



INSTITUTO FEDERAL
Rondônia



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia



INSTITUTO FEDERAL
Rondônia
Campus Ariquemes

**Ministério da Educação - Secretaria de Educação Profissional
e Tecnológica**

**Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de
Rondônia Campus Ariquemes**

**Produção e Qualidade de Forragem Hidropônica de
Milho Cultivada em Diferentes Substratos e Períodos de
Colheita**

Ariquemes -RO

2024



INSTITUTO FEDERAL
Rondônia



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia



INSTITUTO FEDERAL
Rondônia
Campus Ariquemes

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia Campus Ariquemes

Geovani Gabriel Gonçalves da Luz

Orientador: Luciane C. Codognoto

Coorientador: Thassiane T. Conde

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das exigências do curso Bacharel em Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - *Campus Ariquemes*.

Ariquemes-RO

2024

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Luz, Geovani Gabriel Gonçalves da.
Produção e qualidade de forragem hidropônica de milho cultivada em
diferentes substratos e períodos de colheita / Geovani Gabriel Gonçalves da
Luz, Ariquemes-RO, 2024.
22 f. : il.

Orientador(a): Dra. Luciane da Cunha Codognoto.
Coorientador(a): Dra. Thassiane Telles Conde.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO,
Ariquemes-RO, 2024.

1. Tempo de cultivo. 2. Biomassa fresca. 3. Resíduos agrícolas. 4.
Germinação. I. Codognoto, Luciane da Cunha (orient.). II. Conde, Thassiane
Telles (coorient.). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Rondônia - IFRO. IV. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Renilce Silva Moraes, CRB-11/906 (Campus Ariquemes)



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE RONDÔNIA CAMPUS ARIQUEMES**

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**Produção e Qualidade de Forragem Hidropônica de
Milho Cultivada em Diferentes Substratos e Períodos de
Colheita**

Acadêmico: Geovani Gabriel G. da Luz

Orientador: Luciane da Cunha Codognoto

Conceito Atribuído:

Orientador

Coorientador

Membro da Banca

Membro da Banca

Data da Realização: ____/____/____.

Ariquemes-RO

2024

PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FORRAGEM HIDROPÔNICA DE MILHO CULTIVADA EM DIFERENTES SUBSTRATOS E PERÍODOS DE COLHEITA

RESUMO

Adaptando-se a técnica do cultivo hidropônico, espécies forrageiras podem ser obtidas da germinação até o cultivo de plântulas, para obtenção de alimento verde fresco de qualidade superior, com finalidade de suplementar a alimentação animal. Assim, o objetivo do experimento foi avaliar aspectos produtivos e qualitativos de forragem hidropônica de milho produzida em diferentes substratos orgânicos (casca de arroz, casca de café, bagaço de cana-de-açúcar e palha de milho) e controle (sem substrato), em dois períodos de cultivo (até o 10º e 15º dias após semeadura). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. Os substratos bagaço de cana-de-açúcar e casca de café não promoveram o desenvolvimento aéreo de plântulas de milho em cultivo de forragem hidropônica, considerando que eram materiais verdes e não foram submetidos a compostagem prévia. Casca de arroz, casca de café e bagaço de cana-de-açúcar apresentaram superior biomassa seca de substrato e produção total de matéria seca (MS), significativamente superior a forragem hidropônica controle. Cultivo de forragem hidropônica de milho até o 10º dia após semeadura assegurou superior produção total de MS. Forragem hidropônica obtida a partir do substrato casca de arroz caracterizam superior teores de MS, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido, para colheita aos 15 dias de cultivo, diferindo significativamente do tratamento controle. Forragem hidropônica a partir do substrato casca de café caracterizou superior teores de lignina e cinzas, evidenciando inferior qualidade nutricional do alimento.

Palavras-chave: Tempo de cultivo. Biomassa fresca. Resíduos agrícolas. Germinação.

PRODUCTION AND QUALITY OF HYDROPONIC CORN FORAGE CULTIVATED IN DIFFERENT SUBSTRATES AND HARVEST PERIODS

ABSTRACT

By adapting the hydroponic cultivation technique, forage species can be obtained from germination to seedling cultivation, to obtain fresh green food of superior quality, with the purpose of supplementing animal feed. Thus, the objective of the experiment was to evaluate productive and qualitative aspects of hydroponic corn forage produced on different organic substrates (rice husk, coffee husk, sugar cane bagasse and corn straw) and control, in two periods of cultivation (up to the 10th and 15th days after sowing). The experiment was conducted in a completely randomized design, in a factorial scheme (5 x 2), with four replications, totaling 40 experimental plots. The sugarcane bagasse and coffee husk substrates did not promote the aerial development of corn seedlings in hydroponic forage cultivation, considering that they were green materials and had not been subjected to prior composting. Rice husk, coffee husk and sugarcane bagasse showed higher substrate dry biomass and total dry matter (DM) production, significantly higher than control hydroponic forage (without substrate). Cultivation of hydroponic corn forage up to the 10th day after sowing represents superior substrate production and total DM production. Hydroponic forage obtained from rice husk substrate has higher DM, neutral detergent fiber and acid detergent fiber contents, for harvesting after 15 days of cultivation, differing significantly from the control treatment. Hydroponic forage from coffee husk substrate had higher lignin and ash contents, showing lower nutritional quality of the food.

Keywords: Cultivation time. Fresh biomass. Agricultural waste. Germination.

INTRODUÇÃO

A hidroponia é uma tecnologia emergente empregada na produção agrícola, sendo habitual para o cultivo de hortaliças. A técnica consiste no cultivo de plantas sem solo, em que os nutrientes são solubilizados em água e disponibilizados ao sistema radicular das plantas em proporções suficientes à produção vegetal, drenando o excedente para reciclagem no sistema. Recentemente, tem sido investigada como possibilidade para produção de forragem verde à alimentação animal, sendo uma alternativa complementar para a produção pecuária.

A forragem hidropônica é o método de cultivo de sementes viáveis de cereais normalmente utilizados na alimentação animal, como: milho (ROCHA et al., 2014), milheto (MÜLLER et al., 2006), sorgo (SANTOS et al., 2015), cevada (ALEMNEW; MEKURIAW, 2023), entre outras. A produção de forragem verde hidropônica baseia-se no cultivo de sementes de cereais germinados, e consiste basicamente no suprimento de água e solução com carga nutricional adicional para produção de plantas verdes, em curto espaço de tempo (CAMACHO, 2019; FAO, 2001; GUTIÉRREZ; MAUCIERI et al., 2019). Portanto, a forragem hidropônica tem alto valor nutricional devido à conversão de compostos complexos em formas mais simples e necessárias à ativação de enzimas no processo de germinação. Tal técnica destaca-se por produzir plantas de alto rendimento de biomassa fresca e excelente qualidade nutricional. Ainda, como o tempo de cultivo é até a fase inicial de formação, de 10 a 25 dias (ALMEIDA et al., 2021), tem-se um alimento com elevado teor de proteínas, vitaminas e altamente digerível, promovendo a absorção dos nutrientes (GIRMA; GEBREMARIAM, 2018).

Dentre outros fatores, a eficiência na produção da forragem hidropônica depende do tempo de cultivo. Para milho, recomenda-se colheita a partir do 12º dia após semeadura, ou em caso prioritário, podendo-se realizar entre o 7º e 10º dia, caracterizando superior valor nutricional do alimento; porém, pode resultar em baixo rendimento produtivo (FAO, 2001). Para colheitas tardias pode ocorrer redução da biomassa total e da qualidade nutricional do alimento produzido, que é fornecido à alimentação animal em sua totalidade: parte aérea, sistema radicular e sementes que não germinaram.

Para forragem hidropônica de milheto, colheita aos 20 dias apresentam menor produção de biomassa fresca e seca, caracterizado por esgotamento das reservas

da semente e, principalmente por competição entre plantas de maior porte, comparado a colheita realizada aos 10 dias (MÜLLER et al., 2006). Para forragem hidropônica de trigo, HERRERA-TORRES et al. (2010) recomendam colheita ao 10º dia, por evidenciar superior valor nutritivo e rendimento produtivo.

Na produção pecuária, os ruminantes destacam-se por aproveitarem alimentos de baixa qualidade, como coprodutos ou resíduos agrícolas, convertendo-os em produtos de alto valor biológico (carne e leite), reduzindo os custos com alimentação. Para produção de forragem verde hidropônica, alguns substratos orgânicos podem ser utilizados, com a finalidade de incrementar a biomassa e fibras do alimento administrado. Entretanto, determinados substratos podem alterar o valor nutricional e a aceitação do alimento obtido. Assim, em função das características dos diversos substratos, devem ser avaliados quanto a possibilidade de afetar significativamente os processos de germinação ou nutrição vegetal. Neste caso, o substrato deve ser de baixo custo, palatável, assegurar a germinação do cereal, reter umidade adequadamente para promover a oxigenação necessária ao processo de respiração radicular e proporcionar suporte mecânico às plantas. O potencial hidrogeniônico (pH) do material utilizado deve oscilar entre 5,2 e 7,0; e, evidenciar baixa concentração de sais, estimados a partir da condutividade elétrica, com amplitude variando de 1000 a 2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (FAO, 2001). Como substratos orgânicos, ocorrem estudos com capim elefante picado (PÍCCOLO et al., 2013), bagaço de cana-de-açúcar picado (FONSECA et al., 2021), casca de arroz (ROCHA et al., 2014), casca de café (PÍCCOLO et al., 2013); capim braquiária picado (SILVA et al., 2023) e sementes de açaí inteira fermentada (FONSECA et al., 2021). Forragem hidropônica é proposta como complementação alimentar, especialmente durante períodos de déficit, sendo uma alternativa ao tradicional sistema de produção em pastagem (FAO, 2001). Assim, o experimento teve como objetivo avaliar aspectos produtivos e qualitativos de forragem hidropônica de milho produzida a partir de diferentes substratos orgânicos, em dois períodos de cultivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de 26 de março a 10 de abril de 2023, no município de Ariquemes-RO, em propriedade rural localizada na linha C65, Km 15, sob as coordenadas geográficas: 9°54'11.4"S e 62°54'03.3"W.

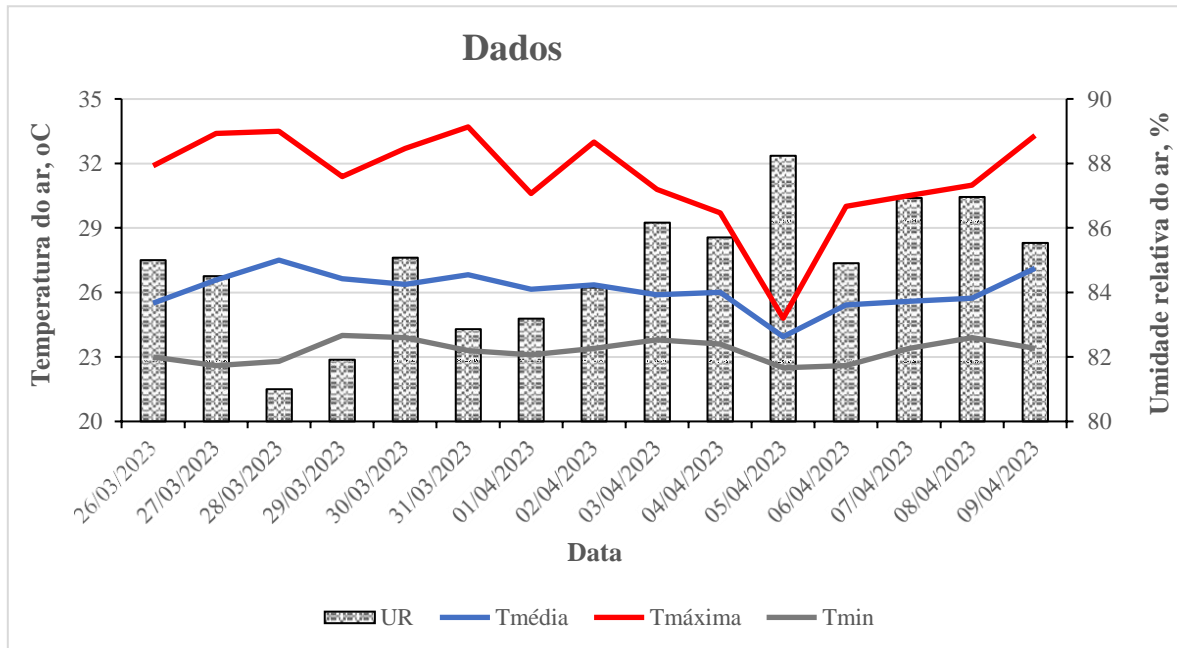
Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, com 4 repetições, totalizando 40 unidades experimentais. O fator principal constituiu os substratos orgânicos: casca de arroz (*Oryza sativa*) (SCA), casca de café (*coffea canephora*) (SCC), bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) (SBC), palha do milho (*Zea mays*) (SPM) e controle (sem substrato) no cultivo de forragem hidropônica de milho. Como fator secundário, adotou-se dois períodos de cultivo: até o 10° e 15° dias após semeadura (DAS).

O SBC, obtido de cana-de-açúcar *in natura*, e o SPM, a partir de brácteas de milho verde, foram picados em ensiladeira elétrica. Posteriormente, os materiais foram submetidos a secagem em estufa de circulação forçada, a 55°C por 72 horas. Em seguida, foram processados em triturador elétrico para reduzir a granulometria dos materiais, entre 1 e 5 mm. Casca de arroz e casca de café foram utilizados sem processamento, secagem adicional ou compostagem.

Grãos de milho, genótipo JM 2M91, obtido de produtor rural local, foram utilizados para cultivo hidropônico de forragem de milho. Para o cultivo, determinou-se: germinação (96,50%), pureza (90,30%), peso de mil grãos (384,11 g) e teor de umidade (11,40%, na base úmida), conforme BRASIL (2009).

Para semeadura, os grãos de milho foram submetidos à tríplice lavagem em água e tratados com solução de hipoclorito de sódio a 1%, por 30 minutos. Após, a solução foi descartada e os grãos foram submetidos a mais uma lavagem em água. Na sequência, houve condicionamento osmótico do material, consistindo na imersão em água por 24 horas, com renovação da água após 12 horas de hidratação, e drenagem para semeadura, ocorrida aos 27 de março de 2023. No período experimental, as parcelas foram dispostas em ambiente coberto (sob sombra), e os dados de temperatura e umidade relativa do ar (Figura 1) foram registrados por data logger digital.

Figura 1. Temperatura e umidade relativa do ar no período de cultivo de forragem hidropônica de milho (15 dias).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para semeadura das unidades experimentais, utilizou-se pratos plásticos redondo, diâmetro 30 cm e 4 cm de altura. Os substratos foram distribuídos nas unidades experimentais em camadas de 2 cm, seguida de distribuição homogênea do milho hidratado na densidade de $3,6 \text{ kg m}^{-2}$, sendo cobertos por outra camada de 2 cm de substrato, que foram embebidos previamente, considerando a capacidade de retenção de água determinada por tipo de substrato. A massa de substrato utilizado nas unidades experimentais consistiu em 2,30, 3,90, 4,50 e $4,10 \text{ kg m}^{-2}$, na base seca, respectivamente, SCA, SCC, SBC e SPM. Nos tratamentos sem substrato (controle), os grãos ($3,6 \text{ kg m}^{-2}$) foram distribuídos nos parcelas experimentais.

A necessidade diária da manutenção da umidade dos substratos para cultivo do milho, em torno de 60% da capacidade de retenção, foi determinada conforme Brasil (2009), consistindo em 4,5, 5,7, 14,5 e $11,6 \text{ L m}^{-2}$, respectivamente, SCA, SCC, SBC e SPM. O tratamento controle recebeu $1,3 \text{ L m}^{-2}$ de água diariamente. O volume diário da água foi distribuído em três regas: às 8 horas, 12 horas e 17 horas.

Para todos os tratamentos, até o 2º DAS, a rega foi realizada somente com água. A partir do 3º dia até condução final dos tratamentos, utilizou-se solução nutritiva indicada para produção de forragem hidropônica de milho. O produto comercial consiste em dois saches com formulação de nutrientes solúveis em água. A formulação 1 define os

nutrientes: N (9,3%), Fe (0,139%), K₂O (35,7%), Mn (0,045%), P₂O₅ (9,4%), S (2,7%), B (0,045%), Cu (0,029%), Mo (0,008%) e Zn (0,018%). A formulação 2, contém: N (13,0%), Ca (10%) e Mg (3,7%). Para o preparo da solução nutritiva, separadamente, solubilizou-se 37 g de cada formulação por litro de água e, na sequência, as soluções 1 e 2 foram homogeneizadas.

A água utilizada foi proveniente de poço escavado. A solução obtida a partir dos substratos embebidos em água por 12 horas e da solução nutritiva utilizada foi caracterizada (Quadro 1). A dureza total foi determinada por titulação com EDTA; e a turbidez, a condutividade e o potencial hidrogeniônico (pH), respectivamente, foram determinados utilizando turbidímetro, condutivímetro e pHmetro de bancada.

Quadro 1. Caracterização físico-química do extrato aquoso dos substratos e da solução nutritiva experimental.

Variável	Turbidez (NTU)	Dureza (mg L ⁻¹)	Condutividade (μS cm ⁻¹)	pH -----
SCA	19,6	1,6	499,7	6,7
SCC	240,8	6,6	4,6	6,4
SBC	42,1	14,1	1299,0	4,6
SPM	92,0	5,0	651,1	4,2
Solução nutritiva	1,4	6,9	479,0	6,8

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Nas colheitas realizadas aos 10 e 15 dias de cultivo, respectivamente, ao 9° e 14° dias, as regas foram suspensas. Ao fim do período experimental (no 10° e 15° DAS), utilizando régua, determinou-se a altura da parte aérea da forragem, medindo-se a partirdo substrato até o ápice das folhas, e expresso em metros. Das unidades experimentais, retirou-se uma porção de 15 cm x 15 cm (amostra), para determinar o rendimento fresco de biomassa aérea e da biomassa do substrato (constituída de substrato, grãos não germinados e raízes). Utilizando tesoura, separou-se a parte aérea (folhas) da forragem, pesadas e embaladas separadamente. A biomassa substrato foi pesada e acondicionadas em embalagem de papel kraft. As amostras das partes aérea e substrato foram submetidas à pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72 horas, método G-001/2 (DETMANN et al., 2021). Após pré-secagem, procedeu-se a determinação do rendimento das biomassas aérea e dos

substratos, considerando: biomassa fresca inicial (BFI) e biomassa fresca final (BFF). Com base no teor de matéria seca (MS), foram determinados a biomassa seca aérea (BSA), biomassa seca do substrato (BSS) e produção seca total (PST) da forragem hidropônica de milho (biomassa aérea + biomassado substrato).

Para as análises químico-bromatológicas, as amostras (biomassas aérea e substrato) foram homogeneizadas e submetidas a processamento físico em moinho de facas Willey, em peneira de porosidade de 1 mm. Conforme descrito por Detmann et al. (2021), foram determinados: matéria seca (MS), método G-003/1; cinzas (CZ), método M-001/2; extrato etéreo (EE), método G-004/1; fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), método F-001/2 e F-003/2, respectivamente; e, lignina(LIG), método F-006/1.

Utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019), os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as diferenças entre as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para biomassa fresca final (BFF), biomassa seca do substrato de cultivo e raízes (BSS) e produção seca total (PST) de forragem hidropônica de milho, a análise de variância identificou efeito isolado dos fatores: substrato (S) e período de cultivo (P) (Tabela 1). Biomassa seca área (BSA) e altura de forragem hidropônica de milho (ALT) evidenciaram interação entre S e P, caracterizando interdependência entre os fatores.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para biomassa fresca inicial (BFI) e final (BFF) de substrato e grãos de milho, biomassa seca do substrato de cultivo e raízes (BSS), biomassa seca da parte aérea (BSA), produção total (PST) e altura (ALT) de forragem hidropônica de milho produzida em diferentes substratos e períodos de cultivo.

Variável	Substrato (S)	Período de cultivo (P)	S × P	CV ⁽¹⁾ , %	Média
..... Valor de F					
BFI, kg m ⁻²	852,658**	---	---	5,28	12,23
BFF, kg m ⁻²	243,264**	68,359**	1,140 ^{ns}	6,66	12,82
BSA, kg MS m ⁻²	594,348**	57,696**	24,122**	13,39	0,09
BSS, kg MS m ⁻²	139,858**	42,549**	0,727 ^{ns}	6,62	3,13
PST, kg MS m ⁻²	126,248**	35,025**	1,131 ^{ns}	6,60	3,22
ALT, m	1150,967**	73,590**	19,820**	8,71	0,14

⁽¹⁾ CV: coeficiente de variação. ** e ^{ns}, significativo a 1% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F. Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Os tratamentos substratos casca de café (SCC) e bagaço de cana (SBC), aos 10 e 15 dias de cultivo, não promoveram a emergência de plântulas de milho, constatado por ausência de ALT e BSA (Tabela 2). Embora os SBC e SPM apresentassem pH ácido, respectivamente, 4,6 e 4,2 (Quadro 1), isoladamente não são indicativos de efeito negativo à germinação. Nos estágios iniciais de germinação do milho, Wellmann et al. (2023) observaram redução significativa do pH do meio circundante às sementes. Os autores apresentam que pH inferior a 4,5 promove o crescimento inicial da radícula e da plúmula, pois assegura flexibilidade da parede da célula vegetal, em que o turgor é prevalente. Ainda, ecologicamente, a acidificação pode ser considerada benéfica por ser um

mecanismo de defesa da semente (rica em amido, proteínas e lipídeos) e suscetível à infestação por bactérias e fungos.

Tabela 2. Médias de biomassa seca de parte aérea (BSA) e altura (ALT) de forragem hidropônica de milho produzido em diferentes substratos e controle, em dois períodos de cultivo.

Substratos de cultivo	----- Períodos de cultivo (dias) -----	
	10	15
.....(BSA, kg m ⁻²) ..		
Substrato casca de arroz (SCA)	0,20 aB ⁽¹⁾	0,31 aA
Substrato casca de café (SCC)	0,00 d	0,00 d
Substrato bagaço de cana (SBC)	0,00 d	0,00 d
Substrato palha de milho (SPM)	0,06 cB	0,09 cA
Controle	0,12 b	0,14 b
.....(ALT, m) ..		
Substrato casca de arroz (SCA)	0,31 aB	0,39 aA
Substrato casca de café (SCC)	0,00 d	0,00 d
Substrato bagaço de cana (SBC)	0,00 d	0,00 d
Substrato palha de milho (SPM)	0,18 bB	0,24 bA
Controle	0,14 cB	0,16 cA

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras diferentes na coluna (minúsculas) e na linha (maiúsculas), diferem significativamente ($p > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O substrato vegetal obtido a partir da cana-de-açúcar *in natura*, sem extração do caldo, passou por secagem rápida e processado em partículas diminutas. A medida promoveu o aumento da área superficial, havendo predominância de microporos no material; portanto, maior capacidade de retenção de água. Ainda, a elevada condutividade elétrica na solução do substrato, 1299 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Quadro 1), é um indicativo de redução de oxigênio no meio, indispensável ao processo de germinação de sementes. Tal situação foi constatada durante período experimental em que houve degradação fermentativa do material, prejudicando a emergência do milho. Fonseca et al. (2021) ao avaliarem sementes de açaí trituradas como substrato para produção de forragem hidropônica de milho, registraram elevação da temperatura do meio de cultivo, como consequência da fermentação do material, pois a umidade do substrato proporcionou condições de microambiente anaeróbico. Estudos envolvendo o uso de casca de café indicam algum nível de inibição em determinadas plantas, devido a compostos com efeitos alelopáticos, como: cafeína, taninos, ácido caféico (BRAGA; PASIN, 2020; LIMA et al., 2017; MAY et al., 2011; PÍCCOLO et al, 2013). No caso do SCC, obtido por via seca (café em

coco), o extrato aquoso da casca de café pode ter apresentado efeito alelopático, inibindo a germinação das sementes de milho por presença de cafeína, alcalóide predominante na variedade *Coffea Canephora* (CARACOSTEA; SÎRBU; BUȘURICU, 2021). Baqueta et al. (2017) afirmam que cascas de café apresentam potencial para a extração de cafeína. Moura et al. (2022) ao testarem concentrações de extratos aquosos de resíduos de café, registraram inibição a germinação e acúmulo de massa seca de plântulas de milho. Portanto, para cultivo de milho hidropônico, o contato do substrato com sementes prejudicou a emergência e produção aérea das plântulas (Tabela 2).

O substrato casca de arroz (SCA) caracterizou efeito significativo, com BSA e ALT superior ao tratamento controle, inclusive para colheita realizada aos 15 dias de cultivo (Tabela 2). A casca de arroz é um material de morfologia irregular, poroso e com presença de sulcos, com diâmetros que variaram de 10 a 20 μm (PENHA et al, 2016), de reduzida densidade volumétrica, caracterizando ambiente adequado de aeração para o sistema radicular das plântulas (ZORZETO; FERNANDES JÚNIOR; DECHEN, 2016), e não demonstrou pré-disposição a decomposição nos períodos de cultivo.

O SBC evidenciou BFI e BFF significativamente superior aos demais substratos e controle. Quanto a BFF, os substratos obtidos a partir de material fresco (SBC e SPM) caracterizaram perda de massa sobre a BFI, nessa ordem, equivalente a 12,23 e 1,60% (Tabela 3), caracterizando deterioração das sementes. Já controle, SCA e SCC resultaram em incremento à BFF, proporcional a 67,22, 34,68 e 1,77%, respectivamente.

Tabela 3. Médias de biomassa fresca inicial (BFI), biomassa fresca final (BFF), biomassa seca de substrato (BSS) e produção total (PST) de forragem hidropônica de milho produzida em diferentes substratos e controle.

Variável	SCA	SCC	SBC	SPM	Controle
BFI, kg m^{-2}	8,91 d ⁽¹⁾	11,84 c	21,34 a	15,58 b	3,60 e
BFF, kg m^{-2}	12,00 c	12,05 c	18,73 a	15,33 b	6,02 d
BSS, kg MS m^{-2}	3,52 ab	3,70 a	3,57 a	3,24 b	1,61 c
PST, kg MS m^{-2}	3,81 a	3,70 a	3,57 ab	3,31 b	1,74 c

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras diferentes na linha, diferem significativamente ($p > 0,05$) entresipelo teste de Tukey.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para biomassa seca do substrato (BSS) e produção total (PST), houve efeito proeminente dos SCA, SCC e SBC sobre o tratamento controle (Tabela 3). Para os SCC e SBC, a PST foi obtida exclusivamente da BSS, como constatado na Tabela 2, por ausência de BSA.

Tabela 4. Médias de biomassa fresca final (BFF), biomassa seca de substrato (BSS)

produção total (PST) de forragem hidropônica milho obtida em dois períodos de cultivo.

Variável	----- Períodos de cultivo (dias) -----	
	10	15
BFF, kg m ⁻²	13,94 a ⁽¹⁾	11,71 b
BSS, kg MS m ⁻²	3,34 a	2,91 b
PST, kg MS m ⁻²	3,42 a	3,02 b

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras diferentes na linha, diferem significativamente ($p > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey. Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O período de cultivo 10 dias evidenciou superior PST, BSS e BFF, sobre o cultivo aos 15 dias (Tabela 4). De tal modo, o cultivo em menor período (10 dias) proporciona superior produção, otimizando o sistema produtivo, pois reduz o “lead time”.

Quanto aos fatores qualitativos da forragem hidropônica de milho, para as variáveis cinzas (CZ) e lignina (LIG), a análise de variância evidenciou efeito exclusivo do fator substrato (Tabela 5). Para matéria seca (MS), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) houve interação entre S e P, caracterizando relação de dependência mútua entre os fatores.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para matéria seca (MS), proteína bruta (PB), cinzas, (CZ), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (LIG) de forragem hidropônica de milho produzida em diferentes substratos e períodos de cultivo.

Variável	Substrato (S)	Período de cultivo (P)	S × P	CV ⁽¹⁾ , %	Média
MS, %	41,957**	0,704 ^{ns}	4,396**	9,20	25,80
CZ, %MS	216,935**	1,613 ^{ns}	1,153 ^{ns}	7,98	5,07
EE, %MS	67,262**	2,960 ^{ns}	3,551*	9,97	3,40
FDN, %MS	332,072**	35,834**	10,985**	4,11	45,30
FDA, %MS	472,122**	9,880**	15,138**	6,17	25,72
LIG, %MS	22,334**	0,183 ^{ns}	1,903 ^{ns}	21,29	1,74

(1) CV: coeficiente de variação. **, * e ^{ns}, significativo a 1%, 5% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Os tratamentos forragem hidropônica de milho cultivada com os SCA, SCC e controle, ao 10º dia de cultivo, apresentaram matéria seca (MS) superior, diferindo significativamente dos SBC e SPM (Tabela 6). Para cultivo de forragem hidropônica de milho até o 15º dia, o SCA deferiu significativamente dos demais substratos e controle, em que estes registraram inferior teor de MS. Dentre os substratos e controle, os tratamentos forragem hidropônica de milho obtidas a partir dos SBC e SPM, evidenciaram reduzida MS, tanto para cultivo aos 10 e aos 15 dias (Tabela 6), caracterizando efeito de degradação da matéria orgânica dos substratos, uma vez que não houve emergência de plântulas de milho (Tabela 2).

Tabela 6. Médias de matéria seca (MS), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e carboidratos totais (CHT) de forragem hidropônica de milho produzida em diferentes substratos e controle, em dois períodos de cultivo.

Substratos de cultivo	----- Períodos de cultivo (dias) -----	
	10	15
	----- (MS, %) -----	
SCA	29,08 aB ⁽¹⁾	35,31 aA
SCC	30,39 aA	26,93 bB
SBC	19,24 b	18,81 c
SPM	21,02 b	21,75 c
Controle	27,69 a	27,76 b
	----- (EE, %MS) -----	
SCA	2,74 bA	2,17 cB
SCC	2,53 bB	3,09 bA
SBC	4,69 a	4,37 a
SPM	2,88 b	2,77 bc
Controle	4,65 aA	4,16 aB
	----- (FDN, %MS) -----	
SCA	53,05 aB	62,30 aA
SCC	51,29 ab	49,42 b
SBC	38,71 cB	45,15 cA
SPM	49,01 b	51,55 b
Controle	25,64 d	26,91 d
	----- (FDA, %MS) -----	
SCA	32,44 bB	39,88 aA
SCC	39,72 a	38,30 a
SBC	19,42 dB	22,95 bA
SPM	25,29 cA	21,49 bB
Controle	7,81 e	9,95 c

(1) Médias seguidas de letras diferentes na coluna (minúsculas) e na linha (maiúsculas), diferem significativamente ($p > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Dentre os períodos de cultivo, o tratamento SCA aos 15 dias de cultivo apresentou superior teor de MS (Tabela 6). A casca de arroz é um material inerte, resistente a degradação e assegura porosidade e umidade adequada ao sistema radicular das plântulas, o que proporcionou superior incremento de MS sobre os demais substratos. No entanto, como observado por Campêlo *et al.* (2007) a qualidade nutricional da casca de arroz é questionável por possuir alto teor de silício (90%, nas cinzas) e caracteriza importante inibidor de digestão da fibra em volumosos. Já a casca de café (obtido a partir do beneficiamento a seco

dos grãos, como a casca de arroz), com o aumento do ciclo de produção, reduziu a MS da forragem (Tabela 6), evidenciando ação alelopática de inibição ao desenvolvimento do cultivo. Para os demais substratos e controle não houve efeito para períodos de cultivo.

Comparando-se o teor de extrato etéreo (EE) obtido em forragem hidropônica de milho controle, com exceção do SBC, os demais substratos apresentaram efeito de diluição do teor do nutriente, tanto para cultivo aos 10 e aos 15 dias (Tabela 6). Os SCA e controle tiveram redução no teor de EE para forragem hidropônica de milho em cultivo aos 15 dias, respectivamente, proporcional a 20,80 e 10,53%. Já para forragem hidropônica de milho com SCC, o incremento no teor de EE para cultivo aos 15 dias foi equivalente a 22,14%. No entanto, os teores de EE obtidos nos alimentos não são limitantes, pois não ultrapassam o teor de 7% da matéria seca (NRC, 2001), com potencial de comprometimento do consumo animal, seja por mecanismos regulatórios que controlam a ingestão de alimentos, seja pela limitada capacidade dos ruminantes em oxidar a gordura, insolúvel em água (BOSA *et al.*, 2012).

Para cultivo de forragem hidropônica de milho ao 10º dia, os SCA e SCC, caracterizaram FDN significativamente superior ao obtido na forragem controle, equivalente a 51% (Tabela 6). Em cultivo aos 15 dias, forragem hidropônica de milho com o SCA registrou FDN superior, diferindo dos demais tratamentos. Portanto, os valores obtidos no atual experimento atendem ao preconizado por Van Soest (1965), em que níveis de FDN inferiores a 70% não afetam o consumo alimentar por ruminantes, pois caracteriza bom valor nutritivo da forragem, favorecendo o desempenho e a produtividade animal (ALENCAR *et al.*, 2010). Assim, a produção vegetal (forragem hidropônica de milho) caracteriza efeito de diluição dos componentes dos carboidratos estruturais, como celulose, hemicelulose e lignina dos substratos testados. Somente forragem hidropônica de milho a partir dos SCA e SBC evidenciaram efeito entre os tempos de cultivo (Tabela 6). O incremento nos teores de FDN para cultivo aos 15 dias na forragem hidropônica de milho com os SCA e SBC, respectivamente, é proporcional a 17,44 e 16,64% (Tabela 6). Especificamente para forragem hidropônica de milho a partir do SCA, tal incremento se deve ao substrato (CAMPÊLO *et al.*, 2007), contendo elevado teor de sílica (PENHA *et al.*, 2016); e, à maturidade da plântula por colheita mais tardia (MÜLLER *et al.*, 2006). Já para forragem hidropônica de milho a partir do SBC, como não se registrou produção de BSA (Tabela 2), o avançar do ciclo de cultivo evidenciou degradação da matéria orgânica do substrato e sementes (por fermentação), ressaltando os componentes estruturais do tecido vegetal dos substratos. Mahmud e Anannya (2021) evidenciaram a composição de tecidos estruturais do bagaço de cana-de-açúcar, que é variável em função do cultivar ou idade da planta, com proporções entre: 26-47% de celulose, 19-33% de hemicelulose e, 14-23% de

lignina.

Os teores de FDA obtidos (Tabela 6) são concordantes com a digestibilidade do alimento, indicando baixos teores de componentes lignificados, favorecendo a digestibilidade e o aproveitamento da forragem ingerida (OLIVEIRA et al., 2010). FDA em forragens com valores em torno de 30% é considerado ideal ao consumo animal (MERTENS, 1994; NUSSIO; MANZANO; PEDREIRA, 1998). Para cultivo aos 10 dias, forragem hidropônica de milho obtida a partir do SCC registrou FDA superior, diferindo significativamente dos demais substratos e o controle. Forragem hidropônica de milho controle caracterizou reduzido FDA, equivalente a 19,66% do registrado para SCC (Tabela 6). Já aos 15 dias, forragem hidropônica de milho a partir dos SCA e SCC apresentaram FDA equivalentes, mas diferiram significativamente dos demais tratamentos; enquanto a forragem controle, registrou resultado inferior, proporcional a 25,98% do obtido em SCC. Para avaliações entre períodos de cultivo, forragem hidropônica de milho a partir do SCA e SBC, FDA aumentou com o tempo de cultivo, evidenciando o alto teor de fibras dos substratos. Enquanto para forragem hidropônica de milho obtida com o SPM, houve redução do teor de FDA para cultivo aos 15 dias, caracterizando disponibilidade da componente hemicelulose do material.

Tabela 7. Médias cinzas (CZ) e lignina (LIG) de forragem hidropônica de milho produzido em diferentes substratos e controle.

Variável	SCA	SCC	SBC	SPM	Controle
CZ, %MS	6,54 b	7,88 a	4,21 c	4,15 c	2,59 d
LIG, %MS	1,72 b	2,54 a	1,68 b	1,92 b	0,82 c

(1) Médias seguidas de letras diferentes na linha, diferem significativamente ($p > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey. Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Forragem hidropônica de milho obtida com SCC caracterizou cinzas (CZ) e lignina (LIG) superiores, diferindo significativamente dos demais tratamentos (Tabela 7). Comparando-se a forragem hidropônica de milho controle com a forragem hidropônica de milho obtida com o SCC, houve incremento equivalente a 204,25 e 209,76%, respectivamente, nos teores de CZ e LIG. Assim, para produção de forragem hidropônica de milho, o SCC potencializa o teor de LIG, como constatado pelo elevado teor do constituinte do substrato, adequando-se ao teor de FDA, já em cultivo aos 10 dias (Tabela 6).

CONCLUSÕES

Produção de forragem hidropônica de milho com o uso de substratos verdes, a compostagem prévia do material é indispensável, pois caracteriza fermentação e anaerobiose no substrato de cultivo e prejudicam a germinação de milho.

O substrato casca de café inibiu a germinação e desenvolvimento de plântulas de milho para produção de forragem hidropônica.

Cultivo de forragem hidropônica de milho apresenta superior rendimento de matéria fresca e seca para colheita aos dez dias de cultivo. Para incremento a produção de matéria seca à forragem hidropônica de milho, o substrato casca de arroz, por ser inerte e resistente a decomposição, apresenta característica favorável ao cultivo. Os teores de fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido da forragem hidropônica de milho cultivada com o substrato casca de arroz não são limitantes ao consumo por ruminantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEMNEW, Y.; MEKURIAW, Y. Effects of harvesting age and barley varieties on morphological characteristics, biomass yield, chemical composition, and economic benefits under hydroponic conditions in Fogera District, Ethiopia, **Advances in Agriculture**, v. 2023, ID 9315556, 10 p., 2023.
- ALENCAR, C. A. B. *et al.* Valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais irrigadas em diferentes épocas do ano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 1, p. 20-27, 2010.
- BAQUETA, M. R. *et al.* Extração e caracterização de compostos do resíduo vegetal casca de café. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 8, n. 2, p. 68-89, 2017.
- BOSA, R. *et al.* Consumo e digestibilidade aparente de dietas com diferentes níveis de inclusão de torta de coco para alimentação de ovinos. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.34, n. 1, p. 57–62, jan. 2012.
- BRAGA, D. V. B.; PASIN, L. A. A. P. Efeito alelopático dos resíduos do café e arroz na germinação e desenvolvimento inicial de diferentes espécies. **Revista Científica Universitas**, v. 7, n. 3, p. 61-72, 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395p.
- CARACOSTEA, L-M.; SÎRBU, R; BUŞURICU, F. Determination of Caffeine Content in Arabica and Robusta Green Coffee of Indian Origin. **European Journal of Natural Sciences and Medicine**, v. 4, n. 1, p. 69-79, 2021.
- DETMANN, E. *et al.* **Métodos para análise de alimentos**. INCT - Ciência animal. ed.2. 2021. 350p.
- FAO - ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. **Manual técnico forraje verde hidropónico**. 2001, 73p.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- GIRMA, F.; GEBREMARIAM, B., Review on hydroponic feed value to livestock production. **Journal of Scientific and Innovative Research**, v. 7, n. 4, pp.106-109, 2018.
- GUTIÉRREZ, S. F.; CAMACHO, E. C. Aplicación de abono orgánico líquido aeróbico en la producción de forraje verde hidropónico, en dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare* L) en el Centro Experimental de Cota Cota. **Apthapi**, v.5, n. 1, p. 1430-1440, 2019.
- HERRERA-TORRES, E. *et al.* Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. **Interciência**, v. 35, n. 4, p. 284-289, 2010.
- LIMA, L. K. S. *et al.* Produção de mudas de aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) em resíduos orgânicos. **Revista Ceres**, v. 64, n. 1, p.1-11,

2017.

MAHMUD, M. A.; ANANNYA, F. R. Sugarcane bagasse - A source of cellulosic fiber for diverse applications. **Heliyon**, v. 7, n. 8, p. e07771, 2021.

MAY, D. *et al.* Efeito de extratos de casca de café (*Coffea arabica* L.) na germinação e crescimento de pepino (*Cucumis sativus* L.). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 9, n. 2, p. 180-186, 2011.

MOURA, M. C. F. *et al.* Allelopathic influence of coffee roasting residue on cultivated species. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 5, n. 1, p. 190-199, 2022.

MÜLLER, L. *et al.* Forragem hidropônica de milho: produção e qualidade nutricional em diferentes densidades de semeadura e idades de colheita. **Ciência Rural**, v.36, n.4, p.1094-1099, 2006.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**.7.ed. Washington: National Academy of Science, 2001. 254p.

NUSSIO, L. G.; MANZANO, R. P.; PEDREIRA, C. G. S. Valor alimentício em plantas do gênero *Cynodon*. In: Simpósio sobre manejo da pastagem, 15., 1998, Piracicaba. Manejo de pastagens de tifton, coastcross e estrela: **Anais**. Piracicaba: FEALQ, p. 203- 242, 1998.

OLIVEIRA, D. A. *et al.* Valor nutritivo do capim-braquiária no primeiro ano de recuperação com aplicações de nitrogênio e enxofre. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 4, p. 716-726, 2010.

PENHA, R. S. *et al.* Casca de arroz quimicamente tratada como adsorvente de baixo custo para a remoção de íons metálicos (Co^{2+} e Ni^{2+}). **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 3, p. 588-604, 2016.

PÍCCOLO, M. A. *et al.* Produção de forragem verde hidropônica de milho, utilizando substratos orgânicos e água residuária de bovinos. **Revista Ceres**, v. 60, n. 4, p. 544– 551, 2013.

ROCHA, R. J. S. *et al.* Produtividade e composição química da forragem hidropônica de milho em diferentes densidades de semeadura no substrato casca de arroz. **Revista Científica de Produção Animal**, v.16, n.1, p.25-31, 2014.

SANTOS, M. J. *et al.* Produção e composição bromatológica de milho e sorgo cultivados hidroponicamente sem substrato. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 11, p.226-241, 2016.

SILVA, H. S. *et al.* Hydroponic forage of corn and millet grown on different organic substrates. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 10, n.12, p. 206-217, 2022.

VAN SOEST, P. J. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. **Journal of Animal Science**, v. 24, n. 3, p. 834-843, 1965.

WELLMANN, K. *et al.* Maize Grain Germination Is Accompanied by Acidification of the

Environment. **Agronomy**, v. 13, n. 7, p. 1819-1829, 2023.

ZORZETO, T. Q.; FERNANDES JÚNIOR, F.; DECHEN, S. C. F. Substratos de fibra de coco granulada e casca de arroz para a produção do morangueiro 'Oso Grande'. **Bragantia**, v.75, n. 2, p. 222–229, abr. 2016.