

FORRAGEM HIDROPÔNICA DE MILHO CULTIVADO EM BAGAÇO  
DE CANA E CAPIM NAPIER COM DIFERENTES SOLUÇÕES  
NUTRITIVAS

**TAMARA LOCATELLI**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE

DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

FEVEREIRO – 2016

FORRAGEM HIDROPÔNICA DE MILHO CULTIVADO EM BAGAÇO  
DE CANA E CAPIM NAPIER COM DIFERENTES SOLUÇÕES  
NUTRITIVAS

**TAMARA LOCATELLI**

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.”

Orientador: Prof. Fábio Cunha Coelho

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO – 2016

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

85/2016

Locatelli, Tamara

Forragem hidropônica de milho cultivado em bagaço de cana e capim napier com diferentes soluções nutritivas / Tamara Locatelli. – Campos dos Goytacazes, 2016.

99 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Fitotecnia. Campos dos Goytacazes, 2016.

Orientador: Fábio Cunha Coelho.

Área de concentração: Produção vegetal.

Bibliografia: f. 76-85.

1. *Zea mays* L. 2. FORRAGEM HIDROPÔNICA 3. SOLUÇÕES NUTRITIVAS I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Fitotecnia II. Título

CDD

633.15

FORRAGEM HIDROPÔNICA DE MILHO CULTIVADO EM BAGAÇO  
DE CANA E CAPIM NAPIER COM DIFERENTES SOLUÇÕES  
NUTRITIVAS

**TAMARA LOCATELLI**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal

Aprovada em 26 de fevereiro de 2016

Comissão Examinadora:

---

Prof. Cláudio Roberto Marciano (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) – UENF

---

Prof. Sílvio de Jesus Freitas (D.Sc, Produção Vegetal) – UENF

---

Prof. Gilmar Santos Costa (D.Sc., Produção Vegetal) – IFF

---

Prof. Fábio Cunha Coelho (D.Sc., Fitotecnia) – UENF  
(Orientador)

“Talvez não tenhamos conseguido fazer o melhor, mas lutamos para que o melhor fosse feito.

Não somos o que deveríamos ser, não somos o que iremos ser.

Mas Graças a Deus, não somos o que éramos.”

—Martin Luther King Jr.

*A meus pais, Angela Maria e Luiz Carlos, por todo amor, confiança, dedicação,  
apoio e incentivo;*

*A meus irmãos, Tallita e Anderson, por todo amor e cuidado.*

**DEDICO E OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus em primeiro lugar, pois tudo que guardei em minhas mãos eu perdi, mas tudo que coloquei em suas mãos, eu ainda possuo.

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela oportunidade de realizar o curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa.

À Cooperativa Agroindustrial do Estado do Rio de Janeiro (COAGRO), pela doação do bagaço de cana-de-açúcar.

Ao meu orientador Prof. Fábio Cunha Coelho por aceitar me orientar, pelo apoio, paciência, amizade e dedicação.

Ao Coorientador Prof. Sílvio de Jesus Freitas, pela orientação durante os meses em que o prof. Fábio esteve ausente no período de pós-doutorado, por toda ajuda e incentivo, e pela amizade me mantendo calma nos momentos de desespero.

À minha linda família que sempre torceu por mim, o verdadeiro motivo do meu sucesso. Aos meus pais Angela Maria e Luiz Carlos pelo amor incondicional, carinho, dedicação, incentivo e paciência ao me acalmar todas as vezes em que me desesperei. Aos meus irmãos Tallita e Anderson pelo carinho, incentivo constante e companheirismo.

À minha cunhada Kelly pela amizade.

Ao Rodrigo Felix, pelo carinho, amizade, força e confiança depositados em mim. Fazendo-me acreditar que eu sempre fui capaz.

Aos professores Janie Jasmin, Marta Freitas, Cláudio Marciano, Deborah Guerra, José Carlos Mendonça, Rosana Rodrigues, por permitirem o uso de suas câmaras frias e laboratórios, cedendo materiais e permitindo uso de seus equipamentos para as análises laboratoriais.

Aos professores Almy Junior, Sílvio Freitas, Fábio Coelho e Henrique Vieira, pela compra de materiais fundamentais para realização dos experimentos.

Aos professores Alexandre Pio Viana, Silvério Freitas e Marta Freitas, por cederem espaço permitindo uso de suas casas de vegetação para realização dos experimentos.

Ao professor Claudio Luiz Melo de Souza, pela disposição, atenção e ajuda com os testes estatísticos.

Aos técnicos Herval, Detony e Jader, por toda disposição e ajuda no desenvolvimento do projeto.

Ao técnico José Accacio pela ajuda com as análises no laboratório de nutrição mineral.

Ao técnico de Campo Adegildo, pela disposição e ajuda no campo.

Ao técnico de nível superior Leandro Hespanhol, pela ajuda com a aquisição das sementes para o experimento e disposição a todo momento.

Ao funcionário da Incaper de Muqui (ES), Tassio, pelo acompanhamento e ajuda na negociação da compra das sementes da comunidade Fortaleza.

À Thaisa Capato, por toda paciência e ajuda na elaboração das soluções nutritivas e auxílio em todas as vezes que precisei tirar dúvidas.

Ao Julio Cesar, pela amizade e parceria, nas horas de obrigações como nas idas ao mercado, nas idas ao centro, nas idas a UENF nos finais de semana para cuidar dos experimentos e nos momentos de descontração também.

Ao David Gomes (Mamute), pela amizade e parceria, principalmente nos últimos seis meses. Por ser essa pessoa alegre e levantar meu astral a qualquer custo. Pelas conversas de reflexão e conselhos nos momentos difíceis.

Aos amigos David Pessanha e Priscila Gurgel, pela amizade, convivência diária, pelos momentos de descontração e por aguentarem meu estresse.

Ao amigo Marcus André, que, mesmo estando tão longe, nunca deixou de me ajudar, apoiar, aconselhar e incentivar. Pelas conversas nos momentos de

desabafo, pela ajuda com artigos em inglês e pelas diversas vezes que teve que acessar remotamente meu notebook e ficar horas mexendo para retirar o vírus ou desfazer alguma coisa de errado que eu fiz.

Ao amigo Sávio Bastos, pela amizade, incentivo e ajuda nesses últimos meses tão difíceis.

Aos colegas de laboratório, Waldinei Souza, Milaine Paes, David Pessanha, Tiago Freitas e Tacísio Nunes, pela convivência.

Ao amigo Vicente Mussi, que, mesmo sem muito contato, continuou me ajudando e apoiando depois que saí da clínica fitossanitária.

À Karina Soares e à Marcia Teresinha, pela amizade e toda ajuda com as análises do teor de água e teste de germinação.

Aos colegas Tiago Freitas, Rodrigo Lopes, Adriano D'avila, Waldinei Souza e Milaine Paes, pela ajuda na realização dos experimentos.

Ao Paulo Cesar, pela ajuda e orientação na utilização de equipamento laboratorial e ajuda com estatística.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	X
ABSTRACT .....	XII
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
<b>2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE FORRAGEIRA.....</b>	<b>4</b>
2.1.1. Classificação botânica, origem e exigência climática do milho.....	4
2.1.2. Importância econômica.....	4
<b>2.2. FORRAGEM HIDROPÔNICA.....</b>	<b>5</b>
2.2.1. Qualidade da Forragem.....	7
2.2.1.1. Nutrição mineral na planta forrageira .....	7
2.2.1.2. Exigências nutricionais dos animais.....	8
2.2.2. Substratos para forragem hidropônica.....	11
2.2.2.1. Capim Napier .....	11
2.2.2.2. Bagaço de cana-de-açúcar .....	12
<b>2.3. SOLUÇÕES NUTRITIVAS NO CULTIVO HIDROPÔNICO .....</b>	<b>13</b>
3. TRABALHOS .....	16

<b>3.1. PRODUÇÃO DE FORRAGEM HIDROPÔNICA DE MILHO CULTIVADO EM CAPIM NAPIER E DOSES DA SOLUÇÃO NUTRITIVA DE HOAGLAND E ARNON .....</b>	<b>16</b>
3.1.1. RESUMO.....	16
3.1.2. ABSTRACT .....	17
3.1.3. INTRODUÇÃO .....	18
3.1.4. MATERIAL E MÉTODOS .....	19
3.1.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
3.1.6. CONCLUSÕES .....	40
3.1.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41
<b>3.2. PRODUÇÃO DE FORRAGEM HIDROPÔNICA DE MILHO CULTIVADO EM CAPIM NAPIER E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO DUAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS.....</b>	<b>47</b>
3.2.1. RESUMO.....	47
3.2.2. ABSTRACT .....	48
3.2.3. INTRODUÇÃO .....	49
3.2.4. MATERIAL E MÉTODOS .....	50
3.2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	54
3.2.6. CONCLUSÕES .....	68
3.2.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	68
<b>4. RESUMO E CONCLUSÕES.....</b>	<b>74</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>76</b>

## RESUMO

LOCATELLI, Tamara; M. Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro de 2016. Forragem hidropônica de milho cultivado sobre bagaço e capim napier com diferentes soluções nutritivas. Orientador: Prof. Fábio Cunha Coelho. Professor conselheiro: Sílvio de Jesus Freitas.

A forragem hidropônica representa uma forma de cultivo econômico de volumoso de alta produtividade em curto período de tempo, que pode ser fornecido fresco e em sua totalidade aos animais de diversas espécies. Objetivou-se com este trabalho avaliar a produção e a qualidade nutricional da forragem hidropônica de milho cultivado em capim napier e bagaço de cana-de-açúcar utilizando duas soluções nutritivas. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do Laboratório de Fitotecnia na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes, RJ. Foram realizados dois experimentos, ambos com densidade de semeadura de  $2,0 \text{ kg m}^{-2}$  e colheita 15 dias após a semeadura. Foram avaliados os seguintes parâmetros: comprimento de parte aérea (PA), volume de raízes (VR), diâmetro de raízes (DR), comprimento de raízes (CR), peso de massa fresca (MF), peso de massa seca (MS) e teores de macro e micronutrientes. No primeiro experimento utilizou-se a cultivar UENF 506-11. Foi utilizado o substrato capim napier e cinco volumes de solução nutritiva (0; 25; 50; 75; 100 mL) por bandeja. O delineamento foi em blocos casualizados com três repetições. O volume diário aplicado por unidade experimental foi de  $5,468 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . O CR e VR foram, respectivamente, 1,6 e 1,5 vezes, maiores em

aplicações de 100 mL em relação à irrigação com água. As plantas atingiram em média 25 cm de altura, produção média de MF igual a 13,7 kg m<sup>-2</sup> e produção média de MS de 2,4 kg m<sup>-2</sup>. Ocorreu incremento nos teores de N, Ca, S e B, e queda no teor de Mn na parte aérea com aumento dos volumes de solução nutritiva aplicadas. Na forragem completa (Parte aérea + sistema radicular + substrato) os teores médios de Ca e S foram de 21,8 e 18 kg m<sup>-2</sup>, respectivamente. Além disso, ocorreu acréscimo no teor de K com aumento dos volumes de solução nutritiva até 50 mL. No segundo experimento utilizou-se a variedade Fortaleza. O experimento seguiu arranjo fatorial (2 x 3), cujos fatores e níveis foram substratos (capim napier e bagaço de cana-de-açúcar) e soluções nutritivas a 100% (Hoagland e Arnon, 1950; FAO, 2001, e água). O delineamento foi em blocos casualizados com quatro repetições. O volume diário aplicado por unidade experimental foi de 3,850 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Para os dois substratos a forragem irrigada apenas com água se destacou com maior MF. As soluções nutritivas e a água resultaram em média de 2,7 kg m<sup>-2</sup> de MS. O bagaço de cana apresentou valores médios de MS 0,3 kg m<sup>-2</sup> maiores em relação à forragem cultivada em capim napier. O capim napier possibilitou crescimento de parte aérea 1,4 vezes maior que o bagaço de cana. A solução nutritiva de Hoagland e Arnon resultou em comprimento médio de parte aérea 1,2 vez maior em relação às demais soluções. O substrato bagaço de cana proporcionou menores teores de N, K, Mg, S, P, Ca, Mn e Zn na forragem em relação ao capim napier. A solução nutritiva de Hoagland e Arnon proporcionou maior acúmulo de K, Mg, S, Ca, Cu e B na forragem.

## ABSTRACT

LOCATELLI, Tamara; M. Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. February, 2016. Fodder maize grown in hydroponic bagasse and napier grass with different nutrient solutions. Advisor: Prof. Fábio Cunha Coelho. Committee members: Profs. Sílvio de Jesus Freitas.

The hydroponic forage is a way of growing economic bulky high yield in a short period of time, which can be provided in its entirety fresh to animals of many species. The objective of this study was to evaluate the production and nutritional quality of hydroponic forage maize grown in napier grass and bagasse from sugarcane using two nutrient solutions. The experiments were conducted in the Plant Science Laboratory greenhouse at the Universidade Estadual do Norte Fluminense in Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. Two experiments, both with seeding density of 2,0 kg m<sup>-2</sup> and harvested 15 days after sowing. The following parameters were evaluated: shoot area (PA), root volume (RV), root diameter (DR), root length (CR), fresh weight (MF), dry weight (MS) and macro and micronutrients. The first experiment was used the cultivate UENF 506-11. Was used the napier grass substrate and five volumes of nutrient solution (0; 25; 50; 75; 100 mL) per tray. The design was a randomized block design with three replications. The daily volume applied per experimental unit was 5,468 L m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>. The CR and VR were respectively 1,6 and 1,5 times higher in 100 mL applications in relation to irrigation water. The plants reached an average of 25 cm, MF average production equal to 13,7 kg m<sup>-2</sup> and average MS production of 2,4 kg m<sup>-2</sup>. There was an increase in N, Ca, S and B, and decrease in Mn content in shoots

with increased nutrient solution volumes applied. In complete forage (air + Part root system + substrate) the average contents of Ca and S were 21,8 and 18 kg m<sup>-2</sup>, respectively. Moreover, there was an increase in K content with increased nutrient solution volume up to 50 mL. In the second experiment we used the variety Fortaleza. The experiment was a factorial arrangement (2 x 3), the factors and levels were substrates (napier grass and sugarcane bagasse) and nutritional solutions of 100% (Hoagland and Arnon, 1950; FAO, 2001 and water). The design was a randomized block with four replications. The daily volume applied per experimental unit was 3,850 L m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>. For both substrates, the forage irrigated only with water stood out with higher MF. The nutrition solutions and the water resulted in an average of 2,7 kg m<sup>-2</sup> of MS. The sugarcane bagasse showed mean values of MS 0,3 kg m<sup>-2</sup> higher compared to the forage grown in napier grass. The napier grass allowed shoots of growth 1,4 times higher than sugarcane bagasse. The Hoagland and Arnon resulted in an average shoot length of 1.2 times greater than in other solutions. Sugarcane bagasse substrate provided lower levels of N, K, Mg, S, P, Ca, Mn and Zn in forage in relation to napier grass. The nutrient solution of Hoagland and Arnon provided greater accumulation of K, Mg, S, Ca, Cu and B in the forage.

## 1. INTRODUÇÃO

Em função das adversidades climáticas ao longo do ano, a oferta de forragem de qualidade e em quantidade suficiente para alimentação animal fica comprometida em épocas de déficit hídrico, havendo necessidade de complementação alimentar com concentrados e volumosos.

No Brasil, as áreas de pastagens ocupam cerca de 172 milhões de hectares, com diversos níveis de produtividade (Zaia, 2014). Deste total, estima-se que 30 milhões de hectares sejam afetados pela degradação (Ministério da Agricultura, 2015). Em Campos dos Goytacazes, 2.046.077 hectares são ocupados por pastagens (IBGE, 2014).

Segundo levantamento de perdas no município de Campos dos Goytacazes, o período de seca no ano de 2014 provocou prejuízo no setor agropecuário devido à falta de alimento. A cadeia de produção de leite sofreu perda de 25% e a cadeia de produção de carne de aproximadamente quatro arrobas por animal. Com o preço da arroba em R\$100,00 o montante perdido foi de aproximadamente R\$80.000.000,00 (Secretaria Municipal de Agricultura, 2014).

O fornecimento de grãos como alimento principal na dieta de ruminantes pode causar distúrbios metabólicos, deixando de suprir a necessidade por alimento volumoso com composição bromatológica adequada para satisfazer as necessidades de manutenção (Rocha et al., 2007).

Obedecendo as particularidades de cada região é comum a utilização de resíduos de outras produções na alimentação animal. Assim, utilizando-se

técnicas de reaproveitamento pode-se fazer uso de capim napier e bagaço de cana-de-açúcar.

O bagaço de cana-de-açúcar, resíduo da moagem da cana nas usinas produzido em grandes quantidades, apresenta baixo valor nutritivo, baixa digestibilidade, baixo teor de proteína, minerais e vitaminas (Souza e Dos Santos, 2002). O capim napier, forrageira indicada para capineiras por ter porte avantajado e alta produção, sofre rápida degradação quando passada a época certa de corte, ocorrendo acréscimo no teor de matéria seca, e queda no valor nutricional com o avanço do desenvolvimento (Lavezzo, 1985; Carareto, 2008). Ambos os substratos podem ser enriquecidos de forma a melhorar sua composição bromatológica para fim de alimentação animal.

Como alternativa de enriquecimento e aproveitamento destes materiais, surge a possibilidade de utilizá-los como substrato para cultivo de forragem hidropônica. Deve-se ressaltar que o substrato tem grande influência sobre o desenvolvimento das plantas, devendo apresentar capacidade de armazenamento de água e ar (Martinez e Silva Filho, 2006).

A hidroponia, técnica de cultivo sem solo, antes utilizada apenas na produção de hortaliças e frutas, foi adaptada para o cultivo de volumoso para alimentação de bovinos com menor custo em relação às pastagens convencionais, com possibilidade de explorar a mesma área de solo com maior frequência, reduzindo uso dos recursos hídricos (Müller et al., 2005; Araújo et al., 2008).

A forragem hidropônica pode ser fornecida a diversas espécies animais, como bovinos, equinos, ovinos, caprinos, coelhos e aves (FAO, 2001). A técnica consiste em produzir cereais (cevada, milho, trigo, aveia, entre outras culturas) em curto período de 10 a 15 dias, por meio da captação de energia solar e assimilação de minerais contidos em solução nutritiva (FAO, 2001). A solução nutritiva determina o crescimento das plantas e a qualidade final do produto (Müller et al., 2006c). No entanto não existe uma formulação ideal de solução nutritiva balanceada de forma que atenda todas as culturas (Cometti et al., 2006). Assim, pesquisas que busquem a adequação das melhores soluções e doses são de grande importância para o estabelecimento de protocolos consolidados para a produção de forragens hidropônicas.

Considerando o impacto ambiental diante do uso excessivo de água e da produção de grandes quantidades de resíduos industriais, viu-se a necessidade de aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar e do capim napier na produção de forragem hidropônica de milho. Sendo assim, este trabalho objetivou avaliar a influência de dois substratos (capim napier e bagaço de cana-de-açúcar), e duas soluções nutritivas com diferentes concentrações de sais: Hoagland e Arnon (1950) e FAO (2001) na produção e qualidade nutricional da forragem hidropônica de milho.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE FORRAGEIRA

#### 2.1.1. Classificação botânica, origem e exigência climática do milho

O milho é pertencente à classe Liliopsida, à família Poaceae, à subfamília Panicoidae, à tribo Maydae, ao gênero *Zea*, e à espécie *Zea mays* L.

A espécie tem como centro de origem o continente americano, especificamente no México, e é cultivada em praticamente todas as regiões agrícolas do mundo (Hallauer, 1985). Tem cultivo favorecido em épocas cuja temperatura do ar é superior a 15°C, com maior produtividade em condições de alta radiação solar, estando a temperatura ótima para crescimento e fotossíntese em torno de 30°C (Reichardt, 1993; Durães, 2007).

Em função de seu sistema radicular fasciculado e superficial, a cultura tem baixa tolerância à seca (Paterniani, 1980; Canechio Filho, 1985).

#### 2.1.2. Importância econômica

O milho é uma cultura amplamente difundida e cultivada, pois se adapta aos mais diferentes ecossistemas (Santos, 2006), sendo um dos principais cereais produzidos no mundo, fornece produtos *in natura* e processados para alimentação humana e animal, sendo considerado um alimento energético devido

à sua composição predominante de carboidratos e lipídeos. Além disso, apresenta diversas aplicações nas indústrias química, farmacêutica, de papéis, têxtil e biocombustível (Paes, 2006).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, com 79 milhões de toneladas anuais (FIESP, 2015). Porém, sua produtividade média de 5.382 kg ha<sup>-1</sup> ainda é baixa em relação à produtividade mundial (CONAB, 2015d).

No Brasil, a cultura ocupa posição significativa na economia agrícola, com a segunda maior área cultivada e produção de grãos, ficando atrás apenas da cultura da soja (CONAB, 2015c). A produção total de milho da safra 2014/15 atingiu 84.729,2 toneladas e sofreu acréscimo em relação à safra 2013/14, avaliada em 80.051,7 toneladas (CONAB, 2014; CONAB 2015c). De toda a produção mundial de milho, aproximadamente 70% é destinada à alimentação animal, podendo chegar a 85%, e apenas 15% é direcionada ao consumo humano (Paes, 2006).

O grão de milho em base seca é composto em média por 72% de amido, 9,5% de proteínas, 9% de fibra (sendo a maior parte resíduo em detergente neutro) e 4% de óleo. Entre as quatro principais estruturas físicas do grão: endosperma, pericarpo, ponta e gérmen, o último representa 11% do grão de milho e concentra 83% de lipídeos, 78% dos minerais, 26% de proteínas e 70% de açúcares. O conteúdo lignocelulósico nos grãos de milho verde e nos derivados integrais do grão seco confere ao material quantidade de fibras essencialmente do tipo insolúveis (hemicelulose, celulose e lignina), que correspondem à fibra em detergente neutro (Paes, 2006). Levando-se em consideração essas características, entende-se que o fornecimento apenas do grão moído para complementar a alimentação animal não é suficiente para suprir as necessidades energéticas do rebanho bovino. Sendo assim, torna-se de grande relevância o aprimoramento e a realização de técnicas como cultivo de forragem hidropônica em épocas de déficit hídrico.

## **2.2. FORRAGEM HIDROPÔNICA**

Forragem hidropônica é o resultado do processo de germinação de sementes de cereais (cevada, milho, trigo, aveia, entre outras culturas) com crescimento acelerado, que se desenvolvem em um período de 10 a 15 dias, captando energia solar e assimilando minerais contidos em solução nutritiva.

Esta técnica permite produção de plantas com alto rendimento de fitomassa fresca, pequeno conteúdo de fibras, alto teor de proteínas, boa digestibilidade e grande quantidade de aminoácidos livres (FAO, 2001; Olivas, 2004). A forragem hidropônica destina-se à alimentação de vacas leiteiras, cavalos, ovinos, caprinos, coelhos, aves e outras espécies (FAO, 2001).

Essa técnica de produção não visa competir com sistemas tradicionais de produção de pastagem, mas sim complementar a alimentação, principalmente durante períodos de déficit hídrico, possibilitando obtenção de forragem de grande valor proteico e energético (FAO, 2001). A forragem pode ser consumida ainda fresca, sem perda de nutrientes, como acontece nas forragens tradicionais. A mesma diferencia-se por apresentar a possibilidade de ser consumida de forma integral, desde as folhas verdes, restos de sementes, substrato e sementes não germinadas, até as raízes, que são ricas em açúcares e proteínas (Valdivia, 1996).

Dentre as muitas vantagens do cultivo destacam-se: i) eliminação do uso de herbicidas pela ausência de ervas daninhas; ii) baixo custo de produção (Paulino et al., 2004); iii) pode ser cultivada em qualquer estação do ano; iv) baixo consumo de água; v) maior rendimento por área (Henriques, 2000; Santos, 2000; FAO, 2001); vi) constitui dieta completa de carboidratos, açúcares, proteínas, minerais e vitaminas; vii) apresenta aspecto, sabor, cor e textura que conferem ótima palatabilidade para os animais, aumentando o consumo (FAO, 2001; Olivas, 2004).

O cultivo da forragem hidropônica de milho está cada vez mais difundido no país, representando economia ao pequeno produtor (Paulino et al., 2004). A espécie tem sido utilizada no Brasil com grande frequência por ser mais disponível, ter melhores preços de semente, ser facilmente adaptável ao clima tropical e ter alta produtividade (Crevelari, 2013).

A produção de forragem hidropônica de cereais tem ganhado espaço na pecuária nacional, pois, com a falta de chuva é possível registrar grandes prejuízos, visto que no Brasil ela é baseada na alimentação a pasto (Pilau et al., 2016). Diante disso, faz-se necessária a adoção de alternativas de produção que busquem minimizar o impacto causado pelas adversidades climáticas. Dessa forma, é comum a utilização de alimentos concentrados, ou volumosos como fenos e silagens, para driblar o problema.

Manter uma produção constante durante o ano inteiro tem sido tarefa difícil para os criadores de gado. As variações climáticas muitas vezes prejudicam o desenvolvimento das pastagens, diminuindo assim o desempenho do rebanho brasileiro que depende exclusivamente dessa fonte alimentar (EMBRAPA, 2015). Em 2014, para todo o território nacional foi registrado um efetivo de rebanho com 212.343.932 bovinos. Desses, 2.379.684 encontravam-se no Estado do Rio de Janeiro e 233.000 em Campos dos Goytacazes, sendo este o município com o maior número de animais no estado (IBGE, 2014). Assim, a produção de forragem hidropônica utilizando-se resíduos agrícolas regionais pode ser uma alternativa para alimentação animal nos períodos de seca.

## **2.2.1. Qualidade da Forragem**

### **2.2.1.1. Nutrição mineral na planta forrageira**

Para germinar, crescer e produzir as plantas dependem de nutrientes minerais essenciais. Estes são considerados essenciais quando atendem a três critérios: i) a deficiência desse nutriente impede que a planta complete seu ciclo vital; ii) o elemento não pode ser substituído por outro com propriedades similares, e iii) o elemento deve participar diretamente no metabolismo da planta (Dechen e Nachtigall, 2006).

Os nutrientes essenciais para crescimento das plantas são classificados de acordo com as quantidades exigidas em macro e micronutrientes. Os macronutrientes (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S) constituem cerca de 99,5% da massa seca, enquanto os micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) constituem cerca de 0,5% da massa seca (Epstein e Bloom 2006; Dechen e Nachtigall, 2006).

A fertilidade inadequada do solo é um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade de áreas para produção de grãos ou forragem de milho. O milho é mais exigente em nitrogênio e potássio, seguidos por cálcio, magnésio e fósforo em ordem de importância. Os micronutrientes são requeridos em quantidades muito pequenas se comparados aos macronutrientes, no entanto, a falta destes pode gerar problemas nos processos metabólicos tanto quanto a falta de um macronutriente (Coelho e França, 2015).

O potássio e o cálcio são os nutrientes exportados em menores quantidades, sendo alocados nos grãos em torno de 20-30% e 10-15%, respectivamente. Isso mostra que grande parte desses nutrientes está contida na palhada, parte vegetativa da planta. Por outro lado, outros nutrientes são exportados em maiores quantidades, sendo em torno de 80-90% do fósforo, 75% do nitrogênio, 60% do enxofre e 50% do magnésio (Coelho e França, 2015).

Fraga et al. (2009) trabalharam com três cultivares de milho na produção de forragem hidropônica sobre substrato bagaço de cana. Para irrigação foi utilizada solução nutritiva da FAO, e a colheita foi realizada aos 41 dias. Os autores obtiveram na parte aérea teores de N, P, K, Ca, Mg e S de 16,2; 3,2; 24,8; 1,9; 2,5 e 1,1 g kg<sup>-1</sup>, e de B, Cu, Fe, Mn e Zn de 15,1; 5,4; 1754,2; 102,8 e 22,7 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Paula et al. (2011) cultivaram milho hidropônico em substrato bagaço de cana, aplicando as diluições de 20, 40, 60, 80 e 100% de soro de leite bovino em água. Fizeram colheita aos 15 dias e obtiveram na maior concentração de 100% de soro, teores na parte aérea de N, P, K, Ca, Mg e S de 34,2; 8,6; 41,7; 3,0; 2,6; 4,2 g kg<sup>-1</sup>, e de Cl, Cu, Fe, Mn e Zn de 22,7; 23,9; 103,7; 17,3; 116,9 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

### **2.2.1.2. Exigências nutricionais dos animais**

Quando se fala em absorção e aproveitamento dos nutrientes contidos na forragem pelos bovinos, deve-se considerar que, além dos nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas forrageiras, os animais exigem maiores quantidades de Ca, P, Mg, K, Na, Cl e S, que são classificados como macroelementos. O Fe, Co, Cu, I, Mn, Zn e Se são classificados como microelementos por serem necessários em pequenas quantidades (Tokarnia et al., 2000).

Os elementos minerais podem exercer quatro grupos de funções no organismo animal. No primeiro grupo elementos como Ca, P, Mg, Fe e Si têm função estrutural nos ossos e dentes, enquanto P e S nas proteínas do músculo. Em um segundo grupo, nutrientes como o Zn e P contribuem com a estabilidade estrutural de moléculas e membranas. No terceiro grupo de funções, N, K, Cl, Ca e Mg têm função fisiológica. Ocorrem no sangue, fluido cérebro-espinhal, suco

gástrico e tecidos como eletrólitos e estão envolvidos com a manutenção da pressão osmótica de membranas. Já, no quarto grupo os minerais atuam como reguladores na replicação e diferenciação celular, como o Ca, que influencia o sinal de transdução, e o Zn, na transcrição durante o mecanismo de síntese proteica no organismo animal (Mendonça Júnior et al., 2011).

Os minerais são necessários para atividades de microrganismos. K é essencial para crescimento de algumas espécies de microrganismos; P atua nos processos energéticos e reprodutivos da célula; Mg, Fe, Zn e Mo são ativadores de enzimas bacterianas. Co supre as necessidades de alguns grupos de bactérias produtoras de vitamina B12. S inorgânico participa da digestão da celulose, assimilação do nitrogênio não proteico e síntese das vitaminas do complexo B. K, Na, Cl e P participam da criação de meio ótimo para suporte de microrganismos. No estômago dos ruminantes, mantém o meio interno constante em virtude de ação tampão, pressão osmótica e concentração de íons (Mendonça Júnior et al., 2011).

A deficiência de alguns elementos pode causar doenças nos animais, como: i) deficiência de Ca e P que causam raquitismo, osteomalácia, abortos, natimortos, baixa produção de leite; ii) falta de P que atrasa puberdade e estro pós-parto, moderada a baixa taxa de concepção, nascimento de fetos fracos ou mortos; iii) tetania, causada por deficiência de Mg; e anemia, pela falta de Fe e Cu; iv) deficiência de Cu causa sintomas cardíacos, coloração dos pelos, formação de lã, atraso no estro e baixa taxa de concepção, aborto ou mumificação do feto; v) deficiência de Mn causa cio silencioso, estro irregular, infertilidade, abortos, redução na motilidade dos espermatozoides, nascimento de animais deformados; O Se em falta provoca retenção de placenta; vii) falta de Co provoca baixa taxa de recepção (Mendonça Júnior et al., 2011).

Fatores como espécie, raça, idade e nível de produção afetam as necessidades nutricionais dos animais por minerais (Mendonça Júnior et al., 2011). Para cada tipo de produção animal existe uma determinada exigência nutricional que varia conforme o estágio de produção. A partir do conhecimento dessas necessidades pode-se proporcionar boas condições para que os animais possam atingir máxima produção. Entretanto, ainda são poucas as informações a respeito dessas exigências, pois a maioria dos dados publicados refere-se a animais confinados e produções de âmbito internacional (ARC, 1980; CISCO,

1990; AFRC, 1993 e NRC, 1996), que não retratam a pecuária brasileira (Moraes, 2006).

Em todo o mundo a maioria dos bovinos consomem dietas desbalanceadas no âmbito dos minerais. Algumas vezes contêm minerais em excesso, mas na maioria são fornecidas quantidades muito aquém do que aquelas que os animais precisam para suprir suas necessidades (Tokarnia et al., 2000). A pecuária de corte brasileira apresenta baixa produção em função de grande parte da criação ocorrer em sistema extensivo e, assim, depender das pastagens tropicais, que são desenvolvidas em solos de baixa fertilidade (Fernandes et al., 2008). Na maioria das vezes os minerais não estão presentes nas quantidades adequadas nos alimentos, sendo insuficientes para uma boa resposta animal, necessitando de suplementação para compensar a deficiência (Mendonça Júnior et al., 2011).

O desequilíbrio na produção e qualidade da forragem deve-se à distribuição estacional de chuvas, sendo que esta produção é maior nos períodos chuvosos e escassa na época seca (Pereira et al., 2007). Observa-se períodos de ganho de peso satisfatório durante a estação chuvosa e dificuldades em ganhar ou manter o peso corporal em épocas de seca. Assim, a variação na oferta e a qualidade da forragem para animais mantidos a pasto são limitantes, refletindo na produção animal (Moraes, 2006).

As partições ocorrem de agosto a setembro, próximo ao início do período chuvoso, e nesse momento as pastagens são suficientes para suprir as exigências nutricionais dos animais. Mas, para isso é preciso que no momento do parto as fêmeas tenham boas condições corporais, de forma que se torna extremamente importante fornecer alimento suficiente para que os animais mantenham peso corporal durante o período da seca (Zorzan, 2006). É essencial acabar com fases negativas no desenvolvimento, proporcionando ao animal condições para se desenvolver continuamente ao longo do ano para que alcancem condições de abate mais precocemente. Para isso, é necessário manter suprimento de alimento em equilíbrio com os requerimentos animais (Moraes, 2006).

Em função de recorrentes atrasos no início das chuvas, faz-se necessária a utilização de manejo para garantir que as exigências nutricionais sejam atendidas sem que haja comprometimento do feto em novilhas gestantes e perda de peso corporal em bovinos de corte (Zorzan, 2006).

## 2.2.2. Substratos para forragem hidropônica

### 2.2.2.1. Capim Napier

O capim napier (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma gramínea perene, de origem africana (Cysne, 2004). Destaca-se entre as gramíneas mais importantes no Brasil, proporcionando bons níveis de produção animal quando bem manejado e podendo ser utilizado de várias formas (Lopes, 2004). Seu potencial produtivo pode variar de 10 a 80 toneladas de matéria seca por hectare por ano (Carareto, 2008). Apresenta razoável quantidade de carboidratos solúveis, entre 9,8 - 15% na matéria seca (Andrade et al., 2004). Pode ser utilizado como forrageira para corte, para pastejo rotacionado, e ainda, na forma de forragem conservada como alternativa para épocas de seca (Cóser et al., 2000).

Esta forrageira é prontamente indicada para capineiras, por apresentar porte avantajado e grande capacidade de produção (Carareto, 2008). A cultura apresenta boa aceitação por parte dos animais, é resistente a seca, a doenças e pragas, exceto ataque de cigarrinha. É facilmente adaptável à maioria dos solos e climas do Brasil (Deresz et al., 2006). Em muitas regiões, aproximadamente 70-80% da sua produção concentra-se na época das chuvas (Deresz, 2001).

Fatores como cultivares e híbridos utilizados, fertilidade do solo, elementos climáticos, eliminação de meristema apical, área foliar remanescente após o pastejo e altura de corte, influenciam na produção (Carareto, 2008). A qualidade da forragem colhida é também influenciada pelo manejo das capineiras de acordo com a frequência de corte. O aumento no intervalo de cortes provoca aumento no teor de matéria seca, e queda no valor nutritivo (Queiroz Filho et al., 2000).

Em seu estágio inicial de desenvolvimento o capim napier apresenta razoável valor nutritivo, com alto teor de umidade e baixos teores de carboidratos solúveis (Cysne, 2004). À medida que avança o estágio de desenvolvimento dessa gramínea, ocorre aumento da produção de matéria seca, no entanto, o valor nutritivo diminui. O equilíbrio entre produção de matéria seca e nutrientes é alcançado quando a planta atinge 50-60 dias de desenvolvimento (Lavezzo, 1985). Para produção de uma forragem de qualidade é necessário um alto teor

de carboidratos solúveis para facilitar a ação de bactérias produtoras de ácido láctico, provocando diminuição no pH para níveis entre 3,8 - 4,2 (Cysne, 2004).

O processo de maturação das forrageiras, que é acompanhado pela redução do valor nutritivo, pode ser acelerado pela luminosidade, temperatura e umidade, podendo ser retardado pelo corte ou pastejo. De forma geral, o avanço no desenvolvimento é mais drástico em gramíneas do que em leguminosas (Soest, 1994).

Queiroz Filho et al. (2000) verificaram que a porcentagem de folhas diminuiu significativamente acima dos 60 dias. Assim, como os maiores valores de proteína bruta e digestibilidade foram encontrados nas folhas, o corte acima dessa idade provavelmente resultará em queda na qualidade, uma vez que ocorrerá aumento na fração colmo da forragem. A queda na relação folha/colmo diminui a capacidade da forragem de atender a exigências nutricionais dos animais. Em contrapartida, os autores observaram que o corte aos 40 dias proporcionou maior relação folha/colmo.

Como as pastagens de capim napier sofrem rápida degradação, para que seja possível aproveitar plantas de capim napier que não sofreram manejo de corte adequado, e não apresentam mais valor nutritivo suficiente para suprir as necessidades na alimentação animal, surge a possibilidade de utilização dessa gramínea como substrato para cultivo de forragem hidropônica de milho.

#### **2.2.2.2. Bagaço de cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), originária da Ásia, é uma gramínea considerada semiperene, pois permite vários cortes sem a necessidade de replantio. Desenvolve-se bem em solos aerados, bem drenados, com profundidade superior a um metro. A cana-de-açúcar é considerada altamente eficiente na conversão de energia luminosa em energia química, portanto apresenta elevada taxa fotossintética (Alencar, 2012).

A espécie, considerada tropical, necessita de alta incidência de radiação solar e disponibilidade de água no solo. Apresenta maior produtividade quando cultivada na faixa de temperatura de 16 a 33°C (CONAB, 2015a).

Na safra 2014/15 a área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil foi de aproximadamente nove milhões de hectares, com produção de 634.77 milhões de

toneladas. No Estado do Rio de Janeiro a área cultivada foi de 33 mil hectares, com produção de 1.586,4 mil toneladas (CONAB, 2015b).

O bagaço de cana é o resíduo sólido restante após o processo de moagem da cana-de-açúcar nas usinas. A quantidade de fibras de cada cultivar de cana define a proporção desse resíduo. De forma geral, uma tonelada de cana moída, produz entre 270 e 290 kg de bagaço como subproduto (CONAB, 2011).

Portanto, das 634,7 milhões de toneladas de cana moída em 2014, pode-se estimar que foram obtidas aproximadamente 171,4 milhões toneladas de bagaço considerando o limite mínimo de produção do resíduo de 270 kg de bagaço por tonelada de cana.

Normalmente a produção de bagaço de cana obtido após a moagem coincide com períodos de escassez de forragem em determinadas regiões, momento em que apresenta grande potencial como complemento volumoso para ruminantes. Apesar de apresentar baixo valor nutritivo, baixa digestibilidade, baixo teor de proteína, minerais e vitaminas, existem formas de melhorar a qualidade do resíduo, como o tratamento químico. Em tal processo ocorre rompimento da ligação entre lignina e celulose, permitindo o melhor aproveitamento da celulose, que é fonte básica de energia para ruminantes (Souza e Dos Santos, 2002).

Durante muitos anos a produção de cana-de-açúcar movimentou o comércio na região de Campos dos Goytacazes, gerando toneladas de bagaço de cana como resíduo. Faz-se necessária, então, a aplicação de técnicas para aproveitar esse subproduto, levando-se em conta a possibilidade de uso na alimentação animal, dando-lhe uma finalidade viável. Surge a possibilidade de utilização do bagaço de cana-de-açúcar como substrato na produção de forragem hidropônica levando-se em consideração as limitações do seu valor nutritivo.

### **2.3. SOLUÇÕES NUTRITIVAS NO CULTIVO HIDROPÔNICO**

A água é o principal fator a ser considerado no cultivo hidropônico, devendo ser de boa qualidade, com baixo teor de solutos (Flôres, 2009).

A solução nutritiva representa o meio em que os nutrientes previamente dissolvidos se encontram a disposição das plantas em proporções adequadas. Esta deve conter oxigênio e estar em temperatura adequada para uma correta absorção dos nutrientes (Alberoni, 1998; Cometti et al., 2006).

Não existe uma solução nutritiva ideal para todas as culturas. A composição da solução nutritiva depende de diversos fatores, como espécie da planta, época do ano e estágio de desenvolvimento da cultura. Sua absorção pelas plantas é influenciada principalmente pelos valores do pH, condutividade elétrica, oxigênio e temperatura (Alberoni, 1998; Cometti et al., 2006).

A primeira solução nutritiva completa contendo macro e micronutrientes foi balanceada para o tomateiro por Hoagland e Arnon (1950), e continua sendo a mais utilizada por se adequar às necessidades das culturas (Cometti et al., 2006). As soluções estoque contêm: 115,02 g de fosfato monoamônico, 472,3 g de nitrato de cálcio, 202,2 g de nitrato de potássio, 246,48 g de sulfato de magnésio, 132,14 g de sulfato de amônio, 1,546 g de ácido bórico, 250 g de sulfato de cobre, 3728 mg de cloreto de potássio, 845 mg de sulfato de manganês, 578 mg de sulfato de zinco, 88 mg de molibdato de amônio e 25 g de ferro EDTA. Cada sal mineral é diluído em um litro de água para compor sua solução estoque. Para preparar um litro de solução pronta para aplicação é retirada uma alíquota de 2 mL das soluções estoque de nitrato de cálcio e sulfato de magnésio; 0,5 mL de sulfato de amônio; 3 mL de nitrato de potássio; 1 mL de fosfato monoamônico, ferro EDTA e solução de micronutrientes. Estas alíquotas são adicionadas a um litro de água.

Entretanto, já existe uma formulação de solução recomendada para cultivo de forragem hidropônica. Segundo o manual técnico de produção de forragem hidropônica da FAO (2001), a formulação da solução nutritiva indicada para cultivo de forragem é dividida em solução (A) contendo: 340 g de fosfato monoamônico, 2.080 g de nitrato de cálcio, 1.100 g de nitrato de potássio diluídos em 10 litros de água e Solução (B): 492 g de sulfato de magnésio, 0,48 g de sulfato de cobre, 2,48 g de sulfato de manganês, 1,20 g de sulfato de zinco, 6,20 g de ácido bórico, 0,02 g de molibdato de amônio e 50 g de quelato de ferro diluídos em quatro litros de água. Para preparo de um litro de solução é retirada uma alíquota de 1,25 mL da solução (A) e 0,5 mL da solução (B) e estas são adicionadas a um litro de água.

A concentração de nutrientes adequada depende da taxa transpiratória da planta, fator este que depende da umidade do ar, ventilação, concentração de CO<sub>2</sub>, temperatura e luminosidade. Para sistemas hidropônicos estáticos as soluções eram mais concentradas, mas, com os novos sistemas circulantes,

atualmente os valores ideais para condutividade elétrica (CE), a qual indica a quantidade de sais que existe na água, giram em torno de 1,0 a 1,5 dS m<sup>-1</sup>, segundo Cometti (2003) e Cometti et al. (2006). Costa et al. (2001), porém, trabalharam com diferentes condutividades na produção de alface em hidroponia e verificaram que maiores pesos de material fresco e seco foram obtidos quando se utilizou condutividade de 2,46 dS m<sup>-1</sup>. Barbieri et al. (2010), cultivando alface hidropônica a fim de testar a melhor condutividade, chegaram à conclusão de que não existe uma condutividade ideal para a solução nutritiva, mas sim uma faixa ideal, que, neste caso específico, ficou entre 0,75 e 1,5 dS m<sup>-1</sup>. Gondim et al. (2010) avaliaram diferentes condutividades elétricas na produção de alface hidropônica e observaram que a condutividade de 2,6 dS m<sup>-1</sup> apresentou produção máxima de peso fresco.

As mudanças de pH favorecem formação de compostos iônicos que não são prontamente disponíveis para as plantas, podendo ainda ocorrer formação de complexos insolúveis. A faixa de pH entre 5,5 a 5,8 é tida como ideal para máxima disponibilidade dos nutrientes. Teores acima de 6,5 reduzem a disponibilidade de Mn, Cu, Zn, B, P e Fe, enquanto em pH abaixo de 5,0 há redução na disponibilidade de P, K, Ca e Mg (Cometti et al., 2006).

### **3. TRABALHOS**

#### **3.1. PRODUÇÃO DE FORRAGEM HIDROPÔNICA DE MILHO CULTIVADO EM CAPIM NÁPIER E DOSES DA SOLUÇÃO NUTRITIVA DE HOAGLAND E ARNON**

##### **3.1.1. RESUMO**

Avaliou-se a produção de forragem hidropônica de milho cultivado em capim napier em casa de vegetação utilizando-se solução nutritiva (SN) de Hoagland e Arnon (1950) em cinco volumes (0; 25; 50; 75 e 100 mL por bandeja/dia). Avaliou-se a cultivar de milho UENF 506-11. O delineamento foi em blocos casualizados com três repetições. A densidade de semeadura foi de 2,0 kg m<sup>-2</sup>. A colheita foi realizada 15 dias após a semeadura. Avaliou-se volume de raízes (VR), comprimento de raízes (CR), e diâmetro de raízes (DR), comprimento de parte aérea (PA), peso da massa fresca (MF) e peso da massa seca (MS) e teores de macro e micronutrientes na parte aérea e na forragem completa. O CR e o VR foram 1,6 e 1,5 vezes, respectivamente, maiores a 100 mL em relação à irrigação com água. As plantas atingiram em média 25 cm de altura, produção média de MF igual a 13,7 kg m<sup>-2</sup> e produção média de MS de 2,4 kg m<sup>-2</sup>. Ocorreu incremento nos teores de N, Ca, S e B, e queda no teor de Mn na parte aérea com o aumento dos volumes de solução nutritiva aplicada. Na forragem completa houve

acrécimo nos teores de Ca e S com o aumento dos volumes de solução nutritiva aplicada até 100 mL, com teores médios de 21,8 e 18 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Além disso, ocorreu acréscimo no teor de K com aumento dos volumes de solução nutritiva aplicada até 50 mL. Para a maioria das variáveis analisadas o aumento dos volumes de solução nutritiva aplicada diariamente até o volume de 100 mL por bandeja proporcionou os maiores incrementos.

### 3.1.2. ABSTRACT

We evaluated the production of hydroponic forage maize grown in napier grass in a greenhouse using nutrient solution (NS) Hoagland and Arnon (1950) in five volumes (0, 25, 50, 75 and 100 mL per tray / day). We evaluated the cultivar UENF 506-11 corn. The design was a randomized block design with three replications. The seeding rate was 2,0 kg m<sup>-2</sup>. Plants were harvested 15 days after sowing. We evaluated root volume (VR), root length (CR), and root diameter (DR), shoot area (PA), fresh matter weight (MF) and dry matter weight (MS) and macro and micronutrients contents in the shoot and complete forage. The CR and VR were 1,6 and 1,5 times, respectively, higher compared to 100 mL with water irrigation. The plants reached an average of 25 cm, MF average production equal to 13,7 kg m<sup>-2</sup> and average MS production of 2,4 kg m<sup>-2</sup>. There was an increase in N, Ca, S and B, and decrease in Mn content in shoots with increasing nutrient solution volumes applied. In the full forage there was an increase in Ca and S with increased nutrient solution volumes applied up to 100 mL, with average levels of 21,8 and 18 g kg<sup>-1</sup>, respectively. Moreover, there was increase in K content with increased nutrient solution applied up to 50 mL. For most variables, the increased volume of nutrient solution applied daily to up to 100 mL per tray provides the greatest increases.

### 3.1.3. INTRODUÇÃO

As adversidades climáticas resultam em queda na produção de leite, perda de peso e até morte de animais, por falta de alimento em consequência da dificuldade de manter a quantidade e a qualidade da forrageira produzida. É extremamente importante desenvolver tecnologias capazes de amenizar esses efeitos para que seja possível manter a produção animal estável ao longo do ano inteiro.

A produção de forragem hidropônica permite a utilização de áreas onde o solo e a falta de chuva são fatores limitantes (Crevelari, 2013). O cultivo hidropônico de forragem possibilita obter volumoso de qualidade em um curto período com alta produção e material de qualidade (FAO, 2001). No entanto, a qualidade dessa forragem depende de diversos fatores como qualidade da água de irrigação, solução nutritiva, substrato e temperatura.

O milho (*Zea mays* L.) como espécie de forrageira tem sido muito utilizado devido ao alto valor nutritivo (Araújo et al., 2008). O milho híbrido UENF 506-11, registrado no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), é recomendado para as Regiões Norte e Noroeste Fluminense por se adaptar bem às condições climáticas destas regiões (Galvão et al., 2015). A produção desta forrageira em cultivo hidropônico possibilita o enriquecimento de materiais forrageiros com baixo valor nutricional, como o capim napier em avançado estágio de desenvolvimento (Araújo et al., 2008).

Os substratos orgânicos podem ser incorporados na dieta animal, a partir do pressuposto que não sejam prejudiciais ao consumo e à digestibilidade de nutrientes, permitindo que o alimento seja aproveitado em sua totalidade (Campêlo, 2007).

A solução nutritiva deve conter todos os macros e micronutrientes essenciais ao bom desenvolvimento da espécie, em quantidades equilibradas para que um não influencie a disponibilidade do outro.

A formulação da solução nutritiva é dependente de fatores como a espécie de planta cultivada, época do ano e estágio de desenvolvimento da cultura. A disponibilidade dos nutrientes nela existentes e sua absorção pelas plantas é influenciada pelo pH, pela concentração de sais, pelo oxigênio e pela temperatura (Alberoni, 1998; Cometti et al., 2006).

A solução mais antiga foi formulada para a cultura do tomateiro por Hoagland e Arnon e continua sendo a mais utilizada até os dias atuais para cultivo de diversas espécies. No entanto, não existe uma solução nutritiva ideal balanceada de forma que possa ser usada para todas as culturas e em todas as fases de desenvolvimento.

Diante deste cenário, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de aplicações diárias de solução nutritiva de Hoagland e Arnon em volumes distintos sobre a produção e a qualidade nutricional da forragem hidropônica de milho cultivado em substrato orgânico de capim napier.

### 3.1.4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período entre o dia 21 de janeiro e 05 de fevereiro de 2015, em casa de vegetação do Laboratório de Fitotecnia na Unidade de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão (UAP), no Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro em Campos dos Goytacazes – RJ. A instalação consistiu em casa de vegetação tipo estufa coberta com polietileno de baixa densidade.

O Município de Campos dos Goytacazes está localizado na latitude 21°45' e longitude 41°17', a uma altitude de 10 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região caracteriza-se como tropical de bosque, quente e úmido, com período seco no inverno e chuvoso no verão, com temperatura média anual de 23,7°C, média mínima de 21,4°C em junho e julho e média máxima de 27,7°C em fevereiro. Tem-se em média precipitação pluviométrica anual de 1.023 mm e umidade relativa do ar de 76,5% (Oliveira,1996).

As unidades experimentais foram compostas por bandejas de polietileno com dimensões de 26,5 x 17,5 x 4,0 cm (comprimento x largura x altura), dispostas em bancada. A espécie avaliada foi o milho (*Zea mays* L.) utilizando-se a cultivar UENF 506-11 cultivada em substrato de capim napier e solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) em cinco volumes de aplicação diária, sendo 0; 25; 50; 75 e 100 mL por bandeja, que correspondem a 0; 0,54; 1,08; 1,62; 2,16 L m<sup>-2</sup>. O delineamento foi em blocos casualizados com três repetições. Para acelerar o

processo de germinação as sementes ficaram em imersão em água por 24 horas imediatamente antes da instalação do experimento.

O capim napier (*Pennisetum purpureum*) foi coletado na Unidade de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão (UAP) no *campus* da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Este encontrava-se com aproximadamente um ano e sete meses de idade após o plantio, ou seja, em idade posterior ao ideal para a colheita e consumo por animais. O capim foi picado em picadeira para obter pedaços de aproximadamente dois centímetros. Após esse processo, o material foi espalhado sobre uma lona para secar dentro da casa de vegetação.

Ao identificar que o capim estava seco, este foi recolhido e armazenado em sacos plásticos no laboratório. O substrato capim napier foi dividido em duas partes. A primeira foi disposta nas bandejas, formando uma camada com aproximadamente dois centímetros de espessura, e esta foi umedecida com 200 mL de água. As sementes de milho foram semeadas à densidade de 2,0 kg m<sup>-2</sup>, e, posteriormente, foram cobertas com a segunda parte formando uma camada de substrato de mesma espessura, sendo esta umedecida com 100 mL de água com borrifador.

Nos primeiros quatro dias após a semeadura, aplicou-se apenas água às bandejas com auxílio de um borrifador manual (Tabela 1). A partir do quarto dia após a semeadura, com a emergência das plantas, a solução nutritiva foi aplicada nos volumes de 0; 25; 50; 75 e 100 mL por bandeja, acrescida de aplicação de água até que o substrato ficasse com aspecto úmido, e atingisse sua capacidade de retenção de umidade, ou seja, a tal ponto que os macroporos do substrato permanecessem com ar (Tabela 1). Assim, o volume total, de solução nutritiva mais água, aplicado em cada dia foi constante para todos os tratamentos, entretanto, variando entre os dias devido a maior ou menor evapotranspiração ocorrida no intervalo entre as fertirrigações. No momento do preparo da solução foram aferidos os valores de pH e condutividade elétrica, que corresponderam a 5,6 e 2,2 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente.

Tabela 1. Volume de água e solução nutritiva aplicada diariamente.

<b>Data</b>	<b>Dias após a semeadura</b>	<b>Solução Nutritiva + Água (mL)</b>
<b>22.01.2015</b>	0	0 + 300 <sup>1/</sup>
<b>23.01.2015</b>	1	0 + 100 <sup>1/</sup>
<b>24.01.2015</b>	2	0 + 100 <sup>1/</sup>
<b>25.01.2015</b>	3	0 + 100 <sup>1/</sup>
<b>26.01.2015</b>	4	150 <sup>2/</sup>
<b>27.01.2015</b>	5	150 <sup>2/</sup>
<b>28.01.2015</b>	6	150 <sup>2/</sup>
<b>29.01.2015</b>	7	300 <sup>2/</sup>
<b>30.01.2015</b>	8	300 <sup>2/</sup>
<b>31.01.2015</b>	9	300 <sup>2/</sup>
<b>01.02.2015</b>	10	400 <sup>2/</sup>
<b>02.02.2015</b>	11	400 <sup>2/</sup>
<b>03.02.2015</b>	12	400 <sup>2/</sup>
<b>04.02.2015</b>	13	400 <sup>2/</sup>
<b>05.02.2015</b>	14	0

<sup>1/</sup>Dias em que a irrigação foi realizada apenas com água.

<sup>2/</sup>Dias em que a irrigação foi realizada com água e volumes de solução nutritiva de acordo com cada tratamento. O valor apresentado corresponde ao volume total de solução nutritiva + água aplicada por bandeja.

Antes da colheita as bandejas foram colocadas em posição inclinada para drenar o excesso de água evitando influência na MF. O material das bandejas foi coletado e iniciaram-se as avaliações.

Para as medidas biométricas foram coletadas 10 plantas ao acaso por bandeja (Crevelari, 2013; Manhães, 2012; Araújo et al., 2008). Foi realizada medição do comprimento de parte aérea da região do coleto até a ponta da maior folha, com auxílio de uma régua milimétrica de 60 cm. Essas 10 plantas de cada bandeja foram secas em estufa com ventilação forçada e posteriormente moídas em moinho rotor de facas com peneira de 1 mm de abertura. Essas amostras moídas passaram por análise nutricional para verificar os teores de macro e micronutrientes na parte aérea seguindo metodologia de (Jackson, 1965; Peters, 2005).

As raízes foram analisadas utilizando-se o sistema Winrhizo acoplado a um scanner profissional Epson XL 10000 equipado com luz adicional. Foi realizada uma amostragem de forma aleatória na bandeja com área de 2 x 2 cm. As raízes contidas nesta área foram dispostas em uma cuba acrílica contendo aproximadamente um centímetro de água de forma que não ficassem sobrepostas para que a leitura do equipamento fosse a mais precisa possível. Os resultados de diâmetro (mm), comprimento (cm) e de volume (cm<sup>3</sup>) de raízes foram então obtidos para a área amostrada de 4 cm<sup>2</sup> e a espessura do substrato de aproximadamente 4 cm, totalizando-se aproximadamente 16 cm<sup>3</sup> de substrato.

Todo o material restante nas bandejas (parte aérea, raízes, sementes não germinadas e substrato) foi pesado para obter peso de massa fresca, e este material foi armazenado em saco de papel e levado a estufa de ventilação forçada a 55°C por 96 horas.

O material das bandejas, seco em estufa, foi pesado para obtenção de peso de massa seca, e, posteriormente, foi moído em moinho com rotor de facas com peneira de 1 mm de abertura. Os resultados de massa seca foram convertidos para kg m<sup>-2</sup>. O material moído foi submetido à análise nutricional para verificar o teor de macro e micronutrientes na forragem completa seguindo metodologia de (Jackson, 1965; Peters, 2005).

Foram realizadas as análises de variância em nível de 1 e 5% de probabilidade e análise de regressão para avaliar o efeito dos fatores utilizando-se o programa SAEG (2009).

### **3.1.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A temperatura diária foi medida com a utilização de termômetro de bulbo durante todo o período de condução do experimento e a temperatura média diária foi de 33,3°C (Figura 1).

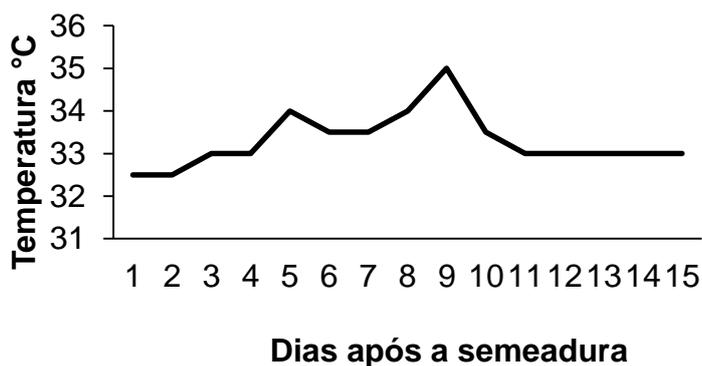


Figura 1. Temperatura média diária do ar durante o período de cultivo da forragem hidropônica de milho na casa de vegetação.

Uma amostra do capim napier foi encaminhada para secagem em estufa com ventilação forçada para determinação do teor de umidade, a 103°C por 24 horas, seguindo procedimentos recomendados pelo MAPA (2009), verificando-se que o capim napier apresentava umidade de 8%. Uma segunda amostra foi encaminhada para análise dos nutrientes minerais obtendo-se 8,0; 11,5; 226; 34; 32,3; 10,6 g kg<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente e 68,2, 47,2, 2060, 1270, 452 mg kg<sup>-1</sup> de B, Cu, Fe Mn e Zn, respectivamente.

Verificou-se que os volumes de solução nutritiva influenciaram de forma muito significativa ( $p \leq 0,01$ ) os teores de N, Ca, S, B e Mn da parte aérea do milho, os quais melhor se ajustaram ao modelo de regressão linear. Assim, observou-se incremento nos teores de N, Ca, S e B na parte aérea do milho na medida em que se aumentou o volume de solução nutritiva aplicada diariamente até o máximo (100 mL) por bandeja por dia (2,16 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), (Figuras 2, 3, 4 e 5 respectivamente). Entretanto, para Mn ocorreu decréscimo no teor à medida que se aumentou o volume de solução nutritiva aplicada diariamente (Figura 6).

A solução nutritiva de Hoagland e Arnon contém 22,4; 16; 6,4 e 0,05 mg de N, Ca, S e B, respectivamente, para cada 100 mL de solução (Furlani et al., 2009). Assim, como as plantas de milho receberam aplicação de solução nutritiva por 10 dias consecutivos (Tabela 1), possivelmente, ocorreu maior disponibilidade destes nutrientes que, conseqüentemente, foram absorvidos em maior quantidade e tiveram seus teores aumentados na parte aérea das plantas de milho, em comparação aos tratamentos que receberam volumes menores de solução diariamente.

O incremento no teor de N na parte aérea das plantas de milho com o aumento do volume de solução nutritiva aplicada diariamente (Figura 2) mostrou grande importância na melhoria da quantidade de forragem, pois, quanto maior o teor de N, maior será o teor de proteína na forragem.

Fraga et al. (2009) trabalhando com três cultivares de milho na produção de forragem hidropônica irrigada com solução nutritiva da FAO, colhida aos 41 dias, obtiveram 16,2 e 13,7 g kg<sup>-1</sup> de N na parte aérea do milho cultivado em bagaço de cana e palha de arroz, respectivamente.

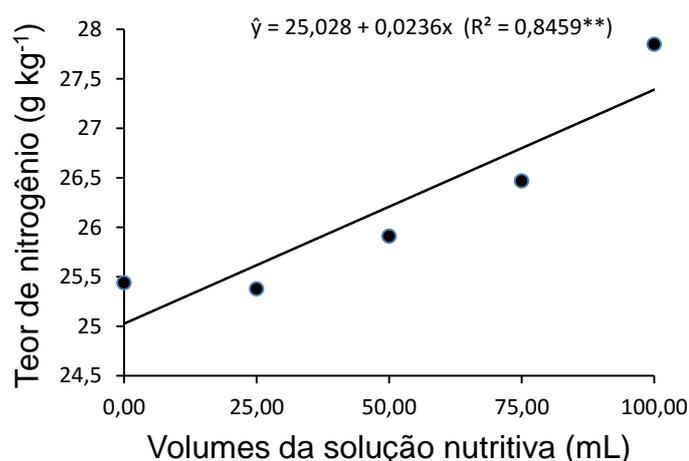


Figura 2. Teor de N (g kg<sup>-1</sup> de matéria seca) na parte aérea do milho da forragem hidropônica em função dos volumes de solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) aplicada por bandeja diariamente.

Paula et al. (2011) ao cultivar milho hidropônico em substrato bagaço de cana, aplicando as diluições de 20, 40, 60, 80 e 100% de soro de leite bovino em água, colhido aos 15 dias, também observaram acréscimo linear no teor de N da parte aérea com o aumento das concentrações de soro aplicado. Na maior concentração de 100% de soro foi observado teor de nitrogênio de 34,2 g kg<sup>-1</sup>. Valor maior do que o alcançado neste trabalho no maior volume de 100 mL de solução em que foi observado 27,9 g kg<sup>-1</sup> (Figura 2). Ambos estão dentro da faixa de N considerada adequada para a cultura do milho que varia de 27 a 35 g kg<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 1999) e são maiores do que os resultados encontrados por Fraga et al. (2009), que mesmo utilizando solução nutritiva recomendada para forragem hidropônica não atingiram o teor mínimo adequado.

Entretanto, é importante considerar que os níveis críticos, ou faixas de suficiência, de nutrientes para o milho são obtidos a partir de plantas em estágio em que ocorre o surgimento da primeira espiga, amostrando-se a folha oposta e abaixo da espiga. Assim, como para a produção de forragem hidropônica de milho a colheita é realizada com plantas jovens (10 a 20 dias), os valores obtidos de teores de nutrientes de parte aérea destas plantas não têm como ser comparados com as faixas de suficiência da literatura, a fim de se identificar a adequada nutrição mineral.

A solução nutritiva da FAO utilizada por Fraga et al. (2009) tem menor concentração de N (10,2) em 100 mL em relação à solução nutritiva de Hoagland e Arnon (22,4 mg) em 100 mL. Possivelmente esse seja o motivo do menor teor encontrado por esses autores. Da mesma forma que a solução de soro de leite bovino utilizada por Paula et al. (2011) apresenta maior concentração inicial de N (86 mg) em 100 mL e assim, resultou em maior teor final deste nutriente na parte aérea das plantas.

Foi observado maior teor de Ca ( $4,7 \text{ g kg}^{-1}$ ) nas plantas de milho no maior volume de solução nutritiva fornecida (Figura 3). Este teor está dentro do limite considerado adequado de  $2,5 - 8,0 \text{ g kg}^{-1}$  para plantas de milho adultas (EMBRAPA, 1999). No experimento realizado por Fraga et al. (2009) com solução nutritiva da FAO obteve-se teores de Ca menores em relação ao encontrado neste experimento, em que os autores observaram teores de  $1,9$  e  $3,3 \text{ g kg}^{-1}$  de Ca na parte aérea do milho cultivado em bagaço de cana e palha de arroz, respectivamente. Provavelmente pelo menor teor inicial de Ca fornecido ( $5,3 \text{ mg}$ ) em 100 mL. Ao cultivar forragem hidropônica de milho sob aplicação de cinco diluições de soro de leite bovino em água, Paula et al. (2011) verificaram queda linear no teor de Ca com o aumento das concentrações de soro, que na menor concentração chegou a  $4,6 \text{ g kg}^{-1}$  e na maior concentração caiu para  $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ . Mesmo com maior teor inicial de Ca (22 mg) em 100 mL no soro de leite bovino na maior concentração, o teor desse nutriente na parte aérea foi menor que o encontrado no presente trabalho que tinha concentração inicial de 16 mg em 100 mL.

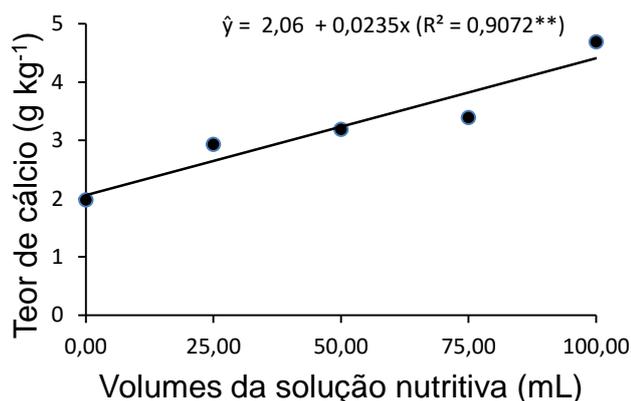


Figura 3. Teor de cálcio ( $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca) na parte aérea do milho da forragem hidropônica em função dos volumes de solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) aplicada por bandeja diariamente.

No maior volume de solução nutritiva aplicada (100 mL) foi obtido teor de  $2,9 \text{ g kg}^{-1}$  de S (Figura 4). Valor superior aos encontrados por Fraga et al. (2009), que observaram teor de  $1,1 \text{ g kg}^{-1}$  de S na parte aérea de plantas de milho cultivadas em substratos bagaço de cana e palha de arroz. Paula et al. (2011) também observaram acréscimo linear no teor de S com aumento dos volumes de soro aplicados. Foi verificado teor de  $4,2 \text{ g kg}^{-1}$  de S no maior volume de soro aplicado, superior ao encontrado neste trabalho (Figura 4).

Foi observado que o teor de S encontrado neste trabalho está dentro do nível adequado para o milho que é de  $1,5$  a  $3,0 \text{ g kg}^{-1}$  (EMBRAPA, 1999). Os resultados obtidos por Fraga et al. (2009) e Paula et al. (2011) estão abaixo e acima desse limite, respectivamente. Possivelmente esse resultado ocorreu de forma equivalente aos valores iniciais desse nutriente contidos nas soluções de Hoagland e Arnon, FAO e Soro de leite a 100% que eram de  $6,4$ ;  $2,0$  e  $12,7 \text{ mg}$  em  $100 \text{ mL}$ , respectivamente.

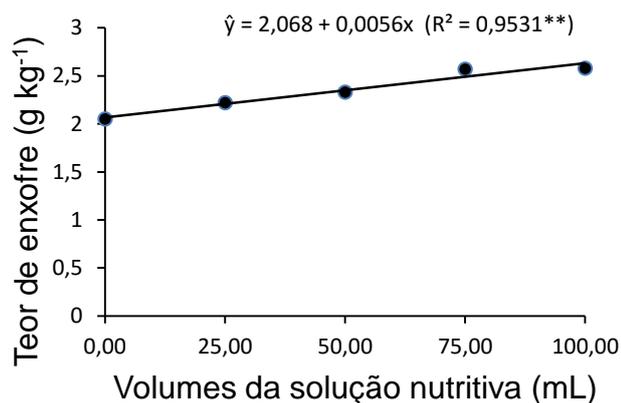


Figura 4. Teor de enxofre ( $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca) na parte aérea do milho forragem hidropônica em função dos volumes de solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) aplicada por bandeja diariamente.

No presente trabalho foi obtido teor de  $19,2 \text{ mg kg}^{-1}$  de B sob aplicação do maior volume de solução nutritiva (Figura 5). Valor superior aos obtidos por Fraga et al. (2009), que observaram teores de B de  $15,1$  e  $17,3 \text{ mg kg}^{-1}$  na parte aérea do milho cultivado em bagaço de cana e palha de arroz, respectivamente. Ambos estão dentro do limite adequado de  $10$  a  $25 \text{ mg kg}^{-1}$  (EMBRAPA, 1999).

Inicialmente a solução de Hoagland e Arnon continha  $0,05 \text{ mg}$  em  $100 \text{ mL}$  e a solução da FAO continha  $0,01 \text{ mg}$  de B. Esta diferença inicial é a provável causa do maior teor encontrado no presente trabalho.

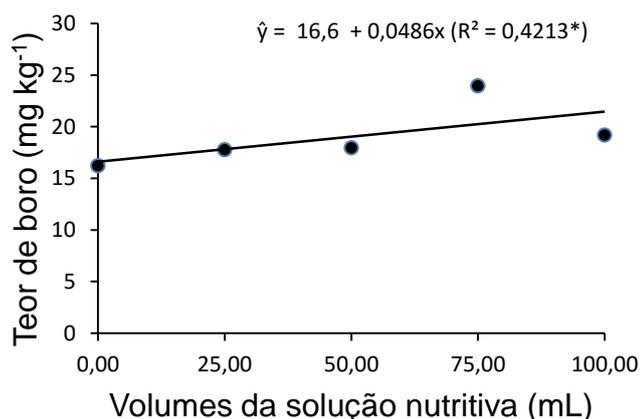


Figura 5. Teor de boro ( $\text{mg kg}^{-1}$  de matéria seca) na parte aérea do milho da forragem hidropônica em função dos volumes de solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) aplicada por bandeja diariamente.

Em relação ao Mn, foi observada redução no seu teor na parte aérea do milho proporcional ao aumento dos volumes de solução nutritiva aplicada diariamente (Figura 6).

É sabido que o excesso de N-amoniacoal provoca deficiência de Mn em milho (Maçãs, 2008). Como a condição do substrato era de saturação de água nos microporos, pois se mantinha a umidade próxima à capacidade de retenção de umidade, certamente, o teor de N-amoniacoal era maior que o de N-nitrato. Diante disso, possivelmente, nos tratamentos com maior volume de aplicação diária de solução nutritiva, ocorreram maiores teores de N-amoniacoal induzindo a menor absorção de Mn pelas plantas de milho.

Fraga et al. (2009) observaram teor de 102,8 e 58,7 mg kg<sup>-1</sup> de Mn na parte aérea do milho para os substratos bagaço de cana e palha de arroz, respectivamente. Sendo o primeiro, maior, e o segundo, menor do que o encontrado neste trabalho ao usar solução nutritiva no maior volume (Figura 6).

Paula et al. (2011) verificaram que na menor diluição de leite de soro bovino (20%) foi obtido maior teor de Mn de 22,2 mg kg<sup>-1</sup> na parte aérea, e que a partir dessa diluição até 100% ocorreu queda no teor desse micronutriente, sendo este resultado semelhante ao encontrado neste trabalho (Figura 6). Entretanto, Paula et al. (2011) verificaram valores inferiores ao encontrado neste trabalho (Figura 6), que foi de 60,6 mg kg<sup>-1</sup> quando aplicado o maior volume de solução nutritiva. O teor verificado no presente trabalho, bem como os encontrados por Fraga et al. (2009) e Paula et. al. (2011) estão dentro da faixa limite adequada desse nutriente na parte aérea do milho que é de 20 a 200 mg kg<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 1999).

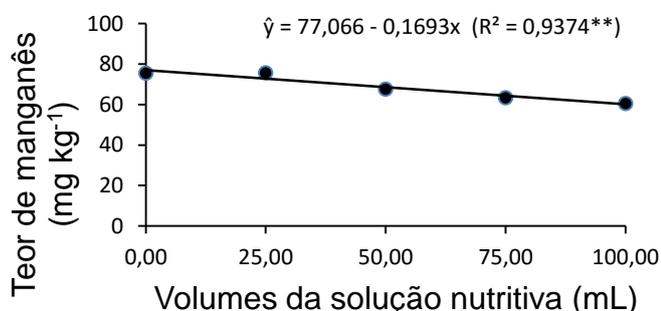


Figura 6. Teor de manganês (mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca) na parte aérea do milho da forragem hidropônica em função dos volumes de solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) aplicada por bandeja diariamente.

Não houve efeito significativo ( $p>0,05$ ) dos diferentes volumes de solução nutritiva aplicada sobre os teores de P, K e Mg, com teores médios de 5,0; 37,9; 3,9 g kg<sup>-1</sup> e sobre os teores de Cu, Fe e Zn, cujos teores médios foram de 4,3; 110,1 e 50,3 mg kg<sup>-1</sup>.

Para plantas de milho as faixas de suficiência de P, K e Mg são 2,0 – 4,0; 17,0 – 35,0 e 1,5 – 5,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente e de Cu, Fe e Zn são 6,0 - 20,0; 30 – 250,0 e 15,0 – 100,0 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente (EMBRAPA, 1999).

Com relação aos macronutrientes, os teores de P e K mostraram-se acima do máximo considerado adequado para milho e Mg dentro da faixa adequada (EMBRAPA, 1999). Enquanto, para micronutrientes Cu apresentou-se pouco abaixo do adequado e Fe e Zn apresentaram-se dentro da faixa de suficiência (EMBRAPA, 1999).

Entretanto, como já comentado, para a cultura do milho, os teores ideais de nutrientes são obtidos a partir da análise da folha oposta e abaixo da primeira espiga superior, coletada no momento do aparecimento desta inflorescência feminina. A análise nutricional do milho é realizada neste estágio fisiológico por que é fácil identificar o estágio de desenvolvimento e a posição da folha. A remoção dessa folha não afeta a produção e, o efeito de diluição dos nutrientes é mínimo, pois os órgãos atingiram seu ponto máximo de crescimento e armazenamento, e a necessidade de nutrientes nessa fase é bem elevada (Coelho e França, 1995). De forma que não há na literatura dados relativos a plantas em estágio vegetativo, impossibilitando estabelecer se os teores obtidos neste trabalho são os ideais para a maior produção. Por outro lado, vale ressaltar que as plantas não apresentaram sintomas visuais de deficiência mineral ou toxidez, o que indica que, possivelmente, os teores de nutrientes verificados eram adequados.

Fraga et al. (2009) obtiveram teores de P, K e Mg de 3,4 e 2,8; 24,8 e 19,0; e 2,5 e 3,3 g kg<sup>-1</sup> e Cu, Fe e Zn de 5,4 e 4,6; 1754,2 e 1976 e 22,7 e 15,1 mg kg<sup>-1</sup>, na forragem de milho cultivado em substratos bagaço de cana e palha de arroz, respectivamente, irrigado com solução nutritiva recomendada pela FAO. Os teores de P, K e Mg encontrados por esses autores mostraram-se inferiores aos apresentados neste trabalho. No entanto, são os valores que mais se aproximaram dos teores possivelmente adequados para o milho segundo

EMBRAPA (1991). Os maiores teores de P, K e Mg encontrados no presente trabalho podem estar relacionados ao fornecimento de maior volume em 100 mL de 3,1; 23,4 e 4,8 mg, respectivamente, através da solução nutritiva de Hoagland e Arnon.

Já os teores dos micronutrientes Cu, Fe e Zn mostraram-se inferiores aos encontrados por Fraga et al. (2009). Possivelmente, a alta concentração dos macronutrientes fornecidos na solução de Hoagland e Arnon diminuiu a absorção dos micronutrientes pelas plantas. Por exemplo, o P quando em alta concentração causa queda na absorção de Zn (Lopez e Malavolta, 1974) e de Fe (Malavolta, 2006), resultando em menor teor na parte aérea. De forma que a alta concentração de P na solução de Hoagland e Arnon pode ter diminuído a absorção desses micronutrientes e sua translocação para a parte aérea das plantas.

Paula et al. (2011) obtiveram teores de P, K e Mg e Cu, Fe e Zn de 8,6; 41,6 e 2,6 g kg<sup>-1</sup> e 23,9; 103,7 e 116,9 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente, na forragem de milho cultivado em bagaço de cana irrigado com soro de leite bovino.

Para macronutrientes, os teores de P e K mostraram-se superiores e Mg inferior aos encontrados neste trabalho. No trabalho de Paula et al. (2011), as concentrações de P e K no soro de leite eram de 30 e 150 mg, respectivamente, em 100 mL, sendo um teor bem maior que a concentração da solução de Hoagland e Arnon de 3,1 e 23,4 mg em 100 mL, podendo ser este o motivo do menor teor encontrado na parte aérea no presente trabalho.

Quanto aos micronutrientes, Paula et al. (2011) verificaram que os teores de 23,9 e 116,9 mg kg<sup>-1</sup> de Cu e Zn, respectivamente, foram superiores e o de Fe (103,7 mg kg<sup>-1</sup>) inferior aos encontrados no presente trabalho (4,3; 50,3 e 110,1 mg kg<sup>-1</sup>, para Cu, Zn e Fe, respectivamente).

Para características biométricas, houve efeito significativo dos volumes de solução nutritiva sobre o CR ( $p \leq 0,05$ ) e altamente significativo para VR ( $p \leq 0,01$ ), os quais melhor se ajustaram ao modelo de regressão quadrática. Entretanto, para DR não ocorreu efeito significativo ( $p > 0,05$ ).

Houve acréscimo no CR com aplicação da solução nutritiva. No maior volume aplicado de 100 mL por bandeja por dia (2,16 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) as plantas produziram raízes com comprimento 1,6 vezes maior que na ausência de solução

nutritiva, sendo este o volume de aplicação diária que possibilitou o maior comprimento de raízes (Figura 7).

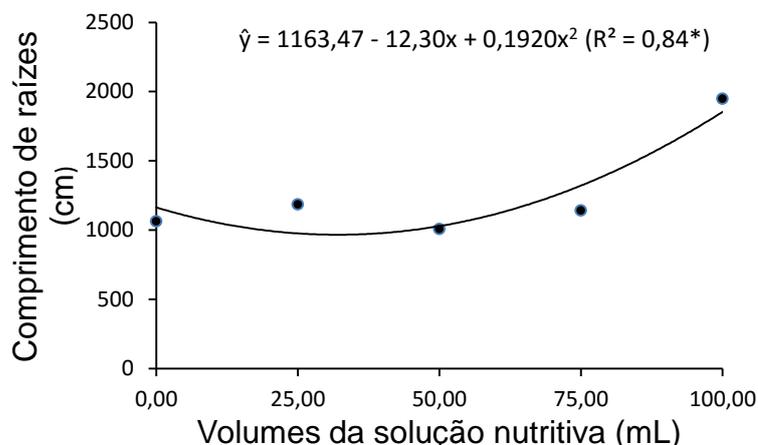


Figura 7. Comprimento de raízes (cm) do milho da forragem hidropônica em função dos volumes de solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) aplicads por bandeja diariamente.

De forma semelhante, ocorreu acréscimo no VR com aplicação da solução nutritiva. Na aplicação de 100 mL por bandeja por dia ( $2,16 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) as plantas de milho produziram 1,5 vezes mais VR que na ausência de aplicação de solução nutritiva, sendo esse o volume de aplicação diária que permitiu o maior volume de raízes (Figura 8).

Maiores CR e VR são características desejáveis para a produção de forragem hidropônica, pois, quanto maior o crescimento da planta cultivada no substrato, melhor será a qualidade da forragem. A forrageira possibilita enriquecimento de substratos orgânicos com baixo valor nutricional, como é o caso do capim napier utilizado como substrato no experimento, que estava em idade posterior à ideal para consumo como forragem (Araújo et al., 2008). Assim, quanto maior a razão forrageira/substrato melhor a qualidade.

Oliveira (2014) cultivou forragem hidropônica de milho irrigado com solução nutritiva de Hoagland e Arnon meia força e verificou raízes com tamanho médio de 154 cm utilizando o aparelho Winrhizo. Este comprimento resultou em volume médio de raízes de  $0,70 \text{ cm}^3$  por tratamento. Araújo et. al. (2008) observaram que ao cultivar milho hidropônico sobre substrato bagaço de cana à densidade de  $2,0 \text{ kg m}^{-2}$ , a solução nutritiva recomendada pela FAO para forragem hidropônica proporcionou raízes com 24,1 cm de comprimento, 5,1 cm maiores em relação à forragem irrigada com solução de vinhoto. Crevelari (2013)

cultivou forragem hidropônica do milho híbrido UENF 506-11 em substrato bagaço de cana irrigada com solução nutritiva da FAO e obteve raízes com 29,2 cm de comprimento. Os menores comprimentos de raízes encontrados por Araújo et al. (2008) e Crevelari (2013) podem estar relacionados à metodologia utilizada para medição. Estes autores mediram as raízes de cada planta com régua milimétrica, o que pode ter subestimado o valor real, pois sabe-se que as raízes das plantas ficam enroladas umas nas outras, tornando-se muito difícil a retirada de uma planta com raízes inteiras sem perder nenhum pedaço.

Os maiores CR e VR de milho no maior volume de solução nutritiva aplicada diariamente (Figura 7 e 8) podem estar relacionados aos maiores teores de N, Ca, S e B na parte aérea do milho (Figuras 2, 3, 4 e 5). O N atua em processos fisiológicos importantes como respiração, desenvolvimento e atividade das raízes. O Ca concentra-se na parede celular como principal componente da lamela média, e é responsável por aumentar a rigidez da parede, fortalecendo as paredes celulares das raízes em crescimento. A falta de Ca afeta os pontos de crescimento das raízes, paralisando o crescimento, provocando escurecimento e morte destas (Manlio, 2006). As plantas mais jovens absorvem o B com maior eficiência do que as mais velhas. Este último, atua nas zonas de crescimento da parte aérea e raízes (Dechen e Nachtigall, 2006).

Em média o DR foi 0,5 mm, não ocorrendo variação com o aumento do volume de solução nutritiva aplicada diariamente. Isto indica que, certamente, o aumento do volume do sistema radicular (Figura 8) foi devido ao aumento do comprimento das raízes (Figura 7), que aumentou o crescimento linearmente com o aumento dos volumes de solução nutritiva.

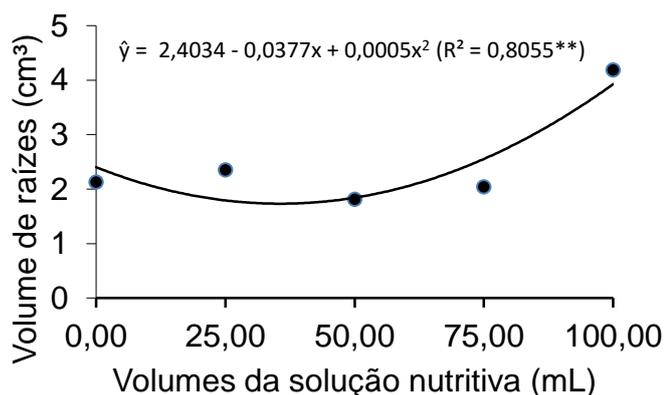


Figura 8. Volume de raízes (cm<sup>3</sup>) do milho da forragem hidropônica em função dos volumes de solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) aplicada por bandeja diariamente.

Não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) dos diferentes volumes de solução nutritiva aplicada sobre PA, MF e MS.

Apesar de não haver diferença significativa para PA em função dos volumes de solução nutritiva aplicada, as plantas atingiram em média 25 cm de altura, valor próximo aos encontrados por outros pesquisadores (Müller et al., 2006a; Müller et al., 2006b). Esse crescimento pode ter sido favorecido pela temperatura média de 33,3°C durante o período de cultivo, a qual se aproximou da temperatura ótima para crescimento e fotossíntese da cultura que é de 30°C (Durães, 2007).

Müller et al. (2006b) produzindo forragem hidropônica de milho sob temperatura média de 28,3°C e substrato capim napier obtiveram plantas com 21 e 26 cm aos 10 e 20 dias de colheita, respectivamente. Müller et al. (2006a) testando uma solução orgânica e outra inorgânica verificaram plantas de trigo com 21 cm colhidas aos 16 dias. Já cultivando milho em substrato bagaço de cana-de-açúcar, Manhães et al. (2012) e Araújo et al. (2008) obtiveram em média plantas com 27,9 cm de altura. Müller et al. (2005) produziram plantas de milho com 19,5 cm de altura colhidas aos 10 dias. Crevelari (2013) obteve plantas com 13,4 cm e 16,5 cm para a variedade BR 106 e para o híbrido UENF 506-11, respectivamente, utilizando solução nutritiva padrão recomendada pela FAO.

A produção média de MF da forragem hidropônica (plantas de milho + substrato) foi de 13,7 kg m<sup>-2</sup>, que aproximou-se de valores encontrados na literatura, sendo, portanto, muito semelhante àqueles encontrados nos trabalhos

de Müller et al. (2005), que obtiveram 13,6 kg m<sup>-2</sup> e Müller et al. (2006b), que produziram 13,4 e 9,9 kg m<sup>-2</sup> aos 10 e 20 dias após a semeadura, respectivamente.

Por outro lado, mostrando-se inferior aos valores observados por Pilau et al. (2016), Rocha et al. (2014) e Rocha (2004), que obtiveram MF em média de 16,0 kg m<sup>-2</sup> cultivando milho na densidade de 2,0 kgm<sup>-2</sup> colhidos aos 15 dias. Também foi inferior a Oliveira (2014), que encontrou 15,4 kg m<sup>-2</sup> utilizando solução nutritiva com meia força; Flôres (2009) obteve 15,1 kg m<sup>-2</sup> após 17 dias de semeadura; Rocha et al. (2007) e Manhães et al. (2012), que obtiveram MF de 20 kg m<sup>-2</sup> em média. Araújo et al. (2008), que ao produzirem forragem sob densidade de 2,0 kg m<sup>-2</sup> utilizando solução nutritiva descrita pela FAO, obtiveram MF de 21,0 e 26,28 kg m<sup>-2</sup> colhidas aos 10 e 20 dias, respectivamente. No entanto, o valor observado foi superior aos verificados por Crevelari (2011) e Crevelari (2013), que encontraram 10,5 e 7,8 kg m<sup>-2</sup>, respectivamente.

Foi obtido, em média, 2,4 kg m<sup>-2</sup> de MS no presente trabalho. Este valor foi maior do que aqueles obtidos por Müller et al. (2006b) com 2,3 e 1,6 kg m<sup>-2</sup> aos 10 e 20 dias após a semeadura. Flôres (2009), que verificou 1,6 kg m<sup>-2</sup> em colheita aos 17 dias. Müller et al. (2006c), que obtiveram 2,07 kg m<sup>-2</sup> de MS cultivando trigo.

Outros autores, no entanto, encontraram valores superiores como em experimentos realizados por Crevelari (2011), Pilau et al. (2016) e Campêlo et al. (2007), que obtiveram MS em torno de 3,6 kg m<sup>-2</sup>; Araújo et al. (2008), que ao produzir forragem sob densidade de 2,0 kg m<sup>-2</sup> utilizando solução nutritiva descrita pela FAO, obtiveram MS de 3,5 e 2,6 kg m<sup>-2</sup> colhidas aos 10 e 20 dias, respectivamente; Pícolo et al. (2013), que observaram MS de aproximadamente 4,1 kg m<sup>-2</sup> cultivando milho hidropônico à densidade de 2,5 kg m<sup>-2</sup>; Manhães et al. (2012), Rocha (2004) e Rocha et al. (2014), que obtiveram MS em torno de 4,1 kg m<sup>-2</sup> cultivando forragem hidropônica de milho à densidade de 2,0 kg m<sup>-2</sup> e Rocha et al. (2007), que observaram 5,5 kg m<sup>-2</sup> ao cultivar forragem com seis volumes de solução nutritiva colhida aos 18 dias.

Houve efeito altamente significativo ( $p \leq 0,01$ ) dos volumes de solução nutritiva aplicada sobre os teores de K, Ca e S na forragem hidropônica de milho completa, ou seja, plantas de milho juntamente com o substrato de capim napier (Figuras 9, 10 e 11).

Não se obteve um bom ajuste de regressão para os teores de K encontrados na forragem completa considerando os volumes de solução nutritiva aplicada (Figura 9). Ocorreu acréscimo no teor de K com aumento dos volumes de solução nutritiva aplicada até o volume de 50 mL por bandeja. Houve uma queda no teor de K quando se aplicou 75 mL de solução e no volume de 100 mL o teor de K aumentou novamente, sendo que o maior teor de K com média de 143,3 g kg<sup>-1</sup> foi obtido quando se aplicou 50 mL de solução nutritiva. Não se encontrou justificativa plausível para a queda no teor de K no volume de 75 mL e aumento em seguida no maior volume aplicado de 100 mL.

Bovinos em crescimento, terminação e gestação requerem 6 g kg<sup>-1</sup> de K na forragem e em início da lactação requerem 7 g kg<sup>-1</sup>, sendo que a concentração máxima tolerável é de 30 g kg<sup>-1</sup> (NRC, 2009). Sendo assim, valor de K de 143,3 g kg<sup>-1</sup> encontrado no presente trabalho (Figura 9) no maior volume de solução está muito acima do tolerável. Mesmo no tratamento controle em que só foi aplicada água, o teor de K de 97 g kg<sup>-1</sup> ficou acima do tolerável.

Entretanto, vale destacar que o substrato de capim napier continha inicialmente 226 g kg<sup>-1</sup> de K, de forma que houve um decréscimo em 1,6 vezes no teor desse nutriente no início do cultivo até o momento da colheita na forragem sem solução nutritiva. Isto se justifica pelo crescimento da planta de milho que resultou em aumento nos teores de C, H e O assimilados via fotossíntese. Assim, a presença da planta de milho melhorou consideravelmente a qualidade nutricional da forragem, quanto ao fornecimento de K, entretanto, ainda não foi suficiente para deixá-la com teor abaixo do máximo recomendado pela NRC (2009).

Zorzan (2006) encontrou teores de K variando de 0,28 a 0,69 g kg<sup>-1</sup> em forragem hidropônica de cevada + ervilhaca e centeio + ervilhaca irrigada com solução nutritiva de Neves (2001). Não existem relatos de deficiência de K em bovinos criados em sistema extensivo com alimentação a pasto (Tokarnia et al., 2000). Ao considerar que o teor de K encontrado neste trabalho (Figura 9) ainda está muito acima do máximo tolerável, pode-se inferir que esse excesso pode causar algum tipo de problema por toxidez em animais que só utilizem esta forragem, sendo aconselhável fornecê-lo em associação com outros alimentos com teores de K mais baixos.

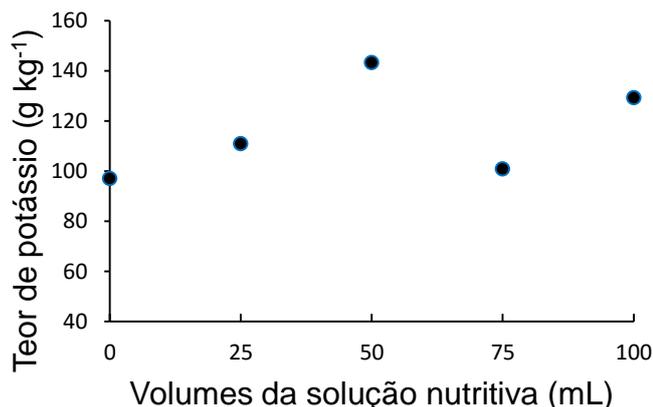


Figura 9. Teor de potássio ( $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca) na forragem hidropônica de milho completa em função dos volumes de solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) aplicada por bandeja diariamente.

Ocorreu acréscimo linear nos teores de Ca com o aumento dos volumes de solução nutritiva aplicada até o maior volume de 100 mL em que foi obtido teor médio de  $21,8 \text{ g kg}^{-1}$  (Figura 10).

O teor ideal de Ca em gramíneas para dieta de bovinos é de  $1,8 \text{ g kg}^{-1}$  na MS (NRC 1976). De forma que o teor encontrado neste trabalho de  $21,8 \text{ g kg}^{-1}$  de Ca (Figura 10) no maior volume de solução aplicada está acima do adequado. Assim como ocorreu com o K, no tratamento controle em que foi adicionada apenas água nas bandejas, o teor de Ca  $12 \text{ g kg}^{-1}$  ficou acima do teor adequado. No entanto, assim como comentado para o K as plantas de milho melhoraram a qualidade da forragem, pois, o substrato por si só continha  $34 \text{ g kg}^{-1}$  de Ca na matéria seca. Assim, ocorreu decréscimo no teor de Ca a partir do início do cultivo até o momento da colheita. Por outro lado, sabe-se que a presença desse nutriente na forragem não garante que seja absorvido e aproveitado pelo organismo dos bovinos (Mendonça Júnior et al., 2011). Apenas uma pequena parte dos nutrientes minerais é retida pelo organismo. Podem acontecer casos em que até 99% do nutriente seja excretado (Braz et al., 2002).

Assim, não há certeza que o teor de Ca verificado provoque toxidez nos animais. Ainda não foram encontrados na literatura dados sobre as exigências nutricionais reais encontradas nos pastos brasileiros, uma vez que a maioria das recomendações é feita baseando-se em produções internacionais, então, pode

ser que este valor máximo tolerável não seja um valor correspondente à realidade dos rebanhos nacionais (Moraes, 2006).

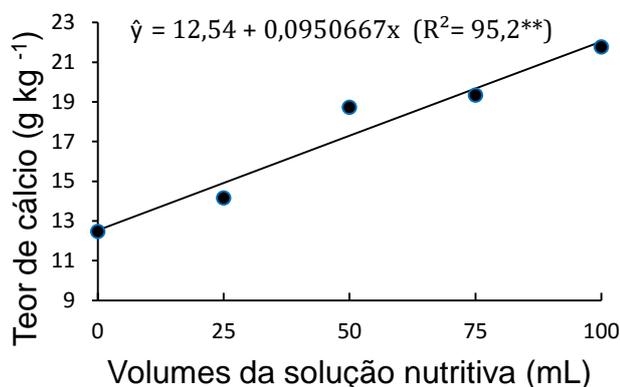


Figura 10. Teor de cálcio ( $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca) na forragem hidropônica de milho completa em função dos volumes de solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) aplicada por bandeja diariamente.

Ocorreu aumento linear no teor de S na forragem de acordo com o aumento dos volumes de soluções nutritivas aplicadas até o maior volume de 100 mL por bandeja (Figura 11). O teor de S variou de 13,5 a 18,0  $\text{g kg}^{-1}$  (Figura 11). Mesmo no tratamento controle o teor de 14  $\text{g kg}^{-1}$  está muito acima do adequado para forragem.

Bovinos em crescimento, terminação, gestação e início da lactação requerem 1,5  $\text{g kg}^{-1}$  de S, sendo que a concentração máxima tolerável é de 4  $\text{g kg}^{-1}$  (NRC, 2009). Segundo Tokarnia et al. (2000), não há relatos de deficiência de S em bovinos mantidos em regime de pastagem.

O substrato é responsável por 10,6  $\text{g kg}^{-1}$  do S contido na forragem hidropônica. Sugerindo que o problema de alto teor encontrado não está no volume de solução nutritiva adicionada, mas no alto teor inicial contido no substrato capim napier. Apesar disso a solução nutritiva de Hoagland e Arnon contribuiu para o aumento no teor desse nutriente assim como a água utilizada.

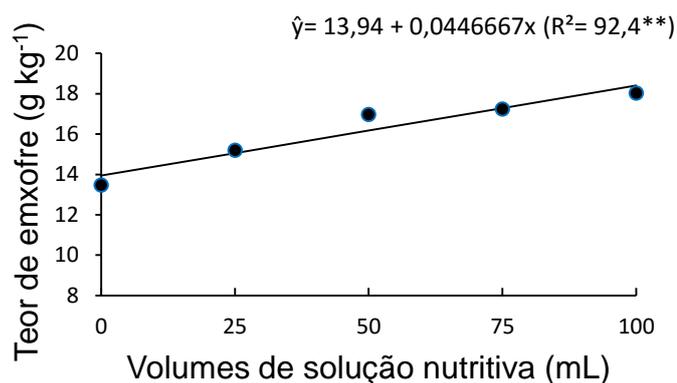


Figura 11. Teor de enxofre ( $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca) na forragem hidropônica de milho completa em função dos volumes de solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) aplicada por bandeja diariamente.

Não ocorreu efeito significativo ( $p > 0,05$ ) dos volumes de solução nutritiva aplicada na forragem completa sobre os teores de N, P, Mg e B, Cu, Fe, Mn e Zn, cujos teores médios foram: 14,0; 26,7; 17,3; 24,0; 16,2  $\text{g kg}^{-1}$  e 85,7; 30,4; 1851,3; 522,0 e 381,1  $\text{mg kg}^{-1}$ . Considerando os teores de macro e micronutrientes N, P, Ca, Mg, S e B, Cu, Fe, Mn e Zn, contidos no substrato de 8,0; 11,5; 34,0; 32,3; 10,6  $\text{g kg}^{-1}$  e 68,2; 47,2; 2060,0; 1270,0; 451,0  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente, observou-se que os teores de N, P, S e B aumentaram, e que ocorreu decréscimo nos teores de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn quando comparados aos teores encontrados na forragem completa em relação à quantidade existente somente no substrato antes do cultivo.

Apesar da falta de informações a respeito do limite adequado de N nas pastagens brasileiras, nota-se que o teor médio encontrado no presente trabalho de 14  $\text{g kg}^{-1}$  está bem abaixo daqueles encontrados por outros autores como Braz et al. (2002), que trabalharam avaliando aspectos quantitativos do processo de reciclagem dos nutrientes pelas fezes de bovinos em pastejo de *Brachiaria decumbens*. Os autores encontraram teor de 181  $\text{g kg}^{-1}$  do N disponível na forragem e Heringer e Jacques (2002) obtiveram teor de 260  $\text{g kg}^{-1}$  de N em pastagem nativa. Ao observar o teor inicial de N no capim napier 8  $\text{g kg}^{-1}$ , pôde-se concluir que este substrato contribuiu com a maior parte do N encontrado na forragem ao final do ciclo, não havendo muito acúmulo na forragem.

Os teores médios de 27 e 17  $\text{g kg}^{-1}$  de P e Ca, respectivamente, encontrados neste trabalho estão abaixo dos teores exigidos por vacas em fase

de lactação, as quais necessitam de aproximadamente 130 e 140 g kg<sup>-1</sup> de P e Ca, respectivamente (Zorzan, 2006). O teor de P encontrado na forragem ao final do ciclo foi maior do que o teor inicial 11,5 g kg<sup>-1</sup> contido apenas no substrato, mostrando que houve acúmulo deste nutriente. No entanto, o teor de Ca encontrado na forragem ao final do ciclo foi menor do que o teor contido no substrato (34 g kg<sup>-1</sup>) no início do cultivo. De acordo com os teores desses nutrientes recomendados por Zorzan (2006), pode-se dizer que os animais alimentados com a forragem produzida neste experimento possivelmente sofreriam com deficiência desses nutrientes.

Para vacas em crescimento e terminação, gestação e lactação recomendam-se 1,0; 1,2 e 2,0 g kg<sup>-1</sup> de Mg como teor adequado e 1,5 g kg<sup>-1</sup> de S como adequado para todas as quatro fases, sendo o limite máximo tolerado para os dois nutrientes de 4 g kg<sup>-1</sup> (NRC, 2009). Assim, pôde-se observar que o teor médio de 24 e 16 g kg<sup>-1</sup> de Mg e S encontrados no presente trabalho estão acima do limite máximo tolerado. Os teores de Mg e S encontrados na forragem ao final do ciclo foram menor para Mg e maior para S, do que os teores contidos inicialmente no substrato de 32 e 11 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Levando em consideração o limite máximo tolerado, pode-se dizer que os dois nutrientes estão presentes em níveis possivelmente tóxicos.

Não foram encontrados dados na literatura sobre teores adequados de B. Talvez esteja relacionado com o fato de não estar entre os nutrientes essenciais na alimentação de bovinos. Os minerais essenciais são: Ca, P, Mg, K, Na, Cl, S, Fe, Mn, Cu, I, Co, Zn, Se e Mo (Tokarnia et al., 2000). Apesar da falta de dados a respeito desse nutriente, pode-se observar que ocorreu acúmulo na forragem, uma vez que o teor de 86 mg kg<sup>-1</sup> encontrado na forragem ao final do ciclo de cultivo foi maior do que o teor de 68,2 mg kg<sup>-1</sup> contido inicialmente no substrato capim napier, e que o substrato contribuiu com grande parte do teor desse nutriente.

Para todas as fases de desenvolvimento recomenda-se teor de 10 mg kg<sup>-1</sup> de Cu como adequado na forragem, e limite máximo tolerado de 100 mg kg<sup>-1</sup> (NRC, 2009). Nota-se que o teor de 30,4 mg kg<sup>-1</sup> encontrado no presente trabalho está um pouco acima do adequado, porém, dentro do limite máximo. Pôde-se observar que ocorreu decréscimo no teor de Cu encontrado na forragem ao final do ciclo em relação ao teor de 47,2 mg kg<sup>-1</sup> contido inicialmente no capim napier.

A partir do teor observado, não se pôde inferir que o nível de Cu causaria toxidez aos animais.

O teor de Fe para todas as fases de desenvolvimento adequado é de 50 mg kg<sup>-1</sup> e seu limite máximo tolerado é de 1000 mg kg<sup>-1</sup> (NRC, 2009). Foi observado que o teor de 1851,3 mg kg<sup>-1</sup> encontrado neste trabalho está acima do limite máximo tolerado. Sugerindo que este possa vir a causar toxidez aos animais. Somente o substrato seria suficiente para proporcionar teor de Fe acima do limite tolerado, uma vez que o teor desse nutriente no substrato (2060 mg kg<sup>-1</sup>) era maior do que o teor encontrado na forragem ao final do ciclo.

Para crescimento e terminação recomenda-se como adequado o teor de 20 mg kg<sup>-1</sup> de Mn na forragem, e para gestação e lactação recomenda-se teor de 40 mg kg<sup>-1</sup>. Sendo o limite máximo tolerado de 1000 mg kg<sup>-1</sup> para todas as fases (NRC, 2009). Sendo assim, o teor de 522 mg kg<sup>-1</sup> encontrado neste trabalho está muito acima do adequado e dentro do limite máximo tolerado. Pôde-se observar que ocorreu decréscimo no teor de Mn encontrado na forragem ao final do ciclo em relação ao teor contido no substrato inicialmente (1270 mg kg<sup>-1</sup>), o qual já seria suficiente para causar toxidez aos animais.

Para todas as fases de desenvolvimento recomenda-se teor de 30 mg kg<sup>-1</sup> de Zn como adequado na forragem. Sendo limite máximo tolerado de 500 mg kg<sup>-1</sup> (NRC, 2009). Pôde-se observar que o teor de 382,1 mg kg<sup>-1</sup>, encontrado neste trabalho está bem acima do recomendado, porém, dentro do limite máximo tolerado. Observou-se que ocorreu decréscimo no teor de Zn encontrado na forragem ao final do ciclo em relação ao teor contido inicialmente no substrato capim napier (451 mg kg<sup>-1</sup>), e que mesmo o teor contido inicialmente no substrato ainda estava abaixo do limite máximo tolerado. Assim, não pôde-se afirmar que o Zn esteja presente na forragem hidropônica em um nível tóxico.

### **3.1.6. CONCLUSÕES**

A altura das plantas e a produção média de massa fresca e seca não foram influenciadas pelos volumes de solução nutritiva aplicada diariamente.

Ocorreu incremento nos teores de N, Ca, S e B, e queda no teor de Mn na parte aérea do milho com aumento dos volumes de solução nutritiva aplicada.

Na forragem completa houve acréscimo nos teores de Ca e S com o aumento dos volumes de solução nutritiva aplicada até 100 mL por bandeja, com teores médios de 21,8 e 18 kg m<sup>-2</sup>, respectivamente

Para a maioria das variáveis analisadas o aumento do volume de solução nutritiva aplicada diariamente até o volume de 100 mL por bandeja proporcionou melhoras. Dessa forma, pode-se dizer que o melhor tratamento foi aquele em que se aplicou o maior volume de solução nutritiva.

### 3.1.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alberoni, R.B. (1998) Hidroponia: como instalar e manejar o plantio de hortaliças dispensando o uso do solo – alface, rabanete, rúcula, almeirão, chicória, agrião. São Paulo: Nobel, 102p.

Araújo, V.S., Coelho, F.C., Da Cunha, R.C.V., Lombardi, C.T. (2008) Forragem hidropônica de milho cultivado em bagaço de cana e vinhoto. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 7 (3):251-264.

Braz, S.P., Junior, D. do N., Cantarutti, R.B., Regazzi, A.J., Martins, C.E., Fonseca, D.M., Barbosa, R.A. (2002) Aspectos quantitativos do processo de reciclagem de nutrientes pelas fezes de bovinos sob pastejo em pastagem de *Brachiaria decumbens* na Zona da Mata de Minas Gerais. *R. Bras. Zootec.* 31 (2):858-865.

Campêlo, J.E.G., De Oliveira, J.C.G., Rocha, A.S., Carvalho, J.F., Moura, G.C., Oliveira, M.E., Da Silva, J.A.L., Moura, J.W.S., Costa, V.M., Uchoa, L. M. (2007) Forragem de milho hidropônico produzida com diferentes substratos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36 (2):276-281.

Coelho, A.M., França, G.E. (1995) Seja doutor do seu milho: nutrição e adubação. Potafos. 2ed. nº2. Piracicaba – SP. p.1-25

- Cometti, N.N., Furlani, P.R., Ruiz, H.A., Filho, E.I.F. (2006) Soluções nutritivas: formulação e aplicações. *In: Fernandes, M. S. Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.89-114.
- Crevelari, J.A. (2011) *Forragem hidropônica de milho cultivado em bagaço de cana de açúcar, com diferentes densidades de semeadura e diluições de vinhoto*. Monografia (Agronomia) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro– UENF, 34p.
- Crevelari, J.A. (2013) *Forragens hidropônicas de milho e de soja cultivada em bagaço de cana-de-açúcar e doses de substâncias húmicas*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 95p.
- Dechen, A.R., Nachtgall, G.R. (2006) Micronutrientes. *In: Fernandes, M. S. Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.327-354.
- Durães, F.O.M. - Limitações fisiológicas do milho nas condições de plantio nas regiões tropicais baixas. (2007): [http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_1/limitemilho/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/limitemilho/index.htm) em 25/10/2015.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1999) Manual de análises química de solo, plantas e fertilizantes. Comunicação para Transferência de Tecnologia. Brasília, 370p.
- FAO - Forraje verde hidropônico (2001) Oficina Regional de La FAO para América Latina y el Caribe. Santiago.
- Flôres, M.T.D. (2009) *Efeito da densidade de semeadura e da idade de colheita na produtividade e na composição bromatológica de milho (Zea mays L.)*. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Piracicaba - SP, Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 79p.

- Fraga, T.M., Ferrari, L., Garcia, A., Leite, D.C., Tannous, S. (2009) Influência de três variedades de milho (*Zea mays*, L.) e dois substratos na produção de forragem hidropônica. *Nucleus Animalium*, 1 (1):36-47.
- Furlani, P.R., Silveira, L.C.P., Bolonhezi, D., Faquin, V. Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 2 – Solução nutritiva (2009): [http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_2/Hidroponiap2/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/Hidroponiap2/Index.htm)
- Galvão, K.S.C., Ramos, H.C.C., Santos, P.H.A.D., Entringer, G.C., Vettorazzi, J.C.F., Pereira, M.G. (2015) Functional molecular markers (EST-SSR) in the full-sib reciprocal recurrent selection program of maize (*Zea mays* L.). *Genetic and Molecular Research* 14:7344-7355.
- Heringer, I., Jacques, A.V.A. (2002) nutrientes no mantilho em pastagem nativa sob distintos manejos. *Ciência Rural*. 32 (5):841-847.
- Jackson, M. L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 498p.
- Mendonça Júnior, A.F., Braga, A.P., Rodrigues, A.P.M. dos S., Sales, L.E.M., Mesquita, H.C. (2011) Minerais: Importância de uso na dieta de ruminantes. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, 7 (1): 1-13.
- Lopez, G.O.E., Malavolta, E. (1974) Estudos sobre as relações entre zinco e fósforo na nutrição da planta. *Anais da E. S. A. Luiz de Queiroz*, (31):467-483.
- Maçãs, J.E.S. (2008) Nitrogênio nítrico e amoniacal no desenvolvimento da parte aérea de milho cultivado em argissolo. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 72 p.
- Malavolta, E. (2006) *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Editora Agroquímica Ceres, 638p.

- Manhães, N.E. (2012) *Produção de forragem hidropônica de milho em bagaço de cana-de-açúcar, com diferentes concentrações de vinhaça e densidades de semeadura*. Monografia (Agronomia) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 67p.
- Manlio, S.F. (2006) *Nutrição mineral de plantas*. Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Solos, 432p.
- MAPA – Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (2009) *Regras para análise de sementes*. 399p.
- Moraes, E.H.B.K. (2006) *Desempenho e exigências de energia, proteína e minerais de bovinos de corte em pastejo, submetidos a diferentes estratégias de suplementação*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Viçosa – MG, 136p.
- Müller, L., Dos Santos, O.S., Manfron, P.A., Medeiros, S.L.P., Haut, V., Neto, D. D., Menezes, N.L., Garcia, D.C. (2006b) Forragem hidropônica de milheto: produção e qualidade nutricional em diferentes densidades de semeadura e idades de colheita. *Revista Ciência Rural*, Santa Maria, 36(4):1094-1099.
- Müller, L., Manfron, O.A., Medeiros, S.L.P., Dos Santos, O.S., Morselli, T.B.G. A., Dourado Neto, D., Fagan, E.B., Bandeira, A.H., Tonetto, C.J. (2006c) Valor nutricional da forragem hidropônica de trigo sob diferentes soluções nutritivas. *Biosci. J.*, 22 (3):49-56.
- Müller, L., Manfron, P.A., Santos, O.S., Medeiros, S.L.P., Neto, D.D., Morselli, T.B.G.A., Da Luz, G.L, Bandeira, A.H. (2006a) Efeito de soluções nutritivas na produção e qualidade nutricional da forragem hidropônica de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Revista Zootecnia Tropical*. 24 (2):137-152.
- Müller, L., Santos, O.S., Moanfron, P.A., Haut, V., Fagan, E.B., Medeiros, S.L. P., Neto, D.D. (2005) Produção e qualidade bromatológica de gramíneas em sistema hidropônico. *Uruguaiana*, 12 (1):88-97.

- NRC - National Research Council (1976) Nutrient requerimento of beef cattle. Washington: National Academy of Science, 56p.
- NRC – National Research Council. (2009) Nutrient Requeriments for Beef Cattle, West Virginia university, 6p.
- Oliveira, M. De J. (2014) *Produção de massa seca e composição químico-bromatológica da forragem hidropônica de milho (Zea mays L.) e soja (Glycine max)*. Monografia (Graduação em Agronomia) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 50p.
- Paula, L., Rolim, M.M., Neto, E.B., Soares, T.M., Pedrosa, E.M.R., Silva, E.F. (2011) Crescimento e nutrição mineral de milho forrageiro em cultivo hidropônico com soro de leite bovino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 15 (9):931-939.
- Peters, J.B. (2005). *Wisconsin Procedures for Soil Testing, Plant Analysis and Feed & Forage Analysis: Plant Analysis*. Department of Soil Science, College of Agriculture and Life Sciences, University of Wisconsin-Extension, Madison, WI. (2005): [http://uwlax.soils.wisc.edu/files/procedures/plant\\_icp.pdf](http://uwlax.soils.wisc.edu/files/procedures/plant_icp.pdf). em: 20/10/2015
- Píccolo, M.A. (2012) *Forragem hidropônica de milho produzida em substratos orgânicos residuais utilizando água residuária de bovino*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 83p.
- Píccolo, M.A., Coelho, F.C., Gravina, G.A., Marciano, C.R., Rangel, O.J.P. (2013) Produção de forragem verde hidropônica de milho, utilizando substratos orgânicos e água residuária de bovinos. *Revista Ceres*. 60 (4):544-551.
- Pilau, F.G., Bonnacarrère, R., Schmidt, D., Santos, O., Manfron, P.A. Produção de forragem hidropônica de milho em túnel plástico. (2016):

<http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/download/biblioteca/cpfg2006c.pdf>

Rocha, J.S., Salviano, A.A.C., Alves, A.A., Lopes, J.B., Neiva, J.N. de M. (2007) Produtividade e composição bromatológica da forragem hidropônica de milho produzida em diferentes volumes de solução nutritiva. *Ver. Cient. Prod. Anim.* 9 (1): 9-17.

Rocha, R.J. De Sousa. (2004) *Produtividade e composição químico-bromatológica da forragem hidropônica de milho (Zea mays L.) em diferentes densidades de plantio, estádios de crescimento e volumes de solução nutritiva.* Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Teresina – PI, Universidade Federal do Piauí – UFPI, 48p.

Rocha., R.J.S., Salviano, A.A.C., Alves, A.A., Neiva, J.N.M., Lopes, J.B., Silva, L.R.F. (2014) Produtividade e composição química da forragem hidropônica de milho em diferentes densidades de semeadura no substrato casca de arroz. *Ver. Cient. Prod. Anim.* 16 (1):25-31.

SAEG. Sistemas para análises estatísticas, 7.0. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, UFV/DBG, (2009): <http://www.ufv.br/saeg/>.

Tokarnia, C.H., Döbereiner, J., Peixoto, P.V. (2000) Deficiências minerais em animais de fazenda, principalmente bovinos em regime de campo. *Pesq. Vet. Bras*, 20 (3):127-138.

Zorzan, M.H.S. (2006) *Avaliação da qualidade de forragem hidropônica de centeio, cevada e ervilhaca.* Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Santa Maria – RS, Universidade Federal de Santa Maria, 53p.

### **3.2. PRODUÇÃO DE FORRAGEM HIDROPÔNICA DE MILHO CULTIVADO EM CAPIM NAPIER E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO DUAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS**

#### **3.2.1. RESUMO**

Avaliou-se a produção de forragem hidropônica de milho cultivado em capim napier e bagaço de cana-de-açúcar em casa de vegetação utilizando-se solução nutritiva (SN) de Hoagland e Arnon (1950), solução nutritiva recomendada pela FAO (2001), ambas a 100%, e água de abastecimento urbano. Utilizou-se o arranjo fatorial 2 x 3. O delineamento foi em blocos casualizados com quatro repetições. O volume de aplicação foi em média de 3,850 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. A densidade de semeadura foi de 2,0 kgm<sup>-2</sup>. A colheita foi realizada 15 dias após a semeadura. Avaliou-se volume de raízes (VR), comprimento de raízes (CR), diâmetro de raízes (DR), comprimento de parte aérea (PA), peso da massa fresca (MF) e peso da massa seca (MS) e teores de macro e micronutrientes na forragem completa. As plantas de milho cultivadas em bagaço de cana apresentaram raízes com diâmetro 0,1 mm maior em relação às cultivadas em capim napier. Nos dois substratos a forragem irrigada apenas com água se destacou com maior peso de massa fresca. As soluções nutritivas e a água resultaram em média de 2,7 kg m<sup>-2</sup> de peso de massa seca. O substrato de cana resultou em 0,3 kg m<sup>-2</sup> a mais em peso de massa seca em relação à forragem cultivada em capim napier. O substrato capim napier possibilitou crescimento de parte aérea 1,4 vezes maior que o bagaço de cana. A solução nutritiva de Hoagland e Arnon resultou em

comprimento médio 1,2 vezes maior em relação às demais soluções. O substrato bagaço de cana proporcionou menores teores de N, K, Mg, S, P, Ca, Mn e Zn na forragem em relação ao capim napier. A solução nutritiva de Hoagland e Arnon proporcionou maior acúmulo de K, Mg, S, Ca, Cu e B na forragem.

### 3.2.2. ABSTRACT

We evaluated the production of hydroponic forage maize grown in napier grass and sugarcane bagasse in greenhouse using Hoagland and Arnon (1950) nutrient solution (SN) recommended by FAO (2001), both 100%, and urban water supply. We used the factorial arrangement 2 x 3. The design was a randomized block with four replications. The application volume averaged 3,850 L m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>. The seeding rate was 2,0 kgm<sup>-2</sup>. Plants were harvested 15 days after sowing. It evaluated root volume (VR), root length (CR), root diameter (DR), shoot area (PA), fresh matter weight (MF) and dry matter weight (MS) and levels of macro and micronutrients in complete fodder. The corn plants grown on sugarcane bagasse showed roots with diameter 0,1 mm higher than in those grown in napier grass. In both substrates the forage irrigated only with water stood out with higher fresh mass weight. The nutrient solutions and the water resulted in an average of 2,7 kg m<sup>-2</sup> of dry matter weight. The sugarcane substrate resulted in 0,3 kg m<sup>-2</sup> more dry weight in relation to forage grown with napier grass. The napier grass substrate was responsible for shoots to grow 1,4 times higher than sugarcane bagasse. The nutrient solution of Hoagland and Arnon resulted in average length 1,2 times higher than in other solutions. Sugarcane bagasse substrate provided lower levels of N, K, Mg, S, P, Ca, Mn and Zn in forage in relation to napier grass. The nutrient solution of Hoagland and Arnon provided greater accumulation of K, Mg, S, Ca, Cu and B in the forage.

### 3.2.3. INTRODUÇÃO

A forragem hidropônica é constituída por plantas jovens, possuindo pouco conteúdo de fibras, alto teor proteico e boa digestibilidade, que pode ser produzida em curto período, sendo boa alternativa para proporcionar bons resultados quanto a produção de leite e carne (FAO, 2001). Esta, por sua vez, pode ser utilizada para enriquecer resíduos agroindustriais como o bagaço de cana-de-açúcar ou forrageiras que passaram da época de corte e, assim perderam qualidade nutricional, utilizando-os como substrato no cultivo de plantas como o milho (Crevelari, 2013). No entanto, ainda há controvérsias sobre a melhor solução nutritiva que proporcione maior produção com melhor qualidade da forragem.

Uma espécie comumente utilizada para produção de forragem hidropônica é o milho (*Zea mays* L.), pois tem alto valor nutricional (Araújo et al., 2008). A utilização de variedades de milho por agricultores é recomendação técnica para a produção de grãos. Por exemplo, a variedade de milho Fortaleza vem sendo melhorada por agricultores da comunidade Fortaleza, em Muqui, no Estado do Espírito Santo, desde 1993, por meio de seleção massal estratificada. Esta foi desenvolvida a partir de 10 ciclos de seleção massal da variedade BR 106 (Nunes, 2006). A utilização dessa variedade como forrageira hidropônica pode ser viável, mas nunca havia sido avaliada.

O bagaço de cana-de-açúcar, resíduo das usinas, produzido em grandes quantidades, apresenta baixo valor nutritivo, baixa digestibilidade e baixo teor de proteínas. Normalmente a produção desse resíduo coincide com períodos de escassez de forragem em muitas regiões (Souza e Dos Santos, 2002). O capim napier é uma forrageira indicada para capineiras por ter porte avantajado e alta produção (Carareto, 2008). Esta forragem apresenta boa aceitação por parte dos animais (Deresz et al., 2006), porém, sofre rápida degradação quando passada a época certa de corte (Carareto, 2008), ocorrendo acréscimo no teor de matéria seca, e queda no valor nutricional com o avançar do desenvolvimento (Lavezzo, 1985). Ambos os substratos podem ser enriquecidos de forma a melhorar sua composição bromatológica para fim de alimentação animal.

A aplicação de soluções nutritivas balanceadas permite o fornecimento dos nutrientes essenciais nas quantidades necessárias ao bom desenvolvimento das

plantas, evitando desperdício de nutrientes e gasto excessivo de água de irrigação.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência de dois substratos orgânicos e duas soluções nutritivas na produção e qualidade nutricional da forragem hidropônica de milho.

### 3.2.4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido do dia 26 de outubro a 09 de novembro de 2015, em casa de vegetação do Laboratório de Fitotecnia na Unidade de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão (UAP) no Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – RJ. A instalação consistiu em casa de vegetação tipo estufa coberta com polietileno de baixa densidade.

O Município de Campos dos Goytacazes está localizado na latitude 21°45' e longitude 41°17', a uma altitude de 10 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região caracteriza-se como tropical de bosque, quente e úmido, com período seco no inverno e chuvoso no verão, com temperatura média anual de 23,7°C, média mínima de 21,4°C em junho e julho e média máxima de 27,7°C em fevereiro. Tem-se em média precipitação pluviométrica anual de 1023 mm e umidade relativa do ar de 76,5% (Oliveira,1996).

A espécie avaliada foi o milho (*Zea mays* L.), cultivar Fortaleza. O experimento seguiu arranjo fatorial 2 x 3, cujos fatores e níveis foram: dois substratos, capim napier e bagaço de cana-de-açúcar, irrigados com solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) e solução nutritiva recomenda pela FAO (2001), ambas a 100% e somente água de abastecimento urbano. O delineamento foi em blocos casualizados com quatro repetições. A unidade experimental foi composta por bandejas de polietileno em dimensões de 26,5 x 17,5 x 4,0 cm (comprimento x largura x altura), dispostas em bancada.

Foi realizado teste de germinação seguindo metodologia da MAPA (2009) e o índice de germinação foi de 87%.

As sementes foram imersas em solução de hipoclorito de sódio a 1% durante um minuto para desinfestação superficial. Após esse procedimento as sementes foram lavadas em água deionizada (FAO, 2001).

Para acelerar o processo de germinação, as sementes previamente desinfestadas, ficaram imersas em água por 24 horas, imediatamente antes da semeadura.

O capim napier (*Pennisetum purpureum*) foi coletado na UAP (Unidade de Apoio a Pesquisa Ensino e Extensão) no *campus* da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Este se encontrava com aproximadamente um ano de idade após o primeiro corte, ou seja, em idade posterior ao ideal para a colheita e consumo por animais que consomem forragens. O capim foi picado em picadeira para obter pedaços de aproximadamente dois centímetros. Após esse processo, o material foi espalhado sobre uma lona para secar dentro da casa de vegetação.

O bagaço de cana-de-açúcar foi obtido na Cooperativa Agroindustrial do Estado do Rio de Janeiro (COAGRO), localizada em Campos dos Goytacazes-RJ. O material foi espalhado sobre uma lona para secar dentro da casa de vegetação.

Ao identificar que os substratos (capim napier e bagaço de cana) estavam secos, estes foram recolhidos e armazenados em sacos plásticos em laboratório.

O substrato (bagaço de cana ou capim napier) com total de 90 g cada, foi dividido em duas partes. A primeira foi disposta nas bandejas formando uma camada com aproximadamente dois centímetros de espessura e esta foi umedecida com 200 mL de água. As sementes de milho foram semeadas à densidade de 2,0 kg m<sup>-2</sup>, que, posteriormente, foram cobertas com a segunda parte, formando uma camada de substrato de mesma espessura e esta foi umedecida com 100 mL de água com borrifador.

Nos primeiros três dias após a semeadura, aplicou-se apenas água às bandejas com auxílio de um borrifador manual (Tabela 1). A partir do quarto dia após a semeadura deu-se início a aplicação das soluções nutritivas de acordo com os tratamentos, fornecendo solução até que o substrato ficasse com aspecto úmido, até atingir sua capacidade de retenção de umidade, ou seja, a tal ponto que os macroporos do substrato permanecessem com ar (Tabela 1). No momento do preparo da solução foram aferidos os valores de pH e condutividade elétrica

que corresponderam a 5,9 e 6,4 e 1,8 e 0,543 dS m<sup>-1</sup> para as soluções de Hoagland e Arnon e solução da FAO, respectivamente.

Ambas as soluções nutritivas foram aplicadas na concentração de 100%. O volume de água adicionada diariamente nos tratamentos controle foi equivalente ao volume de solução aplicada nos demais tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Volume de água e soluções nutritivas aplicadas diariamente.

<b>Data</b>	<b>Dias após a semeadura</b>	<b>Soluções nutritivas de Hoagland e Arnon (1950) e FAO (2001) ou água (mL)</b>
<b>26/10/15</b>	0	300 <sup>1/</sup>
<b>27/10/15</b>	1	100 <sup>1/</sup>
<b>28/10/15</b>	2	100 <sup>1/</sup>
<b>29/10/15</b>	3	100 <sup>2/</sup>
<b>30/10/15</b>	4	100 <sup>2/</sup>
<b>31/10/15</b>	5	200 <sup>2/</sup>
<b>01/11/15</b>	6	200 <sup>2/</sup>
<b>02/11/15</b>	7	100 <sup>2/</sup>
<b>03/11/15</b>	8	200 <sup>2/</sup>
<b>04/11/15</b>	9	200 <sup>2/</sup>
<b>05/11/15</b>	10	300 <sup>2/</sup>
<b>06/11/15</b>	11	200 <sup>2/</sup>
<b>07/11/15</b>	12	300 <sup>2/</sup>
<b>08/11/15</b>	13	400 <sup>2/</sup>
<b>09/11/15</b>	14	0
<b>10/11/15</b>	15	0

<sup>1/</sup>Dias em que a irrigação foi realizada apenas com água.

<sup>2/</sup>Dias em que a irrigação foi realizada com água e soluções nutritivas de acordo com cada tratamento.

Às 18 horas do dia nove de novembro foi retirado o excesso de água ou solução nutritiva das bandejas colocando-as em posição inclinada para drenar evitando influência no peso fresco. Dezesesseis horas após a drenagem o material das bandejas foi coletado e se iniciaram as avaliações.

Todo o material das bandejas (sementes não germinadas, raízes, parte aérea e substrato) foi pesado para obter peso de massa fresca, sendo os resultados convertidos em  $\text{kg m}^{-2}$ .

Para medidas biométricas foram coletadas 10 plantas ao acaso por bandeja. Foi realizada medição do comprimento de parte aérea da região do coleto até a ponta da maior folha, com auxílio de uma régua milimétrica de 60 cm.

As raízes foram analisadas através do sistema Winrhizo acoplado a um scanner profissional Epson XL 10000 equipado com luz adicional. Foi realizada uma amostragem no centro da bandeja com área de 2 x 2 cm. As raízes contidas nesta área foram dispostas em uma cuba acrílica contendo aproximadamente um centímetro de altura de água de forma que não ficassem sobrepostas para que a leitura do equipamento fosse a mais precisa possível. Os resultados de diâmetro (mm), comprimento (cm) e de volume ( $\text{cm}^3$ ) de raízes foram obtidos para a área amostrada de 4  $\text{cm}^2$  e a espessura do substrato de aproximadamente 4 cm, totalizando-se aproximadamente 16  $\text{cm}^3$  de substrato.

As raízes e as 10 plantas, juntamente com o material restante nas bandejas foram armazenadas em sacos de papel e levadas à estufa de ventilação forçada a 55°C por 144 horas quando chegaram a peso constante.

O material das bandejas seco em estufa foi pesado para obtenção de peso de massa seca e posteriormente foi moído em moinho com rotor de facas com peneira de 1mm de abertura. Os resultados de peso de massa seca foram convertidos para  $\text{kg m}^{-2}$ . O material moído foi submetido à análise nutricional para verificar o teor de macro e micronutrientes na forragem completa seguindo metodologia de (Jackson, 1965; Peters, 2005).

Foram realizadas as análises de variância para avaliar o efeito dos fatores em nível de 1 e 5% de probabilidade e, posteriormente, em caso de efeitos significativos, procedeu-se o teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade para comparação de médias. Utilizou-se o programa SAEG (2009).

### 3.2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura diária foi medida por sensor HOBO® Pro v2 Logger durante todo o período de condução do experimento e a temperatura média girou em torno de 26,6°C (Figura 1).

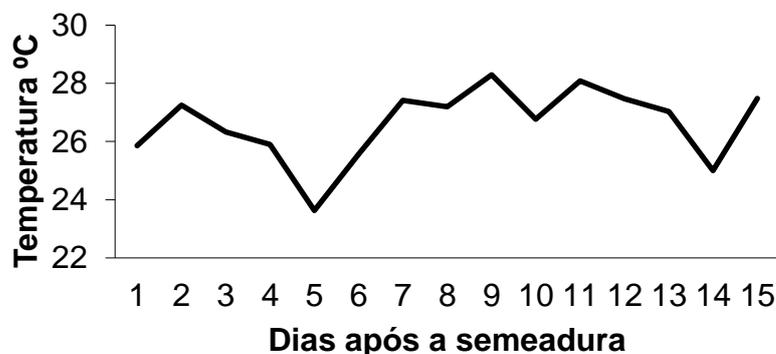


Figura 1. Temperatura média diária do ar durante o período de cultivo da forragem hidropônica de milho na casa de vegetação.

Uma amostra de cada um dos substratos foi encaminhada ao laboratório para secagem e determinação do teor de umidade em estufa de ventilação forçada a 103°C por 24 horas, seguindo procedimentos recomendados pelo MAPA (2009), verificando-se que o capim napier estava com 11,2% e o bagaço de cana com 8,7% de umidade. Uma segunda amostra de cada material foi retirada para análise dos nutrientes minerais, cujos teores encontrados de N, P, K, Ca, Mg, S e B, Cu, Fe, Mn e Zn foram de 2,5; 2,2; 8,9; 8,6; 4,8; 3,5 g kg<sup>-1</sup> e 107,0; 63,5; 19900,0; 485,0 e 151,0 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para o substrato bagaço de cana, e de 4,5; 10,3; 145,0; 20,6; 24,6, 11,1 g kg<sup>-1</sup> e 68,4; 39,9; 3910,0; 808,0 e 436,0 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para o substrato capim napier.

Para as variáveis biométricas houve efeito altamente significativo ( $p \leq 0,01$ ) dos substratos sobre o PA, DR, MF e MS (Tabela 2). Além disto, ocorreu efeito altamente significativo das soluções sobre o PA ( $p \leq 0,01$ ), MF ( $p \leq 0,01$ ) e significativo para DR ( $P \leq 0,05$ ) (Tabela 2). Houve efeito altamente significativo ( $p \leq 0,01$ ) da interação entre substratos e soluções para MF (Tabela 2).

Não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) dos substratos e das soluções sobre o CR e VR, cujos valores médios foram 384,8 cm e 0,6 cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Tabela 2. Comprimento da parte aérea (cm), diâmetro de raiz (mm), peso de massa fresca (kg) e peso de massa seca (kg) de plantas de milho crescidas em substratos orgânicos e fertirrigadas com diferentes soluções nutritivas.

<b>Substratos</b>			
<b>Solução nutritiva</b>	<b>Bagaço de cana</b>	<b>Capim Napier</b>	<b>Média</b>
<b>Comprimento de parte aérea (cm)</b>			
Água	22,2	35,9	29,0 B
FAO	24,4	36,9	30,7 B
H&A	32,4	39,3	35,9 A
<b>Média</b>	26,4 b	37,4 a	
<b>Diâmetro de raiz (mm)</b>			
Água	0,6	0,5	0,5 A
FAO	0,6	0,4	0,5 A
H&A	0,5	0,4	0,4 A
<b>Média</b>	0,5 a	0,4 b	
<b>Peso de massa seca (kg m<sup>-2</sup>)</b>			
Água	2,7	2,5	2,6 A
FAO	2,8	2,6	2,7 A
H&A	2,8	2,5	2,7 A
<b>Média</b>	2,8 a	2,5 b	
<b>Peso de massa fresca (kg m<sup>-2</sup>)</b>			
Água	15,9 A	15,8 A	15,9
FAO	15,3 A	12,0 B	13,7
H&A	12,6 B	11,8 B	12,2
<b>Média</b>	14,6	13,2	

As médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, e F, respectivamente, em nível de 5% de probabilidade.

Em média o PA do milho (Tabela 2) mostrou-se acima dos comprimentos observados por outros autores, como Müller et al. (2005), que obtiveram plantas de milho, arroz e milheto com 19,5, 10,7 e 11,6 cm de comprimento, respectivamente, quando cultivadas sobre substrato capim napier. Müller et al. (2006b) obtiveram plantas de milheto com 21 e 26 cm de comprimento aos 10 e 20 dias após a semeadura, respectivamente, ambas cultivadas em substrato capim napier. Araújo et al. (2008) obtiveram plantas de milho com 27,2 e 29,2 cm de altura irrigadas com solução nutritiva da FAO e vinhoto, respectivamente, ambas cultivadas à densidade de 2,0 kg m<sup>-2</sup> sobre substrato bagaço de cana. Manhães (2012) obteve plantas de milho com 24,6 cm de comprimento em média, quando cultivadas à densidade de 2,0 kg m<sup>-2</sup> sobre substrato bagaço de cana.

Müller et al. (2006a) obtiveram plantas de trigo com 21 cm quando cultivadas à densidade de 2,0 kg m<sup>-2</sup>, sem substrato.

Nos tratamentos em que foi utilizado substrato capim napier as plantas apresentaram, em média, PA 1,4 vezes maior que o milho cultivado em bagaço de cana (Tabela 2).

Visualmente verificou-se que o substrato bagaço de cana é mais compactado que o substrato capim napier, por ser o bagaço constituído de partículas muito pequenas. Assim, possivelmente, as plantas tenham sofrido restrição de crescimento no bagaço de cana e isso tenha provocado o menor crescimento da parte aérea do milho nos tratamentos em que se utilizou este substrato. Por outro lado, verificou-se visualmente que o substrato de capim napier continha maior volume de macroporos entre as partículas que o bagaço de cana, o que, certamente, possibilitou ambiente mais adequado no capim napier para as trocas gasosas no sistema radicular do milho. Guimarães e Moreira (2001) concluíram que, com o aumento da densidade do solo, ocorre decréscimo no crescimento da parte aérea e na quantidade de raízes do milho, que ficam mais espessas em função da compactação. Certamente, o que ocorreu no substrato bagaço de cana não foi pelo impedimento mecânico ao crescimento das raízes, mas, pela menor aeração no espaço rizosférico, que poderia ser superado se houvesse volume menor de água aplicada.

A utilização da solução nutritiva de Hoagland e Arnon resultou, em média, em PA 1,2 vezes maior em relação à média das plantas irrigadas com água ou com a solução da FAO (Tabela 2). Isto indica que a composição mineral da solução de Hoagland e Arnon é mais favorável para o crescimento da parte aérea do milho que a da FAO ou somente aplicação de água.

As plantas de milho cultivadas em substrato bagaço de cana apresentaram raízes com diâmetro 0,1 mm maior em relação às cultivadas em capim napier (Tabela 2). Como, certamente, as condições de aeração no bagaço de cana foram piores que no substrato de capim napier, as raízes ficaram mais espessas no bagaço de cana (Tabela 2), corroborando em parte com Guimarães e Moreira (2001) em seu trabalho com solo compactado, como já comentado anteriormente, pois verificaram além de raízes mais espessas, redução no comprimento destas, fato este que não foi constatado, pois, não houve diferença significativa para comprimento de raízes entre substratos.

Oliveira (2014) cultivou forragem hidropônica de milho sobre substrato bagaço de cana, irrigado com solução nutritiva de Hoagland e Arnon meia força e verificou raízes com diâmetro médio de 0,2 mm, que é inferior ao encontrado no presente experimento (Tabela 2).

Em média as soluções nutritivas e a água resultaram em, aproximadamente, 2,7 kg m<sup>-2</sup> de peso de massa seca (Tabela 2). Fato notável é que o aumento do comprimento da parte aérea do milho, proporcionado pela solução de Hoagland e Arnon, como já comentado (Tabela 2) não resultou, também, em aumento no teor de MS da forragem (Tabela 2).

O substrato bagaço de cana resultou em 0,3 kg m<sup>-2</sup> a mais de MS em relação à forragem cultivada em capim Napier (Tabela 2). Pode-se inferir que o teor de umidade inicial do bagaço de cana, que foi de apenas 8,7%, tenha contribuído para o maior MS final em relação ao substrato capim napier que tinha inicialmente teor de umidade de 11,2%. Vale considerar que o maior MS para bagaço de cana não ocorreu no trabalho de Píccolo et al. (2012), que obtiveram em média 4,1 kg m<sup>-2</sup> de MS cultivando forragem de milho em bagaço de cana e capim napier, sem constatar diferença significativa entre substratos (p>0,05) para esta variável.

Alguns autores observaram maiores pesos de MS da forragem quando cultivada em bagaço de cana, como Manhães (2012), que obteve forragem de milho com 4,0 kg m<sup>-2</sup>, e Araújo et al. (2008), que obtiveram 3,5 e 3,6 kgm<sup>-2</sup> para forragem colhida aos 10 e 20 dias irrigada com solução nutritiva da FAO e 3,4 e 3,5 kg m<sup>-2</sup> para forragem colhida aos 10 e 20 dias irrigada com vinhaça e cultivadas em capim napier. Manhães (2012), Araújo et al. (2008), Campêlo et al. (2007), Rocha et al. (2007), Pilau et al. (2016) e Rocha et al. (2014) obtiveram peso de massa seca de 4,0; 3,5 e 3,6; 7,2; 5,5 4,6 e 4,1 kg m<sup>-2</sup> de forragem de milho cultivado em casca de arroz, respectivamente.

Já Müller et al. (2005) obtiveram valores semelhantes aos do presente trabalho (Tabela 2) com produção de MS de 2,8; 2,1 e 2,6 kg m<sup>-2</sup> para forragem de milho, arroz e milheto, respectivamente, e Müller et al. (2006b), que obtiveram forragem de milho com MS de 2,3 e 1,6 kg m<sup>-2</sup> aos 10 e 20 dias após a semeadura.

Outros autores encontraram valores abaixo dos obtidos no presente trabalho (Tabela 2), como Pilau et al. (2016), que obtiveram 2,2 kg m<sup>-2</sup> para

ferragem de milho cultivado em palhada de milho, e Müller et al. (2006c), que obtiveram 2,1 e 1,8 kg m<sup>-2</sup> para ferragem de trigo cultivado com solução nutritiva de Santos (2000) e Neves (2001), respectivamente, ambos sem substrato.

Para o MF, em ambos os substratos a ferragem irrigada apenas com água se destacou apresentando maior peso (Tabela 2). Não ocorreu diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os pesos de MF de ferragens produzidas com água e com solução da FAO quando o substrato foi o bagaço de cana (Tabela 2). Por outro lado, neste substrato a solução de Hoagland e Arnon reduziu o MF em 3,3 kg m<sup>-2</sup>, enquanto, no capim Napier, ambas as soluções nutritivas resultaram em queda média de 3,9 kg m<sup>-2</sup> (Tabela 2).

Percebe-se que com o substrato de bagaço de cana a solução de Hoagland e Arnon possibilitou plantas de milho com maior PA, como já comentado (Tabela 2), mas que resultaram em menor MF (Tabela 2), possivelmente, estas plantas maiores apresentaram maior transpiração, devido à maior exposição destas às condições atmosféricas (Tabela 1) que as menores a ponto de, certamente, diminuir o teor de umidade da ferragem.

O peso MF encontrado no presente trabalho (Tabela 2) está abaixo dos resultados encontrados em experimentos realizados por Araújo et al. (2008), que obtiveram 21,0 e 26,28 kg m<sup>-2</sup> aos 10 dias irrigados com solução da FAO e 22,7 e 34,0 kg m<sup>-2</sup> aos 20 dias irrigados com vinhaça. Manhães (2012) obteve 20,2 e 20,5 kg m<sup>-2</sup> de ferragem hidropônica de milho irrigado com vinhaça e água, respectivamente, ambos cultivados em substrato bagaço de cana. Rocha et al. (2007) e Rocha et al. (2014) obtiveram, respectivamente 19,5 e 16,6 kg m<sup>-2</sup> para ferragem de milho cultivado em substrato de casca de arroz irrigado com fertilizante foliar em pó nutrimil-HP.

Por outro lado, os resultados (Tabela 2) mostraram-se superiores aos encontrados por outros autores, como Müller et al. (2005), que obtiveram 13,6, 10,2 e 11,0 kg m<sup>-2</sup> para milho, arroz e milheto, respectivamente, e Müller et al. (2006b), que obtiveram peso de massa fresca de milheto de 13,4 e 10,0 kg m<sup>-2</sup> aos 10 e 20 dias, ambos cultivando ferragem em substrato capim napier irrigados com solução nutritiva recomendada por Neves (2001).

Para os teores de macronutrientes na ferragem hidropônica de milho completa verificou-se efeito altamente significativo ( $p \leq 0,01$ ) dos substratos sobre os teores de N, K, Mg e S (Figura 2A, 2C, 2E e 2F) e efeito significativo ( $p \leq 0,05$ )

sobre os teores de P e Ca (Figura 2B e 2D), respectivamente. Além disto, ocorreu efeito altamente significativo ( $p \leq 0,01$ ) das soluções sobre os teores de K, Mg e S (Figura 2C, 2E e 2F). Como também efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) das soluções sobre o teor de Ca (Figura 2D).

Não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) das soluções sobre os teores de N e P, cujos teores foram em média de 15,4 e 29,4 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

O substrato que proporcionou maior acúmulo de N na forragem ao final do ciclo foi o capim napier, pois tinha inicialmente teor de 4,5 g kg<sup>-1</sup> de N aumentando 12,5 g kg<sup>-1</sup> a mais de N, enquanto o bagaço de cana tinha 2,5 g kg<sup>-1</sup> e teve um acréscimo de 10,5 g kg<sup>-1</sup> (Figura 2A).

É importante ressaltar que a presença do milho para a produção da forragem aumentou o teor de N na forragem, que subiu mais de 10 g kg<sup>-1</sup> comparativamente ao teor inicial nos substratos. Como o N é constituinte de proteínas, este aumento melhora a qualidade da forragem tornando-a mais rica em proteínas. Vale observar que este aumento também ocorreu na forragem produzida somente com água, ou seja, sem aplicação de soluções nutritivas (Figura 2A), afastando a possibilidade de se questionar que este aumento no N poderia ser devido aos sais das soluções que continham N, o que levaria a maiores proporções de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> adsorvidos ao substrato, mas que não resultariam em ganho em N-orgânico para a forragem. Assim, como a forragem irrigada com água também apresentou teor de N que não diferiu ( $p < 0,05$ ) dos tratamentos em que se utilizaram as soluções nutritivas (Figura 2A), garante-se que este aumento do N foi devido ao N-orgânico do milho.

Apesar da falta de informações a respeito desse nutriente quanto aos limites adequados nas pastagens brasileiras, nota-se que os teores encontrados no presente trabalho estão bem abaixo daqueles encontrados por outros autores para outras forragens, como Braz et al. (2002), que avaliaram *Brachiaria decumbens* e constataram 181 g kg<sup>-1</sup> de N, e Heringer e Jacques (2002), que obtiveram teor de N de 260 g kg<sup>-1</sup> em pastagem nativa.

Quanto ao teor de P na forragem, as respostas aos tratamentos foram similares ao que ocorreu com o teor de N (Figuras 2B e 2A), ou seja, a forragem em capim napier apresentou maior teor que em bagaço de cana. Inicialmente tinha-se nos substratos bagaço de cana e capim napier teores de 2 e 10 g kg<sup>-1</sup> de

P, respectivamente (Figura 2B), ocorrendo acréscimos de 22 e 25 g kg<sup>-1</sup> de P após a produção da forragem hidropônica de milho.

Segundo Zorzan (2006), a exigência nutricional na fase de lactação em bovinos, por exemplo, é de 130 g kg<sup>-1</sup>, aproximadamente. Assim, nota-se que os teores encontrados em ambos os substratos (Figura 2B) estão muito aquém do necessário para uma boa nutrição de bovinos, sendo necessário aporte de outros alimentos ricos em P.

De forma semelhante ao N (Figura 2A), as soluções nutritivas não resultaram em acréscimo significativo no teor de P nas forragens de milho hidropônico (Figura 2B).

Foram encontrados teores médios de K aproximadamente 5,0 vezes maiores nos tratamentos com capim napier em comparação aos em bagaço de cana (Figura 2C). Os substratos bagaço de cana e capim napier contribuíram com 9 e 145 g kg<sup>-1</sup> de K e tiveram, em média, acréscimos de 31 e 49 g kg<sup>-1</sup> na forragem final, respectivamente, devido à presença das plantas de milho (Figura 2C).

As forragens que receberam as irrigações com água e solução da FAO apresentaram, em média, 105,8 g kg<sup>-1</sup> de K, enquanto a solução de Hoagland e Arnon resultou em forragem mais concentrada em K em relação à média das duas anteriores, com acréscimo de 34,4 g kg<sup>-1</sup> de K. Esse maior teor obtido devido à solução de Hoagland e Arnon pode ser explicado pela maior concentração deste nutriente em relação à água e à solução da FAO.

Os teores encontrados no presente trabalho (Figura 2C) estão bem acima dos encontrados por Zorzan (2006), que observou teores de K variando de 0,28 a 0,69 g kg<sup>-1</sup> em forragem hidropônica de cevada + ervilhaca e centeio + ervilhaca irrigadas com solução nutritiva de Neves (2001), e também estão acima dos teores adequados para bovinos em crescimento, terminação e gestação que requerem 6,0 g kg<sup>-1</sup>, e em início da lactação, que requerem 7,0 g kg<sup>-1</sup>, sendo o máximo tolerável de 30 g kg<sup>-1</sup> (NRC, 2009).

Não existem relatos de deficiência de K em bovinos criados em sistema extensivo com alimentação a pasto (Tokarnia et al., 2000). No entanto, pode ocorrer toxidez. Uma alternativa para evitar a toxidez de K pode ser fornecer a forragem hidropônica associada a outros alimentos até que o teor total esteja aquém do máximo tolerável. Neste caso o melhor seria utilizar a forragem de bagaço de cana, pois apresentou menor teor de K que a de capim napier (Figura

2C), necessitando de menor quantidade de outros alimentos para uma dieta equilibrada em K.

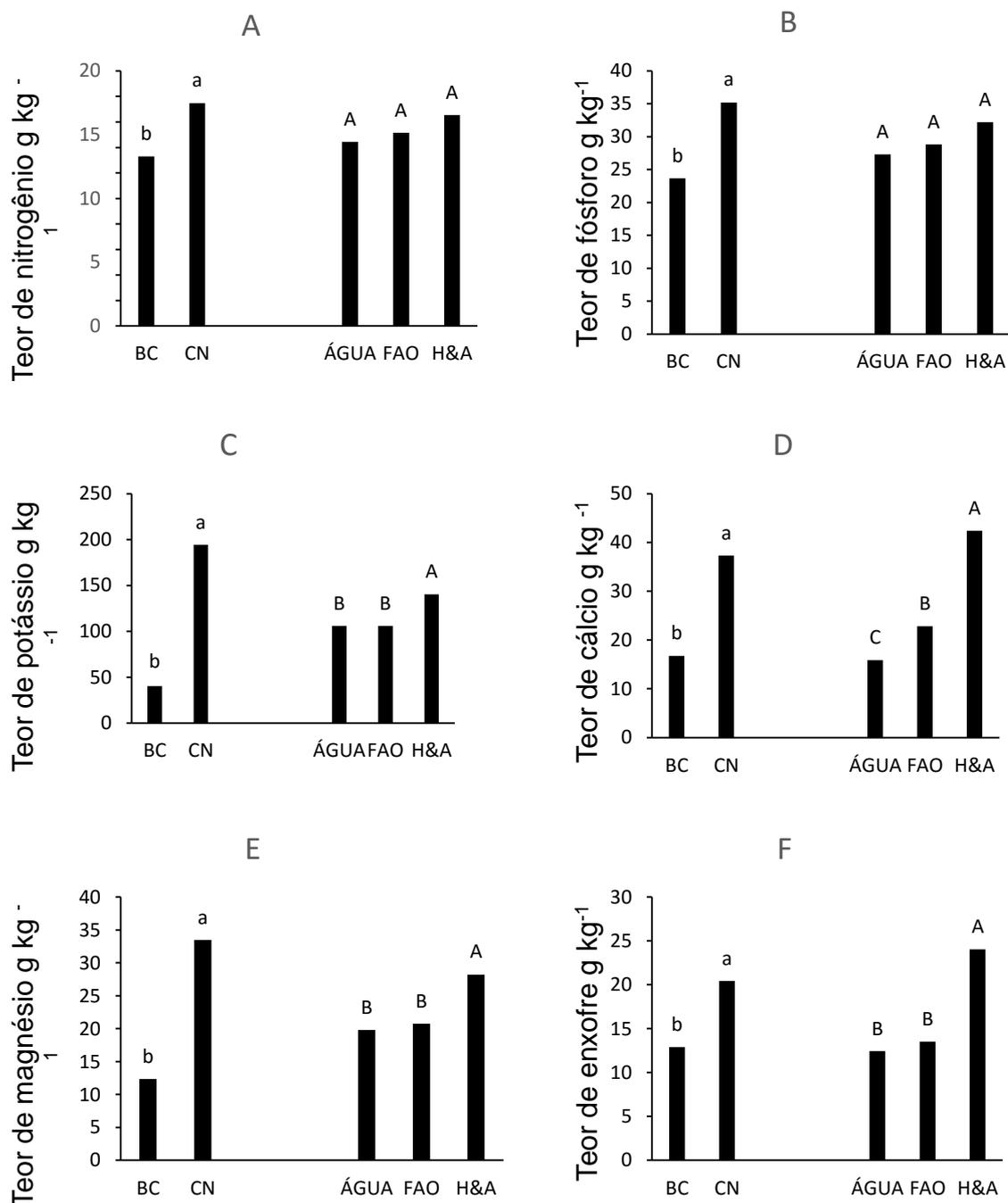


Figura 2. Efeito dos substratos e soluções nutritivas sobre o (A) Teor de nitrogênio; (B) fósforo; (C) potássio; (D) cálcio; (E) magnésio e (F) enxofre.

Foi obtido teor médio de Ca 2,2 vezes maior na forragem produzida em capim napier, com acréscimo de 20 g kg<sup>-1</sup> de Ca (Figura 2D). Inicialmente os substratos bagaço de cana e capim napier contribuíram com 9 e 21 g kg<sup>-1</sup> no teor

de Ca, respectivamente, com acréscimos médios de 8 e 16 g kg<sup>-1</sup> nos teores de Ca, devido à produção de forragem de milho nestes substratos (Figura 2D).

O teor de Ca tido como ideal corresponde a 1,8 g kg<sup>-1</sup> na MS de gramíneas (NRC, 1976). Dessa forma, nota-se que os teores de Ca obtidos no presente trabalho (Figura 2D) estão acima do recomendado, não se indicando a utilização desta forragem isoladamente na alimentação dos bovinos.

O maior teor de Ca foi obtido quando se utilizou solução nutritiva de Hoagland e Arnon, o segundo maior quando se utilizou solução da FAO e o menor teor foi obtido quando a irrigação foi feita apenas com água. A solução nutritiva de Hoagland e Arnon tem maior concentração inicial de Ca em relação à solução da FAO, que por sua vez tem maior concentração inicial desse nutriente em relação à água. Isso possivelmente explica a ordem dos teores encontrados na forragem completa ao final do ciclo.

Foi verificado teor médio de Mg 2,8 vezes maior na forragem cultivada em capim Napier em comparação à de bagaço de cana (Figura 2E). Sabendo-se que os teores iniciais de Mg nos substratos bagaço de cana e capim napier eram de 5 e 25 g kg<sup>-1</sup>, pode-se notar que estes tiveram acréscimo de 7 e 8 g kg<sup>-1</sup> devido à produção do milho em hidroponia (Figura 2E)

Segundo Tokarnia et al. (2000), a deficiência de Mg só ocorre em bezerros alimentados apenas com leite, pois o leite é pobre em Mg e Fe. Assim, dificilmente haverá deficiência em animais mantidos a pasto, onde normalmente este nutriente já se encontra em quantidades suficientes. Para crescimento, terminação e gestação os teores adequados de Mg são de 1,0; 1,2 e 2,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo que o teor máximo tolerável é de 4,0 g kg<sup>-1</sup> desse nutriente (NRC, 2009). Os teores de Mg na forragem do bagaço de cana e do capim napier (Figura 2E) estão aproximadamente 3 e 8 vezes acima do teor máximo tolerável.

Vale ressaltar que são escassos na literatura trabalhos em que é realizada a caracterização dos teores de nutrientes minerais na forragem hidropônica. De maneira geral, são utilizados substratos de baixa qualidade que podem conter estes nutrientes em níveis tóxicos e que nem sempre as plantas cultivadas conseguem reduzir estes teores abaixo do limite máximo tolerável, como o observado neste trabalho (Figura 2).

Braz et al. (2002) também encontraram alto teor de Mg ( $154 \text{ g kg}^{-1}$ ) na forragem disponível, sendo que 62,5% desse do total ingerido retornou a pastagem como fezes.

Foram obtidos teores médios de Mg de aproximadamente  $20,0 \text{ g kg}^{-1}$  quando se fez irrigação com água e solução da FAO, sendo que a forragem irrigada com a solução de Hoagland e Arnon apresentou teor maior, tendo acréscimo de mais  $8,0 \text{ g kg}^{-1}$  em relação às outras irrigações (Figura 2E). Este maior acúmulo possivelmente é devido à maior concentração inicial deste nutriente nesta solução.

Foram obtidos teores médios de S de 13 e  $20 \text{ g kg}^{-1}$  na MS da forragem completa para os substratos bagaço de cana e capim napier, respectivamente (Figura 2F), sendo que inicialmente o teor desse nutriente nos substratos bagaço de cana e capim napier era de  $3,0$  e  $11,0 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente.

Segundo NRC (2009), recomenda-se teor de S de  $1,5 \text{ g kg}^{-1}$  como adequado para bovinos em crescimento, terminação, gestação e lactação. Sendo que o limite máximo tolerável é de  $4,0 \text{ g kg}^{-1}$ . Segundo Tokarnia et al. (2000), não há relatos na literatura de deficiência de S em bovinos mantidos em regime de pastagem. No entanto, se for considerar os limites estabelecidos no NRC (2009), com os altos valores encontrados neste experimento (Figura 2F) poderia haver toxidez se apenas este alimento fosse fornecido a bovinos. Recomendando-se associá-lo a outros alimentos com menor teor de S.

Foram obtidos teores médios de S de  $13,0 \text{ g kg}^{-1}$  quando se utilizou irrigação com água e solução da FAO, enquanto Hoagland e Arnon resultou em aproximadamente o dobro de S na forragem (Figura 2F). O maior teor de S encontrado quando se utilizou esta solução pode ser explicado pela maior concentração inicial desse nutriente em relação à solução proposta pela FAO.

Para os teores de micronutrientes na forragem hidropônica de milho completa pode-se observar que houve efeito altamente significativo ( $p \leq 0,01$ ) dos substratos sobre os teores de Mn e Zn (Figura 3C e 3D). Ocorreu efeito altamente significativo ( $p \leq 0,01$ ) das soluções sobre o teor de Cu (Figura 3B) e efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) sobre o teor de B (Figura 3A).

Foi verificado teor médio de Mn 2,7 vezes maior na forragem cultivada em capim napier em comparação à de bagaço de cana (Figura 3C). Sabendo-se que os teores médios iniciais de Mn nos substratos capim napier e bagaço de cana

eram de 808 e 485 mg kg<sup>-1</sup>, pode-se notar que houve decréscimo de 179 mg kg<sup>-1</sup> e acréscimo de 126 mg kg<sup>-1</sup> de Mn na forragem produzida em substrato capim napier e bagaço de cana, respectivamente.

Para bovinos em crescimento e terminação o teor de 20 mg kg<sup>-1</sup> é tido como adequado e para bovinos em gestação e lactação esse teor é de 40 mg kg<sup>-1</sup>, sendo que o máximo tolerável é de 1000 mg kg<sup>-1</sup> (NRC, 2009). Dessa forma, mesmo que os teores encontrados estejam bem acima do adequado, estes estão dentro do limite máximo tolerável, indicando que possivelmente não ocorreria toxidez.

Souza et al. (1981) viram que a quantidade de Mn nas forrageiras estava acima das exigências nutricionais dos animais e encontraram valores de 204 e 87 mg kg<sup>-1</sup> nas estações seca e chuvosa, respectivamente. Tebaldi et al. (2000) verificaram médias superiores a 19 mg kg<sup>-1</sup> nas forragens. Segundo Tokarnia et al. (2000), as pastagens do Brasil contêm quantidades suficientes de Mn para suprir as necessidades desse elemento em bovinos. Em caso de deficiência, esta provavelmente foi provocada pelo excesso de outros elementos. Souza et al. (1981) afirmam que a deficiência de Mn possivelmente é causada por elevados níveis de Fe nas forrageiras e elevados níveis de Co de formulados minerais que interferem no mecanismo de absorção de Mn. Excesso de Ca também pode causar decréscimo na absorção de Mn.

Nota-se que a forragem produzida sobre capim napier acumulou 2,0 vezes mais Zn do que aquela produzida sobre bagaço de cana (Figura 3D). Os teores de Zn contidos inicialmente nos substratos capim napier e bagaço de cana eram de 436 e 151 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, de forma que ocorreu acréscimo nos teores de Zn na forragem produzida nos dois substratos.

Para bovinos em crescimento, terminação, gestação e lactação o teor adequado de Zn é de 30 mg kg<sup>-1</sup>, sendo o máximo tolerável de 500 mg kg<sup>-1</sup> (NRC, 2009). Assim, o teor de Zn na forragem produzida em bagaço de cana apesar de alto, está dentro do limite máximo tolerado. No entanto, o teor desse nutriente encontrado na forragem produzida em substrato capim napier está acima do limite tolerado.

Possenti et al. (1992) afirmam que bovinos criados em pastejo geralmente não sofrem com deficiência de Zn, no entanto observaram deficiência de P, Cu e Zn em níveis excessivos de Fe. Estes autores obtiveram teores de Zn variando de

18 a 49 mg kg<sup>-1</sup>, bem abaixo dos observados no presente trabalho (Figura 3D). Como o teor de Zn encontrado na forragem produzida em capim napier está acima do limite tolerado, possivelmente provocaria toxidez aos animais.

Para forragem completa ao final do ciclo de cultivo foi observado teor de Cu 1,2 vezes maior quando a irrigação foi feita com solução de Hoagland e Arnon em relação ao teor médio encontrado nas forragens irrigadas com água e solução da FAO (Figura 3B). Sabe-se que o teor inicial desse nutriente na solução de Hoagland e Arnon é mais alto que os teores na solução da FAO e água. Isso se deve ao fato da solução de Hoagland e Arnon ser a solução nutritiva com maiores concentrações de nutrientes formulada para hidroponia de diversas hortaliças. Já a solução da FAO é formulada especificamente para cultivo de forragem hidropônica, por isso é balanceada de forma teoricamente equilibrada nas quantidades necessárias para esse tipo de cultivo.

Para bovinos em crescimento, terminação, gestação e lactação o teor adequado de Cu é de 10 mg kg<sup>-1</sup>, sendo o limite máximo tolerado de 100 mg kg<sup>-1</sup> (NRC, 2009). Observa-se que os teores encontrados no presente trabalho (Figura 3B) estão bem acima do adequado, no entanto, estão dentro do limite máximo tolerado. Tebaldi et al. (2000) verificaram maiores teores de Cu em época chuvosa do que na época seca. Estes autores encontraram teores de até 16,5 mg kg<sup>-1</sup> na pastagem. Veiga e Láu (1998) comentam que, mesmo com os maiores teores de minerais nas pastagens na época chuvosa, é nessa época que tem ocorrido deficiências mais severas, devido ao maior ganho de peso dos animais, estimulado pela boa disponibilidade de proteína e energia, aumentando o requerimento em quantidade destes minerais.

O desequilíbrio na produção e qualidade da forragem deve-se à distribuição estacional de chuvas, sendo que esta produção é maior nos períodos chuvosos e escassa na época seca (Pereira et al., 2007). Segundo Tokarnia et al. (2000), Cu e Co são elementos frequentemente envolvidos em problemas de deficiência em bovinos no Brasil e em diversas partes do mundo.

O teor de B encontrado na forragem irrigada com solução da FAO não diferiu significativamente dos teores encontrados na forragem irrigada com água e solução de Hoagland e Arnon. No entanto, os teores encontrados nestas duas soluções são estatisticamente diferentes. A solução de Hoagland e Arnon favoreceu o aumento de 1,4 vezes mais no teor de B acumulado na forragem em

relação à forragem irrigada com água (Figura 3A). O maior teor encontrado na forragem irrigada com solução de Hoagland e Arnon provavelmente está relacionado à maior concentração desse nutriente, uma vez que a água utilizada é considerada pura, sem ou com pouca quantidade desse nutriente.

Não há relatos na literatura sobre teores adequados de B. Talvez esteja relacionado com o fato de não estar entre os nutrientes essenciais na alimentação de bovinos. Os minerais essenciais são: Ca, P, Mg, K, Na, Cl, S, Fe, Mn, Cu, I, Co, Zn, Se e Mo (Tokarnia et al., 2000).

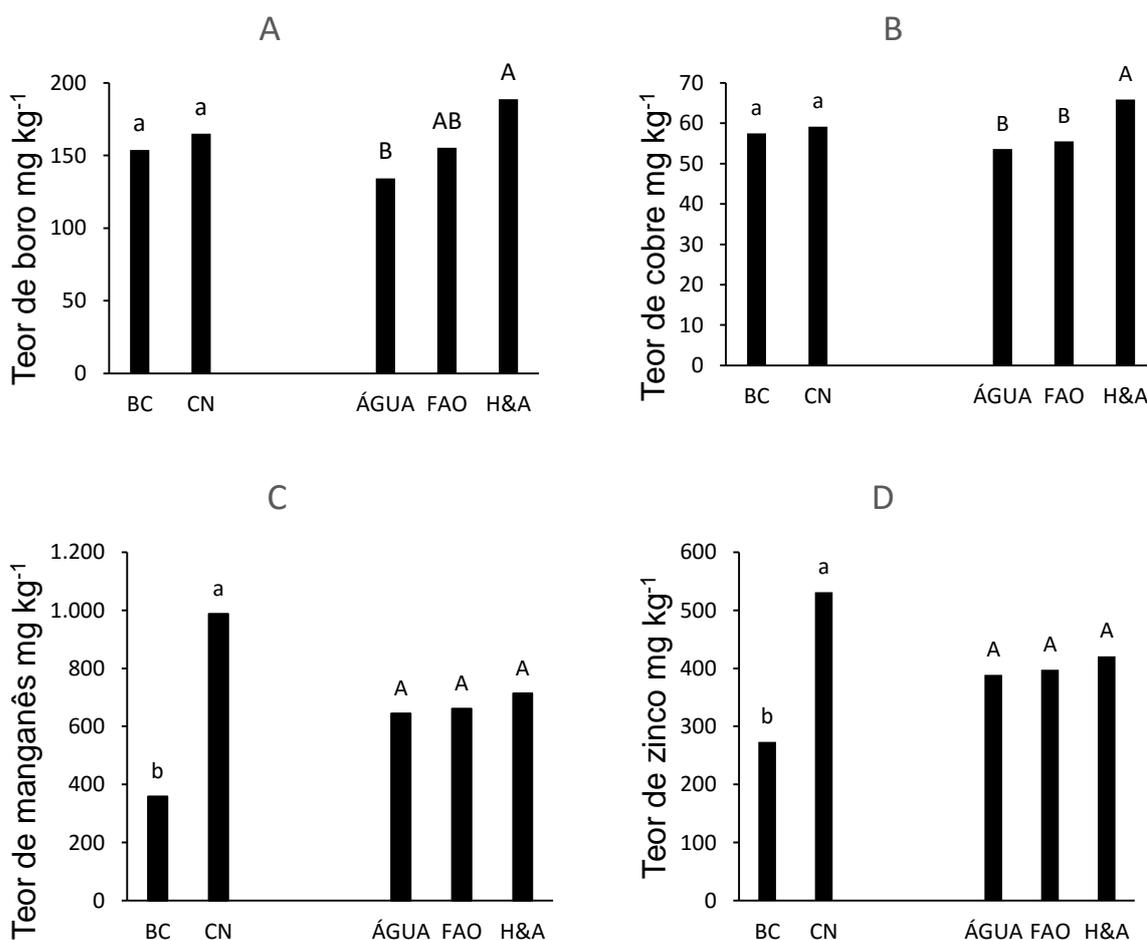


Figura 3. Efeito dos substratos e soluções nutritivas sobre o (A) Teor de boro; (B) cobre; (C) manganês e (D) zinco.

Não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) dos substratos sobre os teores de B, Cu e Fe, cujos teores médios foram 159,5; 58,3 e 11622,9 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, e não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) das soluções sobre os teores de Mn, Fe e Zn, cujos teores médios foram de 673,1; 11622,9 e 402,2 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Deve-se ressaltar que dados sobre o teor adequado de B são escassos na literatura, dificultando a comparação do teor encontrado neste trabalho, a fim de identificar nível de deficiência ou toxidez. Provavelmente por que esse nutriente não é considerado como essencial na alimentação de bovinos (Tokarnia et al., 2000).

Para bovinos em crescimento, terminação, gestação e lactação o teor adequado de Cu é de 10 mg kg<sup>-1</sup>, sendo o limite máximo tolerado de 100 mg kg<sup>-1</sup> (NRC, 2009). Assim, o teor de 58,3 mg kg<sup>-1</sup> de Cu encontrado no presente trabalho está acima do recomendado, porém dentro do limite máximo tolerado, de forma que não se pode afirmar que este causaria toxidez aos animais.

O teor adequado de Fe para todas as fases de desenvolvimento é de 50 mg kg<sup>-1</sup> e seu limite máximo tolerado é de 1000 mg kg<sup>-1</sup> (NRC, 2009). Verifica-se que o valor encontrado no presente trabalho ultrapassa muito o limite máximo tolerado. Dessa forma, que este nutriente poderia causar toxidez aos animais que ingerissem a forragem produzida com qualquer um dos substratos (bagaço de cana e capim napier) e qualquer uma das soluções nutritivas utilizadas.

Para crescimento e terminação recomenda-se como adequado o teor de 20 mg kg<sup>-1</sup> de Mn na forragem, e para gestação e lactação recomenda-se teor de 40 mg kg<sup>-1</sup>, sendo o limite máximo tolerado de 1000 mg kg<sup>-1</sup> para todas as fases (NRC, 2009). O teor encontrado neste trabalho está muito acima do adequado, porém está dentro do limite máximo tolerado. Assim, possivelmente a forragem com esse teor de Mn não causaria toxidez aos animais.

Para todas as fases de desenvolvimento recomenda-se teor de 30 mg kg<sup>-1</sup> de Zn como adequado na forragem. Sendo limite máximo tolerado de 500 mg kg<sup>-1</sup> (NRC, 2009). Nota-se que o teor de Zn obtido no presente trabalho encontra-se muito acima do recomendado, porém, está dentro do limite máximo tolerado para que não cause toxidez aos animais.

### 3.2.6. CONCLUSÕES

Nos dois substratos a forragem irrigada apenas com água se destacou com maior peso de massa fresca. O peso médio de massa seca entre as soluções e água foi de 2,7 kg m<sup>-2</sup>, e o substrato bagaço de cana resultou em 0,3 kg m<sup>-2</sup> a mais em peso de massa seca em relação à forragem cultivada em capim napier.

A solução nutritiva de Hoagland e Arnon proporcionou maior acúmulo de K, Mg, S, Ca, Cu e B na forragem. O substrato bagaço de cana proporcionou menores teores de N, K, Mg, S, P, Ca, Mn e Zn na forragem em relação ao capim napier.

O substrato bagaço de cana sobressaiu quando comparado ao capim napier, pois este foi capaz de proporcionar maior produção de forragem e menores teores de nutrientes fazendo com que estes se aproximassem mais dos teores toleráveis.

A solução nutritiva de Hoagland e Arnon proporcionou maior crescimento de parte aérea e maior teor de nutrientes encontrados na forragem, sendo que estes nutrientes estão acima dos níveis tolerados. Então, como os tratamentos irrigados somente com a água proporcionaram maior peso de massa fresca em ambos os substratos, pode-se dizer que soluções nutritivas com alta concentração inicial de nutrientes não são adequadas.

### 3.2.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, V.S., Coelho, F.C., Da Cunha, R.C.V., Lombardi, C.T. (2008) Forragem hidropônica de milho cultivado em bagaço de cana e vinhoto. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 7 (3):251-264.

Braz, S.P., Junior, D. do N., Cantarutti, R.B., Regazzi, A.J., Martins, C.E., Fonseca, D.M., Barbosa, R.A. (2002) Aspectos quantitativos do processo de reciclagem de nutrientes pelas fezes de bovinos sob pastejo em pastagem

- de *Brachiaria decumbens* na Zona da Mata de Minas Gerais. *R. Bras. Zootec.* 31 (2):858-865.
- Campêlo, J.E.G., De Oliveira, J.C.G., Rocha, A.S., Carvalho, J.F., Moura, G.C., Oliveira, M.E., Da Silva, J.A.L., Moura, J.W.S., Costa, V.M., Uchoa, L.M. (2007) Forragem de milho hidropônico produzida com diferentes substratos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36 (2):276-281.
- Carareto, R. - Manejo do Capim Elefante no Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ-USP. (2008): <http://www.beefpoint.com.br/radares-tecnicos/pastagens/manejo-do-capim-elefante-no-departamento-de-zootecnia-da-escola-superior-de-agricultura-luiz-de-queiroz-esalq-usp-49864/> em 19/09/2015.
- Crevelari, J.A. (2013) *Forragens hidropônicas de milho e de soja cultivada em bagaço de cana-de-açúcar e doses de substâncias húmicas*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 95p.
- Deresz, F., Cóser, A.C., Martins, C.E. (2006) Formação e utilização de pastagem de capim-elefante. *Embrapa gado de leite*, Juiz de Fora - MG, 2p.
- FAO - Forraje verde hidropônico (2001) Oficina Regional de La FAO para América Latina y el Caribe. Santiago.
- Guimarães, C.M., Moreira, J.A.A. (2001) Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 36:703-707.
- Heringer, I., Jacques, A.V.A. (2002) nutrientes no mantilho em pastagem nativa sob distintos manejos. *Ciência Rural*. 32 (5):841-847.
- Jackson, M. L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 498p.

- Mendonça Júnior, A.F., Braga, A.P., Rodrigues, A.P.M. dos S., Sales, L.E.M., Mesquita, H.C. (2011) Minerais: Importância de uso na dieta de ruminantes. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, 7 (1): 1-13.
- Lavezzo, W. (1985) Silagem de capim-elefante. Belo Horizonte, 11 (132):50-57.
- Machado, A.T., Machado, C.T.T., Nass, L.L. (2011) Manejo de diversidade genética e melhoramento participativo de milho em sistemas agroecológicos. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 6 (1):127-136.
- Manhães, N.E. (2012) *Produção de forragem hidropônica de milho em bagaço de cana-de-açúcar, com diferentes concentrações de vinhaça e densidades de semeadura*. Monografia (Agronomia) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 67p.
- MAPA – Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (2009) *Regras para Análise de Sementes*. 399p.
- Miotti, A.A., Costa, M.C.G., Ferreira, T.O., Romero, R.E. (2013) Profundidade e atributos físicos do solo e seus impactos nas raízes de bananeiras. *Rev. Bras. Frutic.* 35 (2):536-545.
- Müller, L., Dos Santos, O.S., Manfron, P.A., Medeiros, S.L.P., Haut, V., Neto, D.D., Menezes, N.L., Garcia, D.C. (2006b) Forragem hidropônica de milho: produção e qualidade nutricional em diferentes densidades de semeadura e idades de colheita. *Revista Ciência Rural*, Santa Maria, 36(4):1094-1099.
- Müller, L., Manfron, P.A., Medeiros, S.L.P., Dos Santos, O.S., Morselli, T.B.G.A., Dourado Neto, D., Fagan, E.B., Bandeira, A.H., Tonetto, C.J. (2006c) Valor nutricional da forragem hidropônica de trigo sob diferentes soluções nutritivas. *Biosci. J.*, 22 (3):49-56.
- Müller, L., Manfron, P.A., Santos, O.S., Medeiros, S.L.P., Neto, D.D., Morselli, T. B. G. A., Da Luz, G. L, Bandeira, A. H. (2006a) Efeito de soluções nutritivas

na produção e qualidade nutricional da forragem hidropônica de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Revista Zootecnia Tropical*. 24 (2):137-152.

Müller, L., Santos, O.S., Moanfron, P.A., Haut, V., Fagan, E.B., Medeiros, S.L.P., Neto, D.D. (2005) Produção e qualidade bromatológica de gramíneas em sistema hidropônico. *Uruguiana*, 12 (1):88-97.

Neves, A.L.R.A. Cultivo de milho hidropônico para alimentação animal. Viçosa: CPT, 2001. 46p.

NRC - National Research Council (1976) Nutrient requerimento of beef cattle. Washington: National Academy of Science, 56p.

NRC – National Research Council. (2009) Nutrient Requirements for Beef Cattle, West Virginia university, 6p.

Nunes, J.A. (2006) *Avaliação participativa de variedades locais e melhoradas de milho visando a eficiência no uso de nitrogênio*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Alegre – ES, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 67p.

Pereira, E.S., Mizubuti, I.Y., Pinheiro, S.M., Villarroel, A.B.S., Clementino, R.H. (2007) Avaliação da qualidade nutricional de silagens de milho (Zeamays, L). *Revista Caatinga*, 20 (3): 8-12.

Peters, J.B. (2005). *Wisconsin Procedures for Soil Testing, Plant Analysis and Feed & Forage Analysis: Plant Analysis*. Department of Soil Science, College of Agriculture and Life Sciences, University of Wisconsin-Extension, Madison, WI. (2005): [http://uwlabs.soils.wisc.edu/files/procedures/plant\\_icp.pdf](http://uwlabs.soils.wisc.edu/files/procedures/plant_icp.pdf). em: 20/10/2015

Píccolo, M.A. (2012) *Forragem hidropônica de milho produzida em substratos orgânicos residuais utilizando água residuária de bovino*. Tese (Doutorado

em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 83p.

Pilau, F.G., Bonnacarrère, R., Schmidt, D., Santos, O., Manfron, P.A. Produção de forragem hidropônica de milho em túnel plástico. (2016): <http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/download/biblioteca/cpfg2006c.pdf>

Possenti, R.A., Lobão, A. de O., Ribeiro, W.R., Delistoianov, J. (1992) Determinações minerais em forragens e tecidos de bovinos. *B. indústr. anim.*, 49 (2): 131-144.

Rocha, J.S., Salviano, A.A.C., Alves, A.A., Lopes, J.B., Neiva, J.N. de M. (2007) Produtividade e composição bromatológica da forragem hidropônica de milho produzida em diferentes volumes de solução nutritiva. *Ver. Cient. Prod. Anim.* 9 (1): 9-17.

Rocha, R.J. De Sousa. (2004) *Produtividade e composição químico-bromatológica da forragem hidropônica de milho (zeamaysl.) em diferentes densidades de plantio, estádios de crescimento e volumes de solução nutritiva*. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Teresina – PI, Universidade Federal do Piauí – UFPI, 48p.

SAEG. Sistemas para análises estatísticas, 7.0. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, UFV/DBG, (2009): <http://www.ufv.br/saeg/>.

Santos, O.S. (2000) *Cultivos sem solo: hidroponia*. Santa Maria: UFSM/CC, 107p.

Souza, J.C., Conrad, J.H., Blue, W.G., Ammerman, C.B., McDowel, L.R. (1981) Inter-relações entre minerais no solo, plantas forrageiras e tecido animal. *Pesq. Agropec. Bras.*, 16 (5):739-746.

- Souza, O.; Dos Santos, I.E. (2002) Aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar pelos ruminantes. Comunicado Técnico 07. Embrapa Tabuleiros Costeiros. Aracaju, SE. p.1-2.
- Tebaldi, F.L.H., Silva, J.F.C., Vasquez, H.M., Thiebault, J.T.L. (2000) Composição mineral das pastagens das regiões norte e noroeste do estado do rio de janeiro. 2. Manganês, ferro, zinco, cobre, cobalto, molibdênio e chumbo. *Ver. Bras. Zootec.*, 29 (2):616-629.
- Tokarnia, C.H., Döbereiner, J., Peixoto, P.V. (2000) Deficiências minerais em animais de fazenda, principalmente bovinos em regime de campo. *Pesq. Vet. Bras*, 20 (3):127-138.
- Veiga, J.B., Láu, H.D. (1998) Manual sobre deficiência e suplementação mineral do gado bovino na Amazônia oriental. Documento nº113. Embrapa. p.6-35.
- Vieira, M.L. (2006) *Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e rendimentos de milho submetido a diferentes sistemas de manejo*. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Passo Fundo – RS, Universidade de Passo Fundo – UFP, 115p.
- Zorzan, M.H.S. (2006) *Avaliação da qualidade de forragem hidropônica de centeio, cevada e ervilhaca*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Santa Maria – RS, Universidade Federal de Santa Maria, 53p.

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

A forragem hidropônica representa uma forma de cultivo econômico de volumoso de alta produtividade em curto período de tempo, que pode ser fornecido fresco e em sua totalidade aos animais de diversas espécies. Objetivou-se com este trabalho avaliar a produção e a qualidade nutricional da forragem hidropônica de milho cultivada em capim napier e bagaço de cana-de-açúcar utilizando duas soluções nutritivas. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do Laboratório de Fitotecnia na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes, RJ. Foram realizados dois experimentos, ambos com densidade de semeadura de  $2,0 \text{ kg m}^{-2}$  e colheita 15 dias após a semeadura. Foram avaliados os seguintes parâmetros: comprimento de parte aérea (PA), volume de raízes (VR), diâmetro de raízes (DR), comprimento de raízes (CR), peso de massa fresca (MF), peso de massa seca (MS) e teores de macro e micronutrientes. No primeiro experimento utilizou-se a cultivar UENF 506-11. Foi utilizado o substrato capim napier e cinco volumes de solução nutritiva (0; 25; 50; 75; 100 mL) por bandeja. O delineamento foi em blocos casualizados com três repetições. O volume diário aplicado por unidade experimental foi de  $5,468 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . O CR e VR foram, respectivamente, 1,6 e 1,5 vezes, maiores em aplicações de 100 mL em relação à irrigação com água. As plantas atingiram em média 25 cm de altura, produção média de MF igual a  $13,7 \text{ kg m}^{-2}$  e produção média de MS de  $2,4 \text{ kg m}^{-2}$ . Ocorreu incremento nos teores de N, Ca, S e B, e queda no teor de Mn na parte aérea com aumento dos volumes de solução

nutritiva aplicada. Na forragem completa (Parte aérea + sistema radicular + substrato) houve acréscimo nos teores de Ca e S com o aumento dos volumes de solução nutritiva até 100 mL, com teores médios de 21,8 e 18 kg m<sup>-2</sup>, respectivamente. Além disso, ocorreu acréscimo no teor de K com aumento dos volumes de solução nutritiva até 50 mL. A maioria das variáveis analisadas o aumento do volume de solução nutritiva aplicada diariamente até o volume de 100 mL por bandeja proporcionou melhoras. Dessa forma, pode-se dizer que o melhor tratamento foi aquele em que se aplicou o maior volume de solução nutritiva. No segundo experimento utilizou-se a variedade Fortaleza. O experimento seguiu arranjo fatorial (2 x 3), cujos fatores e níveis foram substratos (capim napier e bagaço de cana-de-açúcar) e soluções nutritivas a 100% (Hoagland e Arnon, 1950; FAO, 2001, e água). O delineamento foi em blocos casualizados com quatro repetições. O volume diário aplicado por unidade experimental foi de 3,850 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. As plantas de milho cultivadas em bagaço de cana apresentaram DR 0,1 mm maior em relação àquelas cultivadas em capim napier. Para os dois substratos a forragem irrigada apenas com água se destacou com maior MF. As soluções nutritivas e a água resultaram em média de 2,7 kg m<sup>-2</sup> de MS. O bagaço de cana apresentou valores médios de MS 0,3 kg m<sup>-2</sup> maiores em relação à forragem cultivada em capim napier. O capim napier possibilitou crescimento de parte aérea 1,4 vezes maior que o bagaço de cana. A solução nutritiva de Hoagland e Arnon resultou em comprimento médio 1,2 vezes maior em relação às demais soluções. O substrato bagaço de cana proporcionou menores teores de N, K, Mg, S, P, Ca, Mn e Zn na forragem em relação ao capim napier. A solução nutritiva de Hoagland e Arnon proporcionou maior acúmulo de K, Mg, S, Ca, Cu e B na forragem. O substrato bagaço de cana sobressaiu quando comparado ao capim napier, pois este foi capaz de proporcionar maior produção de forragem e menores teores de nutrientes fazendo com que estes se aproximassem mais dos teores toleráveis. A solução nutritiva de Hoagland e Arnon proporcionou maior crescimento de parte aérea e maior teor de nutrientes encontrados na forragem, sendo que estes nutrientes estão acima dos níveis tolerados. Então, como os tratamentos irrigados somente com a água proporcionaram maior peso de massa fresca em ambos os substratos, pode-se dizer que soluções nutritivas com alta concentração inicial de nutrientes não são adequadas. Talvez seja adequada a aplicação de novos experimentos utilizando soluções menos concentradas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberoni, R.B. (1998) Hidroponia: como instalar e manejar o plantio de hortaliças dispensando o uso do solo – alface, rabanete, rúcula, almeirão, chicória, agrião. São Paulo: Nobel, 102p.
- Alencar, K. (2012) *Análise do balanço entre demanda por etanol e oferta de cana-de-açúcar no Brasil*. Dissertação (Mestrado) – Piracicaba – SP, Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 49p.
- Andrade, S.J.T., Melotti, L. (2004) Efeito de alguns tratamentos sobre a qualidade da silagem de capim-elefante cultivar Napier (*Pennisetum purpureum*, Schum). *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 41:409-415.
- Araújo, V.S., Coelho, F.C., Da Cunha, R.C.V., Lombardi, C.T. (2008) Forragem hidropônica de milho cultivado em bagaço de cana e vinhoto. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 7 (3):251-264.
- Barbieri, E. De Melo, D.J.F., Andrade, L.F., Pereira, E.W.L., Cometti, N.N. (2010) Condutividade elétrica ideal para o cultivo hidropônico de alface em ambiente tropical, (CD ROM) dos *anais 50º Congresso Brasileiro de olericultura*, Guarapari, ES, Brasil.

- Biachini, W., Rodrigues, É., Jorge, A.M., Andricheto, C. (2007) Importância da fibra na nutrição de bovinos. *Revista eletrônica de Veterinária*, 3 (2):1695-7504.
- Campos, F.P., Nussio, C.M.B., Nussio, L.G. (2004) Métodos de análise de alimentos. *Ciência Rural*, Piracicaba: FEALQ, 34 (6):1977-1985.
- Canechio Filho, V. (1985) Cultura de milho. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 38p.
- Carareto, R. - Manejo do Capim Elefante no Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ-USP. (2008): <http://www.beefpoint.com.br/radares-tecnicos/pastagens/manejo-do-capim-elefante-no-departamento-de-zootecnia-da-escola-superior-de-agricultura-luiz-de-queiroz-esalq-usp-49864/> em 19/09/2015.
- Coelho, A.M., França, G.E. Nutrição e adubação do milho. (2015): <http://www.cnpms.embrapa.br/milho/deficiencia/deficiencia.html>.
- Cometti, N.N. (2003) *Nutrição mineral da alface (Lactuca sativa L.) em cultura hidropônica – sistema NFT*. Tese (Doutorado em Agronomia) – Rio de Janeiro – RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRJ, 106p.
- Cometti, N.N., Furlani, P.R., Ruiz, H.A., Filho, E.I.F. (2006) Soluções nutritivas: formulação e aplicações. *In: Fernandes, M.S. Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.89-114.
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento (2011) *A geração termoelétrica com a queima do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil- Análise do Desempenho da Safra 2009-2010*. p.1-157.
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento (2014) *Acompanhamento da Safra Brasileira – Grãos*. 2v. n.1. p.1-89.

- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento (2015a) *Acompanhamento da Safra Brasileira – Cana-de-Açúcar*. 2v. n.1. p.1-28.
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento (2015b) *Acompanhamento da Safra Brasileira – Cana-de-Açúcar*. 2v. n.2. p.1-33.
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento (2015c) *Acompanhamento da Safra Brasileira – Grãos*. 2v. n.12. p.1-134.
- Conab (Companhia Nacional de Abastecimento. - Milho Total (1ª e 2ª safra) – Brasil. Série Histórica de Área Plantada, produção e produtividade das safras 1976/77 a 2015/16. (2015d): [http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina\\_objcmsconteudos=3#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos) em 24/11/2015.
- Cóser, A.C., Martins, C.E., Deresz. F. (2000) Capim-elefante: formas de uso na alimentação animal. *Embrapa Gado de leite*, Juiz de Fora-MG, 57:27p.
- Costa, P.C., Didone, E.B., Sesso, T.M., Cañizares, K.A.L., Goto, R. (2001) Condutividade elétrica da solução nutritiva e produção de alface em hidroponia. *Scientia Agricola*, 58 (3):595-597.
- Crevelari, J.A. (2011) *Fragem hidropônica de milho cultivado em bagaço de cana de açúcar, com diferentes densidades de semeadura e diluições de vinhoto*. Monografia (Agronomia) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro– UENF, 34p.
- Crevelari, J.A. (2013) *Fragens hidropônicas de milho e de soja cultivada em bagaço de cana-de-açúcar e doses de substâncias húmicas*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 95p.

- Cysne, J.R.B. (2004) *Valor nutritivo de silagens de capim elefante (Pennisetum purpureum Schum.) com níveis crescentes de adição do subproduto da graviola (Anona muricata L.)*. Monografia (Agronomia) – Fortaleza - CE, Universidade Federal do Ceará – UFC, 27p.
- Dechen, A.R., Nachtgall, G.R. (2006) Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores. *In: Fernandes, M. S. Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-5.
- Deresz, F. (2001) Influência do período de descanso da pastagem de capim-elefante na produção de leite de vacas mestiças holandês x zebu. *Revista Brasileira de Zootecnia*. Juiz de Fora - MG, 30 (2):461-469.
- Deresz, F., Cóser, A.C., Martins, C.E. (2006) Formação e utilização de pastagem de capim-elefante. *Embrapa gado de leite*, Juiz de Fora - MG, 2p.
- Durães, F.O.M. - Limitações fisiológicas do milho nas condições de plantio nas regiões tropicais baixas. (2007): [http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_1/limitemilho/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/limitemilho/index.htm) em 25/10/2015.
- Epstein, E., Bloom, A.J. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. 3.ed. Londrina, Planta, 2006. 403p.
- FAO - Forraje verde hidropônico (2001) Oficina Regional de La FAO para América Latina y el Caribe. Santiago.
- Fernandes, L.B., Franzoli, R., Franco, A.V.M., Carvalho, G. (2008) Aditivos orgânicos no suplemento concentrado de bovinos de corte mantidos em pastagem. *Ver. Bras. Saúde Prod*, 9 (2): 231-238.
- FIESP. Safra Mundial de Milho 2015/16 - 2º Levantamento do USDA. (2015): [http://az545403.vo.msecnd.net/uploads/201506/boletim\\_safra-mundialmilho\\_junho2015.pdf](http://az545403.vo.msecnd.net/uploads/201506/boletim_safra-mundialmilho_junho2015.pdf)

- Queiroz Filho, J. L., Silva, D.S., Nascimento, I.S. (2000) Produção de matéria seca e qualidade do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivar roxo em diferentes idades de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 29 (1):69-74.
- Flôres, M.T.D. (2009) *Efeito da densidade de semeadura e da idade de colheita na produtividade e na composição bromatológica de milho (Zea mays L.)*. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Piracicaba - SP, Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 79p.
- Fraga, T.M., Ferrari, L., Garcia, A., Leite, D.C., Tannous, S. (2009) Influência de três variedades de milho (*Zea mays*, L.) e dois substratos na produção de forragem hidropônica. *Nucleus Animalium*, 1 (1):36-47.
- Galinari, G. Mapeamento da degradação das pastagens do cerrado. EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. (2014): <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias//noticia/2361250/embrapa-mapeia-degradacao-das-pastagens-do-cerradoem> 25/10/2015.
- Gondim, A.R.O., Flores, M.E.P., Martinez, H.E.P., Fontes, P.C.R., Pereira, P.R.G. (2010) Condutividade elétrica na nutrição de alface em sistema de cultivo hidropônico NFT. *Biosci. J.* 26 (6):894-904.
- Hallauer, A.R. (1985) Compendium of recurrent selection methods and their application. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 3:01-33.
- Henriques, E.R. (2000) Manual de produção-forragem hidropônica de milho. Uberaba: FAZU, 15p
- Ítavo, L.C.V., Filho, S.C.V., Silva, F.F., Valadares, R.F.D., Cecon, P.R., Ítavo, C.C.B.F., Moraes, E.H.B.K., Paulino, P.V.R. (2002) Níveis de concentração e proteína bruta na dieta de bovinos nelore nas fases de recria e terminação:

consumo e digestibilidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31 (2):1033-1041.

Jackson, M. L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 498p.

Mendonça Júnior, A.F., Braga, A.P., Rodrigues, A.P.M. dos S., Sales, L.E.M., Mesquita, H.C. (2011) Minerais: Importância de uso na dieta de ruminantes. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, 7 (1): 1-13.

Lavezzo, W. (1985) Silagem de capim-elefante. *Belo Horizonte*, 11 (132):50-57.

Lopes, B.A.O Capim-Elefante. (2004) Seminário apresentado à disciplina métodos nutricionais e alimentação de ruminantes. Viçosa - MG. 56p.

Manhães, N.E. (2012) *Produção de forragem hidropônica de milho em bagaço de cana-de-açúcar, com diferentes concentrações de vinhaça e densidades de semeadura*. Monografia (Agronomia) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 67p.

MAPA – Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (2009) *Regras para Análise de Sementes*. 399p.

Martinez, H.E.P, Silva Filho, J.B - Introdução ao cultivo hidropônico de plantas. 3º Ed. Viçosa, Editora UFV, 111 p. Ministério da Agricultura. Recuperação de Áreas degradadas. (2006): <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/recuperacao-areas-degradadas> em 24/10/2015.

Moraes, E.H.B.K. (2006) *Desempenho e exigências de energia, proteína e minerais de bovinos de corte em pastejo, submetidos a diferentes estratégias de suplementação*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Viçosa – MG, 136p.

Müller, L., Dos Santos, O.S., Manfron, P.A., Medeiros, S.L.P., Haut, V., Neto, D. D., Menezes, N.L., Garcia, D.C. (2006b) Forragem hidropônica de milho:

produção e qualidade nutricional em diferentes densidades de semeadura e idades de colheita. *Revista Ciência Rural*, Santa Maria, 36(4):1094-1099.

Müller, L., Manfrom, O.A., Medeiros, S.L.P., Dos Santos, O.S., Morselli, T.B.G. A., Dourado Neto, D., Fagan, E.B., Bandeira, A.H., Tonetto, C.J. (2006c) Valor nutricional da forragem hidropônica de trigo sob diferentes soluções nutritivas. *Biosci. J.*, 22 (3):49-56.

Müller, L., Manfron, P.A., Santos, O.S., Medeiros, S.L.P., Neto, D.D., Morselli, T.B.G.A., Da Luz, G.L, Bandeira, A.H. (2006a) Efeito de soluções nutritivas na produção e qualidade nutricional da forragem hidropônica de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Revista Zootecnia Tropical*. 24 (2):137-152.

Müller, L., Santos, O.S., Moanfron, P.A., Haut, V., Fagan, E.B., Medeiros, S.L.P., Neto, D.D. (2005) Produção e qualidade bromatológica de gramíneas em sistema hidropônico. *Uruguiana*, 12 (1):88-97.

Olivas H.T. - Producción de forraje verde hidropônico e na requipa – Perú (2004): [http://www.forrajehidropónico.com/que\\_es.htm](http://www.forrajehidropónico.com/que_es.htm) em 02/10/2015.

Oliveira, M. De J. (2014) *Produção de massa seca e composição químico-bromatológica da forragem hidropônica de milho (Zea mays L.) e soja (Glycine max)*. Monografia (Graduação em Agronomia) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 50p.

Paes, M.C.D. (2006) Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. Circular Técnica 75. EMBRAPA MILHO E SORGO, Sete lagoas, MG, p.1-6.

Parteniani, E. (1980) Melhoramento e produtividade do milho no brasil. Fundação Cargil. Vol. Único 650 p.

Paula, L., Rolim, M.M., Neto, E.B., Soares, T.M., Pedrosa, E.M.R., Silva, E.F. (2011) Crescimento e nutrição mineral de milho forrageiro em cultivo

hidropônico com soro de leite bovino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 15 (9):931-939.

Paulino, V.T., Possenti, R., Lucena, M.A.C., Vedove, D.J.F.D., Souza, C.R.T. J, Júnior, C.F., Natal, V. (2004) Crescimento e avaliação químico-bromatológica de milho cultivado em condições hidropônicas. *Revista Científica eletrônica de Agronomia*, ESALQ-USP, Piracicaba - SP, 5 (3):1-5.

Pereira, E.S., Mizubuti, I.Y., Pinheiro, S.M., Villarroel, A.B.S., Clementino, R.H. (2007) Avaliação da qualidade nutricional de silagens de milho (*Zea mays*, L). *Revista Caatinga*, 20 (3): 8-12.

Peters, J.B. (2005). *Wisconsin Procedures for Soil Testing, Plant Analysis and Feed & Forage Analysis: Plant Analysis*. Department of Soil Science, College of Agriculture and Life Sciences, University of Wisconsin-Extension, Madison, WI. (2005): [http://uwlax.soils.wisc.edu/files/procedures/plant\\_icp.pdf](http://uwlax.soils.wisc.edu/files/procedures/plant_icp.pdf). em: 20/10/2015

Píccolo, M.A. (2012) *Forragem hidropônica de milho produzida em substratos orgânicos residuais utilizando água residuária de bovino*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 83p.

Pilau, F.G., Bonnacarrère, R., Schmidt, D., Santos, O., Manfron, P.A. Produção de forragem hidropônica de milho em túnel plástico. (2016): <http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/download/biblioteca/cpfg2006c.pdf>

Reichardt, K. (1993) Controle da irrigação do milho. Campinas: Fundação Cargill, 20p.

Reis, R.A., Rodrigues, L.R.A. (1993) Valor nutritivo de plantas forrageiras. Jaboticabal, 26 p.

- Rocha, J.S., Salviano, A.A.C., Alves, A.A., Lopes, J.B., Neiva, J.N. de M. (2007) Produtividade e composição bromatológica da forragem hidropônica de milho produzida em diferentes volumes de solução nutritiva. *Ver. Cient. Prod. Anim.* 9 (1): 9-17.
- Rocha, R.J. De Sousa. (2004) *Produtividade e composição químico-bromatológica da forragem hidropônica de milho (Zea mays L.) em diferentes densidades de plantio, estádios de crescimento e volumes de solução nutritiva.* Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Teresina – PI, Universidade Federal do Piauí – UFPI, 48p.
- Sá, T.D.A., Kato, O.R., De Carvalho, C.J.R., Figueiredo, R. de O. (2007) Queimar ou não queimar? De como produzir na Amazônia sem queimar. *Revista USP*, São Paulo, n.72, p.90-97.
- Salman, A.K.D., Ferreira, A.C.D., Soares, J.P.G., Souza, J.P. (2010) Metodologias para avaliação de alimentos para ruminantes domésticos. *Embrapa*, Porto Velho-Ro, 136:26p.
- Santos, J.P. (2006) Controle de pragas durante o armazenamento de milho. *EMBRAPA/CNPMS*, Sete Lagoas, 84:1-20.
- Santos, O.S. (2000) *Cultivos sem solo: hidroponia.* Centro de Ciências Rurais. Universidade Federal de Santa Maria, 107p.
- Secretaria Municipal. Levantamento dos prejuízos na agropecuária com a seca, em Campos. (2014): [http://www.campos.rj.gov.br/exibirNoticia.php?id\\_noticia=28470](http://www.campos.rj.gov.br/exibirNoticia.php?id_noticia=28470) em 16/12/2015.
- Silva, R.M., Jablonski, A., Siewerdt, L., Silveira Júnior, P. (2000) Desenvolvimento das raízes do milheto (*Pennisetum glaucum* L.) cultivado com adição de substâncias húmicas. *Revista Brasileira de Agrociência*, 6 (2):152-156.

- Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Efetivo dos rebanhos (Cabeças). Brasil: Rio de Janeiro: Campos dos Goytacazes. (2014): <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=3939&z=t&o=24&i=P> em 21/10/2015.
- Soest, P.J. (1994) Nutritional ecology of the ruminant. 2. ed. New York, 476p.
- Souza, O., Dos Santos, I.E. (2002) Aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar pelos ruminantes. Comunicado Técnico 07. Embrapa Tabuleiros Costeiros. Aracaju, SE. p.1-2.
- Tokarnia, C.H., Döbereiner, J. e Peixoto, P.V. (2000) Deficiências minerais em animais de fazenda, principalmente bovinos em regime de campo. *Pesq. Vet. Bras*, 20 (3):127-138.
- Valdivia, E. (1996) Producción de forraje verde hidropónico. Curso Taller Internacional. Universidade Nacional Agraria La Molina, 393p.
- Zaia, C. Mapeamento da situação das pastagens no Brasil (Valor Econômico). SAE - Secretaria de Assuntos Estratégicos, Presidência da República. (2014): <http://www.sae.gov.br/imprensa/sae-na-midia/estudo-mapeia-situacao-das-pastagens-no-brasil-valor-economico-12-12-2014-2/> em 24/10/2015.
- Zorzan, M.H.S. (2006) *Avaliação da qualidade de forragem hidropônica de centeio, cevada e ervilhaca*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Santa Maria – RS, Universidade Federal de Santa Maria, 53p.