



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
CIVIL E AMBIENTAL**



Narcísio Cabral de Araújo

Uso de urina humana como fonte alternativa de nutrientes para a cultura do milho (*Zea mays* L.) cultivado em sistema hidropônico

CAMPINA GRANDE – PB

2014

Narcísio Cabral de Araújo

Uso de urina humana como fonte alternativa de nutrientes para a cultura do milho (*Zea mays* L.) cultivado em sistema hidropônico

Dissertação na área de Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura.

Co-orientador: Prof. Dr. Rui de Oliveira.

CAMPINA GRANDE – PB

2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- A663u Araújo, Narcísio Cabral de.
Uso de urina humana como fonte alternativa de nutrientes para a cultura do milho (*Zea mays* L.) cultivado em sistema hidropônico / Narcísio Cabral de Araújo. – Campina Grande, 2014.
81 f. : il. Color.
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
- "Orientação: Prof^a. Dr^a. Mônica de Amorim Coura, Prof. Dr. Rui de Oliveira".
Referências.
1. Fertirrigação. 2. Urina Humana. 3. Manipueira. 4. Ecosaneamento. 5. Forragem Verde Hidropônica. I. Coura, Mônica de Amorim. II. Oliveira, Rui de. III. Título.

CDU 628.32/.35(043)

Narcísio Cabral de Araújo

Uso de urina humana como fonte alternativa de nutrientes para a cultura do milho (*Zea mays* L.) cultivado em sistema hidropônico

Aprovado em: 26 de fevereiro de 2014.

BANCA EXAMINADORA

PARECER



Prof.^ª. Dr.^ª. Mônica de Amorim Coura (Orientadora)

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Aprovada



Prof. Dr. Rui de Oliveira (Co-orientador)

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Aprovada



Prof.^ª. Dr.^ª. Patrícia Hermes Cunha Feitosa (Examinadora Interna)

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Aprovado



Prof. Dr. Suenildo Josémo Costa Oliveira (Examinador Externo)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Aprovado

CAMPINA GRANDE – PB

2014

DEDICATÓRIA

Dedico esta oportunidade e conquista a **Deus**, à
minha filha **Kersia**; minha esposa **Alane**; aos meus
pais **Francisco** e **Rosa Maria**; irmãos, **Roselene**,
Petrônio, **Elizabete**, **Francisco** e **Rafaela**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **DEUS** pelo dom da vida, por todas as forças para ultrapassar as barreiras, pela saúde, oportunidades concedidas, coragem para seguir em frente e por estar sempre me abençoando em todos os momentos da vida. Muito obrigado Senhor, por não desistir de mim;

Ao meu co-orientador, Professor **Dr. Rui de Oliveira** por ter aceitado a ideia de trabalharmos com uso agrícola de urina humana, pelo seu compromisso e conhecimento transmitido durante a execução desta pesquisa;

Ao meu amigo e professor, **Dr. Suenildo** por estar sempre me auxiliando na minha carreira profissional e pelas oportunidades de trabalharmos juntos em pesquisas;

À minha orientadora, Professora **Dra. Mônica de Amorim Coura** pelo apoio, paciência e dedicação à presente pesquisa;

Ao meu amigo e Técnico do Laboratório de Saneamento, **Francisco de Assis Bandeira**, por ter me ajudado a conseguir auxílio em outros laboratórios para desenvolver atividades da pesquisa;

Ao **Antônio**, Técnico do Laboratório de Saneamento, por ter me ajudado nas análises de DQO;

A todos que fazem parte do Laboratório de Saneamento da UFCG, pela presteza, companhia, respeito e amizade ao longo da pesquisa;

Ao meu amigo e parceiro de pesquisa **Pablo Luiz** pelas ajudas e companheirismo durante o curso e análises físico-químicas;

À professora **Rossana** do Laboratório de Processamento e Armazenagem de Produtos Agrícolas, por ter me permitido usar o moinho na moagem das amostras de tecido vegetal;

Ao **Renato**, técnico do Laboratório de Processamento e Armazenagem de Produtos Agrícolas, por ter permitido utilizar as estufas para secagem do tecido vegetal da forragem;

Aos **Proprietários do Engenho Triunfo**, por terem cedido o bagaço de cana utilizado na pesquisa;

Ao pessoal das três residências do distrito de São José da Mata que coletaram e me forneceram a urina utilizada nos experimentos.

Ao meu amigo e companheiro de curso **Igor de Sousa Ogata e seus familiares**, por terem contribuído com a coleta e fornecimento da urina utilizada no segundo experimento;

Ao **Pedro Rocha** proprietário da casa de farinha que forneceu a manípua utilizada no segundo experimento;

Às colegas de turma e de laboratório, **Joseane e Rafaela**, por terem colaborado na concretização da minha pesquisa.

À técnica de laboratório **Valmária**, por ter me ajudado na preparação dos materiais utilizados nas análises bacteriológicas;

À minha amiga e técnica administrativa do laboratório de saneamento, **Cristina**, por estar sempre me ajudando.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro;

Ao meu amigo **Abizaí de Azevedo**, por ter ajudado no início da minha carreira profissional;

Ao meu amigo professor **Arão de Azevedo** e sua esposa **Magnólia Suassuna** por terem me acolhido em sua casa, quando estava ingressando na graduação e pelas frequentes ajudas financeiras e conselhos;

À minha Segunda Mãe, **Ister de Azevedo**, por sempre ter cuidado de mim e meus irmãos e ajudado meus pais em momentos de crise financeira, principalmente quando estava faltando alimento;

Às primas **M^a Luciene** e **M^a do Carmo** por terem me ajudado, pela amizade e encorajamento para lutar e transpor os obstáculos.

EPÍGRAFE

“Lâmpada para os meus pés é a tua
palavra e, luz para os meus caminhos”.
(Salmo 119, versículo 105)

RESUMO

Com o surgimento do ecossaneamento, que é uma alternativa aos sistemas de tratamento de esgoto convencional com sustentabilidade econômica baseado na ciclagem de matérias, pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de coletar urina humana separada das fezes, para posterior tratamento e uso agrícola. Esta pesquisa objetivou estudar os componentes de cultivo da forragem verde hidropônica de milho (*Zea mays* L.) fertirrigado com urina humana como fonte alternativa de nutrientes. O experimento foi realizado em uma casa de vegetação instalada no Campus I da Universidade Federal de Campina Grande, na cidade de Campina Grande (7° 13' 50" S, 35° 52' 52" W, 551 m de altitude), Estado da Paraíba. A investigação experimental ocorreu em duas etapas. Na primeira, foram realizadas coleta, armazenamento e caracterização físico-química de urina humana e diluições de urina em água de abastecimento e realização de um experimento (experimento I) com o cultivo de forragem verde hidropônica de milho, fertirrigado com diluições de urina humana. Na segunda etapa, foram realizados armazenamento e caracterizações físico-químicas de urina humana e manipueira, além de diluições de urina em água mais manipueira e outro experimento (experimento II) com o cultivo de forragem verde hidropônica de milho, fertirrigado com diluições de urina humana adicionada de manipueira. Utilizou-se um delineamento experimental em blocos ao acaso compostos por cinco tratamentos, experimento I, e seis tratamentos no experimento II. Os resultados foram submetidos à regressão na análise de variância que constatou diferença significativa ($p < 0,01$) para altura, produtividade e concentrações de nitrogênio, fósforo, cálcio enxofre e sódio na forragem cultivada no experimento I. No experimento II, também houve resposta significativa ($p < 0,05$) para altura, massas verde e seca da parte aérea e nas concentrações dos macronutrientes e elemento tóxico, analisados, na parte aérea e substrato com raízes da forragem. Conclui-se que os nutrientes presentes na urina humana mostraram-se eficazes para cultivar forragem hidropônica de milho; as fertirrigações com dose maior ou igual a 6% de urina diluída em água causaram redução na altura e produtividade da forragem; o cultivado de milho em sistema hidropônico com substrato de cana-de-açúcar fertirrigado com urina humana, só será viável com dose inferior a 6%; o milho cultivado em sistema hidropônico fertirrigado com diluições de urina humana e manipueira mostrou-se mais eficaz que apenas fertirrigado com diluições de urina; a urina humana com manipueira pode substituir a solução nutritiva utilizada no cultivo da forragem hidropônica de milho.

Palavras-chave: Fertirrigação, urina humana, manipueira, ecossaneamento, forragem verde hidropônica.

ABSTRACT

With the emergence of ecossaneamento, which is an alternative to conventional treatment of sewage with economic sustainability based on the cycling of materials, systems research is being developed in order to collect urine separately from human feces, for further processing and agricultural use. This research aimed to study the components of hydroponic cultivation of green fodder maize (*Zea mays* L.) fertilized with human urine as an alternative source of nutrients. The experiment was conducted in a greenhouse installed on Campus I of the Federal University of Campina Grande, Campina Grande (7° 13' 50" S, 35° 52' 52" W, 551 m altitude), State of Paraiba. The experimental research was undertaken in two stages. At first, collection, storage and physicochemical characterization of human urine and dilution of urine in the water supply and conducting an experiment (experiment I) with the cultivation of hydroponic green fodder corn, fertilized with human urine dilutions were performed. In the second stage, storage and physicochemical characterizations of human manipueira and urine tests were performed, and dilutions of urine in water and more manipueira another experiment (experiment II) with the cultivation of hydroponic green fodder corn, fertilized with human urine dilutions added manipueira. The experimental design was a randomized block design consisting of five treatments, experiment, and six treatments, experiment II. The results were subjected to regression analysis of variance found a significant difference ($p < 0.01$) for height, yield and concentrations of nitrogen, phosphorus, sulfur, calcium and sodium in the forage grown in experiment I. In the second experiment, there was also a significant response ($p < 0.05$) for height, green and dry mass of shoots and in concentrations of macronutrients and toxic element, analyzed in shoots and roots of the substrate material. We conclude that the nutrients present in human urine were effective for growing hydroponic forage maize, the fertigation with greater than or equal to 6 % of dilute urine in water dose caused a reduction in height and productivity of forage, cultivated corn in hydroponic system with substrate cane sugar fertilized with human urine, is only viable with less than 6 % dose; corn grown in fertilized hydroponic system with dilutions of human urine and manipueira was more effective than just fertilized with dilutions of urine, human urine with cassava can replace the nutrient solution used in hydroponic cultivation of forage maize .

Keywords: Fertigation, human urine, manipueira, ecossaneamento, hydroponic green fodder.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 -	Casa de vegetação, modelo “capela”, com bancadas e células hidropônicas. Campina Grande – PB, 2014.....	38
Figura 2 -	Procedimento de irrigação das células hidropônicas (2A) e detalhe do minirregador (2B). Campina Grande – PB, 2014.....	40
Figura 3 -	Croqui da casa de vegetação e bancadas com esquema de distribuição dos tratamentos nas células experimentais. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.....	40
Figura 4 -	Fracionamento, parte aérea e raízes com substrato da forragem verde hidropônica. Campina Grande – PB, 2014.....	42
Figura 5 -	Croqui da casa de vegetação e bancadas com os tratamentos distribuídos nas células experimentais. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.....	44
Figura 6 -	Fluxograma de execução dos Experimentos I e II. Campina Grande – PB, 2014.....	45
Figura 7 -	Temperaturas máximas e mínimas diárias (°C) registradas durante o experimento I. Campina Grande – PB, 2014.....	49
Figura 8 -	Temperaturas máximas e mínimas diárias (°C) registradas durante o ciclo de cultivo da forragem no segundo experimento. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.....	52
Figura 9 -	Altura da forragem (AF, cm), em função da fertirrigação com solução nutritiva e doses crescentes de urina humana. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.....	54
Figura 10 -	Comportamento da massa verde (MVPA) e seca (MSPA) da parte aérea (10A e 10B) da forragem em função da fertirrigação com solução nutritiva e doses crescentes de urina humana. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.....	55
Figura 11 -	Comportamento da massa verde (MVSR) e seca (MSSR) da parte aérea (12A e 12B) da forragem em função da fertirrigação com solução nutritiva e doses crescentes de urina humana. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.....	55
Figura 12 -	Concentrações de nitrogênio na parte aérea (12A, PA) e substrato com raízes (12B, SR) da forragem em função das doses de urina. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.....	57
Figura 13 -	Concentrações de fósforo na parte aérea (13A, PA) e substrato com raízes (13B, SR) da forragem em função das doses de urina. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.....	58
Figura 14 -	Concentrações (mg/kg) de cálcio na parte aérea (14A, PA) e substrato com raízes (14B, SR) da forragem em função das doses de urina humana. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.....	59
Figura 15 -	Concentrações (mg/kg) de enxofre na parte aérea (15A, Enxofre - PA) e substrato com raízes (15B, Enxofre - SR) da forragem em função das doses de urina humana. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.....	59
Figura 16 -	Concentração de sódio (mgNa/kg) na parte aérea (16A, Sódio - PA) e substrato com raízes (16B, Sódio - SR) da forragem em função das doses de urina humana. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.....	60
Figura 17 -	Injúrias nas folhas da forragem hidropônica de milho fertirrigado com solução nutritiva sintética (17A), 3% (17B), 6% (17C), 9% (17D) e 12%	

	(17E) de urina humana diluída em água. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.....	61
Figura 18 -	Altura da forragem (AF, cm), em função da fertirrigação com solução nutritiva e doses crescentes de urina humana. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.....	63
Figura 19 -	Comportamento da massa verde (MVPA) e seca (MSPA) da parte aérea (19A e 19B) da forragem em função da fertirrigação com solução nutritiva e doses crescentes de urina humana com manipueira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.....	64
Figura 20 -	Concentrações de nitrogênio na parte aérea (20A, Nitrogênio - PA) e substrato com raízes (20B, Nitrogênio - SR) da forragem em função das doses de urina com manipueira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.....	66
Figura 21 -	Concentrações de fósforo na parte aérea (21A, Fósforo - PA) e substrato com raízes (21B, Fósforo - SR) da forragem em função das doses de urina com manipueira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.....	67
Figura 22 -	Concentrações de potássio na parte aérea (22A, Potássio - PA) e substrato com raízes (22B, Potássio - SR) da forragem em função das doses de urina com manipueira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.....	67
Figura 23 -	Concentrações de cálcio na parte aérea (23A, Cálcio - PA) e substrato com raízes (23B, Cálcio - SR) da forragem em função das doses de urina com manipueira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.....	68
Figura 24 -	Concentrações de enxofre na parte aérea (24A, Enxofre - PA) e substrato com raízes (24B, Enxofre - SR) da forragem em função das doses de urina com manipueira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.....	69
Figura 25 -	Concentrações de sódio na parte aérea (25A, Sódio - PA) e substrato com raízes (25B, Sódio - SR) da forragem em função das doses de urina com manipueira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Patógenos que podem ser excretados na urina e a importância da urina como meio de transmissão.....	27
Tabela 2 -	Tratamento da urina e técnicas utilizadas.....	28
Tabela 3 -	Normas suecas com recomendações de tempo de armazenamento da urina e cultivos recomendados para sistemas de grande porte.....	29
Tabela 4 -	Reagentes utilizados na preparação das soluções concentradas “A” e “B”. Campina Grande – PB, 2014.....	41
Tabela 5 -	Volumes de manipueira utilizados da correção do pH, por litro de diluição de urina. Campina Grande – PB, 2014.....	43
Tabela 6 -	Parâmetros e metodologia analítica utilizada nas análises físico-químicas da urina, suas diluições e manipueira. Campina Grande – PB, 2014.....	45
Tabela 7 -	Caracterização físico-química da urina utilizada no experimento I. Campina Grande – PB, 2014.....	47
Tabela 8 -	Caracterização química do bagaço de cana-de-açúcar, utilizados no experimento. Campina Grande – PB, 2014.....	48
Tabela 9 -	Caracterização físico-química da solução nutritiva e das diluições de urina utilizadas no experimento I. Campina Grande – PB, 2014.....	49
Tabela 10 -	Caracterização físico-química da urina utilizada no experimento II. Campina Grande – PB, 2014.....	50
Tabela 11 -	Caracterização físico-química da manipueira utilizada no experimento II. Campina Grande – PB, 2014.....	51
Tabela 12 -	Caracterização físico-química da solução nutritiva e das diluições de urina com manipueira, utilizada no experimento II. Campina Grande – PB, 2014.....	51
Tabela 13 -	Valores dos quadrados médio da altura e produtividade da forragem de milho. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.....	53
Tabela 14 -	Valores dos quadrados médios das determinações química da fitomassa hipógea (PA) de milho forrageira. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.....	56
Tabela 15 -	Quadrados médios da análise de variância das determinações química no substrato com raízes (SR) de milho forrageira. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.....	57
Tabela 16 -	Quadrados médios da análise de variância da altura e produtividade da forragem do milho. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.....	62
Tabela 17 -	Quadrados médios da análise de variância das determinações química da fitomassa hipógea de milho forrageira fertirrigado com urina e manipueira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.....	65
Tabela 18 -	Valores dos quadrados médios das determinações química (N, P, K, Ca, S e Na) do substrato com raízes de milho forrageira fertirrigado com urina e manipueira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.....	65

LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS

ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos
ANA – Agência Nacional de Águas
APHA – American Public Health Association
ASSISTAT – Assistência Estatística
AF – Altura da Forragem
B1 – Bloco 1
B2 – Bloco 2
B3 – Bloco 3
B4 – Bloco 4
CE – Condutividade Elétrica
C. A. S. – Chemical Abstracts Service
CTT – Coliformes Termotolerantes
DQO – Demanda Química de Oxigênio
FVH – Forragem Verde Hidropônica
PB – Paraíba
pH – Potencial hidrogeniônico
pH_{da} – Potencial hidrogeniônico da diluição de urina antes de adicionar manipueira
pH_{dd} – Potencial hidrogeniônico da diluição de urina antes depois de adicionar manipueira
FV – Fonte de Variação
FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
GL – Grau de Liberdade
IFA – International Fertilizer Industry Association
MVPA – massa verde da parte aérea
MSPA – massa seca da parte aérea
MVSR – massa verde do substrato com raízes
MSSR – massa seca do substrato com raízes
NTK – Nitrogênio Total Kjeldhal
PEBD – Polietileno de Baixa Densidade
P. P. M. U. A – Prováveis Patógenos na Mistura de Urina após o Armazenamento
PA – parte aérea
PT – Fósforo Total
PET – Tereftalato de Etileno
UFC/100 mL – Unidades Formadoras de Colônias por cem mililitros
SR – Substrato com Raízes
T – Temperatura
T. A – Temperatura de Armazenamento
t. a – tempo de armazenamento
T₁ – Tratamento 1
T₂ – Tratamento 2
T₃ – Tratamento 3
T₄ – Tratamento 4
T₅ – Tratamento 5
T₆ – Tratamento 6
UFMG – Universidade Federal de Campina Grande

LISTA DE SÍBOLOS

H_3BO_3 – Ácido Bórico

Ca – Cálcio

NaCl – Cloreto de sódio

cm – Centímetros

R^2 – Coeficiente de determinação

Cl⁻ – Cloreto

S – Enxofre

Fe – Ferro

° – Graus

°C – Grau Celsius

g – Gramas

g/kg – Gramas por quilograma

gN/kg – Gramas de nitrogênio por quilograma

gP/kg – Gramas de fósforo por quilograma

gK/kg – Gramas de potássio por quilograma

h – Hora

P – Fósforo

S – Latitude Sul

W – Longitude Oeste

$L/m^2.d$ – Litro por metro quadrado por dia

m – Metros

m^2 – Metro quadrado

mg – Miligrama

mL – Mililitro

mL/L – Mililitro por litro

mg/L – Miligrama por litro

mgP/L – Miligrama de fósforo total por litro

mgP – PO_4^{-3}/L – Miligrama de ortofosfato por litro

mgN/L – Miligrama de nitrogênio Kjeldahl total por litro
mgN – NH₃/L – Miligrama de nitrogênio amoniacal por litro
mgN – NO₃⁻/L – Miligrama de nitrato por litro
mgK/L – Miligrama de potássio por litro
mgCa/L – Miligrama de cálcio por litro
mgNa/L – Miligrama de sódio por litro
mgCl⁻/L – Miligrama de cloreto por litro
mgO₂/L – Miligrama de oxigênio por litro
mg/kg – Miligrama por quilograma
mgCa/kg – Miligrama de cálcio por quilograma
mgS/kg – Miligrama de enxofre por quilograma
mgNa/kg – Miligrama de sódio por quilograma
min – Minuto
mS/cm – Milisiemens por centímetro
NH₄H₂PO₄ – Monofosfato de Amônio
(NH₄)₆Mo₇O₂₄·4 H₂O – Molibdato de Amônio
^{ns} – Não significativo
N – Nitrogênio
N - NH₃ – Nitrogênio amoniacal
Ca(NO₃)₂·4 H₂O – Nitrato de Cálcio
KNO₃ – Nitrato de Potássio
P-PO₄⁻³ – Ortofosfato
% – Porcentagem
K – Potássio
km – Quilômetro
Fe₂(SO₄)₃ ·XH₂O – Quelatos de Ferro
kg/m² – Quilograma por metro quadrado
Na – Sódio
** – Significativo a 1% de probabilidade
* – Significativo a 5% de probabilidade

SO_4 – sulfato

$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ – Sulfato de Cobre

$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ – Sulfato de Magnésio

$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – Sulfato de Manganês

$\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – Sulfato de Zinco

$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ – Ureia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	Objetivos.....	21
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	22
2.1	Recursos hídricos.....	22
2.2	Reuso de águas residuárias.....	23
2.3	Ecossaneamento.....	25
2.4	Urina humana: coleta, tratamento e utilização.....	26
2.5	Manipueira.....	30
2.6	Hidroponia.....	31
2.7	Forragem Verde Hidropônica (FVH).....	33
2.8	Bagaço de cana-de-açúcar.....	34
2.9	A cultura do milho.....	35
3	METODOLOGIA.....	36
3.1	Primeira etapa.....	37
3.1.1	Casa de vegetação.....	37
3.1.2	Coleta, armazenamento e caracterização físico-química da urina humana.....	38
3.1.3	Coleta, tratamento e caracterização do substrato.....	38
3.1.4	Experimento I.....	39
3.2	Segunda etapa.....	42
3.2.1	Coleta, armazenamento e caracterização da urina e manipueira.....	42
3.2.2	Experimento II.....	43
3.3	Métodos analíticos.....	45
3.3.1	Para os efluentes.....	45
3.3.2	Para o tecido vegetal.....	46
3.4	Procedimentos estatísticos.....	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
4.1	Caracterizações físico-químicas da urina, substrato, solução nutritiva, diluições de urina humana e monitoramento da temperatura (Primeira etapa).....	47
4.2	Caracterizações físico-químicas da urina, manipueira, solução nutritiva, diluições de urina humana adicionada de manipueira e monitoramento da temperatura (Segunda etapa).....	50
4.3	Resultados do experimento I (Primeira etapa).....	53
4.3.1	Crescimento e produtividade da forragem (Experimento I).....	53
4.3.2	Composição química da fitomassa hipógea (parte aérea) e substrato com raízes de milho forrageiro (Experimento I).....	56
4.4	Resultados do experimento II (Segunda etapa).....	62
4.4.1	Crescimento e produtividade da forragem (Experimento II).....	62
4.4.2	Composição química da fitomassa hipógea (parte aérea) e substrato com raízes de milho forrageiro (Experimento II).....	65
5	CONCLUSÕES.....	71
6	RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento exponencial da população humana surge a elevada demanda por alimentos, exigindo uma agricultura de grande produtividade e, portanto, sistemas agrícolas com ótimas condições de cultivo. Assim, para alcançar as melhores condições de cultivo, os produtores rurais fazem uso de fertilizantes químicos. Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), em 2010, o consumo de fertilizantes no Brasil ultrapassou 20.000.000 de toneladas, o que representa um crescimento da ordem de 7% em relação ao ano de 2009. De acordo com Driver *et al.* (1999) as reservas de rochas, ricas em fosfato, são limitadas e têm o ciclo biogeoquímico extremamente lento. Esse conhecimento tem levado alguns pesquisadores a preverem que, de acordo com o atual consumo de fosfato, principalmente pelo setor de fertilizantes, haverá uma escassez de tais reservas num período de aproximadamente 100 anos, causando abalos na estrutura de produção de alimentos. Entretanto, além do elevado custo, existem inúmeros impactos ambientais associados a essa prática, dentre eles: depleção das reservas naturais dos nutrientes, problemas relacionados à mineração, acidificação dos solos e todas as suas consequências (IFA, 2000).

A falta de gestão no saneamento básico e infraestrutura urbana tem causado impacto social, econômico e ambiental. Entre os impactos ambientais destacam-se a grande geração de resíduos sólidos e enormes volumes de águas residuárias que, na maioria dos casos, são lançadas no meio ambiente sem nenhum tratamento prévio, podendo ocasionar diversos danos à saúde pública e aos recursos naturais, uma vez que o lançamento de efluentes domésticos e industriais no solo e/ou em corpos d'água é uma das principais causas da poluição ambiental e degradação dos recursos hídricos. Para minimizar os impactos ambientais causados pelo elevado consumo de água nas atividades antrópicas e lançamento inadequado das excretas humanas no meio ambiente, surgiu o conceito de saneamento ecológico ou “ecossaneamento” que visa fazer a reciclagem dos nutrientes através do reuso agrícola de águas residuárias.

A prática da utilização de águas residuárias tratadas na agricultura, apresenta diversas vantagens, dentre elas, a economia de água, de fertilizante mineral, além de evitar a contaminação orgânica e microbiológica do meio ambiente (SANTOS *et al.*, 2006). Porém, pesquisas com aplicações de excretas humanas na agricultura vêm sendo pouco desenvolvidas, principalmente no Brasil.

Reconhecendo a necessidade brasileira de gerenciamento dos efluentes sanitários, através da reciclagem dos nutrientes, a Agência Nacional de Águas (ANA) lançou o Edital nº

002/2012 de chamamento público para projetos de desenvolvimento de ações de reuso agrícola de água em municípios de pequeno porte (BRASIL, 2012). Portanto, um grande desafio para o Brasil é o desenvolvimento mais intensificado de pesquisas com aplicação de excretas humanas na agricultura, para posterior consolidação da tecnologia, que possibilite aproveitamento dos nutrientes das excretas humanas.

Uma tecnologia agrícola que vem sendo bastante difundida no Brasil é a hidroponia, que consiste em cultivar vegetais na ausência do solo. Recentemente, a técnica hidropônica foi adaptada para a produção volumosa de milho, a fim de servir de alimento bovino, na época da seca, com custo de produção mais baixo do que o de pastagens convencionais e com valor nutritivo alto, principalmente em proteínas, devido à fase em que as plantas são colhidas e disponibilizadas para a alimentação dos animais (ARAÚJO *et al.*, 2008). O cultivo do milho hidropônico surgiu em 1990, inicialmente, como uma alternativa de alimento para cavalos de raça (SIMÃO *et al.*, 2009).

A forragem hidropônica é o resultado de um processo de germinação de sementes de cereais (cevada, milho, trigo, aveia e outras espécies), que se desenvolve em um período de 10 a 15 dias, captando energia do sol e assimilando os minerais contidos em uma solução nutritiva (MÜLLER *et al.*, 2005). Segundo Rocha *et al.* (2007) a forragem hidropônica consiste no cultivo de espécies forrageiras em substrato irrigado com solução nutritiva, apresentando como principais vantagens, o uso de diferentes espécies forrageiras; maior produtividade por unidade de área; eliminação do uso de defensivos agrícolas e ciclo de produção mais curto, com menor efeito dos fatores meteorológicos.

Segundo Rocha *et al.* (2007), em período seco, os pecuaristas da região Nordeste encontram dificuldades de obter alimentos volumosos, o que acaba sendo um fator limitante para o desenvolvimento de uma das principais atividades econômicas do Brasil. Nas condições do semiárido onde, em determinadas épocas do ano, as condições climáticas inviabilizam a produção de alimentos para os animais, a forragem hidropônica de milho apresenta-se não como opção para engorda do rebanho e sim como uma das poucas alternativas alimentares para sobrevivência do rebanho dos pequenos produtores na época da estiagem (SOUSA *et al.*, 2012).

O uso de efluentes de estações de tratamento de esgotos para hidroponia produtiva pode propiciar as seguintes vantagens: permite a utilização de todo ou quase todo efluente, evitando a poluição e contaminação ambiental; pode ser utilizada como forma de remoção de nitrogênio e fósforo, retidos na biomassa vegetal da cultura; em casos de dificuldades de

transporte dos esgotos até campos de irrigação, viabiliza a opção de transportar o produto cultivado em pequena área e próxima do ponto de reunião e tratamento dos esgotos (ABUJAMRA *et al.*, 2005). Assim, o uso de urina diluída como solução nutritiva em cultivo hidropônico deve ser avaliado como uma possibilidade de obtenção de produção de determinadas culturas em regiões áridas, semiáridas, áreas urbanas e periurbanas (SILVA *et al.*, 2007).

Portanto, de acordo com o exposto, o uso da urina humana parece ser uma alternativa viável para a produção da forragem hidropônica, desde que se façam estudos de riscos sanitários aos manuseadores e consumidores e de novas pesquisas para aferição tecnológica.

1.1 Objetivos

O objetivo geral da presente pesquisa foi estudar as componentes de cultivo da forragem verde hidropônica (FVH) de milho (*Zea mays* L.) fertilizado com urina humana como fonte alternativa de nutrientes.

Os objetivos específicos foram:

- 1- Caracterizar urina humana e manipueira a serem utilizadas na cultura hidropônica;
- 2- Avaliar a eficácia da aplicação de diferentes diluições de urina humana, e urina associada à manipueira, no cultivo hidropônico de milho;
- 3- Avaliar o crescimento e produtividade da forragem hidropônica de milho;
- 4- Determinar as concentrações de nutrientes e do elemento tóxico sódio incorporados à parte aérea e ao substrato com raízes da forragem hidropônica de milho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Recursos hídricos

A água é um recurso natural renovável, de origem mineral, importante para a vida no Planeta, por ser o principal constituinte dos organismos vivos e ambiente natural para várias espécies, além de compor a cadeia de valor de todas as atividades desenvolvidas pelo homem (PEIXINHO, 2010). Por ser indispensável à vida do homem, a água é essencial para a sobrevivência de agrupamentos humanos, comunidades, coletividades, cidades e nações, que dela dependem tanto para existir simplesmente quanto para satisfazer as suas necessidades sociais e econômicas (MACHADO, 2003).

Com o contínuo crescimento populacional e industrial, a disponibilidade hídrica tende a diminuir ao longo do tempo, fazendo com que a escassez dos recursos hídricos se torne cada dia mais agravante.

Nos últimos anos as mudanças climáticas têm levado o nordeste do Brasil a enfrentar vários problemas de escassez hídrica e degradação da qualidade das águas as quais, segundo Peixinho (2010), representam grandes desafios a serem enfrentados no Nordeste do país. Também é importante enfatizar que estes problemas foram acentuados pelo crescimento demográfico brasileiro associado às mudanças no perfil da economia do país na segunda metade do Século XX (*Ibid.*).

Para atender ao crescimento da demanda por água, o Brasil tem adotado a versão romana de transportar, sistematicamente, grandes volumes de água de bacias cada vez mais distantes e dispor os esgotos, com pouco, ou nenhum tratamento, em corpos de água adjacentes, tornando-os cada vez mais poluídos. No entanto, deve existir a necessidade de adotar um novo método, baseado na conservação e no reuso de água, para minimizar os custos e os impactos ambientais associados a novos projetos. A conservação deve ser promovida por meio de programas de gestão adequada da demanda e de educação ambiental, e o reuso direcionado à gestão da oferta, buscando fontes alternativas de suprimento, incluindo água recuperada, águas pluviais e água subterrânea, complementada mediante a recarga artificial de aquíferos (HESPANHOL, 2008).

A diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos e a deterioração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas apontam para uma tendência de um aproveitamento

racional desse precioso recurso, com o mínimo de dano ao meio ambiente (HUSSAR *et al.*, 2005). Assim, quando os recursos hídricos tornam-se escassos, as possibilidades de reutilização da água devem ser consideradas (RIOS, 2008).

2.2 Reuso de águas residuárias

O êxodo rural foi um fator preponderante para provocar elevadas concentrações populacionais nas zonas urbanas que, por falta de gestão no saneamento básico e infraestrutura urbana, tem causado impactos sociais, econômicos e ambientais. Entre os ambientais destacam-se as grandes gerações de resíduos sólidos e enormes volumes de águas residuárias, que, na maioria dos casos, são lançadas no meio ambiente sem nenhum tratamento prévio, podendo ocasionar diversos danos à saúde pública e aos recursos naturais, pois o lançamento de efluentes domésticos e industriais no solo e/ ou em corpos d'água, é uma das principais causas da poluição ambiental e degradação dos recursos hídricos. Por outro lado, tem-se a demanda por água que é um fator limitante para o desenvolvimento socioeconômico de qualquer país.

A falta de recursos hídricos e o aumento dos conflitos pelo uso da água geraram a emergência da conservação e do tratamento e reuso, como componentes formais da gestão de recursos hídricos. Fiori *et al.* (2006) define o reuso de águas como sendo “a utilização dessa substância, por duas ou mais vezes, após tratamento, para minimizar os impactos causados pelo lançamento de esgotos sem tratamento nos rios, reaproveitamento que também ocorre espontaneamente na natureza através do ‘ciclo da água’”.

O reuso de águas está associado a processos desenvolvidos para obtenção de águas cujas características qualitativas possam atender aos fins pretendidos, e que dependem de seu uso anterior. No entanto, a prática do reuso de águas pode não estar associada a qualquer tratamento prévio (CARNEIRO & CERQUEIRA, 2008).

A escassez de água e a demanda por água doce, principalmente em regiões semiáridas do mundo, têm aumentado o interesse da reutilização de águas residuária doméstica para fins potáveis e não potáveis (BARBOSA, 2008). A prática do reuso de água, entretanto, não é aplicável exclusivamente em regiões áridas e semiáridas. Muitas regiões com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para atender a demandas excessivamente elevadas, também experimentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo, que afetam o

desenvolvimento econômico e a qualidade de vida (HESPANHOL, 2008). Neste contexto, o tratamento de águas residuárias para posterior reuso, surge como uma alternativa que visa minimizar os diversos conflitos socioeconômicos enfrentados pela escassez de água em todas as regiões do país.

As águas residuárias podem ser de origem doméstica (esgotos gerados nas residências e edifícios), industrial (esgotos gerados em processos industriais) e mista (esgoto doméstico mais industrial, doméstico mais águas pluviais ou esgoto doméstico mais industrial e águas pluviais). Com o objetivo de fazer uma gestão eficaz no reuso de águas residuárias domésticas, costuma-se fracionar estas águas em três tipos: Negras, Amarelas e Cinzas. Águas negras: água residuária proveniente dos vasos sanitários, contendo basicamente fezes, urina e papel higiênico ou proveniente de dispositivos separadores de fezes e urina, tendo em sua composição grandes quantidades de matéria fecal e papel higiênico (GONÇALVES *et al.*, 2006). As águas cinzas são aquelas provenientes dos lavatórios, chuveiros, tanques e máquinas de lavar roupa e louça (FIORI *et al.*, 2006). Denominam-se águas amarelas, as águas residuárias geradas em mictórios ou em vasos sanitários com compartimentos separadores para coleta de urina (COSTANZI *et al.*, 2010).

Segundo Botto (2013), para alcançar uma gestão eficaz no reuso das águas residuárias domésticas, é necessário à descentralização dos sistemas de esgotamento sanitários. Atualmente o sistema mais difundido, aplicado e utilizado nos centros urbanos, é o centralizado, constituído de coleta, transporte do esgoto por longas distâncias, tratamento (quando existe) e disposição final em um corpo receptor. No entanto, os sistemas centralizados apresentam as seguintes desvantagens: poluição dos corpos hídricos com nutrientes, fármacos, hormônios, matéria orgânica, patógenos; consumo excessivo de água de boa qualidade para o transporte de excreta; elevados investimentos em energia e custos de operação e manutenção; beneficia os mais prósperos e negligenciando os menos favorecidos e desvalorização dos efluentes e recursos naturais.

De acordo com Anh *et al.* (2002), o sistema descentralizado de esgotamento sanitário, é promissor, especialmente para os países em desenvolvimento, pois além de minimizar os impactos no meio ambiente e na saúde pública, apresenta a vantagem de tratar os efluentes utilizando tecnologias de baixo custo; é uma alternativa altamente viável para as comunidades dispersas, como as zonas rurais; gera oportunidades de reutilização local dos efluentes tratados, dependendo das características locais da comunidade e do tipo de tecnologia

adotada; gera oportunidade de emprego e renda para os profissionais da região que trabalham em projetos, operação e manutenção dos pequenos sistemas de tratamento de esgoto.

Hespanhol (2002) apresenta as formas básicas de usos potenciais de esgoto doméstico e industrial tratado, que podem ser implantados de forma sustentável, tanto em áreas urbanas como em áreas rurais. As principais são: urbana, agrícola, industrial, recargas de aquíferos, aquicultura e recreação.

Na gestão ambiental dos recursos hídricos, entre as principais formas de aproveitamento de águas residuárias se destaca o reuso agrícola (SOUSA *et al.*, 2008). A irrigação, com esgotos tratados ou não, é uma prática antiga em países como Austrália, Israel, Estados Unidos, México e Peru (HUSSAR *et al.*, 2005).

A prática da utilização de águas residuárias, tratadas na agricultura, apresenta diversas vantagens, dentre elas a economia de água, de fertilizante mineral e ainda evita a contaminação orgânica e microbiológica do meio ambiente (SANTOS *et al.*, 2006). Porém, pesquisas com aplicações de excretas humanas na agricultura vêm sendo pouco desenvolvidas, pois grande parte das pesquisas nas áreas do saneamento, objetiva apenas tratar os resíduos e verificar se atendem aos padrões de destinação final preconizados nas resoluções existentes no país.

2.3 Ecossaneamento

A partir da concepção de sustentabilidade surge o conceito de saneamento ecológico onde se aplica a racionalização do consumo de água e a segregação dos efluentes para viabilizar o seu reuso, próximo às fontes geradoras (SILVA *et al.*, 2007). Ecossaneamento (Ecosan) é um conceito proveniente dos países nórdicos, principalmente a Suécia, usado para esgotamento sanitário ecológico. É uma alternativa aos sistemas de tratamento de esgoto convencional com sustentabilidade econômica baseado na ciclagem de matérias (ZANCHETA, 2007). O ecossaneamento ou saneamento focado em recursos tem como princípio básico o estímulo ao fluxo cíclico de recursos, energia e materiais a partir de um manejo e gerenciamento ecológico e economicamente sustentável dos sistemas de destinação das excretas, fundamentados nas demandas locais (BOTTO & SANTOS, 2013). O ecossaneamento tem emergido como uma imensa área potencial que reconhece excrementos

humanos, urina, águas preta e cinza utilizados nas residências, como um recurso e não como resíduos (GOLDER *et al.*, 2007).

Os sistemas de saneamento básico, atualmente utilizados, se caracterizam por trabalhar em ciclos abertos desperdiçando tanto a água quanto os nutrientes presentes nos efluentes (SILVA *et al.*, 2007). O Saneamento Ecológico é uma alternativa aos sistemas de tratamento de esgoto convencionais visando à sustentabilidade ambiental e econômica. Considera a excreta humana um recurso a ser reciclado em vez de desperdiçado como descarte para as redes de esgoto (RIOS, 2008). Com um baixo custo de implantação, transporte, tratamento das excretas e uso na agricultura, o saneamento focado em recursos pode ser adotado como uma técnica sustentável para disposição das excretas em situações de emergência (BOTTO, 2013).

Werner *et al.* (2009), Jönsson (2004) e Esrey (2000) abordam que as principais características do ecossaneamento são: promoção do reuso seguro de nutrientes, matéria orgânica, água e energia; redução da contaminação biológica dos corpos hídricos por microrganismos patogênicos; proteção e conservação dos recursos naturais; contribuição à preservação da fertilidade dos solos; valoração das excretas humanas utilizadas na produção de alimentos; geração de emprego e renda criando oportunidades de trabalho agrícola e aumento da segurança alimentar.

2.4 Urina humana: coleta, tratamento e utilização

A urina humana é um produto líquido eliminado pelo corpo humano, secretado pelos rins por um processo de filtração do sangue chamado de micção e excretado através da uretra (KARAK & BHATTACHARYYA, 2011). A quantidade de urina eliminada pelo organismo humano varia muito de um indivíduo para outro, em função da idade, dos hábitos alimentares e das atividades desenvolvidas (SOUSA *et al.*, 2008). Nos esgotos sanitários o volume de urina corresponde a menos de 1% do total (LARSEN *et al.*, 2001; SCHÖNNING, 2001; VINNERÄS *et al.*, 2006).

De acordo com Lind *et al.* (2001), a urina humana é uma solução aquosa contendo cloreto de sódio (NaCl), ureia [CO(NH₂)₂]; potássio (K), cálcio (Ca), sulfato (SO₄) e fósforo que está disponível como superfosfatos (H₂PO₄⁻ ou HPO₄²⁻). Das excretas humanas, a urina contém cerca de 90% do nitrogênio, 50 - 65% do fósforo e 50 - 80% do potássio

(HEINONEN-TANSKI & SIJBESMA, 2005). Em torno de 80% do nitrogênio total da urina, está na forma de ureia e o restante na forma de nitrogênio inorgânico e orgânico. Diariamente, a excreção de ureia em adultos varia entre 11,8 e 23,8 g e a relação entre nitrogênio total e ureia é de aproximadamente 0,8 (FITTSCHEN & HAHN, 1998). Kirchmann e Pettersson (1995) identificaram tanto os macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio) como os micronutrientes (boro, cobre, ferro, cloro, manganês, molibdênio e zinco), presentes na urina humana.

Quanto aos microrganismos na urina, Schönning (2001) corrobora que em um indivíduo saudável a urina é estéril na bexiga. Quando transportada para fora do corpo humano, as bactérias são arrastadas e a urina recentemente excretada contém normalmente concentração <10.000 bactérias/mL (TORTORA *et al.*, 1992 *apud* SCHÖNNING, 2001). A Tabela 1 apresenta os principais microrganismos, causadores de doenças, que podem ser excretados pela urina humana e a importância da urina como meio de transmissão.

Tabela 1 - Patógenos que podem ser excretados na urina e a importância da urina como meio de transmissão.

Patógenos	Urina como Meio de Transmissão	Importância
<i>Leptospira interrogans</i> <i>Salmonella typhi</i> e <i>Salmonella paratyphi</i>	Usualmente através da urina animal Provavelmente incomum, excretada na urina em infecção sistêmica	Provavelmente baixo Baixo comparado com outros meios de transmissão
<i>Schistosoma haematobium</i> (ovos excretados)	Não direta, mas indiretamente, a larva infecta os humanos através da água doce	É necessário considerar em áreas endêmicas onde água doce é disponível
Mycobacteria	Incomum, normalmente transportado pelo ar	Baixo
Vírus: citomegalovirus (CMV), JCV, BKV, adeno, hepatite e outros	Normalmente não reconhecido, com exceção de casos isolados de hepatite A e sugerido para a hepatite B. Necessita de mais informação	Provavelmente baixo
Microrsporidia	Sugerido, mas não reconhecido	Baixo
Causadores das doenças venéreas	Não, não sobrevivem durante períodos significativos fora do corpo	-
Infecções do trato urinário	Não, não há uma transmissão ambiental Direta	Baixo

Fonte: Schönning & Stenström (2004).

Nos últimos dez anos, estudos baseados na separação de urina e fezes têm mostrado novos conceitos de desenvolvimento para o saneamento, reduzindo o desperdício de água potável nos banheiros e mostrando uma nova concepção ecológica e também econômica (SOUSA *et al.*, 2008). A separação de urina é uma tecnologia alternativa ou mesmo um complemento do saneamento que foi implementado em muitos lugares em vários países do mundo (KVARNSTRÖM *et al.*, 2006).

Wilsenach e van Loosdrecht (2003) afirmam que a separação da urina humana na fonte, contribui para a sustentabilidade e gestão de águas residuais, pois retém cerca de 80% da carga total do nitrogênio no efluente, melhorando significativamente sua qualidade e conseqüentemente reduzindo gastos com energia elétrica e custos com investimento nas estações de tratamento de águas residuais. Segundo Larsen *et al.* (2007) a separação da urina na fonte tem potencial para se tornar parte integrante do tratamento convencional de esgoto, onde é necessário a reservação de altas taxas de nutrientes.

A principal diferença entre um sistema de separação de urina e outros sistemas de saneamento é que o vaso sanitário separador de urina possui duas saídas e dois sistemas de coleta: um para a urina e outro para as fezes, com a finalidade de manter as frações da excreta separadas (KVARNSTRÖM *et al.*, 2006). Além dos vasos com dois sistemas de coleta das excretas humanas, existem os mictórios, que podem ser de uso coletivo, ou individual - masculino ou feminino.

As publicações mostram que, da década de 80 até os dias atuais, a complexidade da urina humana, constituída por vários compostos, elementos químicos e microrganismos, vem despertando o interesse dos pesquisadores para seu tratamento e aproveitamento. Objetivando o aproveitamento da urina, diversas técnicas de tratamento estão sendo desenvolvidas. A Tabela 2 apresenta um resumo dos principais tipos de tratamento dados à urina e as respectivas técnicas que vêm sendo desenvolvidas.

Tabela 2 – Tratamento da urina e técnicas utilizadas.

Tipos de Tratamento	Técnicas Utilizadas
Higienização	Armazenamento
Redução do Volume	Evaporação; Congelamento/descongelamento e Osmose Reversa
Estabilização	Acidificação; Microfiltração e Nitrificação
Recuperação de Fósforo	Estruvita
Recuperação de Nitrogênio	Troca iônica; estruvita; remoção de NH ₃ e Isobutylaldehydediurea
Remoção de Nutrientes	Anammox
Remoção de Micropoluentes	Eletrodialise; Nanofiltração e Ozonização

Fonte: Adaptada de Maurer *et al.* (2006).

A elevada carga de nutrientes e o baixo teor de patógenos e metais tornam a separação e aproveitamento da urina uma alternativa promissora para a sua utilização como fertilizante (COHIM *et al.*, 2008). De acordo com os autores, como a urina apresenta carga patogênica reduzida, sua utilização em sistemas de pequeno porte não exige um tratamento avançado, porém para o reuso em grande escala é necessário que haja alguma forma de tratamento, sendo o mais utilizado, o armazenamento.

Visando a prevenção de contaminação biológica provocada pelo uso de urina contaminada por fezes, coletada em sistema de dupla separação, a Suécia estabeleceu diretrizes para higienização da urina, através do armazenamento. A Tabela 3 apresenta as diretrizes suecas, recomendadas para o tempo de armazenamento da urina, baseadas em conteúdo de patógenos estimado e cultivos recomendados para sistemas de grande porte.

Tabela 3 – Normas suecas com recomendações de tempo de armazenamento da urina e cultivos recomendados para sistemas de grande porte.

T. A (°C)	t. a (mês)	P. P. M. U. A	Cultivos recomendados
4	≥ 1 mês	Vírus, protozoários	Cultivos alimentícios e cultivos de forragem que serão processados
4	≥ 6 meses	Vírus	Cultivos alimentícios que serão processados, cultivos de forragem
20	≥ 1 mês	Vírus	Cultivos alimentícios que serão processados, cultivos de forragem
20	≥ 6 meses	Provavelmente nenhum	Todos os cultivos

Legenda: T. A: Temperatura de Armazenamento; t. a: tempo de armazenamento; P. P. M. U. A: Prováveis Patógenos na Mistura de Urina após o Armazenamento.

Fonte: Adaptada de Schönning & Stenström (2004).

Armazenar urina sem diluição por um mês renderá um material seguro para o uso na agricultura, pois, segundo Esrey *et al.* (1998), fornece condições ambientais desfavoráveis para desenvolvimento de microrganismos patogênicos e impede o desenvolvimento de mosquitos. Os principais riscos de transmissão de doenças pelo manejo e uso da urina humana estão relacionados com a contaminação fecal cruzada da urina e não com a própria urina (SCHÖNNING & STENSTRÖM, 2004).

A separação de urina pode proporcionar um fertilizante higiênico "gratuito", que pode ser utilizado na agricultura (KVARNSTRÖM *et al.*, 2006). De acordo com Jönsson *et al.* (2004) *apud* Karak e Bhattacharyya (2011) a urina é uma fonte valiosíssima de nutrientes que vem sendo utilizada desde tempos antigos.

Segundo Jönsson *et al.* (2004) há falta de conhecimento atual com relação ao uso de urina e fezes como fertilizantes e a falta de pesquisas documentadas na área dificulta o desenvolvimento de orientações delineadas. Segundo Karak e Bhattacharyya (2011) os primeiros pesquisadores que utilizam urina humana como fertilizantes em experimento científicos foram Kirchmann e Pettersson (1995).

No Brasil poucas pesquisas são desenvolvidas com aplicações de urina humana em cultivo agrícola. As pesquisas científicas brasileiras documentadas, com aplicação de urina humana como fertilizante, tiveram início em 2007, com o trabalho de Silva *et al.* (2007), “Avaliação do desenvolvimento inicial da helicônia *bihai* em substrato inerte irrigado com

diferentes níveis de diluição de urina humana em casa de vegetação”. Costanzi *et al.* (2010) testaram o uso da urina no cultivo da gramínea *Zoysia japônica*; Batista (2011) utilizou a urina humana como fonte de nitrogênio para as forragens, *Brachiaria decumbens* e *Cynodon dactylon*, e, recentemente, Botto (2013) testou o uso de urina humana na produção da mamona, cultivar BRS nordestina, e na cultura do milho híbrido, objetivando avaliar a resposta da produtividade e do crescimento.

Urina é um recurso valioso de nutrientes, utilizado desde tempos antigos para aumentar o crescimento de plantas, hortaliças em particular (JÖNSSON *et al.*, 2004). É preciso perceber que, embora ainda existam empecilhos, tais como substituição de aparelhos sanitários e adequação das instalações intradomiciliares, além de muitos estudos a serem realizados, a reciclagem de nutrientes da urina para fins agrícolas é uma boa alternativa para solucionar o problema da escassez de rochas ricas em fosfatos, que futuramente pode gerar impactos na fabricação de fertilizantes e na produção de alimentos (LOURO *et al.*, 2012). De acordo com Driver *et al.* (1999), as reservas de rochas, ricas em fosfato são limitadas e seu ciclo de reposição pela natureza é extremamente lento. O uso de urina diluída como solução nutritiva em cultivo hidropônico deve ser avaliado como uma possibilidade de obtenção de produção de determinadas culturas em regiões áridas, semiáridas, áreas urbanas e periurbanas (SILVA *et al.*, 2007).

2.5 Manipueira

As agroindústrias processadoras de raízes de mandioca são fonte de emprego e renda para o produtor rural. O processo de beneficiamento das raízes gera quantidade de resíduos bastante significativos, entre estes se destaca a manipueira que é o líquido de constituição das raízes de mandioca. Segundo Araújo *et al.* (2012) a manipueira é extraída na etapa do processamento de prensagem da massa oriunda das raízes de mandioca raladas para a produção de farinha e/ou extração da fécula. Esta apresenta um aspecto leitoso, cor amarela clara e odor fétido, que pode causar sensações desagradáveis, se o indivíduo ficar inalando por muito tempo, no momento de sua extração. Segundo Fioretto (2001), uma tonelada de raiz de mandioca gera, em média, 600 litros de manipueira, sendo que na operação de prensagem, durante os processos de fabricação de farinha, 20 a 30% desse líquido são eliminados.

Takahashi (1987), Melo *et al.* (2006), Borghetti (2009), Araújo *et al.* (2012), apontam os efeitos adversos que a manipueira pode causar ao meio ambiente, se descartada de forma inadequada. As casas de farinha são fontes geradoras de produtos poluentes que podem afetar tanto a natureza como colocar em risco a saúde das pessoas que habitam suas proximidades, pois, estes lugares são propícios à proliferação de insetos, mosquitos e exalação muito forte de odores fétidos.

Segundo Marini e Marinho (2011) a manipueira apresenta potencial de uso para fertilização de plantas em cultivo orgânico, por conter macro e micronutrientes. A composição química da manipueira sustenta a potencialidade do composto como adubo, haja vista sua riqueza em potássio, nitrogênio, magnésio, fósforo, cálcio e enxofre, além de ferro e micronutrientes em geral (PANTAROTO & CEREDA, 2001). Fioretto (2001) confirma que a manipueira pode ser utilizada como fertilizante, de forma a se aproveitar e recircular os nutrientes no solo, evitando os despejos nos cursos d'água.

2.6 Hidroponia

O termo hidroponia é de origem grega: Hydro = água e Ponos = trabalho, cuja junção significa trabalho em água (ALMEIDA *et al.*, 2011). A hidroponia é uma técnica que consiste em cultivar as plantas sem utilizar solo, quer dizer, utiliza água e substâncias nutritivas nela diluídas (solução nutritiva), para o mantimento e o desenvolvimento do cultivo (SILVA *et al.*, 2007).

As primeiras tentativas de cultivo sem solo ocorreram por volta do ano de 1700, mas a hidroponia como técnica de cultivo comercial é recente (ALMEIDA *et al.*, 2011). Segundo Chaves e Lacerda (2013) para que a técnica hidropônica tivesse início, os cientistas primeiramente descobriram as exigências nutricionais das plantas, através da sua composição química, depois viram que era possível cultivar as plantas só no meio líquido, contendo os elementos químicos encontrados nos seus tecidos.

O cultivo de hortaliças com hidroponia é uma técnica que vem se aprimorando e conquistando adeptos no exterior e no Brasil, há vários anos, devido às suas vantagens em relação ao cultivo tradicional no solo (HIDROGOOD, 2010). De acordo com Martinez (2006), o cultivo hidropônico, quando comparado com o cultivo no solo, apresenta maior rendimento por área; possibilidade de utilização do espaço vertical da área de cultivo; os

produtos são de melhor qualidade; maior facilidade de execução de tratos culturais; melhor planejamento da produção; ciclo de cultivo mais curto; e eliminação de perdas de nutrientes por lixiviação, escoamento e/ou volatilização. As desvantagens são: maior acúmulo de nitratos por algumas hortaliças folhosas, custo de implantação, alto nível de tecnologia exigido e os riscos de contaminação ambiental com os efluentes da casa de vegetação, especialmente com nitratos.

A escolha do sistema hidropônico a ser empregado depende, entre outros fatores, do porte da espécie a ser cultivada e, principalmente, da disponibilidade e custo dos materiais com potencial de uso como substratos (ANDRIOLO *et al.*, 2004). Um substrato para “hidroponia” é o suporte para o desenvolvimento das raízes, limitado fisicamente no seu volume, isolado do solo, capaz de proporcionar à planta a água e os elementos nutritivos que necessita e às raízes a oxigenação necessária à sua respiração (CAÇO, 2013).

Segundo Martinez e Clemente (2011) os sistemas hidropônicos são classificados quanto ao substrato e fornecimento da solução nutritiva. Quanto ao substrato estes podem ser de duas ou três fases. O de duas fases apresenta uma fase líquida, composta por água e nutrientes e uma gasosa, que corresponde ao ar misturado à solução. No de três, há uma fase sólida (composta por materiais orgânicos ou inorgânicos) adicional denominada por substrato que age como enchimento e é banhada pela fase líquida, onde se aloja a gasosa. Quanto ao fornecimento da solução nutritiva, elas podem ser circulantes, não circulantes e solução estática aerada. Os materiais orgânicos utilizados como substrato nos cultivos hidropônicos são turfas, cascas, serragem, composto de lixo e lodo de esgoto; os inorgânicos são areia, cascalho, lã mineral, espumas sintéticas, vermiculita e argila expandida.

Na realidade, a condução das culturas em “hidroponia” pressupõe a existência de um sistema de fertirrega capaz de pequenas dotações fracionadas ao longo do dia, ajustadas em função da capacidade do substrato, do volume utilizado por planta, do tamanho da planta e das condições climáticas envolventes (CAÇO, 2013).

As soluções nutritivas constituem-se no ponto principal do cultivo hidropônico, uma vez que elas determinam o crescimento das plantas e a qualidade do produto final. Uma solução nutritiva bem equilibrada, e fornecida adequadamente, é o fundamento maior da hidroponia. Composições diversas de soluções nutritivas têm sido formuladas, em função da cultura e da técnica hidropônica (MÜLLER *et al.*, 2006).

Os sistemas hidropônicos de produção de plantas atualmente em uso passaram por diversas modificações, desde as primeiras experiências realizadas há décadas, para se adaptar

às condições ambientais e socioeconômicas das distintas regiões de produção (ANDRIOLO *et al.*, 2004).

Recentemente, a técnica hidropônica foi adaptada para a produção de volumoso de milho, para servir de alimento a bovinos, na época da seca, com custo de produção mais baixo do que o de pastagens convencionais e com valor nutritivo alto, principalmente em proteínas, devido à fase em que as plantas são colhidas e disponibilizadas para a alimentação dos animais (ARAÚJO *et al.*, 2008).

2.7 Forragem Verde Hidropônica (FVH)

O estudo de novas tecnologias de suplementação alimentar é importante para que a pecuária brasileira não sofra redução na sua produtividade em épocas de déficit alimentar (épocas secas ou frias do ano), em que a produção e a qualidade da forragem das espécies nativas fica aquém das exigências nutricionais dos animais (MÜLLER *et al.*, 2006).

Nas condições do semiárido, onde em determinadas épocas do ano as condições climáticas, inviabilizam a produção de alimentos para os animais, a forragem hidropônica de milho apresenta-se não como opção para engorda do rebanho e sim uma das poucas alternativas alimentares para sobrevivência do rebanho dos pequenos produtores na época das estiagens (SOUSA *et al.*, 2012). Em conformidade com Rocha *et al.* (2007), em período seco, os pecuaristas da região Nordeste encontram dificuldades de obter alimentos volumosos, o que acaba sendo um fator limitante para o desenvolvimento de uma das principais atividades econômicas do Brasil. Assim, a utilização da forragem hidropônica pode ser uma opção para atender às dificuldades de produção de pecuaristas que, muitas vezes, não dispõem de quantidade suficiente de alimentos para fornecer aos animais, nem mesmo área física para o plantio de pastagens, dificultando assim a terminação dos mesmos e, portanto, o incremento de suas rendas (MÜLLER *et al.*, 2006).

O cultivo da forragem hidropônica de milho (*Zea mays* L.) vem crescendo e representa uma alternativa prática e econômica ao pequeno produtor, possibilitando a obtenção de forragem de grande valor proteico e energético, o ano todo e principalmente no período de estiagem (PAULINO *et al.*, 2004).

Segundo Rocha *et al.* (2007) a forragem hidropônica consiste no cultivo de espécies forrageiras em substrato irrigado com solução nutritiva, apresentando como principais

vantagens, o uso de diferentes espécies forrageiras; maior produtividade por unidade de área; eliminação do uso de defensivos agrícolas e ciclo de produção mais curto, com menor efeito dos fatores meteorológicos.

2.8 Bagaço de cana-de-açúcar

O bagaço da cana-de-açúcar é um subproduto resultante da extração do caldo após esmagamento nas moendas e pode ser considerado como o maior resíduo da agroindústria brasileira (SANTOS *et al.*, 2012). Em conformidade com Teixeira *et al.* (2007) embora o bagaço seja utilizado como combustível para as caldeiras nas próprias usinas, sobra um excedente equivalente a 20% do total gerado, que vem causando sérios problemas de estocagem e de poluição ambiental. Para minimizar os impactos negativos que podem ser provocados pela falta de gestão do excedente do bagaço de cana-de-açúcar, no Brasil, este material vem sendo utilizado como ração animal e na agricultura.

O valor nutritivo desse resíduo lignocelulósico é baixo, devido às ligações que ocorrem na parede celular entre a celulose, a hemicelulose e a lignina (TEIXEIRA *et al.*, 2007). Para que o bagaço seja melhor aproveitado na alimentação de ruminantes, Souza e Santos (2002) sugerem que este passe por processos de tratamento físico-químico, conhecidos como auto-hidrólise e amonização de subprodutos agrícolas e agroindustriais via solução de ureia. Os tratamentos químicos e físicos utilizados para melhorar a qualidade do bagaço de cana-de-açúcar, visam eliminar ou diminuir os efeitos prejudiciais da lignina sobre a degradação de compostos celulósicos pelos microrganismos do rúmen, promovendo a ruptura das complexas ligações químicas daquele componente com a celulose e hemicelulose, disponibilizando o material, teoricamente, para adesão da população microbiana e ataque enzimático fibrolítica (VAN SOEST, 1994 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2007).

A auto-hidrólise é uma forma de tratar o bagaço a temperatura e pressão altas, com a finalidade de melhorar o valor nutritivo (SOUZA & SANTOS, 2002). O tratamento químico, atualmente, é o método mais eficiente de incrementar o valor nutritivo dos materiais fibrosos para uso na alimentação animal, com a vantagem de não afetar a atividade microbiana do rúmen (SOUZA & SANTOS, 2002). Uma alternativa interessante é a ureia, por ser considerada produto de alta disponibilidade, menos perigosa à intoxicação humana e, muitas

vezes, menos onerosa, tornando-se, portanto, viável como fonte de amônia (TEIXEIRA *et al.*, 2007).

Segundo Santos *et al.* (2012), na agricultura, o bagaço pode ser utilizado *in natura* (na conservação da umidade do solo, minimizando os efeitos da estiagem e como fertilizante do solo) ou como composto enriquecido (humificado, obtido através de um processo biológico de transformação da matéria orgânica crua em substâncias húmicas estabilizadas, com características diferentes da matéria prima utilizada) que é de grande valor fertilizante para as plantas.

2.9 A cultura do milho

O milho é uma planta forrageira destacadamente utilizada em silagem, devido à grande produção de forragem e composição da planta, resultando em fermentação adequada no silo e silagem de grande valor nutritivo (VITÓRIA *et al.*, 2012). É considerada uma das mais importantes plantas cultivadas comercialmente, com origem no continente americano, provavelmente na América Central ou Sudoeste dos Estados Unidos da América do Norte (GIMENES *et al.*, 2008). Além do mais o milho é ‘produzido em quase todos os continentes, sendo sua importância econômica caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vão desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia, como a produção de filmes e embalagens biodegradáveis’ (PAES, 2006).

O milho (*Zea mays* L.) vem sendo utilizado na América Latina desde os tempos mais remotos, como a principal e a mais tradicional fonte alimentar, ocupando hoje posição de destaque entre os cereais cultivados no mundo, precedido apenas pela cultura do trigo (BRITO *et al.*, 2010). É considerado muito nutritivo, por isso é utilizado tanto para alimentação humana como animal (REIS *et al.*, 2009).

A cultura do milho no Brasil é de grande importância para o agronegócio nacional, além de ser base de sustentação para a pequena propriedade, devendo ser interpretada sob a ótica da cadeia produtiva ou dos sistemas agroindustriais, visto ser o milho insumo para diversos produtos (DUARTE *et al.*, 2008 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2009). Embora o milho seja a principal cultura utilizada como forragem no Brasil, sua produtividade não tem atingido índices desejáveis, em nível de fazenda, devido à não observância de um sistema de produção adequado (SILVA, 2013).

Em conformidade com Rodrigues e Silva (2011), as cultivares comerciais de milho, disponíveis para o produtor, são classificadas quanto ao ciclo e tipo da cultura. Quanto ao ciclo, são classificadas em superprecoces, precoces e normais (tardias) e quanto ao tipo são classificadas em híbridas e polinização aberta (variedades).

O ciclo da cultura do milho compreende cinco etapas de desenvolvimento (SEMENTES AGROCERES, 2013):

- **Germinação e emergência:** Ocorre entre a sementeira e o aparecimento da plântula, cujo período varia entre 4 e 12 dias, em consequência da temperatura e umidade do solo.
- **Crescimento vegetativo:** Iniciado a partir da emissão da segunda folha até o início do florescimento, cuja extensão varia em decorrência do genótipo e de fatores climáticos, caracterizando e classificando diferentes genótipos entre ciclos superprecoces, precoces e normais;
- **Florescimento:** Estabelecido entre o início da polinização e o da frutificação;
- **Frutificação:** Compreendida entre a fecundação e o enchimento completo dos grãos, cuja duração varia entre 40 e 60 dias;
- **Maturidade:** Período compreendido entre o fim da frutificação e o aparecimento da camada negra, sendo esse relativamente curto e indicativo do fim do ciclo de vida da planta.

O milho responde progressivamente a altas adubações, principalmente em relação ao nitrogênio e ao potássio, desde que outros fatores não sejam limitantes, uma vez que estes nutrientes são extraídos em grandes quantidades por ocasião da colheita para forragem (BORGHI *et al.*, 2007).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa foi desenvolvida no Campus I da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), na cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, nordeste do Brasil, cujas coordenadas geográficas de referência são 7° 13' 50" de Latitude (S), 35° 52' 52" de Longitude (W) e 551 m de altitude.

A investigação experimental ocorreu em duas etapas. Na primeira, além da construção de uma casa de vegetação, foram realizadas coleta, armazenamento e caracterização físico-química de urina humana e diluições de urina em água de abastecimento; coleta, tratamento e caracterização química de bagaço de cana de açúcar, utilizado como substrato. Também foi realizado um experimento (Experimento I) com o cultivo de forragem verde hidropônica (FVH) de milho, fertirrigado com urina humana diluída.

Na segunda etapa, foram realizadas coleta, armazenamento e caracterizações físico-químicas de urina humana e manipueira, além de diluições de urina em água de abastecimento adicionada de manipueira. Também foi desenvolvido um experimento (Experimento II) com o cultivo de forragem verde hidropônica de milho, fertirrigado com urina humana diluída adicionada de manipueira.

3.1 Primeira etapa

3.1.1 Casa de vegetação

Os experimentos foram montados em uma casa de vegetação construída com estrutura de madeira, modelo “capela”, com 5 m de comprimento, 3 m de largura e 2,5 m de altura. A casa de vegetação, ambiente controlado quanto à radiação solar e precipitações, foi circundada com telas laterais de polipropileno, com capacidade de retenção de 30% da luz e coberta com polietileno de baixa densidade (PEBD). No interior da casa de vegetação foram instaladas duas bancadas para suporte das células hidropônicas, confeccionadas a partir de bandejas de plástico com 45 cm de comprimento, 29 cm de largura e 4,0 cm de profundidade (Figura 1).

Figura 1 – Casa de vegetação, modelo “capela”, com bancadas e células hidropônicas. Campina Grande – PB, 2014.



Fonte: Araújo (2014).

3.1.2 Coleta, armazenamento e caracterização físico-química da urina humana

A urina humana foi coletada durante uma semana, em três residências de Campina Grande, no Distrito de São José da Mata e armazenada em um recipiente de plástico hermeticamente fechado, por período de um mês, antes de começar a ser utilizada no Experimento I. Logo após esse período foram determinados pH, Condutividade Elétrica (CE), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Cloreto (Cl^-), Fósforo Total (PT), Ortofosfato (P-PO_4^{-3}), Nitrogênio Amoniacal (N-NH_4^+), Nitrogênio Total Kjeldhal (NTK), Potássio (K), Sódio (Na) e Coliformes Termotolerantes (CTT).

A urina foi diluída em água de abastecimento nas proporções de 3, 6, 9, e 12% para determinações de pH, Condutividade Elétrica (CE), Cloreto (Cl^-), Fósforo Total (PT), Ortofosfato (P-PO_4^{-3}), Nitrogênio Amoniacal (N-NH_3), Nitrogênio Total Kjeldhal (NTK), Potássio (K) e Sódio (Na).

3.1.3 Coleta, tratamento e caracterização do substrato

O substrato, bagaço de cana de açúcar, foi adquirido no Engenho Triunfo, Município de Areia/PB, distante 49 km de Campina Grande. O tratamento dado ao bagaço foi a trituração em máquina forrageira e secagem, ao ar livre, sobre lona. Uma amostra do bagaço foi

coletada para determinação de Fósforo (P), Nitrogênio (N) (RODRIGUES, 2010), Potássio (K), Enxofre (S), Ferro (Fe) e Sódio (Na) (SILVA, 1999).

3.1.4 Experimento I

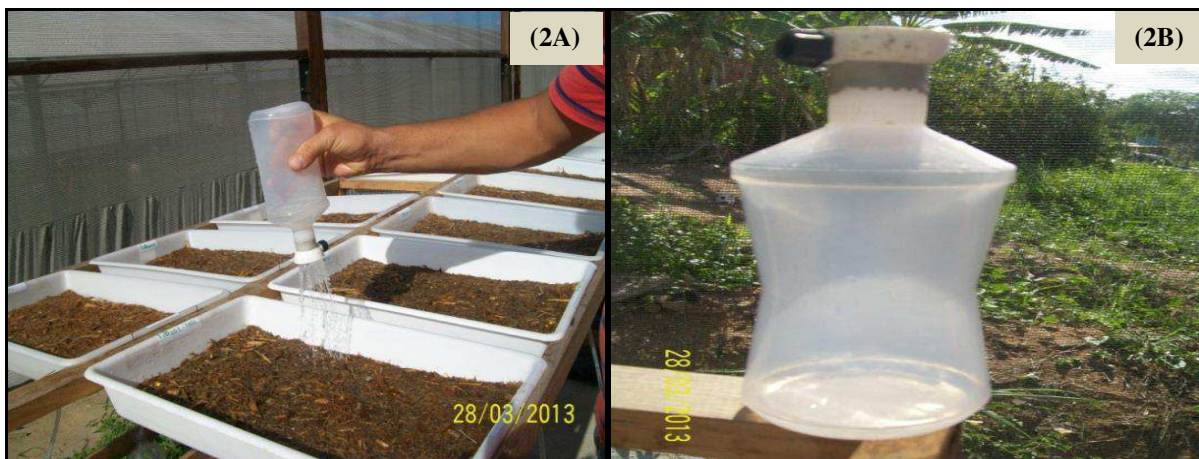
Este experimento, realizado para avaliar a produtividade e desenvolvimento vegetativo da forragem verde hidropônica de milho fertirrigado com urina humana diluída em água de abastecimento, foi levado a efeito entre 25 de março e 11 de abril de 2013.

O experimento foi constituído de cinco tratamentos, distribuídos em quatro blocos ao acaso, o que correspondeu a 20 células hidropônicas, distanciadas 15 cm entre si e cada célula com 2% de declividade.

O sistema hidropônico utilizado foi de três fases (líquido com nutriente, ar e substrato) e não circulante (sem recirculação das soluções fertirrigantes), com utilização de substrato vegetal, bagaço de cana de açúcar. Em cada célula foram espalhadas, de forma homogênea, 80 g do substrato, antes da semeadura do milho. Em seguida, as sementes foram recobertas com outra camada homogênea de 70 g de substrato. Foram utilizadas sementes de milho não tratadas quimicamente, com densidade de semeadura de $2,5 \text{ kg/m}^2$, de acordo com FAO (2001), ou seja, em cada célula ($0,1305 \text{ m}^2$) foram semeados 326,3 g do milho. Para acelerar o processo germinativo, antes da semeadura as sementes foram submetidas à hidratação, sendo embebidas em água por período de 24 horas (pré-germinação). Após este tempo e feita a drenagem da água, foi procedida a semeadura, a lanço.

Durante o período de germinação (cinco dias após a semeadura) as células foram irrigadas três vezes ao dia com água de abastecimento. Após este período, foram iniciadas as fertirrigações, com aplicação ($6 \text{ L/m}^2 \cdot \text{d}$) da solução nutritiva e das respectivas diluições de urina, três vezes ao dia, durante um período de 9 dias (Figura 2A), com auxílio de um mini-regador, confeccionado a partir de uma pinceta (Figura 2B). O líquido percolado de cada célula era drenado, através de drenos com 3 mm de diâmetro, para garrafas PET, sendo descartado posteriormente.

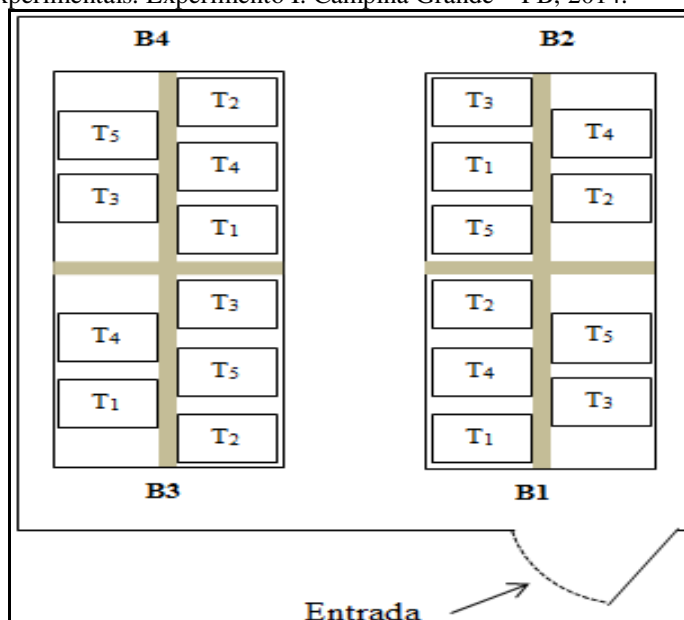
Figura 2 – Procedimento de irrigação das células hidropônicas (2A) e detalhe do minirregador (2B). Campina Grande – PB, 2014.



Fonte: Araújo (2014).

Uma das células era fertirrigada com solução nutritiva (Tratamento 1 – T₁) e as outras, com urina diluída nas seguintes proporções: 3% (Tratamento 2 – T₂), 6% (Tratamento 3 – T₃), 9% (Tratamento 4 – T₄) e 12% (Tratamento 5 – T₅), conforme o esquema da Figura 3.

Figura 3 – Croqui da casa de vegetação e bancadas com esquema de distribuição dos tratamentos nas células experimentais. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.



Fonte: Araújo (2014).

A temperatura na casa de vegetação foi monitorada três vezes ao dia (entre 7 h e 7 h 30 min; entre 11 h 30 min e 12 h e entre 17 h e 17 h 30 min), durante todo o período de realização do experimento. Para tal foi instalado um termômetro analógico a 1,5 m de altura em relação ao solo.

Para manter o pH das diluições de urina na faixa recomendada para o cultivo de forragem verde hidropônica, 5,2 a 7,0 (FAO, 2001), o pH era ajustado para 6,4, com solução de ácido sulfúrico.

A solução nutritiva utilizada no tratamento 1, foi preparada a partir de duas soluções concentradas (“A” e “B”, Tabela 4) de acordo com as recomendações do Manual Técnico da FAO (2001). Diariamente, antes da irrigação, eram preparados 6 litros contendo respectivamente, 1,25 mL/L da solução “A” e 0,5 mL/L da solução “B”.

Tabela 4 – Reagentes utilizados na preparação das soluções concentradas “A” e “B”.

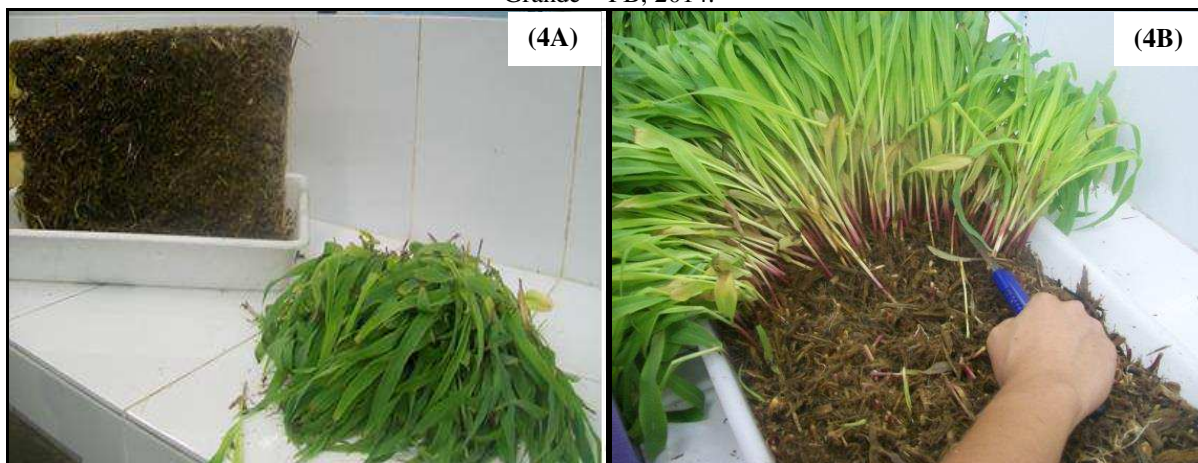
Solução “A”	Fórmula química	C. A. S.	Quantidade (g) para 10 L de água
Monofosfato de Amônio	NH ₄ H ₂ PO ₄	7722-76-1	340,00
Nitrato de Cálcio	Ca(NO ₃) ₂ .4 H ₂ O	13477-34-4	2.080,00
Nitrato de Potássio	KNO ₃	7757-79-1	1.100,00
Solução “B”			Quantidade (g) para 4 L de água
Sulfato de Magnésio	MgSO ₄ .7 H ₂ O	10034-99-8	492,00
Sulfato de Cobre	CuSO ₄ .5 H ₂ O	7758-99-8	0,48
Sulfato de Manganês	MnSO ₄ .H ₂ O	10034-96-5	2,48
Sulfato de Zinco	ZnSO ₄ .H ₂ O	7446-19-7	1,20
Ácido Bórico	H ₃ BO ₃	10043-35-3	6,20
Molibdato de Amônio	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4 H ₂ O	12027-67-7	0,02
Quelatos de Ferro	Fe ₂ (SO ₄) ₃ .XH ₂ O	10028-22-5	50,00

Legenda: C. A. S.: Chemical Abstracts Service.

Fonte: Adaptado da FAO (2001).

Após os 9 dias de fertirrigação, todas as células foram irrigadas somente com água de abastecimento. No 11º dia, após a germinação, foi determinada a altura da forragem (AF), com auxílio de uma trena. Coletados, a parte aérea foi separada do sistema radicular mais substrato (Figura 4A) da forragem verde hidropônica (cortando as plantas com um estilete rente ao substrato, Figura 4B). Em seguida foram determinadas a massa verde da parte aérea (MVPA) e massa verde do substrato com raízes (MVSR) com pesagem em uma balança de precisão de 1,0 mg.

Figura 4 – Fracionamento, parte aérea e raízes com substrato da forragem verde hidropônica. Campina Grande – PB, 2014.



Fonte: Araújo (2014).

Após as determinações das massas verdes, a parte aérea e o substrato com raízes foram colocados em sacos de papel, previamente furados e identificados, para secagem em estufa com temperatura controlada (65 °C) e circulação forçada de ar, por um período de 72 horas. Assim, após a secagem, foram determinadas massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca do substrato com raízes (MSSR).

3.2 Segunda etapa

3.2.1 Coleta, armazenamento e caracterização da urina e manipueira

A urina foi coletada durante uma semana, em quatro residências de Campina Grande, uma no Bairro Bodocongó e três no Distrito de São José da Mata. O armazenamento e caracterização da urina seguiram os mesmos procedimentos da primeira etapa.

A manipueira utilizada foi coletada em um reservatório de uma casa de farinha instalada no Distrito de Jenipapo, Município de Puxinanã, PB e armazenada em recipiente hermeticamente fechado, por período de uma semana, antes de ser utilizada. A urina foi diluída, também em água de abastecimento, mas nas diluições de 1, 2, 3, 4 e 5%, mais adição de manipueira, até pH igual a 6,4. Em seguida foram realizadas as caracterizações físico-químicas da urina, manipueira e referidas diluições.

3.2.2 Experimento II

Este experimento foi realizado no período de 31 de maio a 16 de junho de 2013. O procedimento operacional foi idêntico ao realizado no experimento I, no que diz respeito, ao sistema hidropônico, irrigação/fertirrigação, delineamento experimental, tempo de cultivo, densidade de semeadura, solução aplicada ao tratamento testemunha (Tratamento 1 - T₁), variáveis analisadas e monitoramento da temperatura. No entanto, a taxa de irrigação, as camadas de substrato e tratamentos aplicados foram diferentes.

Os tratamentos foram compostos por doses de 0% (Tratamento 1 - T₁), 1% (Tratamento 2 - T₂), 2% (Tratamento 3 - T₃), 3% (Tratamento 4 - T₄), 4% (Tratamento 5 - T₅) e 5% (Tratamento 6 - T₆) de urina humana diluída em água de abastecimento público mais manipueira, que serviu como regulador do pH e coadjuvante, pois este efluente apresenta característica ácida e quantidade significativa de nutrientes. Desta forma, o pH das dosagens (1 a 5%) foi ajustado para pH de 6,4. Os volumes de manipueira utilizados na correção do pH, por litro de solução fertilizante, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Volumes de manipueira utilizados da correção do pH, por litro de diluição de urina. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.

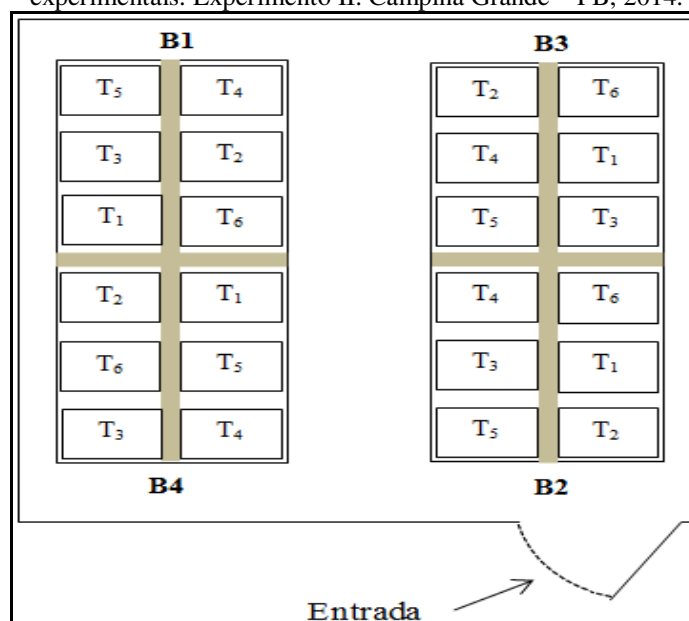
Diluições de urina (%)	V. M/L (mL/L)
1	20,0
2	35,0
3	45,0
4	67,5
5	87,5

Legenda: V.M./L (mL/L): Volume de Manipueira por litro de urina diluída.

Fonte: Araújo (2014).

A Figura 5 apresenta o croqui com distribuição das células hidropônicas, referente a cada tratamento no respectivo bloco.

Figura 5 – Croqui da casa de vegetação e bancadas com os tratamentos distribuídos nas células experimentais. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.



Fonte: Araújo (2014).

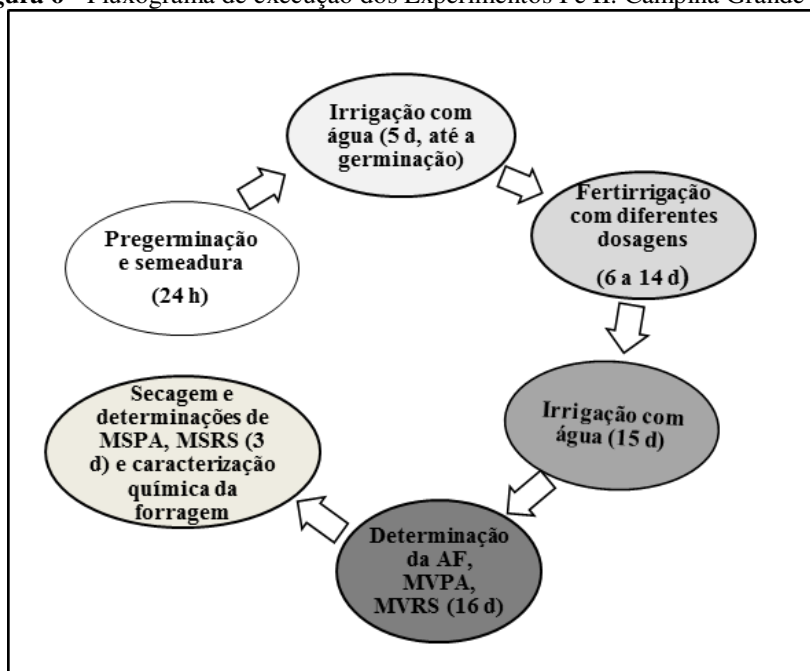
Em cada célula hidropônica foram espalhadas 150 g de substrato e feita a semeadura do milho. Em seguida, as sementes foram cobertas com outra camada homogênea de 120 g do substrato.

Neste experimento, a camada elevada de substrato (270 g) garantiu uma maior retenção do líquido aplicado, quando comparada com a camada do substrato do experimento I (150 g). Assim, foi possível uma redução das taxas de irrigação e fertirrigação, utilizadas no experimento I (6 L/m².d) para taxas de 5 L/m².d.

A irrigação era realizada até a germinação (5 dias após a semeadura) e fertirrigação até o 9º dia de cultivo, após a germinação. No 10º dia, após a germinação, as células foram irrigadas apenas com água e no 11º dia foi determinada a altura da forragem, coleta e pesagem da parte aérea e das raízes com substrato, segundo metodologia descrita para o primeiro experimento.

As sequências de execução dos experimentos (Experimentos I e II) estão ilustradas no fluxograma da Figura 6.

Figura 6 - Fluxograma de execução dos Experimentos I e II. Campina Grande – PB, 2014.



Fonte: Araújo (2014).

3.3 Métodos analíticos

3.3.1 Para os efluentes

As análises físico-químicas da urina, manipueira e diluições seguiram as técnicas padrões do “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” (APHA *et al.*, 2005). A Tabela 6 apresenta um resumo dos parâmetros e metodologias analíticas utilizadas nas análises físico-químicas da urina e de suas diluições e também da manipueira.

Tabela 6 – Parâmetros e metodologia analítica utilizada nas análises físico-químicas da urina, suas diluições e manipueira. Campina Grande – PB, 2014.

Parâmetro	Método analítico	Normatização
pH	Eletrométrico	APHA, 4500 H ⁺ B
CE	Potenciométrico	APHA, 5520 B
DQO	Refluxação fechada	APHA, 5220 C
Cl ⁻	Argentométrico (Mohr)	APHA, 4500 - Cl ⁻ B
Fósforo Total	Persulfato/ácido ascórbico	APHA, 4500 - P E
Ortofosfato	Ácido ascórbico	APHA, 4500 - P E
Amônia	Titulométrico	APHA, 4500 - NH ₃ C
NTK	Semi-micro-Kjeldahl	APHA, 4500 - N _{org} C
K	Fotometria de Chama	APHA, 3500 - K B
Na	Fotometria de Chama	APHA, 3500 - Na B

Legenda: pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade Elétrica; DQO: Demanda Química de Oxigênio; Cl⁻: Cloreto; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; K: Potássio e Na: Sódio.

Fonte: Araújo (2014).

3.3.2 Para o tecido vegetal

Para as determinações químicas, as amostras secas foram trituradas em moinho tipo Willey.

Na determinação do fósforo, um extrato foi preparado através da digestão sulfúrica para posterior tratamento químico de uma alíquota do extrato e determinação da absorbância por espectrofotometria em curva de 660 nm, segundo metodologia proposta por Rodrigues (2010).

O nitrogênio foi determinado através do método da destilação – titulação (Kjeldahl); sódio, potássio e cálcio, após digestão seca a 500 °C em mufla elétrica, por fotometria de chama e enxofre, também após digestão seca, por espectrofotometria, segundo metodologia descrita por Silva (1999).

3.4 Procedimentos estatísticos

Os resultados das variáveis, altura da forragem (AF), produtividade (MVPA, MSPA, MVSR e MSSR), nutrientes (N, P, K, Ca, S) e elemento tóxico (Na) da parte aérea e das raízes com substrato, obtidas nos experimentos (Experimentos I e II), foram submetidos à análise de regressão, com auxílio do software ASSISTAT v. 7.6 Beta, e interpretados estatisticamente através da regressão na análise de variância, buscando ajustar modelos de tendência. Os modelos foram selecionados com base na significância, indicada pelo teste F, e nos valores dos coeficientes de determinação (R^2).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterizações físico-químicas da urina, substrato, solução nutritiva, diluições de urina humana e monitoramento da temperatura (Primeira etapa)

Na Tabela 7 estão apresentados os valores médios da caracterização físico-química da urina humana, após um mês de armazenada. O potencial hidrogeniônico (pH) apresentou valor médio de 9,2; a condutividade elétrica (CE) de 49,4 mS/cm; demanda química de oxigênio (DQO) de 11068 mgO₂/L; cloreto (Cl) de 6775 mgCl/L; nitrogênio total Kjeldhal (NTK) de 6631 mgN/L; nitrogênio amoniacal (N - NH₃) de 6506 mg N - NH₃/L; fósforo total (PT) de 449,4 mgP/L; ortofosfato (P - PO₄⁻³) de 361,4 mg P - PO₄⁻³/L; potássio (K) de 239,7 mgK/L; sódio (Na) de 544,1 mgNa/L e ausência de coliformes termotolerante (CTT).

Tabela 7 - Caracterização físico-química da urina utilizada no experimento I. Campina Grande – PB, 2014.

Parâmetros Analisados										
pH	CE	DQO	Cl	NTK	N - NH ₃	PT	P - PO ₄ ⁻³	K	Na	CTT
-	mS/cm				mg/L					UFC/100mL
9,2	49,4	11068	6775	6631	6506	449,4	361,4	239,7	544,1	Ausente

Nota: pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade Elétrica; DQO: Demanda Química de Oxigênio; PT: Fósforo total; P - PO₄⁻³: Ortofosfato; K: Potássio; Na: Sódio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldhal; N - NH₃: Nitrogênio Amoniacal; Cl: Cloreto e CTT: Coliformes Termotolerantes.

Fonte: Araújo (2014).

Segundo Prado (2014) valores de pH de uma solução nutritiva abaixo de 4 afetam a integridade das membranas (H⁺ afeta as células, a permeabilidade das membranas), podendo haver perda de nutrientes já absorvidos e também afeta a disponibilidade de cátions e pH maior que 6,5 promovendo a redução da disponibilidade dos macronutrientes Ca e P, e dos micronutrientes Mn, Cu, Zn e B, pela formação de precipitados, além de reduzir o transporte do nutriente para o interior das células. A absorção de nutrientes pela raiz é afetada pelo pH ou acidez do meio, que sendo eles de valores muito baixos ou muito altos influenciam negativamente no desempenho produtivo das plantas (ALMEIDA *et al.*, 2011).

A condutividade elétrica (CE) de uma solução é a expressão numérica quantitativa da sua capacidade de transportar a corrente elétrica em decorrência das concentrações de sais presentes no meio. De acordo com Silva *et al.* (2012) concentrações elevada de sais solúveis podem afetar seriamente o desenvolvimento e a produção de muitas culturas, pois a medida que a concentração de sais aumenta na solução nutritiva o potencial osmótico reduz, requerendo assim uma energia maior da planta para absorver a água, podendo comprometer o desenvolvimento da planta por um estresse hídrico.

As necessidades nutricionais de qualquer planta são determinadas pela quantidade de nutrientes que ela extrai durante o seu ciclo, sendo que a extração do nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumentam linearmente com o aumento na produção, e que a maior exigência do milho refere-se a nitrogênio e potássio, seguindo-se cálcio, magnésio e fósforo (COELHO & FRANÇA, 2014).

O nitrogênio é uma dos macronutriente muito importante para as plantas, pois segundo Camargo e Silva (1987), faz parte integrante das proteínas, da clorofila e das enzimas. Sua aplicação em quantidades adequadas pode favorecer o crescimento da raiz, devido ao fato de que o crescimento da parte aérea aumenta a área foliar e a fotossíntese, e, com isso, maior fluxo de carboidratos para a raiz, favorecendo o seu crescimento (PRADO, 2013).

O fósforo é crucial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese. É também componente estrutural dos ácidos nucléicos de genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídeos (GRANT *et al.*, 2001).

Nas plantas a deficiência de potássio diminui a fotossíntese e aumenta a respiração, reduzindo o suprimento de carboidratos, e conseqüentemente o crescimento da planta segundo (CAMARGO & SILVA, 1987).

Os valores da caracterização química do bagaço de cana-de-açúcar, utilizado como substrato, nas células hidropônicas, estão apresentados na Tabela 8. O substrato apresentou 6825 mgN/kg de nitrogênio; 3227 mgP/kg de fósforo; 4358 mgK/kg de potássio; 5,9 mgS/kg de enxofre; 100,0 mgCa/kg de cálcio; 62 mgFe/kg de ferro e 194,7 mgNa/L de sódio.

Tabela 8 - Caracterização química do bagaço de cana-de-açúcar, utilizados no experimento. Campina Grande – PB, 2014.

Parâmetros Analisados						
N	P	K	S	Ca	Fe	Na
6825	3227	4358	5,9	100,0	62,7	194,7

Legenda: N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; S: Enxofre; Ca: Cálcio; Fe: Ferro; Na: Sódio.

Fonte: Araújo (2014).

A Tabela 9 apresenta os resultados da caracterização físico-química da solução nutritiva e das diluições de urina humana em água de abastecimento. A solução nutritiva preparada pelos fertilizantes sintéticos apresentou pH de 6,97; condutividade elétrica de 1,69 mS/cm; nitrogênio total Kjeldhal de 3,0 mgN/L; nitrogênio amoniacal de 2,4 mgH₃/L; fósforo total de 12,2 mgP/L; ortofosfato de 9,3 mgP-PO₄⁻³/L; potássio de 7,3 mgK/L; cloreto

de 248 mgCl/L e 16 mgNa/L de Sódio. Para as diluições da urina em água de abastecimento, o que era esperado foi constatado através da análise físico-química – ao aumentar a concentração das soluções (urina + água) ocorreu aumento na concentração de todos os parâmetros analisados – com destaque para o pH e CE que chegaram a 8,92 e 6,14 mS/cm com 12% de urina, respectivamente.

Tabela 9 - Caracterização físico-química da solução nutritiva e das diluições de urina utilizadas no experimento I. Campina Grande – PB, 2014.

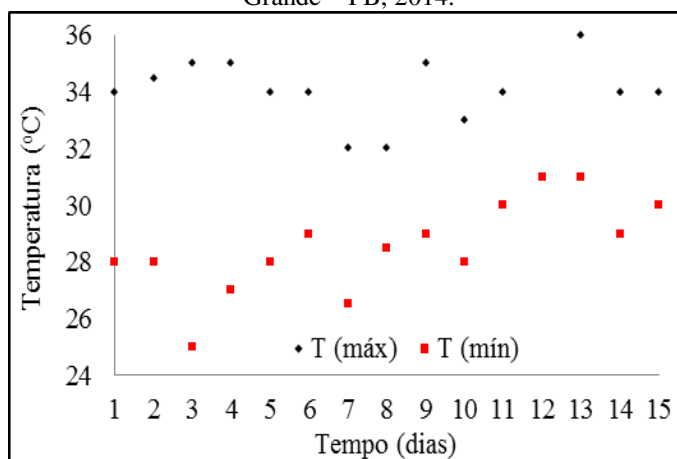
Tratamentos	Parâmetros Analisados								
	NTK	H-NH ₃	PT	P-PO ₄ ⁻³	K	Cl	Na	pH	CE
				mg/L				-	mS/cm
T ₁ (0%)	3,0	2,4	12,2	9,3	7,3	248	16,0	6,97	1,69
T ₂ (3%)	270	207	16,6	5,5	1,6	583	17,4	8,69	2,38
T ₃ (6%)	450	381,2	24,7	6,0	3,6	797	21,3	8,69	3,73
T ₄ (9%)	690,4	618,3	40,8	8,5	5,4	1005	25,4	8,90	4,88
T ₅ (12%)	931	840	55	13,7	7,2	1180	29,3	8,92	6,14

Legenda: NTK: Nitrogênio Total Kjeldhal; N-NH₃: Nitrogênio Amiacal; PT: Fósforo total; P-PO₄⁻³: Ortofosfato; K: Potássio; Cl: Cloreto; Na: Sódio; pH: Potencial hidrogeniônico e CE: Condutividade Elétrica.

Fonte: Araújo (2014).

As temperaturas máximas e mínimas diárias monitoradas durante o período de realização do experimento I estão ilustradas na Figura 7. Durante a realização do experimento, a média da temperatura máxima foi de 34,3 °C e a da mínima de 28,53 °C.

Figura 7 – Temperaturas máximas e mínimas diárias (°C) registradas durante o experimento I. Campina Grande – PB, 2014.



Fonte: Araújo (2014).

4.2 Caracterizações físico-químicas da urina, manipueira, solução nutritiva, diluições de urina humana adicionada de manipueira e monitoramento da temperatura (Segunda etapa)

Os resultados da caracterização físico-química da urina e manipueira estão apresentados nas Tabelas 10 e 11, respectivamente.

De acordo com os dados da Tabela 10, na urina humana, após um mês de armazenada, apresentou pH de 9,0 unidades de pH; 42,63 mS/cm de condutividade elétrica; 20636 mgO₂/L de demanda química de oxigênio; 6103 mgCl⁻/L de cloreto; 6889 mgN/L de nitrogênio total Kjeldhal; 5760 mgN - NH₃/L de nitrogênio amoniacal; 404 mgP/L de fósforo total; 393 mgP - PO₄⁻³/L de ortofosfato; 202 mgK/L de potássio; 675 mgNa/L de sódio e ausência de coliformes termotolerantes.

Tabela 10 - Caracterização físico-química da urina utilizada no experimento II. Campina Grande – PB, 2014.

Parâmetros Analisados										
pH	CE	DQO	Cl ⁻	NTK	NH ₄ ⁺	PT	P – PO ₄ ⁺	K	Na	CTT
-	mS/cm					mg/L				UFC/100 mL
9,0	42,6	20636	6103	6889	5760	404	393	202	675	Ausente

Legenda: pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade Elétrica; DQO: Demanda Química de Oxigênio; PT: Fósforo total; P – PO₄⁺: Ortofosfato; K: Potássio; Na: Sódio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; N – NH₄⁺: Nitrogênio Amoniacal; Cl⁻: Cloreto e CTT: Coliformes Termotolerantes.

Fonte: Araújo (2014).

Os resultados das caracterizações físico-químicas da urina humana, após 30 dias de armazenamento (Tabelas 7 e 10), estão bem próximos aos referenciados, pois ao caracterizar urina humana Zancheta (2007) encontrou 7435 mgN/L de NTK; 407 mgP/L de fósforo total; 1662 mgK/L de potássio; 7896 mgO₂/L de DQO; 6000 mgCl⁻/L de cloreto; condutividade elétrica de 49,0 mS/cm; pH de 9,0 e ausência de coliformes termotolerantes, após 21 dias de armazenamento. Rios (2008) encontrou concentrações de 5300 mgN/L de NTK; 3500 mgN - NH₃/L de amônia; 300 mgP/L de fósforo total; 9300 mgCl⁻/L de cloreto; 6300 mgO₂/L de DQO; 44,44 mS/cm de CE; pH de 8,73 e ausência de coliformes termotolerantes. Costanzi *et al.* (2010) encontrou valores médios de 9,32 para o pH; 71,775 mS/cm de CE; 1763,8 mgN - NH₃/L de nitrogênio amoniacal; 4132,2 mgN/L de NTK e 756,6 mgK/L de potássio. Ao caracterizar urina humana armazenada por período de 36 dias, Botto (2013) com 20 dias de armazenamento encontrou pH de 9,7; CE de 42 mS/cm; ausência de coliformes termotolerantes; nitrogênio amoniacal de 5530 mgN - NH₃/L e fósforo total de 275 mgP/L.

Conforme apresentado na Tabela 11, o potencial hirogeniônico da manipueira foi de 4,17 unidades de pH; 7,68 mS/cm de condutividade elétrica (CE); 72290 mgO₂/L de demanda química de oxigênio; 761 mgCl/L de cloreto; 968 mgN/L de nitrogênio total Kjeldhal; 218 mgN - NH₃/L de nitrogênio amoniacal; 1,0 mgN - NO₃⁻/L de nitrato; 420 mgP/L de fósforo total; 251 mgP - PO₄⁻³/L de ortofosfato; 475 mgK/L de potássio e 98,5 mgNa/L de sódio.

Tabela 11 - Caracterização físico-química da manipueira utilizada no experimento II. Campina Grande – PB, 2014.

pH	CE	DQO	Cl ⁻	NTK	N-NH ₃	N-NO ₃ ⁻	PT	P-PO ₄ ⁻³	K	Na
-	mS/cm				mg/L					
4,2	7,7	72290	761	968	218	1,0	420	251	475	98,5

Legenda: pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade Elétrica; DQO: Demanda Química de Oxigênio; PT: Fósforo total; P-PO₄⁻³: Ortofosfato; K: Potássio; Na: Sódio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; N-NH₃: Nitrogênio Amoniacal; N-NO₃⁻: Nitrato e Cl⁻: Cloreto.

Fonte: Araújo (2014).

Duarte *et al.* (2012), avaliando o uso de diferentes doses de manipueira na cultura da alface em substituição à adubação mineral, encontrou pH na manipueira de 4,08; nitrogênio de 980 mg/L; fósforo de 740 mg/L; potássio de 1970 mg/L e sódio de 460 mg/L. Nápoles (2012) estudando manipueira e urina de vaca como biofertilizante na cultura do pinhão-manso, ao analisar a manipueira encontrou pH de 4,5; CE de 8,43 mS/cm; DQO de 141036 mgO₂/L; NTK de 2049,60 mgN/L e fósforo total de 273,12 mgP/L.

Os resultados da caracterização físico-química da solução nutritiva e diluições de urina em água mais manipueira, estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Caracterização físico-química da solução nutritiva e das diluições de urina com manipueira, utilizada no experimento II. Campina Grande – PB, 2014.

Tratamentos	Parâmetros									
	NTK	N-NH ₃	PT	P-PO ₄ ⁻³	K	Cl ⁻	Na	pH _{da}	pH _{dd}	CE
				mg/L						mS/cm
T ₁ (0%)	3,0	2,4	12,2	9,3	7,3	270	16	7,0	7,0	1,69
T ₂ (1%)	85,3	60	13	10	2,6	304	15	8,7	6,4	2,17
T ₃ (2%)	157	125	21	15	5,2	396	17	8,8	6,4	2,44
T ₄ (3%)	234	213	31	20,5	6,8	498	18	8,8	6,4	3,0
T ₅ (4%)	287	288	44	27,5	10,3	556	20	8,9	6,4	3,7
T ₆ (5%)	396	360	55	30,4	13,5	639	22	8,9	6,4	4,3

Legenda: NTK: Nitrogênio Total Kjeldhal; N-NH₃: Nitrogênio Amoniacal; PT: Fósforo total; P-PO₄⁻³: Ortofosfato; K: Potássio; Cl⁻: Cloreto; Na: Sódio; pH_{da}: Potencial hidrogeniônico da diluição de urina antes de adicionar manipueira; pH_{dd}: Potencial hidrogeniônico da diluição de urina antes depois de adicionar manipueira e CE: Condutividade Elétrica.

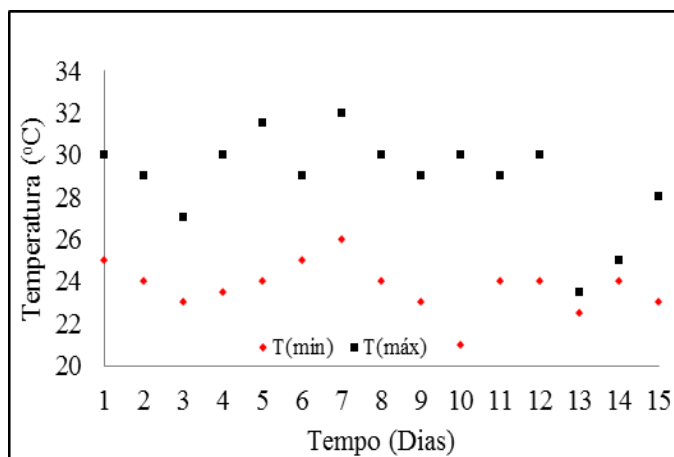
Fonte: Araújo (2014).

Observando-se os resultados do tratamento, T₄ (3%), na Tabela 12 percebe-se que ao adicionar manipueira na diluição de urina humana, as concentrações dos parâmetros

analisados, com exceção do NTK e cloreto, que foram inferiores as utilizadas no primeiro experimento (ver Tabela 9). E comparando os resultados apresentados na Tabela 12, para T₄ (3%), com os da Tabela 9, para T₂ (3%), constata-se que os incrementos foram de 5,4 mgN-NH₃/L de nitrogênio amoniacal; 14,2 mgP/L de fósforo total; 14,9 mgP-PO₄⁻³/L de ortofosfato; 5,3 mgK/L de potássio; 0,94 mgNa/L de sódio e 0,6 mS/cm de condutividade elétrica. Portanto, além da manípueira servir para ajustar o pH serviu também de coadjuvante, visto que as concentrações dos nutrientes foram acrescidas.

Os resultados do monitoramento da temperatura, máxima e mínima diária, registrados na segunda parte experimental, estão apresentados na Figura 8. A média da máxima temperatura observada, durante a realização do experimento foi de 28,87 °C e a da mínima de 23,73 °C.

Figura 8 – Temperaturas máximas e mínimas diárias (°C) registradas durante o ciclo de cultivo da forragem no segundo experimento, experimento II. Campina Grande – PB, 2014.



Fonte: Araújo (2014).

Em conformidade com a Figura 8 a temperatura média da casa de vegetação durante a realização do segundo experimento (máxima de 28,87 °C e a mínima de 23,73 °C) se manteve na faixa ideal para o desenvolvimento vegetativo da cultura, pois, segundo Araújo *et al.* (2008) e Müller *et al.* (2005) o milho tem sua temperatura ótima para crescimento e fotossíntese próximo a 30 °C. Já no primeiro experimento, a temperatura (Figura 7) foi um pouco elevada (máxima de 34,3 °C e mínima de 28,53 °C).

4.3 Resultados do experimento I (Primeira etapa)

4.3.1 Crescimento e produtividade da forragem (Experimento I)

Os resultados dos quadrados médios do crescimento e da produtividade da forragem estão apresentados na Tabela 13. A análise estatística dos dados revelou efeitos significativos ($p < 0,01$) das doses de urina sobre a altura da forragem (AF), massa verde e seca da parte aérea (MVPA e MSPA) e massa verde e seca do substrato com raízes (MVRS e MSRS). A equação de regressão que melhor se ajustou, para o crescimento e produtividade da forragem, foi a linear.

Tabela 13 – Valores dos quadrados médios da altura e produtividade da forragem de milho. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.

Quadrado Médio						
FV	GL	AF	MVPA	MSPA	MVRS	MSRS
Regressão Linear	1	117,30625**	2,66772**	0,02025**	167,15832**	0,34782**
Regressão Quadrática	1	6,79018 ^{ns}	0,19802 ^{ns}	0,00206 ^{ns}	7,35150 ^{ns}	0,02122 ^{ns}
Desvio de Regressão	2	2,02857 ^{ns}	0,24313 ^{ns}	0,00026 ^{ns}	6,2917 ^{ns}	0,00194 ^{ns}
(Tratamento)	(4)	31,53125**	0,77722**	0,00564**	45,20038**	0,09275**
Bloco	3	3,64583	0,49410	0,00097	1,72380	0,00729
Resíduo	12	2,19792	0,13601	0,00176	1,73636	0,00930
CV%	-	6,34	10,77	9,48	9,87	4,83

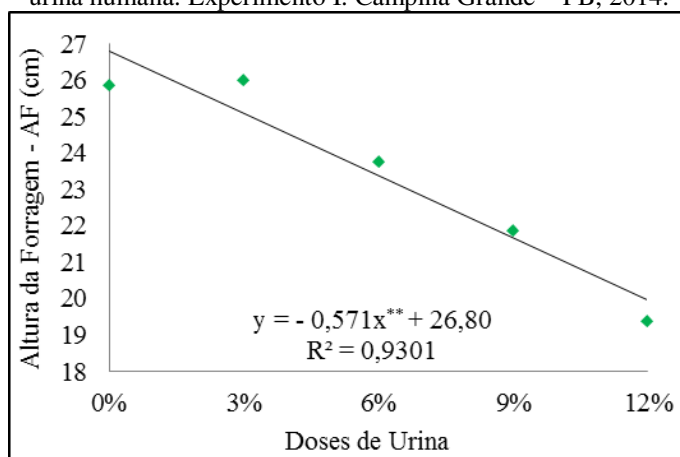
Legenda: **: Significativo a 1% de probabilidade (Teste F); *: Significativo a 5% de probabilidade (Teste F); ^{ns}: não significativo (Teste F); **FV**: Fonte de Variação; **GL**: Grau de Liberdade; **AF**: Altura da Forragem; **MVPA**: Massa Verde da Parte Aérea; **MSPA**: Massa Seca da Parte Aérea; **MVRS**: Massa Verde das Raízes com Substrato; **MSRS**: Massa Seca das Raízes com Substrato; **CV**: Coeficiente de Variação.

Fonte: Araújo (2014).

A Figura 9 ilustra o comportamento da altura da forragem (AF) em função da solução nutritiva e doses crescentes de urina aplicadas na fertirrigação.

As alturas médias da forragem foram 25,87; 26,0; 23,75; 21,87 e 19,37 cm, para as doses de 0, 3, 6, 9 e 12% de urina, respectivamente. Ao aplicar a diluição de 3% de urina, a altura da forragem foi aproximadamente igual à da testemunha (aplicação de 0% de urina), porém, as aplicações de dosagens acima desta (3%) influíram linearmente na redução da altura com o coeficiente de determinação de 0,9301 (Figura 9), mostrando que 93,01% das variações da altura de forragem hidropônica ocorreram em função das doses de urina.

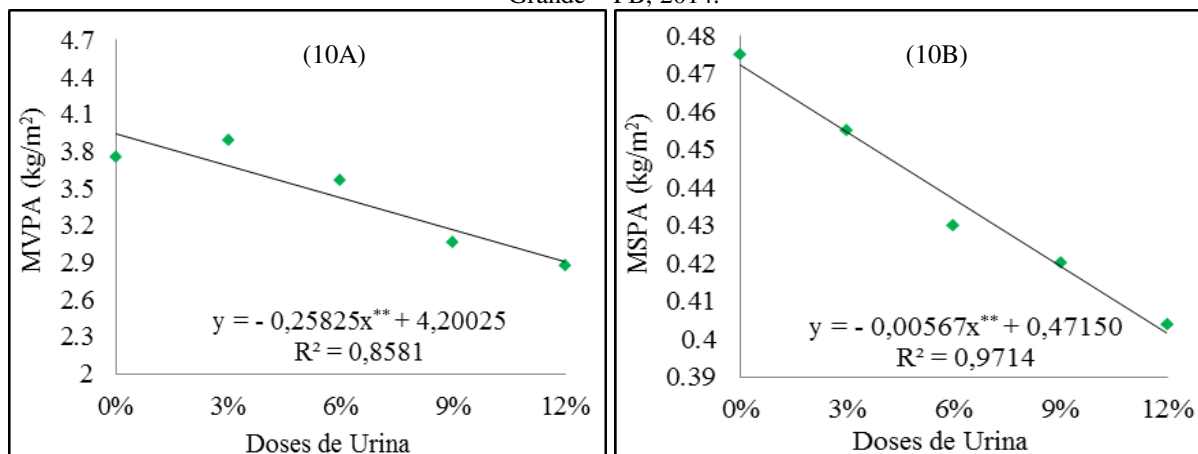
Figura 9 - Altura da forragem (AF, cm), em função da fertirrigação com solução nutritiva e doses crescentes de urina humana. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.



A massa verde da parte aérea (MVPA) da forragem apresentou médias de 3,75; 3,89; 3,56; 3,06 e 2,87 kg/m² (Figura 10A) e 0,502; 0,455; 0,430; 0,420 e 0,408 kg/m² de massa seca da parte aérea (MSPA) (Figura 10B), quando fertirrigada com doses de 0%, 3%, 6%, 9% e 12% de urina, respectivamente. A dosagem de 3% de urina proporcionou ganho de massa verde na parte aérea da forragem e as demais causaram perda de massa, em comparação com a testemunha (Figura 10A). As aplicações das doses crescentes de urina causaram decréscimo na MSPA, em comparação com a testemunha (Figura 10B). Para ambas as variáveis o comportamento foi linear, com coeficientes de determinação de, respectivamente, 0,8581 (Figura 10A) e 0,9714 (Figura 10B), indicando que 85,81% e 97,14% das variações da produção de forragem hidropônica foram em função das doses crescentes de urina.

Uma provável explicação para o decréscimo na produtividade de massa verde e seca da parte aérea da forragem, com o aumento das doses aplicadas, são as altas concentrações de cloreto e sódio (Tabela 9) encontradas nas doses de urina, pois, segundo Bernardo *et al.* (2008) os íons de sódio juntamente com o cloro e o boro são elementos tóxicos, pois, acumulam-se nas folhas das plantas causando problemas de clorose e queima dos tecidos, reduzindo a produtividade vegetal.

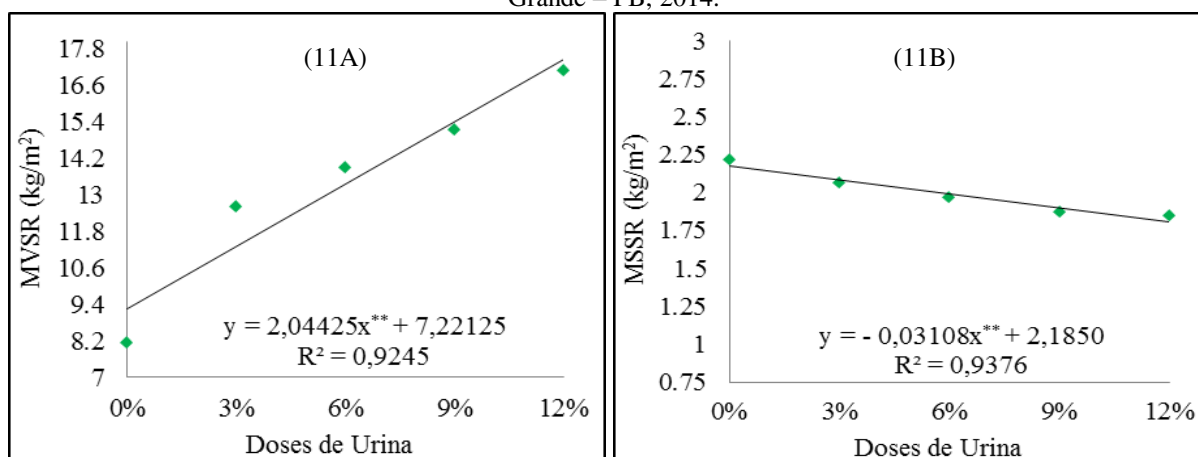
Figura 10 – Comportamento da massa verde (MVPA) e seca (MSPA) da parte aérea (10A e 10B) da forragem em função da fertirrigação com solução nutritiva e doses crescentes de urina humana. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.



As massas verdes do substrato com raízes (MVSR) apresentaram médias de 8,12; 12,59; 13,87; 15,13 e 17,07 kg/m² (Figura 11A) e as secas (MSSR) de 2,23; 2,07; 1,98; 1,87 e 1,86 kg/m² (Figura 11B) para as doses de 0%, 3%, 6%, 9% e 12% de urina, respectivamente. Conforme ilustrado na Figura (11A), as doses crescentes de urina promoveram acréscimo linear na MVSR da forragem. O coeficiente de determinação foi de 0,9245 indicando que mais de 92% das variações da MVSR foram explicadas pela variação nas doses de urina.

Para a MSSR as aplicações de urina causaram decréscimo, pois, conforme ilustrado na Figura (11B), todos os tratamentos apresentaram produtividade inferior à da testemunha. O comportamento foi também linear, com o coeficiente de determinação 0,9376 indicando que mais de 93% das variações da matéria seca podem ser explicados pela variação das doses de urina.

Figura 11 – Comportamento da massa verde (MVSR) e seca (MSSR) da parte aérea (12A e 12B) da forragem em função da fertirrigação com solução nutritiva e doses crescentes de urina humana. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.



4.3.2 Composição química da fitomassa hipógea (parte aérea) e substrato com raízes de Milho forrageiro (Experimento I)

A Tabela 14 apresenta os resultados dos quadrados médios das concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e elemento tóxico (Na) determinados na parte aérea (PA) da forragem de milho fertirrigado com urina humana. De acordo com os resultados, a aplicação das diferentes dosagens, nas concentrações de 0%, 3%, 6%, 9% e 12% de urina humana, influenciaram de forma significativa ($p < 0,01$) nas concentrações de nitrogênio, fósforo, cálcio, enxofre e sódio na fitomassa do milho. Apenas nas concentrações de potássio não ocorreu diferença estatística significativa.

Tabela 14 – Valores dos quadrados médios das determinações químicas da fitomassa hipógea (PA) de milho forrageiro Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.

Quadrado Médio							
FV	GL	N	P	K	Ca	S	Na
Regressão Linear	1	2003,625 ^{**}	64,654 ^{**}	14,852 ^{ns}	33062,500 ^{**}	5753,58155 ^{**}	815523,667 ^{**}
Regressão Quadrática	1	97,443 ^{**}	12,481 ^{**}	9,729 ^{ns}	12901,786 ^{**}	0,00355 [*]	11799,795 ^{ns}
Desvio de Regressão	2	12,407 ^{ns}	1,384 ^{ns}	5,865 ^{ns}	7785,714 [*]	557,883 ^{**}	9958,452 ^{ns}
(Tratamento)	(4)	528,369 ^{**}	19,630 ^{**}	7,611 ^{**}	13437,500 ^{**}	1577,867 ^{**}	210726,728 ^{**}
Bloco	3	2,660	0,608	2,029	833,333	2,814	7829,968
Resíduo	12	6,336	0,793	6,501	937,500	4,481	2611,322
CV%	-	4,47	8,75	15,61	13,61	7,45	8,12

Legenda: ^{**}: Significativo a 1% de probabilidade (Teste F); ^{*}: Significativo a 5% de probabilidade (Teste F); ^{ns}: não significativo (Teste F); **FV**: Fonte de Variação; **GL**: Grau de liberdade; **N**: Nitrogênio; **P**: Fósforo; **K**: Potássio; **Ca**: Cálcio; **S**: Enxofre; **Na**: Sódio; **CV**: Coeficiente de Variação.

Fonte: Elaborada pelo Autor (2014).

Os resultados dos quadrados médios das concentrações dos nutrientes (N, P, K, Ca e S) e do elemento tóxico (Na) determinados no substrato com raízes (SR) da forragem de milho, estão apresentados na Tabela 15. Para estas variáveis a análise estatística indicou o mesmo efeito observado na parte aérea, ou seja, com exceção do K, houve influência significativa ($p < 0,01$) sobre as concentrações do N, P, Ca, S e Na.

Tabela 15 – Quadrados médios da análise de variância das determinações química no substrato com raízes (SR) de milho forrageiro. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.

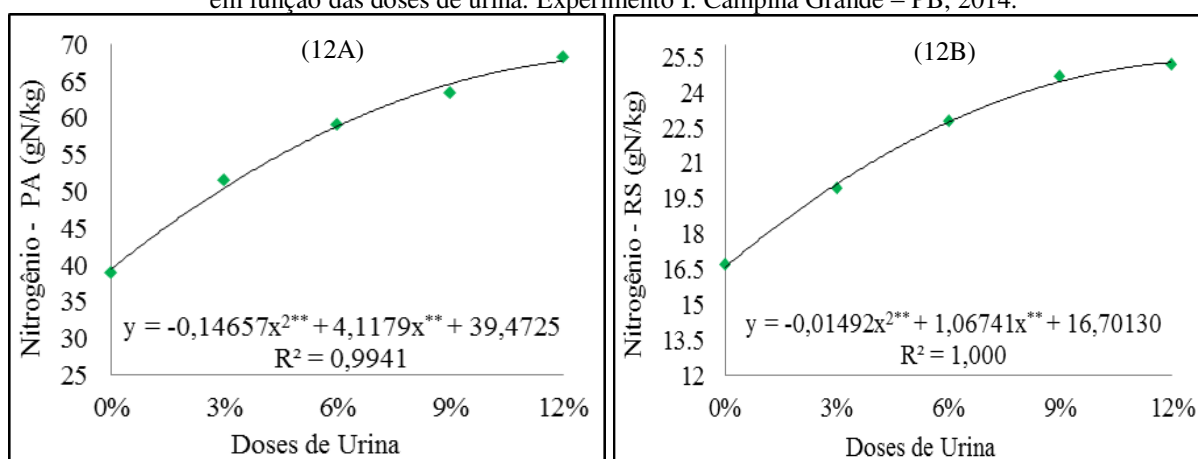
Quadrado Médio							
FV	GL	N	P	K	Ca	S	Na
Regressão Linear	1	188,800**	10,122**	0,696 ^{ns}	16000,000**	8570,193**	358755,609**
Regressão Quadrática	1	11,488**	0,930 ^{ns}	0,339 ^{ns}	0,000**	38,701**	3815,312 ^{ns}
Desvio de Regressão	2	0,410 ^{ns}	0,501 ^{ns}	0,896 ^{ns}	250,000**	423,223**	432,291 ^{ns}
(Tratamento)	(4)	50,173**	2,888**	0,483**	4062,500**	2258,031**	90750,803 ^{ns}
Bloco	3	1,233	0,084	1,252	833,333	2,252	13795,949
Resíduo	12	0,734	0,333	0,543	729,1667	15,052	15079,146
CV%	-	3,92	14,36	17,01	12,00	9,83	16,60

Legenda: **: Significativo a 1% de probabilidade (Teste F); *: Significativo a 5% de probabilidade (Teste F); ^{ns}: não significativo (Teste F); **FV**: Fonte de Variação; **GL**: Grau de liberdade; **N**: Nitrogênio; **P**: Fósforo; **K**: Potássio; **Ca**: Cálcio; **S**: Enxofre; **Na**: Sódio; **CV**: Coeficiente de Variação.

Fonte: Araújo (2014).

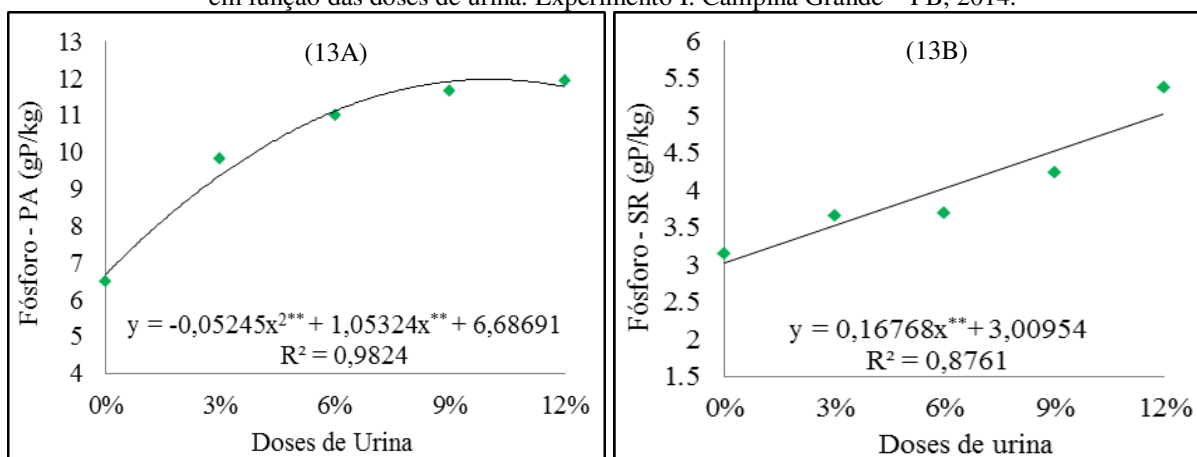
De acordo com a Figura 12 as concentrações de nitrogênio na parte aérea (Nitrogênio - PA) e substrato com raízes (Nitrogênio - SR) da forragem foram de 38,95; 51,51; 59,06; 63,45 e 68,36 g/kg (Figura 12A); 16,7; 19,92; 22,77; 24,67 e 25,19 g/kg (Figura 12B), para as dosagens de 0%, 3%, 6%, 9% e 12% de urina, respectivamente. O modelo matemático que melhor representou o comportamento das concentrações de nitrogênio, tanto na parte aérea (12A) como no substrato com raízes (12B), foi o quadrático com R² de 0,9941 e 1,00, respectivamente.

Figura 12 – Concentrações de nitrogênio na parte aérea (12A, PA) e substrato com raízes (12B, SR) da forragem em função das doses de urina. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.



As concentrações do fósforo na parte aérea (Fósforo - PA) da forragem foram de 6,49; 9,82; 10,99; 11,65 e 11,93 gP/kg (Figura 13A) e no substrato com raízes (Fósforo - SR) de 3,15; 3,65; 3,68; 4,23 e 5,37 gP/kg (Figura 13B). Na parte aérea, a regressão quadrática foi a que melhor descreveu o comportamento das concentrações de fósforo (13A), em função das dosagens de urina (R² de 98,24%) e no substrato com raízes foi a linear (R² de 87,61%, 13B).

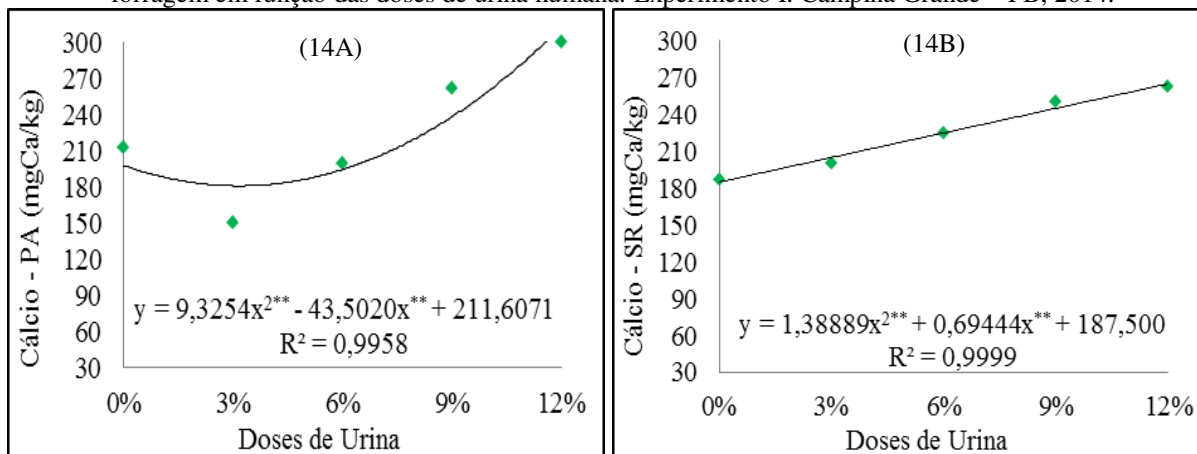
Figura 13 – Concentrações de fósforo na parte aérea (13A, PA) e substrato com raízes (13B, SR) da forragem em função das doses de urina. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.



Conforme ilustrado nas Figuras 12 e 13 as fertirrigações com doses crescentes (3, 6, 9 e 12%) de urina elevaram as concentrações de nitrogênio (Figura 12A e 12B) e fósforo (Figura 13A e 13B), na parte aérea e substrato com raízes da forragem, superiores às da testemunha, ou seja, houve ganho de nutrientes na fitomassa da forragem.

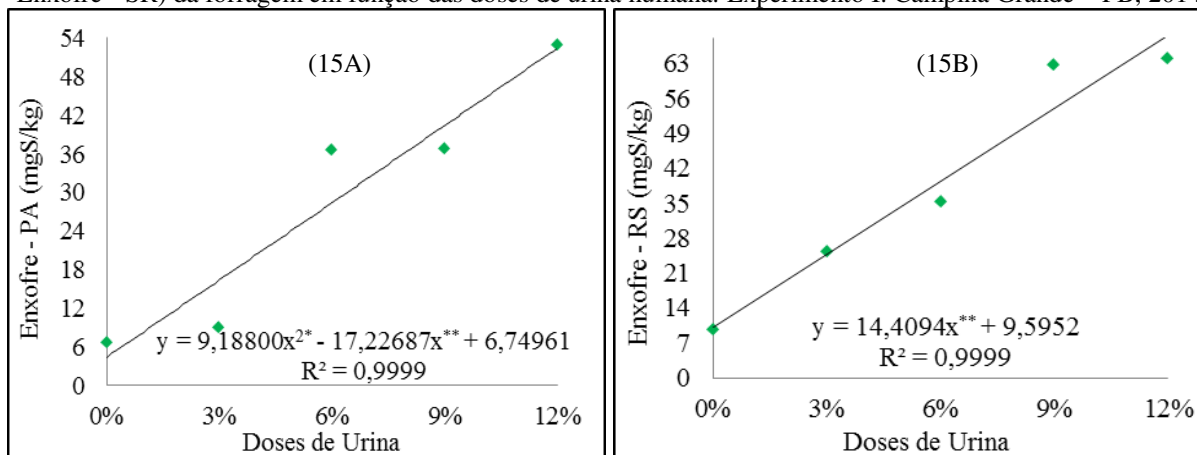
A Figura 14 ilustra os comportamentos das concentrações de cálcio na parte aérea (Cálcio – PA, 14A) e substrato com raízes (Cálcio – SR, 14B), em função das doses de urina utilizadas na fertirrigação da forragem. Na parte aérea as concentrações do cálcio foram: 212,5; 150; 200; 262,5 e 300 mgCa/kg para as dosagens de 0%, 3%, 6%, 9% e 12%, respectivamente (Figura 14A). No substrato com raízes foram de 187,5; 200; 225; 250 e 262,5 mgCa/kg (Figura 14B). Como ilustrado na Figura 14A a regressão quadrática (R^2 de 99,58%) foi a que melhor representou o comportamento do cálcio na parte aérea, sendo verificado que as doses de 9 e 12% levaram a concentrações superiores às da testemunha. A regressão linear foi a que melhor representou o comportamento das concentrações de cálcio no substrato com raízes, ou seja, as doses crescentes de urina proporcionaram aumento linear (R^2 de 99,99%) na concentração de cálcio no substrato com raízes (Figura 14B).

Figura 14 - Concentrações (mgCa/kg) de cálcio na parte aérea (14A, PA) e substrato com raízes (14B, SR) da forragem em função das doses de urina humana. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.



Os comportamentos das concentrações de enxofre na forragem estão ilustrados na Figura 15. Na parte aérea (Enxofre - PA) as concentrações foram de 6,75; 9,08; 36,6; 36,81 e 52,85 mgS/kg (Figura 15A) e no substrato com raízes (Enxofre - SR) de 9,59; 25,39; 35,37; 62,83 e 64,06 mgS/kg (Figura 15B) em função das doses crescentes de urina (0, 3, 6, 9 e 12%). A regressão linear (R^2 de 99,99%) foi a que melhor explicou o comportamento das concentrações do enxofre na parte aérea e substrato com raízes da forragem (Figura 15A e 15B). Todos os tratamentos com urina apresentaram concentrações de enxofre superiores às da testemunha. Porém, as concentrações do nutriente foram maiores no substrato com raízes (Figura 15B) que na parte aérea (Figura 15A) da forragem. As elevadas concentrações de enxofre no substrato com raízes da forragem, podem ser resultantes das doses de urina tratadas com solução de ácido sulfúrico, para ajustar o pH na faixa recomendada para o cultivo da FVH.

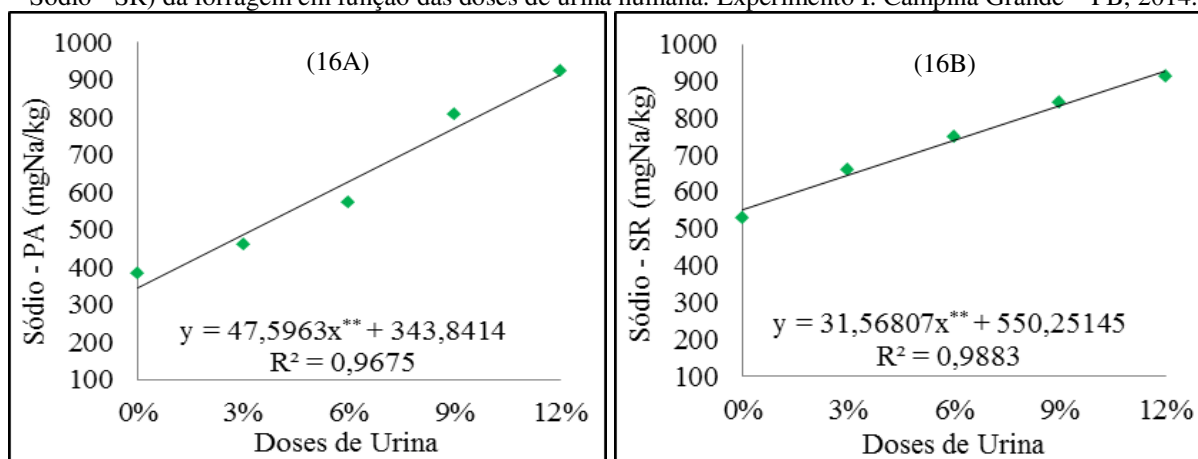
Figura 15 - Concentrações (mgS/kg) de enxofre na parte aérea (15A, Enxofre - PA) e substrato com raízes (15B, Enxofre - SR) da forragem em função das doses de urina humana. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.



Como ilustrado nas Figuras 12, 13, 14 e 15 as plantas de milho incorporam quantidades significativas de nutrientes, sendo verificado que quanto maiores foram as doses de urina maiores foram as concentrações de nutrientes no tecido vegetal da forragem.

A Figura 16 ilustra o comportamento das concentrações do sódio (elemento tóxico) incorporado pela forragem em função das doses crescentes de urina humana. Na parte aérea da forragem as concentrações do elemento tóxico (Sódio - PA) foram de 383,82; 460,46; 572,03; 807,14 e 924,02 mgNa/kg para as doses 0%, 3%, 6%, 9% e 12% de urina, respectivamente (Figura 16A). As concentrações do sódio no substrato com raízes (Sódio - SR) estão ilustradas na Figura 16B, tendo sido de 530,85; 661,03; 750,02; 842,99 e 913,39 mgNa/kg. O modelo linear foi o que melhor descreveu o comportamento das concentrações do elemento (Na) na parte aérea (Figura 16A, $R^2 = 96,75\%$) e substrato com raízes (Figura 16B, $R^2 = 98,83\%$).

Figura 16 - Concentração de sódio (mgNa/kg) na parte aérea (16A, Sódio - PA) e substrato com raízes (16B, Sódio - SR) da forragem em função das doses de urina humana. Experimento I. Campina Grande - PB, 2014.



Os comportamentos das concentrações de N, P, Ca e Na observados na presente pesquisa foram semelhantes aos encontrados em pesquisa realizada por Paula *et al.* (2011), cultivando forragem hidropônica de milho com doses crescentes de soro de leite (20, 40, 60, 80 e 100%), ou seja, quando as doses do fertilizante alternativo eram aumentadas as concentrações dos nutrientes e do elemento tóxico aumentavam, sendo as concentrações da parte aérea superiores às do substrato com raízes, indicando assimilação de nutrientes pela planta de milho.

Os efeitos das elevadas concentrações do sódio nas plantas de milho, foram visíveis durante a realização dos experimentos, pois, nas células fertirrigadas com doses acima de 3% de urina foram verificadas injúrias nas folhas do milho, ou seja, as plantas apresentavam as

folhas amareladas e secando (Figura 17). À medida que a concentração das doses de urina eram aumentadas mais plantas apresentavam folhas amarelas e suas extremidades secas (Figuras 17B, 17C e 17D).

Figura 17 – Injúrias nas folhas da forragem hidropônica de milho fertirrigado com solução nutritiva sintética (17A), 3% (17B), 6% (17C), 9% (17D) e 12% (17E) de urina humana diluída em água. Experimento I. Campina Grande – PB, 2014.



No dia da coleta, do experimento, as plantas fertirrigadas com doses de 9% (Figura 18D) e 12% (Figura 18E) de urina apresentaram morte nas raízes e mais de 80% das plantas estavam com a parte aérea amarela e com extremidades das folhas secas.

4.4 Resultados do experimento II (Segunda etapa)

4.4.1 Crescimento e produtividade da forragem (Experimento II)

A Tabela 16 apresenta os resultados dos quadrados médios da altura da forragem (AF), massa verde da parte aérea (MVPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa verde do substrato com raízes (MVSR) e massa seca do substrato com raízes (MSSR) da forragem de milho fertirrigado com doses crescentes de urina humana mais manípueira. De acordo com o quadrado médio da Tabela 16 a análise estatística indicou que houve diferença estatística significativa ($p < 0,05$) para a altura da forragem, massa verde e massa seca da parte aérea. As massas verde e seca do substrato com raízes não apresentaram diferenças significativas.

Tabela 16 – Quadrados médios da análise de variância da altura e produtividade da forragem do milho. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.

Quadrado Médio						
FV	GL	AF	MVPA	MSPA	MVSR	MSSR
Regressão Linear	1	7,426*	0,571*	0,00782*	0,045 ^{ns}	0,014 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	0,932 ^{ns}	0,021 ^{ns}	0,00022 ^{ns}	3,404 ^{ns}	0,007 ^{ns}
Desvio de Regressão	2	8,946 ^{ns}	1,019*	0,00003 ^{ns}	2,294 ^{ns}	0,044
(Tratamento)	(5)	3,740**	0,333**	0,00185**	4,953**	0,013**
Bloco	3	2,866	1,164	0,00256	6,803	0,016
Resíduo	15	1,252	0,082	0,00111	4,130	0,013
CV%	-	3,67	4,59	6,58	11,98	4,74

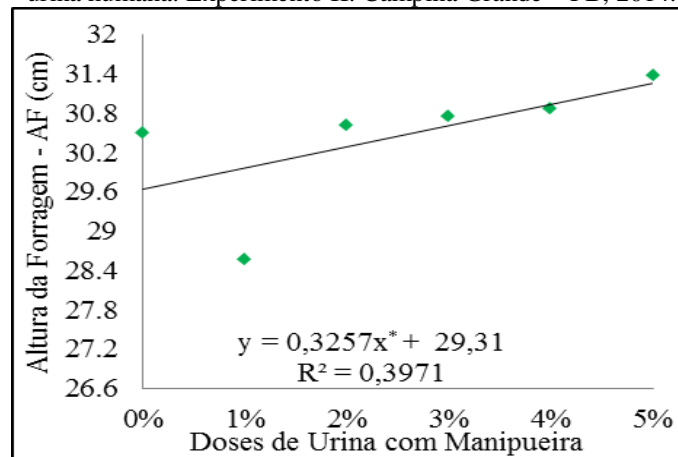
Legenda: ** : Significativo a 1% de probabilidade (Teste F); * : Significativo a 5% de probabilidade (Teste F); ^{ns}: não significativo (Teste F); **FV**: Fonte de Variação; **GL**: Grau de Liberdade; **AF**: Altura da Forragem; **MVPA**: Massa Verde da Parte Aérea; **MSPA**: Massa Seca da Parte Aérea; **MVSR**: Massa Verde do Substrato com Raízes; **MSSR**: Massa Seca do Substrato com Raízes; **CV**: Coeficiente de Variação.

Fonte: Araújo (2014).

Müller *et al.* (2005), analisando o cultivo da forragem verde hidropônica de milho fertirrigado com solução nutritiva preparada a partir de sais fertilizantes; Amorim *et al.* (2005), estudando o desenvolvimento da forragem fertilizada com solução nutritiva preparada com água com diferentes níveis de salinidade; Araújo *et al.* (2008) e Manhães *et al.* (2011), avaliando a forragem fertirrigada com vinhoto como solução alternativa, constataram efeito significativo na altura, massa verde e massa seca da forragem.

A Figura 18 ilustra o comportamento da altura da forragem (AF) em função das doses crescentes de urina humana mais manipueira. O crescimento foi linear a partir da aplicação de 2% de urina mais manipueira. Para as doses de 0, 1, 2, 3, 4 e 5% de urina mais manipueira, a variável apresentou médias de 30,50; 28,58; 30,63; 30,75; 30,88; 31,38 cm, respectivamente.

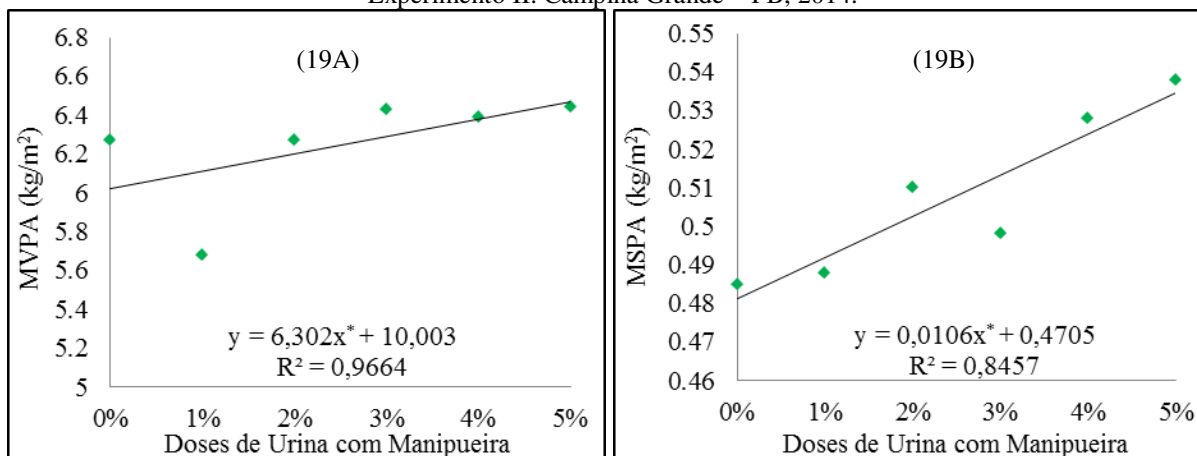
Figura 18 - Altura da forragem (AF, cm), em função da fertirrigação com solução nutritiva e doses crescentes de urina humana. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.



Cultivando forragem hidropônica de poáceas (arroz, milho e milho), objetivando avaliar a produtividade e a composição bromatológica, coletada 10 dias após a semeadura, Müller *et al.* (2005) encontraram altura média de 9,54 cm para o milho. Neto *et al.* (2002), após 15 dias de cultivo do milho hidropônico com sementes não selecionadas e na ausência de substrato, fertirrigado por 18 minutos e 8 min de descanso com vazão de 8 L. min⁻¹ de esgoto tratado, encontrou altura média de 23,5 cm. Os resultados da altura da forragem, encontrados com aplicações das diferentes doses de urina humana são coerentes, pois, estão muito próximos aos apresentados nas referências supracitadas.

A Figura 19 ilustra os comportamentos das massas verde (19A) e seca (19B) da parte aérea (MVPA e MSPA) da forragem em função das doses crescentes de urina humana com manipueira. A MVPA da forragem apresentou médias de 6,27; 5,68; 6,28; 6,43; 6,39 e 6,44 kg/m² (Figura 19A) e 0,485; 0,487; 0,510; 0,497; 0,527 e 0,537 kg/m² de MSPA (Figura 19B) para fertirrigações com doses de 0, 1, 2, 3, 4 e 5% de urina humana com manipueira, respectivamente. Estas variáveis (MVPA e MSPA) apresentaram comportamento similar ao da altura, com coeficientes de determinação (R²) de 96,64% e 84,57%, respectivamente (Figuras 19A e 19B). O máximo incremento de massas verde e seca da parte aérea foi de 2,64% e 9,68% referentes à dose de 5%, respectivamente, quando comparado com a testemunha.

Figura 19 – Comportamento da massa verde (MVPA) e seca (MSPA) da parte aérea (19A e 19B) da forragem em função da fertirrigação com solução nutritiva e doses crescentes de urina humana com manipueira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.



Araújo *et al.* (2008) e Manhães *et al.* (2011), cultivando milho em sistema hidropônico com bagaço de cana-de-açúcar fertirrigado com vinhoto e densidade de semeadura de, respectivamente, 2,5 e 2,0 kg/m² e doses de vinhoto de 10% e 6,7%, obtiveram produtividade (parte aérea mais substrato com raízes) máxima de 21,50 e 21,1 kg/m² de matéria verde e 4,36 e 4,0 kg/m² de matéria seca com 10 e 15 dias de cultivo, respectivamente.

Oliveira *et al.* (2009) cultivando forragem hidropônica de milho em bagaço de cana-de-açúcar fertirrigado com dose de 20% de soro de leite obtiveram 1,634 e 0,248 kg/m² de massas verde e seca na parte aérea, respectivamente.

Estudando a reação da forragem hidropônica de milho sob diferentes concentrações de biofertilizante e quantidades de sementes, Melo *et al.* (2009) constataram que quando aumentavam as doses de biofertilizante ocorria um decréscimo linear na produção de forragem. Paula *et al.* (2011), cultivando forragem verde hidropônica de milho em substrato de bagaço de cana-de-açúcar fertirrigado com doses crescentes de soro de leite bovino, constataram diferença estatística significativa nas massas verde e seca da parte aérea e substrato com raízes. À medida que aumentaram as doses de soro de leite ocorreu um decréscimo linear nas massas verde e seca da parte aérea e massa seca do substrato com raízes. Comportamento análogo foi observado no experimento I (ver Figuras 10 e 11).

Como ilustrado nas Figuras 18 e 19 o uso de urina humana com manipueira favoreceu o crescimento e a produtividade do milho.

Portanto os resultados de crescimento e produtividade encontrados na presente pesquisa foram bem próximos aos citados na literatura.

4.4.2 Composição química da fitomassa hipógea (parte aérea) e substrato com raízes de milho forrageiro (Experimento II)

Os resultados das determinações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e sódio (Na), na fitomassa hipógea (parte aérea) de milho, fertirrigado com urina e manipeira estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Quadrados médios da análise de variância das determinações químicas da fitomassa hipógea de milho forrageiro fertirrigado com urina e manipeira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.

Quadrado Médio							
FV	GL	N	P	K	Ca	S	Na
Regressão Linear	1	122,456**	2,676**	256,022**	12223,214**	10,426**	121565,454**
Regressão Quadrática	1	1,643 ^{ns}	0,054 ^{ns}	3,719 ^{ns}	900,298 ^{ns}	0,97523 ^{ns}	3943,888*
Desvio de Regressão	2	2,722 ^{ns}	0,025 ^{ns}	22,765*	2394,841 ^{ns}	0,963 ^{ns}	4214,310*
(Tratamento)	(5)	26,413**	0,575**	58,721**	3104,167**	2,473**	26060,527**
Bloco	3	13,243	0,690	1,976	659,722	2,294	141,078
Resíduo	15	2,837	0,241	2,444	493,056	1,139	506,132
CV%	-	3,67	5,33	9,14	15,91	15,05	7,08

Legenda: ** : Significativo a 1% de probabilidade (Teste F); * : Significativo a 5% de probabilidade (Teste F); ^{ns}: não significativo (Teste F); **FV:** Fonte de Variação; **GL:** Grau de liberdade; **N:** Nitrogênio; **P:** Fósforo; **K:** Potássio; **Ca:** Cálcio; **S:** Enxofre; **Na:** Sódio; **CV:** Coeficiente de Variação.

Fonte: Araújo (2014).

Na Tabela 18 estão apresentados os resultados das determinações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e sódio (Na), da massa seca do substrato com raízes de milho, fertirrigado com urina e manipeira.

Tabela 18 – Valores dos quadrados médios das determinações química (N, P, K, Ca, S e Na) do substrato com raízes de milho forrageiro fertirrigado com urina e manipeira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.

Quadrado Médio							
FV	GL	N	P	K	Ca	S	Na
Regressão Linear	1	54,279**	0,746**	4,159**	8580,357**	114,733**	172967,188**
Regressão Quadrática	1	1,014 ^{ns}	0,015 ^{ns}	0,403 ^{ns}	66,964 ^{ns}	8,339**	422,420 ^{ns}
Desvio de Regressão	2	1,193 ^{ns}	0,040 ^{ns}	0,072 ^{ns}	2089,286 ^{ns}	2,997**	7667,331 ^{ns}
(Tratamento)	(5)	11,736**	0,160**	1,079**	2187,500**	26,139**	36263,560**
Bloco	3	1,206	0,031	0,626	381,944	0,252	7205,255
Resíduo	15	0,632	0,027	0,185	465,278	0,083	1749,522
CV%	-	4,75	6,09	13,04	9,86	5,09	6,66

Legenda: ** : Significativo a 1% de probabilidade (Teste F); * : Significativo a 5% de probabilidade (Teste F); ^{ns}: não significativo (Teste F); **FV:** Fonte de Variação; **GL:** Grau de liberdade; **N:** Nitrogênio; **P:** Fósforo; **K:** Potássio; **Ca:** Cálcio; **S:** Enxofre; **Na:** Sódio; **CV:** Coeficiente de Variação.

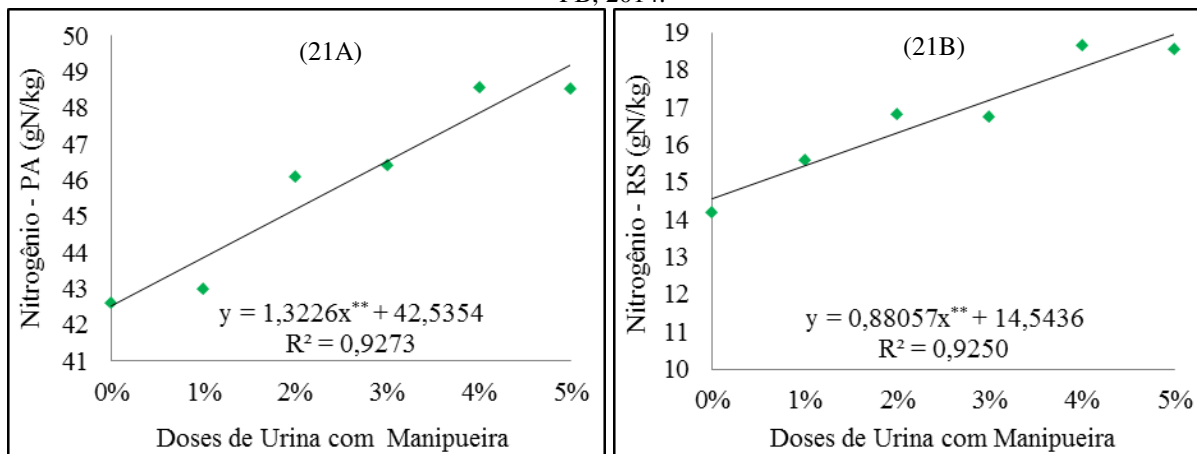
Fonte: Araújo (2014).

De acordo com as Tabelas 17 e 18 as análises estatísticas aplicadas aos teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca e S) e elemento tóxico (Na) mostraram respostas significativas ($p < 0,01$) sobre os efeitos das doses de urina humana mais manipeira na incorporação destes elementos na parte aérea e substrato com raízes da forragem.

A Figura 20 ilustra o comportamento das concentrações de nitrogênio na parte aérea (20A, Nitrogênio - PA) e no substrato com raízes (20B, Nitrogênio - SR) da forragem hidropônica de milho fertirrigado com diluições de urina humana com manipueira.

As Figuras 20A e 20B permitem constatar que todos os tratamentos com urina humana e manipueira apresentaram concentrações de nitrogênio superiores à testemunha. Na parte aérea (PA) a máxima concentração foi de 48,56 gN.kg⁻¹ e no substrato com raízes (SR) foi de 18,63 gN.kg⁻¹ quando da aplicação de 4% de urina com manipueira. O modelo matemático que melhor descreveu o comportamento da concentração de N foi o linear crescente, com coeficientes de determinação de 92,73% (Figura 20A) e 92,50% (Figura 20B) na parte aérea e substrato com raízes, respectivamente. Os teores de nitrogênio encontrados na parte aérea da forragem foram superiores aos citados na literatura, pois Müller *et al.* (2005) e Amorim *et al.* (2005), cultivando milho em sistema Hidropônico, encontraram teores de proteína bruta de 18,25% (29,2 gN.kg⁻¹) e 13,1% (20,96 gN.kg⁻¹), respectivamente.

Figura 20 – Concentrações de nitrogênio na parte aérea (20A, Nitrogênio - PA) e substrato com raízes (20B, Nitrogênio - SR) da forragem em função das doses de urina com manipueira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.

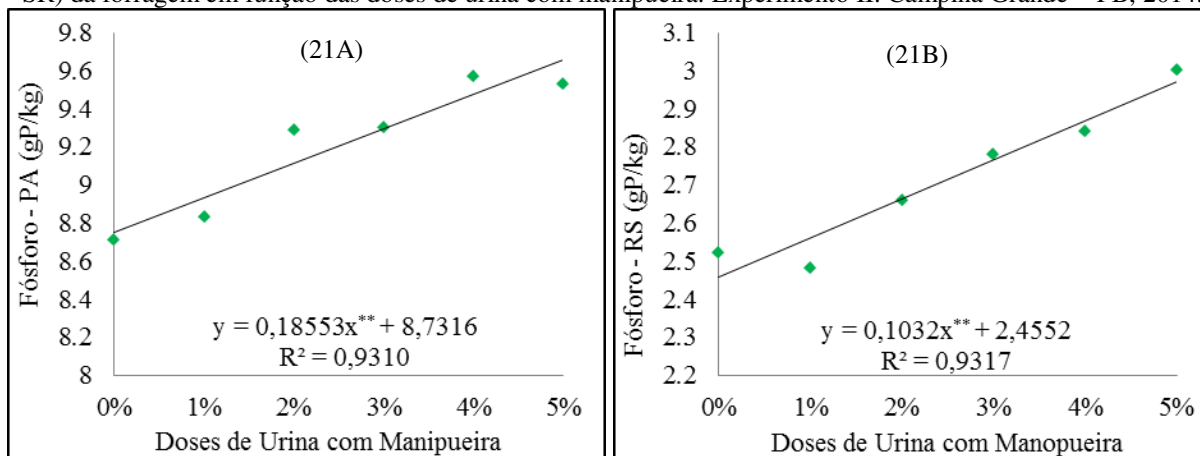


Os comportamento das concentrações de fósforo determinadas na parte aérea (Fósforo - PA) e substrato com raízes (Fósforo - SR) da forragem estão ilustrados nas Figuras 21A e 21B, respectivamente.

A equação que melhor descreveu a incorporação do fósforo na parte aérea (PA) e substrato com raízes (SR) da forragem, foi a linear crescente com coeficientes de determinação de 93,10 e 93,17%, para a parte aérea (Figura 21A) e substrato com raízes (Figura 21B), respectivamente. Na parte aérea a máxima concentração de P foi obtida quando da aplicação de 4% de urina com manipueira, correspondendo a um incremento de 8,98% em relação à testemunha. O substrato com raízes apresentou a máxima concentração de P quando

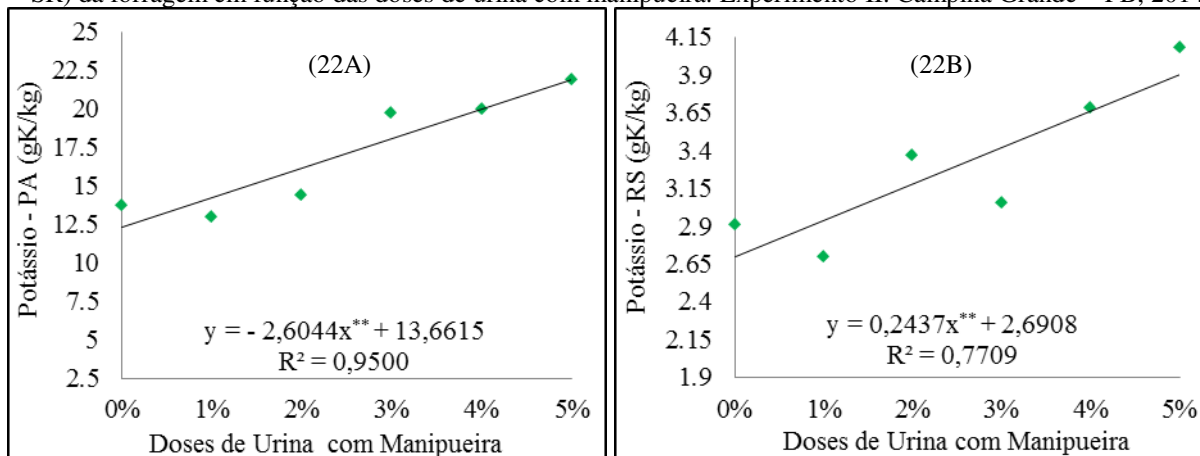
da aplicação das máximas doses de urina com manipueira, sendo o incremento de 16,0% em relação à testemunha.

Figura 21 – Concentrações de fósforo na parte aérea (21A, Fósforo - PA) e substrato com raízes (21B, Fósforo - SR) da forragem em função das doses de urina com manipueira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.



As concentrações de potássio na parte aérea (Potássio – PA) e substrato com raízes (Potássio – SR) da forragem apresentaram comportamento linear crescente com coeficientes de determinação de 95,0% para a parte aérea (Figura 22A) e 77,09% para o substrato com raízes (Figura 22B). Os incrementos do elemento foram de 37,22% na parte aérea (PA) e 28,68% no substrato com raízes (SR), com relação à testemunha.

Figura 22 – Concentrações de potássio na parte aérea (22A, Potássio - PA) e substrato com raízes (22B, Potássio - SR) da forragem em função das doses de urina com manipueira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.

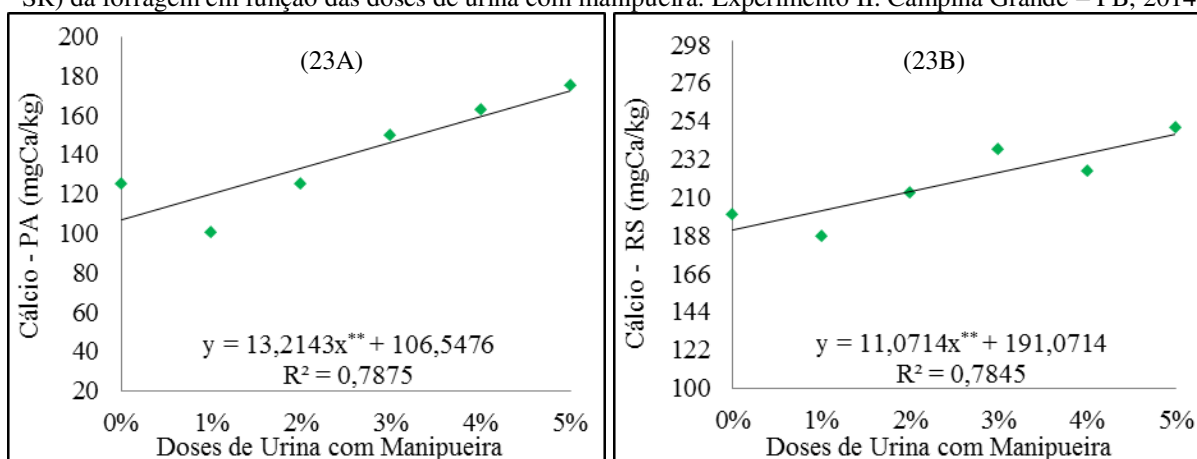


De acordo com as Figuras 23A (Cálcio – PA) e 23B (Cálcio – SR), as concentrações de cálcio apresentaram comportamentos similares ao do potássio, ou seja, acréscimo linear na parte aérea (Figura 23A, R^2 de 78,75) e substrato com raízes (Figura 23B, R^2 de 78,45). Os incrementos foram de 28,57% para a parte aérea (PA) e 20% no substrato com raízes (SR),

sendo que as concentrações do elemento na parte aérea foram inferiores às do substrato com raízes.

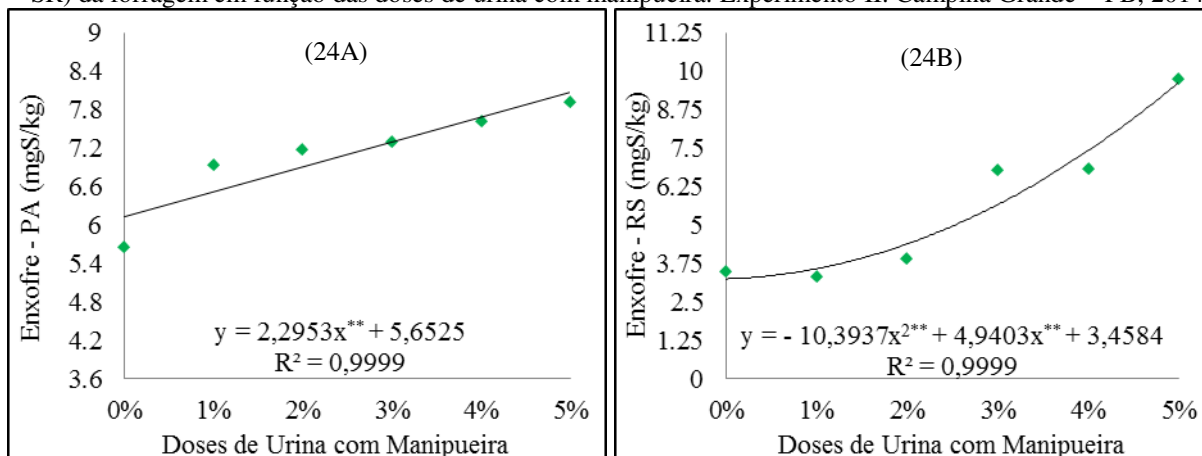
Cultivando milho em sistema hidropônico, fertirrigado com doses crescentes de soro de leite bovino, como alternativa às soluções nutritivas, Oliveira *et al.* (2009) encontraram diferença estatística significativa para a concentração de cálcio na parte aérea da forragem. Em conformidade com os resultados da autora e colaboradores, à medida que aumentaram as doses do soro de leite as concentrações do elemento diminuiram.

Figura 23 – Concentrações de cálcio na parte aérea (23A, Cálcio - PA) e substrato com raízes (23B, Cálcio - SR) da forragem em função das doses de urina com manipueira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.



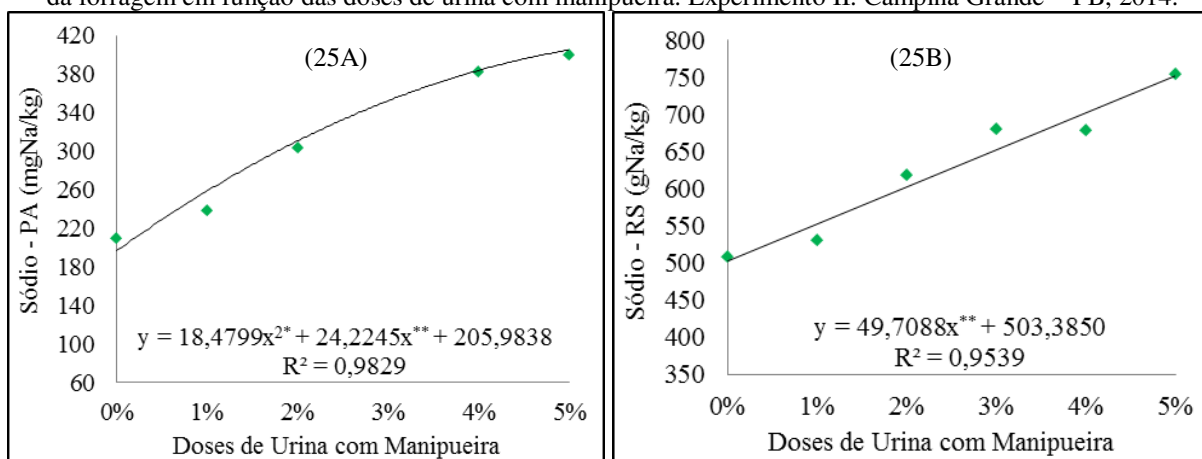
Os comportamentos das concentrações de enxofre na parte aérea (Enxofre – P) e substrato com raízes da forragem estão ilustradas nas Figuras 24A e 24B. As doses crescentes de urina humana com manipueira proporcionaram acúmulo de enxofre na parte aérea (Figura 24A) e substrato com raízes (Figura 24B) da forragem. Na parte aérea (PA) o acúmulo do elemento foi linear (Figura 24A, R^2 de 99,99%), com incremento máximo de 28,66% com a dose máxima, e no substrato com raízes (SR) o efeito foi quadrático (Figura 24B, R^2 de 99,99%), com acúmulo máximo de 64,44%, em relação ao tratamento testemunha.

Figura 24 – Concentrações de enxofre na parte aérea (24A, Enxofre - PA) e substrato com raízes (24B, Enxofre - SR) da forragem em função das doses de urina com manipueira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.



As Figuras 25A e 25B ilustram os comportamentos das concentrações do elemento tóxico (sódio) na parte aérea (Sódio – PA) e substrato com raízes (Sódio – SR) da forragem, em função das doses crescentes de urina humana com manipueira. Na parte aérea (PA) ocorreu acúmulo quadrático (Figura 25A, R^2 de 98,29%) com máximo incremento de 47,74% referente à dose de 5%, e no substrato com raízes (SR) apresentou efeito linear (Figura 25B, R^2 de 95,39%) com incremento de 32,65%, em relação ao tratamento testemunha, quando aplicada a dose máxima.

Figura 25 – Concentrações de sódio na parte aérea (25A, Sódio - PA) e substrato com raízes (25B, Sódio - SR) da forragem em função das doses de urina com manipueira. Experimento II. Campina Grande – PB, 2014.



Paula *et al.* (2011), ao avaliar a composição de forragem hidropônica de milho utilizando diferentes diluições de soro de leite bovino como solução nutritiva, encontraram diferença estatística significativa para todos nutrientes e elementos tóxicos avaliados. Para o fósforo, potássio e cálcio ocorreram redução linear na parte aérea e acréscimo linear nas raízes

com substrato. O enxofre e o sódio apresentaram acréscimo linear na parte aérea e substrato com raízes.

No presente experimento (experimento II), todos os elementos analisados, por causa da fertirrigação com doses de 2% de urina com manipueira, apresentaram concentrações superiores ao tratamento testemunha. Apesar das concentrações de sódio terem sido muito elevadas na parte aérea do milho, a incorporação dos demais elementos analisados não foi inibida pela assimilação do elemento tóxico, tendo sido perceptível o acréscimo linear para todos os elementos analisados.

5 CONCLUSÕES

- Os efluentes, urina humana e manipueira, apresentam quantidades de nutrientes bastante significativas e podem ser utilizados na agricultura familiar como fonte alternativa de fertilizantes;
- Os nutrientes da urina humana mostraram-se eficazes para o cultivo da forragem verde hidropônica de milho;
- A fertirrigado do milho hidropônico com doses de urina humana acima de 3% apresentou decréscimo e perdas na produtividade;
- O milho fertirrigado com doses de urina humana adicionada de manipueira apresentou crescimento e produtividade linear crescente a partir da aplicação de 2% da diluição;
- As concentrações de nitrogênio, fósforo, cálcio, enxofre e sódio aumentaram à medida que aumentaram as doses de urina aplicadas na fertirrigação;
- O cultivo de milho em sistema hidropônico com substrato de cana-de-açúcar fertirrigado com urina humana, só será viável com dose inferior a 6%;
- O milho cultivado em sistema hidropônico fertirrigado com diluições de urina humana e manipueira mostrou-se mais eficaz quando comparado ao fertirrigado com diluições de urina;
- A urina humana adicionada de manipueira pode substituir a solução nutritiva utilizada no cultivo da forragem hidropônica do milho;
- A solução alternativa para o cultivo da forragem verde hidropônica do milho pode ser preparada a partir de 5% de urina humana diluída em água acrescida de manipueira até ajustar o pH na faixa recomendada para o cultivo.

6 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

- Desenvolver pesquisas com outras culturas fertirrigadas com urina humana e/ou urina humana mais manipueira;
- Investigar o cultivo de milho em sistema hidropônico com a técnica do “Fluxo Laminar de Nutrientes” fertirrigado com urina humana e/ou urina humana mais manipueira como solução alternativa;
- Estudar as componentes de cultivo de outras espécies de forragem em sistema agroecológico fertirrigado com urina humana e manipueira;
- Estudar possíveis acúmulos de hormônios e fármacos em tecido vegetal fertirrigado com urina humana;
- Estudar a desinfecção de urina humana armazenada sob diferentes temperaturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anh, N. V.; Ha, T. D.; Hieu, N. T.; Heins, U.; Morel, A.; Moura, M.; Schertenleib, R. **Decentralised Wastewater Treatment – new concepts and technologies for Vietnamese conditions**. 5th Specialised Conference on Small Water and Wastewater Treatment Systems. In: International Water Association - IWA, Istanbul -Turkey, p. 75 – 84, 2002. Disponível em: <<http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/en-decentralised-wastewater-treatment-vietnam-2002.pdf>>. Acesso em 17 de fevereiro de 2014.

Andriolo, J. L.; LUZ, G. L.; Giraldi, C.; Godoi, R. S.; Barros, G.T. Cultivo Hidropônico da Alface Empregando Substratos: uma alternativa a NFT? **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.4, p.794-798, 2004.

Amorim, D. M. B.; Notaro, Í. A.; Furtado, D. A.; Gheyi, H. R.; Baracuchy, J. G. V. Avaliação de diferentes níveis de salinidade da água utilizada na produção de forragem hidropônica de milho. **Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Suplemento, p.339-342, 2005.

Abujamra, R. C. P.; Neto, C. O. A.; Melo, H. N. S. **Reuso de Águas Residuárias Tratadas no Cultivo de Grama Hidropônica**. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - Anais, Campo Grande: ABES, Campo Grande – MS, 2005.

APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 21st ed. Washington DC: APHA, 2005.

Araújo, V. S.; Coelho, F. C.; Cunha, R. C. V.; Lombardi, C, T.. Forragem Hidropônica de Milho Cultivado em Bagaço de Cana e Vinhoto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.7, n.3, p. 251-264, 2008.

ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. Principais Indicadores do Setor de Fertilizantes (2010). Disponível em: <www.anda.org.br>. Acesso em 23 de abril de 2013.

Araújo, N. C.; Ferreira, T. C.; Oliveira, S. J. C.; Gonçalves, C. P.; Araújo, F. A. C. Avaliação do Uso de Efluente de Casas de Farinha Como Fertilizante Foliar na Cultura do Milho (*Zea mays* L.). **Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, v.20, n.4, p. 340 - 349, 2012.

Borghini, É.; Mello, L. M. M.; Bergamaschine, A. F.; Crusciol, C. A. C. Produtividade e Qualidade de Forragem de Milho em Função da População de Plantas, do Sistema de Preparo do Solo e da Adubação. **Revista Bras. de Agrociência**, Pelotas, v.13, n.4, p.465 - 471, 2007.

Barbosa, J. E. L. **Uso e reuso da água em sistemas de produção animal**. Associação Brasileira de Zootecnistas - AZB. Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa/PB, 2008.

Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. UFV, Viçosa – MG, 2008, 625p.

Borghetti, I. A. **Avaliação do Crescimento da Microalga *Chlorella minutíssima* em Meio de Cultura com Diferentes Concentrações de Manipueira**. 2009. 103p. Dissertação (Mestrado em Processos Biotecnológicos) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

Brito, K. S.; Lyra, G. B.; Souza, J. L.; Teodoro, I.; Silva, M.; Rocha, A. E. Q.; Silva, S. **Produtividade e Índice de Área Foliar do Milho em Função da Adubação Nitrogenada**. In: XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Goiânia, 2010. **Anais**, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010. CD - ROM.

Batista, O. C. A. **Utilização da Urina Humana Como Fonte de Nitrogênio para *Branchiaria decumbens* e *Cynodon***. 2011, 28p. Trabalho de Conclusão de Estágio Supervisionado (Graduação em Agronomia). Universidade de Brasília, Batista, O. C. A. **Utilização da Urina Humana Como Fonte de Nitrogênio para *Branchiaria decumbens* e *Cynodon***. 2011, 28p. Trabalho de Conclusão de Estágio Supervisionado (Graduação em Agronomia). Universidade de Brasília - UnB, Brasília – DF, 2011.

Brasil. **Edital de Chamada Pública, nº 002/2012**. ANA – Agência Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente. Programa Conservação e Gestão de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 2012.

Botto, M. P. & Santos, A. B. dos. Saneamento Básico em Comunidade Peri-urbana no Ceará: Perspectiva para o Ecosaneamento e Sanitários Separadores. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v.1, n.1, p. 98-110, 2013.

Botto, M. P. **Utilização da Urina Humana como Biofertilizante para Produção de Alimentos e Energia: Caracterização, uso na agricultura e recuperação de nutrientes**. 2013. 270 f. Tese (Doutorado em Eng. Civil) – Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza - CE, 2013.

Camargo, N. P.; Silva, O. **Manual de adubação foliar**. Editoras, La Libreria e Herba Ltda. São Paulo, SP, 1987.

Cohim, E.; Kiperstok, A. C.; Nascimento, F. R.; Kiperstok, A. Avaliação da Perda de Nitrogênio em Sistema de Armazenamento de Urina com Isolamento da Atmosfera. XXXI Congresso Interamericano AIDIS. Santiago – CHILE, p.1 – 8, 2008.

Costanzi, R. N.; Frizzo, E.; Dombeck, D.; Colle, G. Rosa, J. F.; Maibuk, L. A. C.; Fernandes, M. S. P. Reúso de Água Amarela. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v. 2, n. 1, P. 9 – 16, 2010.

Carneiro, A. L. A.; Cerqueira, E. G. **Aproveitamento da Água da Chuva e Proveniente do Esgoto Secundário (águas cinzas)**. Universidade Católica do Salvador, Salvador - BA, p. 1 – 17, 2008. Disponível em: <http://info.ucsal.br/banmon/mostra_dados_doc.php?Seq=151>. Acesso em 17 de fevereiro de 2014.

Caço, J. **Substratos para Culturas Sem Solo “Hidroponia”**. Hubel Verde – Grupo Hubel. Verdesul - Técnicas Agrícolas Ltda. Disponível em: <www.hubel.pt>. Acesso em: 25 de agosto de 2013.

Chaves, R. Q.; Lacerda, Z. C. **Hidroponia – O Cultivo sem solo**. Disponível em: <<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Hidroponia%20Zilda%20e%20Rosilene%20-%20Video%2003.pdf>>. Acesso em: de dezembro de 2013.

Coelho, A. M.; França, G. E. **Nutrição e Adubação do Milho**. Disponível em: <http://scholar.google.com/scholar_url?hl=en&q=http://xa.yimg.com/kq/groups/35137484/1237253435/name/nutricao_adubacao_milho.pdf&sa=X&scisig=AAGBfm1L5GUXm_iWIwRhYgSUz55YOaMZgg&oi=scholar>. Acesso em: 26 de janeiro de 2014.

Driver, J.; Lijmbach, D.; Steen, I. Why Recover Phosphorus for Recycling, and how? **Environ. Technol.** v. 20, p. 651–662, 1999.

Duarte, A. S.; Silva, E. F. F.; Rolim, M. M.; Ferreira, R. F. de A. L.; Malheiros, S. M. M.; Albuquerque, F. S. Uso de diferentes doses de manipueira na cultura da alface em substituição à adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.16, n.3, p.262–267, 2012. Disponível em; <http://www.agriambi.com.br>. Acesso em 26 de setembro de 2013.

Esrey, S. A.; Gough, J.; Rapaport, D.; Sawyer, R.; Simpson-Hébert, M.; Vargas, J.; Winblad, U. (Ed.): **Ecological Sanitation**, Swedish International Development Cooperation Agency, Stockholm, 1998. Disponível em: <http://www.ecosanres.org/pdf_files/Ecological_Sanitation.pdf>. Acesso em 11 agosto de 2013.

Esrey, S. A. **Towards a Recycling Society Ecological Sanitation - Closing the Loop to Food Security**. In: International Symposium on Ecological Sanitation. Plenary Session Ecosan: GTZ, 2000. Disponível em: <http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/ESREY%202000%20Towards%20a%20Recycling%20Society%20Ecological%20Sanitation%20%20Closing%20the%20Loop%20to%20Food%20Security.pdf>. Acesso em 20 de outubro de 2013.

Fittschen, I.; Hahn, H. H. Characterization of the Municipal Mastewater Parameters Human Urine and Preliminary Comparison with Liquid Cattle Excretion. **Water science technology**, Alemanha, v. 38, n. 6, p. 9-16, 1998.

FAO - Organización de la Naciones Unidas Para la Agricultura Y Alimentación. Forraje Verde Hidropónico. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. **Manual Técnico**. Primera Parte, 2001, 68p.

Fioretto, R. A. Uso Direto da Manipueira em Fertirrigação. In: Cereda, M. P (Coord.): Manejo, Uso e Tratamento de Subprodutos da Industrialização da Mandioca. **Fundação Cargill**, v.4, p.67 – 79. São Paulo, SP, 2001.

Fiori, S.; Fernandes, V. M. C.; Pizzo, H. Avaliação Qualitativa e Quantitativa do Reúso de Águas Cinzas em Edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 19 - 30, 2006.

Grant, C. A.; Flaten, D. N.; Tomasiwicz, D. J.; Sheppard, S. C. **A Importância do Fósforo no Desenvolvimento Inicial da Planta**. POTAFOS - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Informações Agrônomicas, nº 95, Piracicaba- SP, 2001.

Gonçalves, R. F.; Rebouças, T. C.; Miraval, D. O.; Bianchi, G.; Bazzarella, B. B. **Caracterização e Tratamento de Diferentes Tipos de Águas Residuárias de Origem Residencial Após Segregação**. AIDIS - Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Sección Uruguay. Rescatando Antiguos Principios para os Nuevos Desafíos del Milenio. Montevideo, p. 1 – 10, 2006.

Golder, D.; Rana, S.; Sarkar (Paria), D.; Jana, B.B. Human Urine is an Excellent Liquid Waste for the Culture Offish food Organism, Moina Micrura. **Ecological Engineering**, v. 30, p. 326 – 332, 2007. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/ecoleng>. Acesso em 08 de outubro de 2013.

Gimenes, M. J.; Filho, R. V.; Prado, E. P.; Dal Pogetto, M. H. F. A.; Christovam, R. S. Interferência de Espécies Forrageiras em Consórcio Com a Cultura do Milho. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v.15, n.2, p. 61-76, 2008.

Hespanhol, I. Potencial de Reuso de Água no Brasil – Agricultura, Indústria, Municípios e Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75 – 95, 2002.

Heinonen-Tanski, H., van Wijk-Sijbesma, C. Human Excreta for Plant Production. **Bioresource Technology**, v. 96, 403–411, 2005.

Hussar, G. J.; Paradela, A. L.; Bastos, M. C.; Reis, T. K. B.; Jonas, T. C.; Serra, W.; Gomes, J. P. Efeito do Uso do Efluente de Reator Anaeróbio Compartimentado na Fertirrigação da Beterraba. **Eng. Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 2, n. 1, p. 035 - 045, 2005.

Hespanhol, I. Um novo Paradigma para a Gestão de Recursos Hídricos. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 131 – 158, 2008.

Hidrogood. **Cartilha Básica de Orientação ao Cultivo Hidropônico**. Hidrogood Agricultura Moderna, 4ª ed. P. 25, 2010.

IFA - International Fertilizer Industry Association. O Uso de Fertilizantes Minerais e o Meio Ambiente. United Nations Environment Programme - UNEP. Revised Edition. Paris, 2000.

Jönsson, H. **The role of Ecosan in Achieving Sustainable Nutrient Cycles**. In: International Symposium on Ecological Sanitation. Proceedings... Lübeck, Germany: GTZ/IWA, 2004. Disponível em: <<http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9258.htm>>. Acesso em: 22 de maio de 2013.

Jönsson, H.; Stintzing, A. R.; Vinnerås, B.; Salomon, E. Orientações de Uso de Urina e Fezes na Produção Agrícola. Programa do EcoSanRes (Relatório 2004-2) - Instituto do Ambiente de Estocolmo. Estocolmo, Suécia, 2004, p. 40. Disponível em:<www.escosanres.org>. Acesso em 17 de fevereiro de 2013.

Kirchmann, H.; Pettersson, S. Human Urine-chemical Composition and Fertilizer Efficiency. **Fertilizer Res.** v. 40, p. 149–54, 1995.

Kvarnström, E.; Emilsson, K.; Stintzing, A. R.; Johansson, M.; Jönsson, H.; Petersens, E.; Schönning, C.; Christensen, J.; Hellström, D.; Qvarnström, L. Ridderstolpe, P.; Drangert, Jan-O. **Separação de Urina: Um Passo em Direção ao Saneamento Sustentável**. Programa

EcoSanRes. Instituto Ambiental de Estocolmo, Estocolmo, Suécia, 2006. Disponível em: <www.ecosanres.org>. Acesso em 24 de agosto de 2013.

Karak, T.; Bhattacharyya, P. Human Urine as a Source of Alternative Natural Fertilizer in Agriculture: A flight of fancy or an achievable reality. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, p. 400 – 408, 2011. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/resconrec>. Acesso em 09 de setembro de 2013.

Lind, B. B.; Ban, Z.; Bydén, S. Volume Reduction and Concentration of Nutrients in Human Urine. **Ecological Engineering**, v. 16, p.561–566, 2001. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/ecoleng>. Acesso em 13 de julho de 2013.

Larsen, T. A.; Peters, I.; Alder, A.; Eggen, R.; Maurer, M.; Muncke, J. Re-engineering the toilet for sustainable wastewater management. **Environmental Science and Technology**, v. 35, n. 9, p.192 – 197, 2001.

Larsen, T. A.; Maurer, M.; Udert, K. M.; Lienert, J. Nutrient Cycles and Resource Management: Implications for the choice of wastewater treatment technology. **Water Science and Technology**, v. 56, n. 5, p. 229–237, 2007.

Louro, C. A. L. Volschan Jr., I.; Ávila, G. M. Sustentabilidade Ambiental: Estudo sobre o aproveitamento de nutrientes da urina humana para fins agrícolas. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v.7, n. 3, p. 440 – 447, 2012.

Machado, C. J. S. A Gestão Francesa de Recursos Hídricos: Descrição e Análise dos Princípios Jurídicos. **Revista Bras. de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 4, p. 31 – 47, 2003.

Müller, L.; Santos, O. S.; Manfron, P. A. Haut, V.; Fagan, E. B.; Medeiros, S. L. P.; Neto, D. D. Produção e Qualidade Bromatológica de Gramíneas em Sistema Hidropônico. **Revista da FZVA**, Uruguaiiana, v.12, n.1, p. 88 - 97. 2005.

Martinez, H. E. P. **Manual Prático de Hidroponia**. Editora Aprenda Fácil, Viçosa – MG, 2006, P. 271.

Müller, L.; Santos, O. S.; Manfron, P. A.; Medeiros, S. L. P.; Haut, V.; Neto, D. D.; Menezes, N. L.; Garcia, D. C. Forragem hidropônica de milho: produção e qualidade nutricional em diferentes densidades de semeadura e idades de colheita. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1094-1099, jul-ago, 2006.

Melo, R. F.; Ferreira, P. A.; Matos, A.T.; Ruiz, H. A.; Oliveira, L. B. Deslocamento miscível de cátions básicos provenientes da água residuária de mandioca em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.10, n.2, p.456 – 465, 2006.

Maurer, M.; Pronk, W.; Larsen, T. A. Treatment processes for source-separated urine. **Water Research**, v. 40, p. 3151 – 3166, 2006.

Melo, D. R. M.; Fernandes, D.; Bezerra, L. L.; Santos, J. G. R.; Andrad, R. Reação da Forragem Hidropônica de Milho Sob Diferentes Concentrações de Biofertilizante e

Quantidades de Sementes. **Revista Verde**, Mossoró – RN, v.4, n.3, p. 39 - 44 julho/setembro de 2009. Disponível em: < <http://revista.gvaa.com.br>> Acesso em 16 de junho de 2013.

Martinez, H. E. P.; Clemente, J. M. **O Uso do Cultivo Hidropônico de Plantas em Pesquisa**. Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa - MG, 2011, P. 76.

Manhães, N. E.; Sant’ana, J. G.; Coelho, F. C.; Garcia, L. N. C.; Lombardi, C. T.; Francelino, F. M. A. Forragem de milho hidropônico cultivado em bagaço de cana-deaçúcar, com diferentes densidades de semeadura e concentrações de vinhoto. **Cadernos de Agroecologia**, v. 6, n.2, 2011. Disponível em: <<http://www.aba-agroecologia.org.br/ojs2/index.php/cad/article/view/11445/7250>>. Acesso em 5 de dezembro de 2013.

Marini, F. S.; Marinho, C. S. Adubação Complementar para a Mexeriqueira ‘Rio’ em Sistema de Cultivo Orgânico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB. v. 15, n.6, p. 562–568, 2011. Disponível em: < <http://www.agriambi.com.br>>. Acesso 12 de agosto de 2013.

Neto, C. O. A.; Filho, L. P. M.; Moura, L. R. B.; Miranda, R. J. A.; Pereira, M. G.; Melo, H. N. S.; Filho, M. L. **Hidroponia com Esgoto Tratado – Forragem Hidropônica de Milho**. VI SIBESA - VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vitória - ES, 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/sibesa6/nuno.pdf>>. Acesso em 14 de novembro de 2013.

Nápoles, F. A. M. **Tecnologia Agroecológica de Cultivo do Pinhão-manso Utilizando Urina de Vaca e Manipueira**. 2012. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande – PB, 2012.

Oliveira, L. R. G.; Rolim, M. M.; Paula, L. Utilização de Soro De Leite na Produção de Forragem de Milho Hidropônico. 2009. Disponível em: < <http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/R0256-1.pdf>>. Acesso em 13 de novembro de 2013.

Pantaroto, S.; Cereda, M. P. Linamarina e sua Decomposição no Ambiente. In: Cereda, M.P (coord.): Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca. **Fundação Cargill**, v. 4, p. 38 – 47. São Paulo, SP, 2001.

Paulino, V. T.; Possenti, R.; Lucena, M. A. C.; Vedove, D. J. F. D.; Souza, C. R. T. J.; Júnior, C. F.; Natal, V. Crescimento e Avaliação Químico-bromatológica de Milho Cultivado em Condições Hidropônicas. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. 3 ed. n. 5, 2004. Disponível em: < http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/5matV4PhV2olpob_2013-4-26-10-44-11.pdf>. Acesso em 25 de novembro de 2013.

Paes, M. C. D. **Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, Circular Técnico, nº. 75. Ministerio da Agricultura Pecuaria e Abastecimento. Sete Lagoas - MG, 2006.

Peixinho, F. C. Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. Local, 2010. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/evento_PAP003029.pdf>. Acesso em 25 de agosto de 2013.

Paula, L.; Rolim, M. M.; Neto, E. B.; Soares, T. M.; Pedrosa, E. M. R.; Silva, Ê. F. F. Crescimento e nutrição mineral de milho forrageiro em cultivo hidropônico com soro de leite bovino. **Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.9, p.931–939, 2011.

Prado, R. M. **Manual de Nutrição de Plantas Forrageiras**. Disponível em:<http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Livro_Reciclagem/oleo_Manual_Nutri%E7%E3o_Plan tas_Forageiras.pdf>. Acesso em 22 de setembro de 2013.

Rocha, R. J. S.; Salviano, A. A. C.; Alves, A. A.; Lopes, J. B.; Neiva, J. N. M. Produtividade e Composição Bromatológica da Forragem Hidropônica de Milho em Diferentes Volumes de Solução Nutritiva. **Revista Científica de Produção Animal**. v. 9, nº 1, P. 9 – 11, 2007.

Rios, É. C. S. V. Uso de Águas Amarelas Como Fonte Alternativa de Nutriente em Cultivo Hidropônico da Alface (*Lactuca sativa*). 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado em Eng. Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 2008.

Reis, H. P. O.; Santana, M. J.; Silveira, A. L. **Doses Ótimas de Boro Para o Milho Forrageiro**. II Seminário Iniciação Científica – IFTM, Campus Uberaba - MG, 2009. Disponível em: <http://www.iftm.edu.br/proreitorias/pesquisa/revista_2/resumo/zootecnia/resumo9.pdf>. Acesso em 15 de dezembro de 2013.

Rodrigues, L. R.; Silva, P. R. F. **Indicações Técnicas para o Cultivo do Milho e do Sorgo no Rio Grande do Sul: Safras 2011/2012 e 2012/2013**. Porto Alegre: Fepagro, 2011, 140 p. Rodrigues, R. C. Métodos de Análises Bromatológicas de Alimentos: Métodos Físicos, Químicos e Bromatológicos. Documentos, 306. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Pelotas, RS, 2010, 177p.

Silva, F. C. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. Brasília, DF, 1999, p. 370.

Schönning, C. **Hygienic aspects on the reuse of source-separated human urine**. In: NJF Seminar, n. 327, Copenhagen, 2001. Disponível em: <<http://www.agsci.kvl.dk/njf327/papers/reviewedSchonning.pdf>>. Acesso em: 8 de agosto de 2013.

Souza, O.; Santos, I. E. **Aproveitamento do Bagaço de Cana-de-açúcar Pelos Ruminantes**. Comunicado Técnico nº. 07. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Aracaju, SE. 1ª Ed. 2002. Disponível em: <<http://www.cpatc.embrapa.br>>. Acesso em 17 de fevereiro de 2013.

Schönning, C.; Stenström, T. A. **Diretrizes para o Uso Seguro de Urina e Fezes nos Sistemas de Saneamento Ecológico**. Instituto Sueco de Controle de Doenças Infecciosas. Programa EcoSanRes, Instituto Ambiental de Estocolmo, Estocolmo, Suécia, 2004, p. 38.

Santos, K. D.; Henrique, I. N.; Sousa, J. T.; Leite, V. D. Utilização de Esgoto Tratado na Fertirrigação Agrícola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Suplemento Especial – nº 1, p. 1 – 7, 2006.

Silva, A. B.; Cohim, E.; Kiperstok, A.; Trindade, A. V.; Cova, A. M. W.; Cova, A. C.; Nascimento, F. R. **Avaliação do Desenvolvimento Inicial da Helicônia *bihai* em Substrato Inerte Irrigado com Diferentes Níveis de Diluição de Urina Humana em Casa de Vegetação**. Conferência Internacional em Saneamento Sustentável: Segurança alimentar e hídrica para a América Latina. Ecosan, Fortaleza, CE, 2007.

Sousa, J. T.; Henrique, I. N.; Lopes, W. S.; Leite, V. D. Gerenciamento Sustentável de Água Residuária Doméstica. **Revista Saúde e Ambiente / Health and Environment Journal**, v. 9, n. 1, 2008.

Simão, L. C.; Canaretto, S. B.; Lima, U. T.; Borges, V. S. **Milho Hidroponico**. 2009. 17f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Centro Paula Souza, Quatá/SP, 2009.

Sousa, T. P. de; Neto, E. P. S; Andrade, R. **Produção de Forragem Verde Hidropônica de Milho Como Alternativa para Pequenas Criações de Ruminantes no Semi-árido Brasileiro**. I Seminário Nacional de Geoecologia e Planejamento Territorial e IV Seminário do GEOPLAN. Universidade Federal de Sergipe. 11 a 13 de Abril de 2012. P. 1 – 4. Disponível em: <http://anais.geoplan.net.br/trabalhos_formatados/PRODUCAO%20DE%20FORRAGEM%20VERDE%20HIDROPONICA%20DE%20MILHO.pdf>. Acesso em 23 de novembro de 2013.

Santos, R. D. S.; Costa, J. C. A.; Souza, M. H. C.; Luz, S. N. **Gestão de Resíduos em Uma Agroindústria Canavieira no Vale do São Francisco: O reaproveitamento do bagaço da cana de açúcar**. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, Goiânia – GO, p. 1–5. 2012. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/II-014.pdf>>. Acesso em 17 de fevereiro de 2013.

Silva, J. B. G.; Martinez, M. A.; Pires, C. S.; Andrade, I. P. S.; Silva, G.T. Avaliação da Condutividade Elétrica e pH da Solução do Solo em Uma Área Fertirrigada com Água Residuária de Bovinocultura de Leite. **Irriga, Botucatu**, Edição Especial, p. 250 - 263, 2012.

Sementes Agrocere. 2013. Disponível em:<http://www.sementesagrocere.com.br/downloads/Fatores_de_sucesso.pdf>. Acesso em 15 de dezembro de 2013.

Silva, A. F. **Manejo Cultural do Milho Forrageiro**. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/53042/1/Circ-14-Manejo-cultural.pdf>> Acesso em: de dezembro de 2013.

Takahashi, M. Aproveitamento da Manipueira e de Resíduos do Processamento da Mandioca. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, ano 13, n.145, p.83 – 87, jan., 1987.

Teixeira, F.A.; Pires, A. V.; Nascimento, P. V. N. Bagaço de cana-de-açúcar na alimentação de bovinos (Sugarcane pulp in the feeding of bovine). *Revista electrónica de Veterinaria*, v. VIII, n. 6, p. 1 – 9, 2007. Disponível em:< <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n060607/060708.pdf>>. Acesso em 13 de outubro de 2013.

Vinneräs, B.; Palmquist, H.; Balmér, P.; Jönsson, H. The characteristics of household wastewater and biodegradable solid waste – a proposal for new Swedish design values. **Urban Water Journal**, v. 3, n.1, p. 3–11, 2006.

Vitória, E. L.; Fernandes, H. C.; Lacerda, E. G.; Rosado, T. L. Acúmulo de Nutrientes e Matéria Seca Pelo Milho em Função do Manejo do Solo e da Adubação Nitrogenada. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, v. 20, n. 2, p. 104 -11,2012.

Wilsenach, J. A.; Van Loosdrecht, M. C. M. Impact of Separate Urine Collection on Wastewater Treatment Systems. **Environ Sci Technol**, v. 48, n. 1, p. 103–110, 2003.

Werner, C.; Panesar, A.; Rüd, S.B.; Olt, C.U. Ecological Sanitation: Principles, Technologies and Project Examples for Sustainable Wastewater and Excreta Management. **Desalination**, v. 248, p. 392-401, 2009.

Zancheta, P. G. **Recuperação e Tratamento da Urina Humana Para Uso Agrícola**. 2007, 83 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória – ES, 2007.