenergy crops and carbon sequestration. **Crit Review Plant Science**, v. 24, p. 1-21, 2005.

LIANG, X.; ERICKSON, J. E.; SILVEIRA, M. L.; SOLLENBERGER, L. E.; ROWLAND, D. L.; VERMERRIS, W. Quantifying shoot and root biomass production and soil carbon under perennial bioenergy grasses in a subtropical environment. **Biomass and Bioenergy**, v. 128, n. 105323, 2019.

LYNCH, J. P.; BROWN, K. M. Root strategies for phosphorus acquisition. In: WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P. (ed.). **The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions**. Dundee, UK: Springer Science, 2008. p. 83-116.

MARAFON, A. C.; MACHADO, J. C.; ENDRES, L.; SANTOS, J. C. M.; GUIMARÃES, V. S. **Desenvolvimento radicular e produção de biomassa em variedades de capim-elefante e cana-de-açúcar**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2020. 23 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 158).

MARAFON, A. C.; MACHADO, J. C.; AMARAL, A. F. C.; GUIMARÃES, V. S.; SANTOS, J. P. **Frequência de cortes em genótipos de capim-elefante na produção de biomassa para fins energéticos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019. 34 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 146).

OHASHI, A. Y. P.; PIRES, R. C. D. M.; RIBEIRO R. V.; SILVA, A. L. B. Root growth and distribution in sugarcane cultivars fertigated by a subsurface drip system. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p.131-138, 2015.

PALTA, J.; WATT, M. Vigorous crop root systems: form and function for improving the capture of water and nutrients. In: SADRAS, V. O.; CALDERINI, D. F. **Crop Physiology**: applications for genetic improvement and agronomy. Oxford: Elsevier Academic Press. cap. 13, p. 309-326, 2009.

RA, K.; SHIOTSU, F.; ABE, J.; MORITA, S. Biomass yield and nitrogen use efficiency of cellulosic energy crops for ethanol production. **Biomass and Bioenergy**, v. 37, p. 330-334, 2012.

RENGSIRIKUL, K.; ISHII, Y.; KANGVANSACHOL, K.; PRIPANAPONG, P.; SRIPICHITT, P.; PUNSUVON, V. VAITHANOMSAT, P.; NAKAMANEE, G., TUDSRI, S. Effects of inter-cutting interval on biomass yield, growth components and chemical composition of napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach) cultivars as bioenergy crops in Thailand. **Grassland Science**, v. 57, p. 135–141, 2011.

- ROCHA, J. R. A. S. C.; MACHADO, J. C.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. C.; RESENDE, M. D. V.; LEDO, F. J. S.; CARNEIRO, J. E. S. Bioenergetic potential and genetic diversity of elephant grass via morpho-agronomic and biomass quality traits. **Industrial Crops and Products**, v. 95, p. 485-492, 2017.
- RUEDA, J. A.; ORTEGA, J. E.; ENRÍQUEZ, Q. F. J.; PALACIOS, R. E.; RAMÍREZ, O. S. Growth, yield, fiber content and lodging resistance in eight varieties of *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone intended as energy crop. **Biomass Bioenergy**, v. 88, p. 59–65, 2016.
- SAMSON, R.; MANI, S.; BODDEY, R.; SOKHANSAN, S.; QUESADA, D.; URQUIAGA, S.; LEM, C. H. The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 24, p. 461-495, 2005.
- SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- SEKIYA, N.; SHIOTSU, F.; ABE, J.; MORITA, S. Distribution and quantity of root systems of field-grown *Erianthus* and Napier grass. **American Journal of Plant Sciences**, v. 4, p. 16-22, 2013.
- SILVA, D. J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 235 p.
- SMITH, D. M.; INMAN BAMBER, N. G.; THORBURN, P. J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, v. 92, p. 169-183, 2005.
- SUMIYOSHI, Y.; CROW, S. E.; LITTON, C. M.; DEENIK, J. L.; TAYLOR, A. D.; TURANO, B.; OGOSHI, R. Belowground impacts of perennial grass cultivation for sustainable biofuel feedstock production in the tropics. **GCB Bioenergy**, v. 9, p. 694-709, 2017.
- SURENDRA, K. C.; OGOSHIB, R.; ZALESKIC, H. M.; HASHIMOTO, A. G.; KHANAL, S. K. High yielding tropical energy crops for bioenergy production: Effects of plant components, harvest years and locations on biomass composition. **Bioresource Technology**, v. 251, p. 218-229, 2018.

SURENDRA, K. C.; KHANAL, S. K. Effects of crop maturity and size reduction on digestibility and methane yield of dedicated energy crop. **Bioresource Technology**, v. 178, p. 187-193, 2015.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro, RJ: EPE. 2016. 452 p.

THORUP KRISTENSEN, K.; KIRKEGAARD, J. Root system-based limits to agricultural productivity and efficiency: the farming systems context. **Annals of Botany**, v. 118, p. 573–592, 2016.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 849-858, 2003.

WOODARD, K. R.; PRINE, G. M. Dry-matter accumulation of elephantgrass, energycane, and elephantmillet in a subtropical climate. **Crop Science**, v. 33, p. 818-824, 1993.

ZHAO, L.; YANG, K.; ZHAO, P.; QIN, W.; ZHAO, Y.; ZHU, J.; ZAN, F.; ZHAO, J.; LU, X.; WU, C.; BURNER, D. M.; CHEN, X.; LIU, J. Sugarcane root distribution and growth as affected by genotype and crop cycle. **Bragantia**, v. 79, n. 2, p. 192-202, 2020.



Tabuleiros Costeiros